



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD –LYON 1

FACULTE DE MEDECINE LYON EST

Année 2014

**Contrôle visuo-moteur de la préhension après
allogreffe bilatérale de main : étude
clinique et cinématique**

THESE

Présentée

A l'Université Claude Bernard Lyon 1

Et soutenue publiquement le 02 octobre 2014

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par

HUCHON Laure

Née le 23/09/1985 à Sallanches (74)

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1

. Président de l'Université	François-Noël GILLY
. Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales	François-Noël GILLY
. Secrétaire Général	Alain HELLEU

SECTEUR SANTE

UFR DE MEDECINE LYON EST	Doyen : Jérôme ETIENNE
UFR DE MEDECINE LYON SUD – CHARLES MERIEUX	Doyen : Carole BURILLON
INSTITUT DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES (ISPB)	Directrice: Christine VINCIGUERRA
UFR D'ODONTOLOGIE	Directeur : Denis BOURGEOIS
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE READAPTATION	Directeur : Yves MATILLON
DEPARTEMENT DE FORMATION ET CENTRE DE RECHERCHE EN BIOLOGIE HUMAINE	Directeur : Pierre FARGE

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

UFR DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES	Directeur : Fabien de MARCHI
UFR DE SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES (STAPS)	Directeur : Claude COLLIGNON
POLYTECH LYON	Directeur : Pascal FOURNIER
I.U.T.	Directeur : Christian
COULET INSTITUT DES SCIENCES FINANCIERES ET ASSURANCES (ISFA)	Directeur : Véronique MAUME-
DESCHAMPS I.U.F.M.	Directeur : Régis BERNARD
CPE	Directeur : Gérard PIGNAULT

Faculté de Médecine Lyon Est Liste des enseignants 2013/2014

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 2

Chatelain	Pierre	Pédiatrie (surnombre)
Cochat	Pierre	Pédiatrie
Cordier	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Etienne	Jérôme	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Guérin	Jean-François	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Kohler	Rémy	Chirurgie infantile
Mauguière	François	Neurologie
Ninet	Jacques	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillessement ; médecine générale ; addictologie
Peyramond	Dominique	Maladie infectieuses ; maladies tropicales
Philip	Thierry	Cancérologie ; radiothérapie
Raudrant	Daniel	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Rudigoz	René-Charles	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 1

Baverel	Gabriel	Physiologie
Blay	Jean-Yves	Cancérologie ; radiothérapie
Denis	Philippe	Ophthalmologie
Finet	Gérard	Cardiologie
Fouque	Denis	Néphrologie
Gouillat	Christian	Chirurgie digestive
Guérin	Claude	Réanimation ; médecine d'urgence
Laville	Maurice	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
Lehot	Jean-Jacques	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Martin	Xavier	Urologie
Mellier	Georges	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Michallet	Mauricette	Hématologie ; transfusion
Miossec	Pierre	Immunologie
Mornex	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Perrin	Gilles	Neurochirurgie
Ponchon	Thierry	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Pugeat	Michel	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
Revel	Didier	Radiologie et imagerie médicale
Rivoire	Michel	Cancérologie ; radiothérapie
Scoazec	Jean-Yves	Anatomie et cytologie pathologiques
Vandenesch	François	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Première classe

André-Fouet	Xavier	Cardiologie
Barth	Xavier	Chirurgie générale
Bastien	Olivier	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence

Berthezene	Yves	Radiologie et imagerie médicale
Bertrand	Yves	Pédiatrie
Beziat	Jean-Luc	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Boillot	Olivier	Chirurgie digestive
Borson-Chazot	Françoise	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
Breton	Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Chassard	Dominique	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Chevalier	Philippe	Cardiologie
Claris	Olivier	Pédiatrie
Colin	Cyrille	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Colombel	Marc	Urologie
D'Amato	Thierry	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Delahaye	François	Cardiologie
Descotes	Jacques	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Disant	François	Oto-rhino-laryngologie
Douek	Philippe	Radiologie et imagerie médicale
Ducerf	Christian	Chirurgie digestive
Durieu	Isabelle	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Edery	Charles	Génétique
Fauvel	Jean-Pierre	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
Gaucherand	Pascal	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Guenot	Marc	Neurochirurgie
Herzberg	Guillaume	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Honorat	Jérôme	Neurologie
Jegaden	Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Lachaux	Alain	Pédiatrie
Lermusiaux	Patrick	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Lina	Bruno	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Lina	Gérard	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Mertens	Patrick	Anatomie
Mion	François	Physiologie
Morel	Yves	Biochimie et biologie moléculaire
Morelon	Emmanuel	Néphrologie
Moulin	Philippe	Nutrition
Négrier	Claude	Hématologie ; transfusion
Négrier	Marie-Sylvie	Cancérologie ; radiothérapie
Neyret	Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Nicolino	Marc	Pédiatrie
Nighoghossian	Norbert	Neurologie
Ninet	Jean	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Obadia	Jean-François	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Ovize	Michel	Physiologie
Picot	Stéphane	Parasitologie et mycologie
Rode	Gilles	Médecine physique et de réadaptation
Rousson	Robert-Marc	Biochimie et biologie moléculaire
Roy	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Ruffion	Alain	Urologie
Ryvlin	Philippe	Neurologie
Scheiber	Christian	Biophysique et médecine nucléaire
Terra	Jean-Louis	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Thivolet-Bejui	Françoise	Anatomie et cytologie pathologiques
Tilikete	Caroline	Physiologie
Touraine	Jean-Louis	Néphrologie

Truy	Eric	Oto-rhino-laryngologie
Turjman	Francis	Radiologie et imagerie médicale
Vallée	Bernard	Anatomie
Vanhems	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Zoulim	Fabien	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Seconde Classe

Allouachiche	Bernard	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Argaud	Laurent	Réanimation ; médecine d'urgence
Aubrun Badet	Frédéric	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Bessereau	Lionel	Urologie
Boussel	Jean-Louis	Biologie cellulaire
Braye	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
	Fabienne	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
Calender		Génétique
Chapet	Alain Olivier	Cancérologie ; radiothérapie
Chapurlat	Roland	Rhumatologie
Cottin	Vincent	Pneumologie ; addictologie
Cotton	François	Anatomie
Dalle	Stéphane	Dermato-vénéréologie
Devouassoux	Mojgan	Anatomie et cytologie pathologiques
Di Filippo	Sylvie	Cardiologie
Dubernard	Gil Charles	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Dumontet	Jérôme	Hématologie ; transfusion
Dumortier	Laurent	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Fanton	Michel	Médecine légale
Faure	Pierre Yves	Dermato-vénéréologie
Fourneret	Nicolas	Pédopsychiatrie ; addictologie
Gillet	Arnaud	Pédiatrie
Girard	François	Pneumologie
Gleizal		Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Gueyffier	Laurent	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
Guibaud	Arnaud	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Guyen		Médecine interne
Hot		Médecine physique et de réadaptation
Jacquin-Courtois	Sophie	Biophysique et médecine nucléaire Pédiatrie
Janier	Marc	Dermato-vénéréologie
Javouhey	Etienne	Ophtalmologie
Jullien	Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement
Kodjikian	Laurent	; médecine générale ; addictologie
Krolak Salmon	Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Lejeune	Hervé	Chirurgie générale
Mabrut	Jean-Yves	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Merle	Philippe	Chirurgie générale Chirurgie
Monneuse	Olivier Pierre-	infantile Cytologie et
Mure	Yves Serge	histologie Oto-rhino-
Nataf	Jean-Christian	laryngologie Chirurgie
Pignat	Gilles	générale
Poncet	Gérald	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ;
Raverot		

Richard	Jean-Christophe	gynécologie médicale
Rossetti	Yves	Réanimation ; médecine d'urgence
Rouvière	Olivier	Physiologie
Saoud	Mohamed	Radiologie et imagerie médicale
Schaeffer	Laurent	Psychiatrie d'adultes
Schott-Pethelaz	Anne-Marie	Biologie cellulaire
Souquet	Jean-Christophe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Vukusic	Sandra	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Wattel	Eric	Neurologie
		Hématologie ; transfusion

Professeur des Universités - Médecine Générale

Letrilliart	Laurent
Moreau	Alain

Professeurs associés de Médecine Générale

Flori	Marie
Zerbib	Yves

Professeurs émérites

Bérard	Jérôme	Chirurgie infantile
Boulanger	Pierre	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Bozio	André	Cardiologie
Chayvialle	Jean-Alain	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Daligand	Liliane	Médecine légale et droit de la santé
Droz	Jean-Pierre	Cancérologie ; radiothérapie
Floret	Daniel	Pédiatrie
Gharib	Claude	Physiologie
Itti	Roland	Biophysique et médecine nucléaire
Kopp	Nicolas	Anatomie et cytologie pathologiques
Neidhardt	Jean-Pierre	Anatomie
Petit	Paul	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Rousset	Bernard	Biologie cellulaire
Sindou	Marc	Neurochirurgie
Tissot	Etienne	Chirurgie générale
Trepo	Christian	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Trouillas	Paul	Neurologie
Trouillas	Jacqueline	Cytologie et histologie

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers

Hors classe

Benchaib	Mehdi	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Bringuier	Pierre-Paul	Cytologie et histologie
Bui-Xuan	Bernard	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Davezies	Philippe	Médecine et santé au travail
Germain	Michèle	Physiologie
Hadj-Aissa	Aoumeur	Physiologie
Jouvet	Anne	Anatomie et cytologie pathologiques

Le Bars Lièvre	Didier Michel	Biophysique et médecine nucléaire Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Normand Persat Pharaboz-Joly Piaton Rigal Sappey-Marinier Timour-Chah	Jean-Claude Florence Marie-Odile Eric Dominique Dominique Quadiri	Médecine et santé au travail Parasitologie et mycologie Biochimie et biologie moléculaire Cytologie et histologie Hématologie ; transfusion Biophysique et médecine nucléaire Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers

Première classe

Ader Barnoud Bontemps Bricca	Florence Raphaëlle Laurence Giampiero	Maladies infectieuses ; maladies tropicales Anatomie et cytologie pathologiques Biophysique et médecine nucléaire Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Cellier Chalabreysse Charbotel-Coing-Boyat Collardeau Frachon Cozon Dubourg Escuret Poncin Franco-Gillioen Hervieu Jarraud Kolopp-Sarda Lasset Laurent Lesca Maucort Boulch	Colette Lara Barbara Sophie Grégoire Laurence Vanessa Patricia Valérie Sophie Marie Nathalie Christine Frédéric Gaëtan Delphine	Biochimie et biologie moléculaire Anatomie et cytologie pathologiques Médecine et santé au travail Anatomie et cytologie pathologiques Immunologie Physiologie Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière Physiologie Anatomie et cytologie pathologiques Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière Immunologie Epidémiologie, économie de la santé et prévention Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière Génétique Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication Anatomie et cytologie pathologiques
Meyronet Peretti Pina-Jomir Plotton Rabilloud	David Noel Géraldine Ingrid Muriel	Nutrition Biophysique et médecine nucléaire Biochimie et biologie moléculaire Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Ritter Roman Streichenberger Tardy Guidollet Tristan Vlaeminck-Guillem Voiglio Wallon	Jacques Sabine Nathalie Véronique Anne Virginie Eric Martine	Physiologie Anatomie et cytologie pathologiques Biochimie et biologie moléculaire Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière Biochimie et biologie moléculaire Anatomie Parasitologie et mycologie

Maîtres de Conférences – Praticiens Hospitaliers

Seconde classe

Buzluca Dargaud	Yesim	Hématologie ; Transfusion
Charrière	Sybil	Nutrition
Duclos	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Phan	Alice	Dermato-vénérologie
Rheims	Sylvain	Neurologie (stag.)
Rimmele	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence (stag.)
Schluth-Bolard	Caroline	Génétique
Thibault	Hélène	Physiologie
Vasiljevic	Alexandre	Anatomie et cytologie pathologiques (stag.)
Venet	Fabienne	Immunologie

Maîtres de Conférences associés de Médecine Générale

Farge	Thierry
Figon	Sophie
Lainé	Xavier

Remerciements

A notre président de thèse

Monsieur le Professeur Gilles Rode

Vous nous avez fait l'honneur d'être notre maître pendant toutes ces années et de diriger ce travail. En tant que vice-doyen de la faculté de médecine R.T.H Laennec et en tant que Professeur de Médecine Physique et Réadaptation, vous nous avez suivies depuis nos premières années d'études jusqu'à ce jour. Durant toutes ces années, nous avons admiré votre passion et votre énergie à nous transmettre vos compétences : savoir médical, savoir-faire dans la gestion d'un service, savoir-être avec nos patients et nos collègues. Vous faites partie de ceux que les jeunes externes rencontrent en se disant « voilà un modèle à suivre ». Vous nous avez guidées, accompagnées, encouragées, poussées (parfois dans nos retranchements) tout au long de notre parcours. Vous nous avez fait grandir. Pour avoir fait de nous un médecin, nous vous exprimons toute notre gratitude.

Aux membres de notre jury

Monsieur le Professeur Lionel Badet

Nous vous remercions de l'intérêt que vous avez porté à ce travail et de l'honneur que vous nous faites en acceptant d'en être juge. Vous nous avez accueillies au sein de l'équipe des allogreffes de membre supérieur et vous avez mis à notre disposition toutes les ressources nécessaires pour pouvoir mener à bien cette étude. Nous espérons que ceci n'est que le début d'une fructueuse collaboration.

Monsieur le Professeur Jacques Luaute

Vous avez bien voulu nous faire l'honneur d'être membre de ce jury, veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude. Nous avons apprécié durant ces semestres votre capacité à mener de front vos responsabilités médicales, universitaires, administratives et de recherche avec une énergie et une bonne humeur toujours renouvelées. Votre compétence, votre accessibilité et votre optimisme nous ont souvent rassérénées dans nos moments de doutes face aux patients ou aux équipes soignantes. Soyez assuré de notre sincère reconnaissance.

Monsieur le Professeur Jean Paysant

Nous vous exprimons nos remerciements respectueux pour nous faire l'honneur d'être venu juger notre travail. Vous nous avez accueillies comme l'une de vos internes et vous nous avez fait nous sentir chez nous à l'Institut Régional de Réadaptation de Nancy. Vous nous avez offert l'opportunité d'aborder ce vaste champ de la Médecine Physique et Réadaptation que constitue la prise en charge des amputés et plus généralement l'appareillage, et nous vous en remercions.

Monsieur le Professeur Pascal Giraux

Vous nous faites l'honneur de participer à ce jury de thèse et nous vous en savons gré. Nous vous remercions également pour votre implication dans la formation des internes de la région Rhône-Alpes Auvergne et vos apports toujours constructifs lors des réunions semestrielles organisées par le collège des enseignants universitaires de la région.

Monsieur le Docteur Alessandro Farné

Vous avez accepté avec enthousiasme de participer au jury de cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de nos plus chaleureux remerciements. Merci de nous avoir acceptées comme étudiantes et de nous avoir fait découvrir et aimer la recherche depuis cette année passée au laboratoire. Nous avons apprécié votre disponibilité malgré votre emploi du temps surchargé, votre patience et votre compréhension face à notre ignorance complète de la cinématique en particulier et de la recherche en général. Vous avez su être là quand il le fallait vraiment et nous encourager dans les moments de scepticisme. Avec une sympathie à toute épreuve, vous avez accepté notre culture médicale avec ses défauts et ses qualités, et vous nous avez ouvert les portes des neurosciences. Grâce à vous, nous mesurons mieux le gouffre qui sépare ces deux mondes et toute la richesse de leur dialogue, et nous vous sommes profondément reconnaissantes de cette initiation.

Aux neuroscientifiques qui m'ont accompagnée dans ce projet

Madame le Docteur Alice Roy

Je te remercie pour ton implication dans ce projet et l'aide constante que tu m'as apportée depuis mon arrivée dans la recherche. Sans ton appui, tes idées, tes conseils, tes pizzas et tes vins italiens, ce projet n'aurait pas été le même.

Monsieur le Docteur Patrice Revol

Merci pour ta collaboration dans l'acquisition et le traitement des données cinématiques. Tu as réalisé avec moi tous les enregistrements des sujets, tu as toléré ma mauvaise humeur et ma frustration face aux caprices du VICON, tu m'as initiée à l'analyse cinématique, tu m'as encouragée et tu m'as empêchée de fracasser mon écran d'ordinateur dans les moments difficiles de cet apprentissage, et tu m'as révélé quelques secrets bien utiles d'Excel : je n'aurais pas mené à bien ce projet sans ton aide.

Madame le Docteur Karen Reilly

Je te sais grée pour l'appui précieux et les conseils avisés que tu m'as donnés tout au long de mon année de recherche. Tu m'as aidée chaque fois que tu le pouvais dans le traitement de mes données, la correction de mon anglais ou la préparation de mes examens, et tu m'as souvent soutenue moralement lorsque le découragement me guettait. Je te remercie pour ta bonne humeur, ta disponibilité, et ton implication dans le maintien sanitaire de la cuisine du laboratoire.

Mes compagnons du quotidien au laboratoire : Dollyane, Ouazna, Selene, Stéphane, Delphine, Kristien, Inga

Vous m'avez acceptée parmi vous et vous m'avez initiée à la vie de jeune chercheur : vous avez partagé avec moi (pas nécessairement dans cet ordre) les secrets de la bibliographie, vos jeux de mots approximatifs, vos techniques statistiques, vos bars préférés, la joie du résultat significatif, vos recettes de cuisine à base de sauce soja sucrée, la frustration de l'expérience qui échoue, vos meilleures bières pour se remonter le moral après une rude journée, l'art du poster sur Excel, vos blagues (pas toujours volontaires), les subtilités de la politique intra-laboratoire, vos crises de rire et vos crises tout court... Vous étiez des collègues, vous êtes devenus des amis.

Tous les membres de l'équipe ImpAct

Vous m'avez reçue au sein de votre équipe et du laboratoire. Pour l'accueil de chacun et pour l'aide de beaucoup, du coup de main capital au coup de pouce salvateur, je vous remercie du fond du cœur.

Aux autres membres du projet

Monsieur le Professeur Emmanuel Morelon, Monsieur le Docteur Aram Gazarian, Madame le Docteur Palmina Petruzzo

Merci pour votre rôle clé dans la prise en charge de ces patients, la mise en place du projet et votre collaboration tout au long de sa réalisation ainsi que dans nos nouveaux projets communs.

Aux rééducateurs et ingénieurs

Laurence Bernardon, Lisette Arsenault, Cécile Molia, Valérie Servajean, Elisabeth Paquier, Jean-François Bodin, Ludovic Delporte : merci de votre aide dans le recueil et l'analyse des données.

Aux patients et sujets témoins

Merci de m'avoir offert de votre temps pour participer à cette expérience. Sans votre collaboration et votre patience dans cette tâche fastidieuse, rien de tout cela n'aurait vu le jour.

Aux médecins qui m'ont guidée tout au long de mon internat

Madame le Professeur Sophie Jacquin-Courtois

Tu as été la première à me faire confiance dans la prise en charge de tes patients en tant que Faisant Fonction d'Interne, et c'est à tes côtés que j'ai découvert les joies de la Médecine Physique et Réadaptation. Durant ces quelques semaines passées à tes côtés puis tout au long de mon internat, j'ai apprécié ta douceur et ta profonde humanité vis-à-vis de tes patients et de tes collaborateurs autant que tes compétences médicales et scientifiques. Pour m'avoir éveillée à ce qui devait devenir ma spécialité, et pour m'avoir convaincue que l'on pouvait allier avec bonheur une vie personnelle, une vie médicale et une vie d'enseignant-chercheur, je te remercie.

Madame le Docteur Sophie Ciancia

C'est à tes côtés que j'ai décidé de choisir la Médecine Physique et Réadaptation. Pendant ce semestre à E3, j'ai admiré ton sens clinique, tes compétences médicales toujours pointues en dehors du champ de la MPR, tes qualités humaines vis-à-vis des patients et ta capacité à parler d'autre chose que de médecine pendant nos instants de détente. Merci de m'avoir amenée à faire un choix que je n'ai jamais regretté depuis.

Madame le Docteur Laurence Tell

Je te suis reconnaissante de m'avoir initiée au monde si particulier de la Rééducation Post-Réanimation. Je retiens de ce semestre à tes côtés ta capacité à communiquer avec les patients et leur entourage, avec les rééducateurs et avec les soignants, et à calmer les angoisses de ton interne face aux situations parfois éprouvantes vécues dans le service.

Monsieur le Docteur Pierre-Olivier Sancho

Je te remercie pour tes enseignements et ton regard gentiment moqueur mais toujours protecteur et bienveillant durant ces semestres à Henry Gabrielle. Tu m'as convaincue de la nécessité d'élargir mon horizon professionnel et je t'en suis reconnaissante.

Madame le Docteur Marie-Caroline Pouget

Tu as été ma co-interne, puis mon assistante, et bientôt mon praticien hospitalier. Durant ces cinq années de partage tu m'as bien souvent aidée, conseillée, et fait profiter de ton expérience. Tu as été pour moi autant un modèle qu'une amie : ma grande sœur en rééducation. Pour tout le plaisir que j'ai eu à cheminer à tes côtés, je te remercie.

Mesdames les Docteurs Kathleen Charvier et Corinne Del Aguila

Vous m'avez accueillie au sein de l'univers si particulier de la rééducation neuro-périnéale et sexologique, vous m'avez fait découvrir et réfléchir à des problématiques nouvelles pour moi tant sur le plan professionnel que personnel, vous m'avez montré une autre façon de travailler. Recevez toute ma gratitude pour cette nouvelle facette de notre métier que vous m'avez offerte.

Mesdames les Docteurs Françoise Caillet et Marion Picot

Je vous sais grée de vos enseignements lors des consultations d'appareillage et de toxine botulique, et de vos conseils toujours utiles au détour d'une conversation amicale.

Madame le Docteur Soline Bellaiche

Je te remercie pour tes enseignements, tes retours d'expérience et les moments conviviaux que nous avons partagés.

Monsieur le Docteur Noël Martinet

Vous m'avez transmis les rudiments de l'appareillage avec joie et patience, et je vous en suis reconnaissante. Votre passion m'a rassurée quant aux beautés de notre profession dans un moment où je doutais.

Mesdames et Messieurs les Professeurs Christian Confavreux, Sandra Vukusic, Paul Trouillas et Norbert Nighoghossian, les Docteurs Romain Marignier, Géraldine Androdias-Condemine, Florian Chenevier, Françoise Durand-Dubief, Laura Mechtouff, Tae Hee Cho et Laurent Derex

Je vous témoigne ma sincère gratitude pour m'avoir montré que la neurologie, qu'on l'aborde du point de vue du neurologue ou de celui du médecin de MPR, est une spécialité merveilleuse.

Mesdames et Messieurs les Docteurs Stéphane Martinon, Daniel Liens, Jeanne Charrin et Michel Berthier

Vous m'avez fait découvrir la richesse de la rhumatologie et je vous en remercie.

Tous ceux qui m'ont encadrée depuis mon externat

Je vous suis reconnaissante de m'avoir formée à mon métier.

A toutes les équipes que j'ai côtoyées

Je remercie tous les cadres de santé, infirmiers, aide-soignants, agents de service, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, orthophonistes, psychomotriciens, psychologues, orthoprothésistes, podo-orthésistes, assistantes sociales et secrétaires avec qui j'ai travaillé durant ces quatre années. Vous m'avez appris chaque jour que le travail d'équipe était une dimension essentielle de notre métier. Vous avez supporté avec plus ou moins de bonheur pendant quatre ans mes décisions parfois hasardeuses, mes exigences, mes lubies médicales, mes courriers interminables et mon caractère pas toujours facile. Vous m'avez tous beaucoup transmis sur vos compétences respectives. Nos relations furent généralement cordiales, parfois conflictuelles, mais toujours enrichissantes et formatrices.

Aux patients croisés depuis cinq ans

Vous m'avez souvent émue, amusée, attristée, inquiétée, parfois exaspérée, mais jamais laissée indifférente. Parce que rien de tout cela n'a de sens sans vous, vos remerciements m'ont toujours donné l'envie et la force de continuer.

A mes co-internes

Lorraine Hamelin, Marie Vernay : grâce à votre bonne humeur, votre solidarité indéfectible, votre humour, votre solidité et vos séances de psychothérapie autour d'une plaque de chocolat achetée au relais-H, ce qui aurait pu être un premier semestre difficile fut l'un des meilleurs. Votre amitié m'est toujours précieuse.

Baptiste Bouchier (ça part en quetsche !), Héloïse Chauveau (ben elle est où ?), Blandine Deschamps (encore ??), Etienne Ojardias (hey, c'est un stéphanois déguisé !!!), Victor Wang (bzzz, bzzz), Marie-Lou Poirson (Professeur, pardon), Benoît Falquet (Président) : La dream team d'Henry Gabrielle, toujours là et parée à toutes les situations, à l'hôpital comme dans la vie.

Morgane Renard, Séverine Baiardi, Elise Schwartz-Leduc, Sophie Jacob, et tous mes collègues de l'internat Lobau : vous m'avez fait découvrir en vrac la différence entre la saucisse blanche et le boudin, pourquoi je mange lentement, la beauté des Vosges, de nouveaux mots, l'intérêt des huiles essentielles dans un sauna, vous m'avez réconfortée le dimanche soir, bref vous m'avez fait aimer la Lorraine (et ce n'était pas gagné) !!! Au plaisir de vous recroiser bientôt les amis, à Lyon, Nancy ou ailleurs.

Bertrand Sauvajol, Charlotte Davenas, Anthony Girard : vous avez toléré avec patience et bonne humeur mes exigences et angoisses d'interne-presque CCA-mon-dieu-bientôt-la-thèse-et-le-mémoire : merci pour votre soutien !

Perrine Devic, Claire Vaugeois, Philippe Portran, Julia Desfrasne, Camille Combarous, Charles Burtin, Suhail Yaghmor, Bénédicte Lurquin, Florence Nachat : à tous ces fous rires et ces galères partagées !

Carine Cicéron, Carole Cheiney, Sara Arias, Maxime Cheminon, Laure Christophe, Damien Riquier, Damien Waz, Nicolas Lebédél, Claire Sellier, Constance Trotry, Anne Dubois, Annabelle Diaïne, Sarah Pesenti : grâce à vous, le bateau des internes de MPR lyonnais vogue de mieux en mieux.

A mes amis

A Marie Joly, Lucile et Yoann Ronzi, Laura Chanel, Julien Gauthier, Philippe Petua : de la PCEM2 à la DCEM4 nous avons partagé jour après jour notre quotidien, nos bancs de fac, nos bouquins, nos espoirs, nos déceptions, nos grandes découvertes, nos petites anecdotes, nos rires, nos réflexions, nos repas, nos fêtes, nos week-ends, nos vacances... Merci d'avoir fait de ces cinq années une période exceptionnelle de ma vie. Que ces amitiés durent encore longtemps.

A tous mes amis, médecins ou non : votre amitié m'éclaire.

A ma famille

A Vincent : Tu es mon équilibre, mon chemin et ma destination. Merci d'être à mes côtés, le voyage ne fait que commencer.

A mes parents : Merci d'avoir fait de moi ce que je suis, et de m'avoir supportée (dans tous les sens du terme) dans les meilleurs comme dans les pires moments. Vous m'avez fait aimer le monde et la vie, et donné l'envie d'essayer d'améliorer celle des autres. Je garderai toujours la marque de votre infaillible amour.

A Raphaël : Merci d'avoir toujours été là pour moi, et de partager mon existence depuis le début.

A Estelle : Merci de ton affection depuis tant d'années déjà.

A mes grands-parents, oncles et tantes, cousins et cousines : Merci de m'avoir aidée à grandir au sein d'une famille chaleureuse et unie.

A Marguerite, Madeleine, Mady, Jean-Pierre, Alain, Nicolas, Marie, Romain : Merci de m'avoir accueillie à bras ouverts dans votre famille.

Serment d'Hippocrate

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination. J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance.

Je donnerai mes soins à l'indigent et je n'exigerai pas un salaire au dessus de mon travail.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie ni ne provoquerai délibérément la mort.

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée si j'y manque.

Contrôle visuo-moteur de
la préhension après
allogreffe bilatérale de main :
étude clinique et
cinématique

Résumé

Les amputations de main entraînent une incapacité fonctionnelle sévère ainsi qu'une dégradation importante de l'image corporelle, et les possibilités de restauration offertes par l'appareillage et la rééducation sont parfois insuffisantes. Depuis la première allogreffe de main réussie en 1998, la transplantation émerge comme une alternative thérapeutique valable chez certains patients soigneusement sélectionnés. Une soixantaine de patients dans le monde ont aujourd'hui bénéficié de cette intervention, dont au moins 25 cas de greffe bilatérale, avec une récupération fonctionnelle satisfaisante permettant aux patients de retrouver leur autonomie dans la vie quotidienne, au prix d'une immunosuppression à vie avec ses risques de complications infectieuses, métaboliques et oncologiques. Un remodelage plastique du cortex sensori-moteur induit par la greffe a été documenté en neuro-imagerie. Mais la qualité fonctionnelle du contrôle visuo-moteur de la préhension n'a quasiment jamais été étudiée. Nous rapportons la première analyse cinématique des performances de préhension de cinq patients français porteurs d'une allogreffe bilatérale de main depuis trois à treize ans, comparés à un groupe de sujets contrôles appariés en âge, genre, et morphologie des membres supérieurs. Les patients ont accompli une tâche de préhension d'un objet cylindrique, et leur capacité à adapter leur programme moteur à différentes conditions de réalisation du mouvement a été évaluée en faisant varier la position de l'objet à saisir, sa taille, la main utilisée et la disponibilité du contrôle visuel. Les résultats montrent une très bonne récupération des principales caractéristiques du contrôle visuo-moteur de la préhension chez les patients allogreffés, avec notamment une préservation du calibrage de l'ouverture maximale de la pince pouce-index en fonction de la taille de l'objet à saisir et peu d'altération du mouvement induites par la suppression du retour visuel, en faveur d'un programme moteur et d'aptitudes proprioceptives satisfaisantes. En revanche, les déficits neuro-orthopédiques périphériques séquellaires des patients induisent des altérations du mouvement notamment dans la phase de saisie, avec une ouverture de pince drastiquement réduite et retardée comparativement aux sujets contrôles, une altération du couplage entre transport et saisie, et un allongement marqué de la phase finale du mouvement lors de la stabilisation de la pince pouce-index sur l'objet. Notre étude plaide donc pour une excellente récupération du contrôle visuo-moteur des mains greffées, et s'inscrit en faveur des gains fonctionnels dans la balance bénéfico-risque d'une telle intervention.

Mots clés : Transplantation de main, Cinématique, Préhension, Contrôle visuo-moteur, Plasticité cérébrale

Table des matières

1	Introduction	7
1.1	Les amputations de membre supérieur et leur prise en charge.....	7
1.1.1	Historique.....	7
1.1.2	Epidémiologie	11
1.1.3	La prise en charge actuelle des amputés d'avant-bras	12
1.1.3.1	La chirurgie initiale.....	12
1.1.3.2	Les chirurgies secondaires	13
1.1.3.3	L'appareillage.....	14
1.1.3.4	La rééducation	19
1.1.3.4.1	La phase pré-opératoire.....	19
1.1.3.4.2	La phase de cicatrisation et de rééducation pré-prothétique	19
1.1.3.4.3	La phase de rééducation avec la prothèse.....	21
1.1.3.4.4	La réadaptation	23
1.1.3.4.5	Le suivi	24
1.1.3.4.6	L'organisation	24
1.1.4	Conséquences de l'amputation majeure de membre supérieur	25
1.1.4.1	Des déficiences chroniques	25
1.1.4.2	Un appareillage souvent insuffisant	26
1.1.4.3	Des limitations d'activité et restrictions de participation notables	30
1.1.5	Les allogreffes de main : perspective historique.....	33
1.2	Les allogreffes de main	37
1.2.1	Les indications.....	37
1.2.1.1	Type d'amputation.....	37
1.2.1.2	Niveau d'amputation.....	38
1.2.1.3	Expérience d'appareillage et délai depuis l'amputation	38
1.2.1.4	Age du receveur	39
1.2.2	La sélection des candidats	40
1.2.2.1	La prise de contact	40
1.2.2.2	Critères médicaux.....	41
1.2.2.3	Critères immunologiques.....	41
1.2.2.4	Critères chirurgicaux	42
1.2.2.5	Evaluation fonctionnelle.....	42
1.2.2.6	Evaluation sociale.....	42
1.2.2.7	Evaluation psychologique et psychiatrique.....	43
1.2.3	Sélection des donneurs	46
1.2.4	La procédure chirurgicale.....	47
1.2.4.1	Coordination des équipes chirurgicales.....	47
1.2.4.2	Le prélèvement chez le donneur	47
1.2.4.3	La transplantation chez le receveur	47
1.2.5	Les prises en charge préparatoires à la chirurgie.....	49
1.2.6	Les chirurgies secondaires	50
1.2.7	Le traitement immunosuppresseur	50
1.2.8	Les traitements associés.....	51
1.2.9	La rééducation	52
1.2.10	Le suivi médical.....	54
1.2.11	Les résultats médico-chirurgicaux.....	54
1.2.11.1	Expérience mondiale des greffes de main	54
1.2.11.2	Survie des patients et des greffons	54
1.2.11.3	Les épisodes de rejet.....	55
1.2.11.4	Les complications.....	57

2	Revue de la littérature : résultats fonctionnels des allogreffes de main.....	59
2.1	Résultats globaux.....	59
2.1.1	Le score HTSS.....	59
2.1.2	Le questionnaire DASH.....	60
2.1.3	Le test de Carroll.....	61
2.1.4	Le score de Chen.....	61
2.1.5	Le score de Tamai modifié par Ipsen.....	62
2.1.6	L'auto-évaluation.....	62
2.1.7	Le bilan 400 points.....	62
2.1.8	L'Action Research Arm Test.....	63
2.2	Evaluation des déficiences.....	63
2.2.1	Evaluation de la force.....	63
2.2.2	Evaluation de la sensibilité.....	64
2.2.2.1	Sensibilité thermo-algique.....	64
2.2.2.2	Test aux monofilaments de Semmes-Weinstein.....	65
2.2.2.3	Test de discrimination des 2 points.....	66
2.2.2.4	Localisation des stimuli tactiles.....	67
2.2.2.5	Discrimination des textures.....	67
2.2.2.6	Stéréognosie.....	67
2.2.2.7	Autres.....	67
2.2.3	Evaluation des amplitudes de mouvement.....	67
2.2.3.1	Amplitudes articulaires des doigts.....	68
2.2.3.2	Distance pulpe-paume.....	69
2.2.3.3	Indice de Kapanji.....	69
2.2.3.4	Amplitudes du poignet et de l'avant- bras.....	69
2.3	Evaluation des activités.....	70
2.4	Evaluation de la participation : résultats psycho-sociaux.....	71
2.4.1	Activité professionnelle.....	71
2.4.2	Qualité de vie.....	71
2.4.3	Satisfaction.....	71
2.4.4	Aspects psychologiques.....	72
2.5	Evolution temporelle de la récupération.....	74
2.6	Comparaison des résultats entre greffes bilatérales et unilatérales.....	74
2.7	Comparaison des résultats entre greffes proximales et distales.....	75
3	Article.....	76
4	Discussion.....	95
4.1	Enjeux et place des allogreffes de main.....	95
4.1.1	Les alternatives actuelles.....	95
4.1.2	Les alternatives futures.....	96
4.1.3	Perspective économique.....	99
4.1.4	Perspectives de développement des allogreffes de main.....	99
4.1.4.1	Le défi immunologique.....	99
4.1.4.1.1	Développement de nouveaux protocoles immunosuppresseurs.....	100
4.1.4.1.2	Induction d'une tolérance spécifique.....	101
4.1.4.2	Le défi neurologique.....	102
4.2	Allogreffes de main : apport de la cinématique.....	103
5	Conclusions.....	105
6	Bibliographie.....	107

7	Annexes.....	119
	Annexe 1. Synthèse des rapports de cas	119
	Annexe 2. Hand Transplantation Score System.....	140
	Annexe 3. Auto-questionnaire DASH	145
	Annexe 4. Test de Carroll.....	149
	Annexe 5. Score de Chen	153
	Annexe 6. Score de Tamai modifié par Ipsen.....	154
	Annexe 7. Le bilan 400 points	155
	Annexe 8. Action research Arm Test	165
	Annexe 9. Echelle MRC (Medical Research Council) testing musculaire	167
	Annexe 10. Test des monofilaments de Semmes-Weinstein	168
	Annexe 11. Indice de Kapanji.....	169
	Annexe 12. Medical Outcome Study Short form – 36 (MOS SF-36 ou SF-36)	170

Liste des abréviations

ATF	Arrêt transversal de formation
CBOs	Clinician-based outcomes
CMV	Cytomégalovirus
CSB	Co-stimulatory Blockade (bloqueur du signal de co-stimulation)
DASH	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (questionnaire)
DLCO	Capacité de diffusion pulmonaire du monoxyde de carbone
ECG	Electrocardiogramme
EMG	Electromyogramme
HLA	Human Leukocyte Antigen
HTSS	Hand Transplantation Score System
IPD	Inter-phalangienne distale
IPP	Inter-phalangienne proximale
IRHCTT	International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
MCP	Métacarpo-phalangienne
MRC	Medical Research Council
M2PD	Test de discriminations des deux points mobiles
PROs	Patient-reported outcomes
S2PD	Test de discrimination des deux points statiques
TAM	Total Active Motion
TPM	Total Passive Motion
TDM	Tomodensitométrie
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine

1 Introduction

1.1 Les amputations de membre supérieur et leur prise en charge

1.1.1 Historique

L'amputation de membre supérieur, qu'elle soit congénitale ou acquise, a toujours été un problème auquel les hommes ont dû faire face. Les civilisations anciennes portaient habituellement un regard négatif sur les personnes amputées, et l'amputation pouvait être plus redoutée que la mort. Outre le fardeau pour le groupe que pouvait représenter un sujet amputé dans un monde où la survie dépendait principalement des performances physiques, des croyances péjoratives leur étaient généralement associées : malédiction, mauvaise augure, etc. La société aztèque regroupait et confinait ainsi les handicapés (dont les amputés) dans des lieux dédiés de la ville, tant pour éloigner les citoyens de leur maléfice que pour protéger ces sujets de la vindicte populaire. De nombreuses cultures tuaient à la naissance les enfants victimes d'une agénésie de membre. Les anciens égyptiens pensaient que l'amputation n'affectait pas uniquement le sujet pendant sa vie terrestre, mais également dans sa vie après la mort. Le membre amputé était donc enterré, puis était exhumé à la mort du sujet pour être ré-enterré avec lui afin d'assurer l'intégrité dans la vie éternelle (2).

Mais parallèlement à ces croyances et comportements sociaux, des solutions de suppléances ont également été recherchées de tous temps pour restaurer la fonction et l'apparence du membre amputé autant que le sens psycho-social de l'intégrité corporelle. La prothèse la plus ancienne connue à ce jour date de l'Égypte antique (15^{ème} siècle avant JC) : elle a été découverte sur la momie d'un prêtre dont le premier orteil a clairement été amputé et remplacé par une prothèse faite de bois et de cuir (Figure 1). Les premières prothèses fonctionnelles (pilon, crochets) datent probablement de la même époque. D'anciens textes hindous, datés entre -3000 et -1800 avant JC, relatent l'histoire de la reine-guerrière Vishpla qui perdit sa jambe gauche sur le champ de bataille et put retourner au combat grâce à une prothèse en fer.



Figure 1. Prothèse d'orteil en Égypte au 15^{ème} siècle avant JC. Image d'après (155).

L'antiquité gréco-romaine nous a laissé de nombreux exemples de prothèses, tant de membres inférieurs que supérieurs, fabriquées en métal, bois et/ou cuir, y compris des prothèses articulées. La fonctionnalité des prothèses de jambe est attestée par plusieurs textes historiques relatant l'histoire de soldats capables de marcher plusieurs dizaines de kilomètres avec un membre prothétique en bois. Des mains artificielles ont également été créées : les principaux exemples parvenus jusqu'à nous dans la littérature ou en tant que spécimen archéologique sont des mains métalliques destinées à des militaires leur permettant de tenir leur bouclier de leur main amputée (Figure 2).



Figure 2. Prothèses gréco-romaines, dont la main de fer du général Marcus Sergius par laquelle il tenait un petit bouclier rond car il était cavalier (218 avant JC). Images d'après (155) et (3).

Le Moyen-Age voit peu de progrès techniques. Les prothèses ont essentiellement un but fonctionnel, et ne sont pour la plupart que des assemblages très simples de bois, métal et cuir, le tout constituant pour le membre inférieur des pilons n'étant que des béquilles à peine améliorées. Les appareillages du membre supérieur sont rares, le plus souvent sous la forme de crochets. Seuls les plus riches peuvent s'offrir les services d'armuriers et d'orfèvres fabriquant des mains métalliques à visée esthétique et militaire, qui sont de véritables prothèses-armures (Figure 3).



Figure 3. Main artificielle du moyen-âge. Images d'après (3).

L'essor de la médecine occidentale à la Renaissance profite notamment à la chirurgie. Ambroise Paré perfectionne significativement les techniques chirurgicales de prise en charge des blessures en général et des amputations en particulier, en développant de nouvelles méthodes de pansement et en mettant au point la ligature vasculaire pour remplacer la cautérisation. Il améliore ainsi le pronostic des amputations. Il crée également de nouveaux appareillages prothétiques en ajoutant à la structure articulée des mécanismes (ressorts, crémaillères, serrures, etc.) permettant au sujet de mobiliser passivement sa prothèse, dont une main et un bras mécaniques comportant des mécanismes de flexion et extension du coude, pronosupination et fermeture et ouverture des doigts (Figure 4). De nombreux autres chirurgiens de la Renaissance mettent au point diverses prothèses, dont les principes sont toujours utilisés (articulations à verrou, harnais de suspension, etc.). Les premières prothèses « composites » en cuir bouilli, papier collé, etc. sur une armature en métal ou en bois apparaissent à cette période, dont la main en cuir bouilli d'Ambroise Paré, avec un gain supérieur d'esthétisme, de fonctionnalité et de légèreté comparativement aux prothèses armures. Les prothèses se diversifient, et deviennent plus modulables.



Figure 4. Le bras (gauche haut) et la main (droite) mécaniques en fer d'Ambroise Paré (1585), ainsi que sa main en cuir bouilli (gauche bas). Image d'après (4).

La période des Lumières puis la révolution industrielle apportent des progrès techniques améliorant la fonction des prothèses, avec notamment les premiers systèmes de commande active du coude et de la main par des câbles et cordelettes reliés à un corset ou une sangle d'épaule, mais la prise en charge des amputés ne connaît son véritable essor qu'à l'occasion de la première guerre mondiale. Le conflit laisse des millions de jeunes hommes mutilés qu'il faut réhabiliter. La prise en charge rééducative des amputés voit le jour à cette période, basée sur un constat économique simple : en sus de la réparation et de la réinsertion que la nation doit à ses blessés de guerre, ces mutilés (qui sont 400 000 en France à l'issue du conflit) possèdent une capacité de travail dont le pays a besoin dans son effort de redressement, à condition de leur donner les moyens d'exploiter cette capacité. L'idée de la rééducation et de la réinsertion par le travail est avancée, associée aux méthodes de kinésithérapie et physiothérapie qui se développent depuis la fin du 19^{ème} siècle. L'appareillage fait également de nombreux progrès : outre l'invention des emboitures de contact permettant un bien meilleur contrôle de la prothèse et un confort d'utilisation accru, les mécanismes des prothèses mécaniques actives s'améliorent, et de nombreux outils terminaux sont mis au point pour permettre à ces patients la reprise d'un travail agricole ou dans l'industrie (Figure 5).

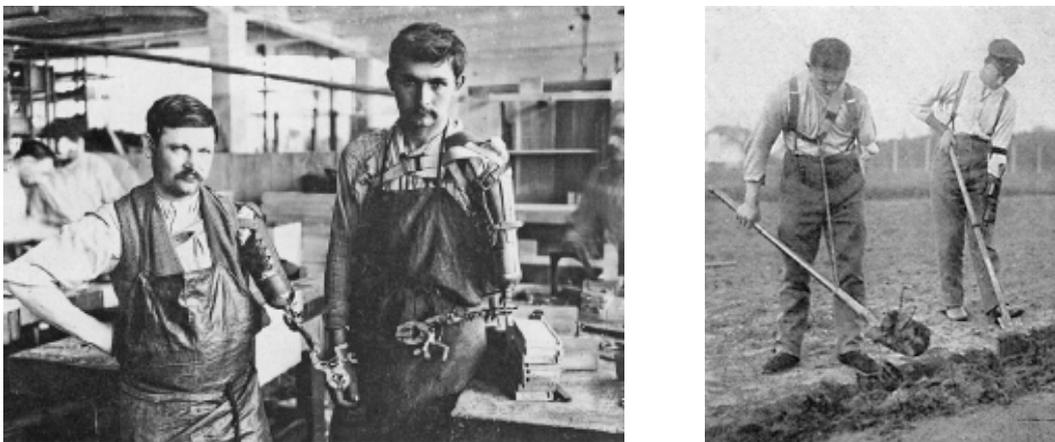


Figure 5. La rééducation professionnelle des invalides de guerre. Images d'après (1,3).

Krunkenberg, chirurgien, développe par ailleurs en 1916 une nouvelle méthode chirurgicale destinée aux amputés de main aveugles. Amené à en prendre en charge des aviateurs dont les deux mains et les yeux ont été carbonisés dans le crash de leur avion, il constate l'impotence totale de ces patients dont la cécité ne permet pas l'usage de prothèses de main puisque le contrôle visuel est indispensable à leur utilisation. Il conçoit alors l'idée de leur reconstruire une pince sensible de préhension à deux branches utilisant le radius et le cubitus libérés de leurs connexions normales ; le radius devient la partie mobile de la pince par transformation de sa pronosupination en adduction-abduction par rapport au cubitus, partie fixe de la pince. Cette pince est recouverte d'un revêtement cutané sensible, et peut reconnaître et saisir avec force des objets dont le diamètre varie de 0 à 9 cm environ. Bien que très inesthétique, l'opération de Krunkenberg est d'un intérêt fonctionnel indéniable, permettant à l'amputé bilatéral aveugle de passer d'une dépendance quasi-totale à l'autonomie dans les gestes élémentaires de la vie quotidienne (Figure 6). Les indications ont ensuite été élargies à certains amputés sans troubles visuels mais qui préféraient utiliser une pince sensible plutôt qu'une prothèse sans sensibilité.



Figure 6. Pince radio-cubitale de Krukenberg. Images d'après (4).



A l'occasion de la seconde guerre mondiale, l'appareillage prothétique prend un nouveau virage. Les pays occidentaux lancent à l'issue du conflit de grands plans de prise en charge des vétérans de guerre blessés, notamment les amputés, et de nombreux programmes de recherche scientifique et industrielle tant publiques que privés sont mis en place pour améliorer les prothèses. Outre ce regain d'intérêt et de moyens, l'appareillage bénéficie des nombreux progrès technologiques réalisés à cette époque dont l'apparition de nouveaux matériaux composites (dérivés du silicone, du plastique, etc.), la miniaturisation mécanique et électrique, le développement de l'électronique et de l'informatique, etc. Les premières prothèses motorisées voient le jour, utilisant d'abord l'énergie pneumatique (1950) puis électrique avec l'apparition des premières prothèses à motorisation électrique et commande myoélectrique en 1953, bien qu'elles n'aient pas été fabriquées en série avant 1965. Le perfectionnement de l'appareillage sera continu par la suite, avec toujours les mêmes objectifs depuis l'antiquité : optimiser l'esthétique et la fonctionnalité (amélioration des amplitudes et des types de mouvement, des systèmes de commande, de l'autonomie énergétique, du confort, etc.) des prothèses. Cet effort se poursuit toujours, avec l'amélioration des prothèses myoélectriques et le développement des premières prothèses bioniques (1-4).

1.1.2 Epidémiologie

Les données épidémiologiques concernant les amputations acquises (anomalies congénitales exclues) de membre supérieur sont rares, souvent anciennes et partielles (données souvent issues des centres d'appareillage, donc excluant les patients non appareillés). A notre connaissance, aucune étude épidémiologique globale n'a été conduite en France sur le sujet au cours des vingt dernières années, mais en extrapolant les données d'une étude menée en Lorraine en 2004-2005 et les données d'autres pays occidentaux, le nombre de nouveaux amputés majeurs du membre supérieur (excluant les amputations de doigt(s)) en 2005 était approximativement de 400 à 450 par an soit une incidence de 0.7 pour 100 000 habitants (5). Au Royaume-Uni en 2004-2005, l'incidence était estimée à 0.5 pour 100 000 habitants (6). La prévalence aux USA en 2005 était estimée à 41 000 cas pour une population de 296 millions d'habitants, soit 13.8 pour 100 000 habitants (7). Une étude norvégienne menée en 2006-2008 retrouvait une prévalence de 11.6 pour 100 000 habitants (8). Extrapolé d'après ces chiffres, le nombre de personnes vivant avec une amputation majeure de membre supérieur acquise serait d'approximativement 8 000 à 8 500 personnes en France.

Avec des variations selon les études, le niveau d'amputation se situe au-dessus du coude dans approximativement 37 % des cas, au niveau du coude ou de l'avant-bras dans 37 % des cas, et au niveau du poignet ou en trans-métacarpien dans 25% des cas. Les amputations bilatérales représentent environ 5 % des patients. Ces amputations de membre supérieur touchent

principalement les hommes, avec un sexe ratio variant de 2 à 5 hommes pour 1 femme selon les études. Cette disparité s'accroît encore pour les amputés bilatéraux, qui ne comptent que 10% de femmes. Les amputations unilatérales peuvent concerner les deux côtés sans préférence pour le membre dominant. L'amputation de membre supérieur survient essentiellement chez de jeunes adultes : l'âge moyen lors de l'amputation varie de 20 à 36 ans selon les études ; dans l'étude norvégienne, l'âge moyen était de 29.6 ans et 75% des patients avait moins de 36 ans lors de l'amputation ; la série anglaise rapporte que l'amputation survenait avant l'âge de 54 ans dans 68% des cas (6,8).

Les étiologies de ces amputations de membre supérieur sont largement dominées par les traumatismes, puisqu'ils sont la cause de 60.7 (étude anglaise) à 84.5 % (études norvégienne et américaine) des amputations unilatérales, et de 90% des amputations bilatérales. Viennent ensuite les causes néoplasiques (6.8 à 12.5 %), les causes infectieuses (6.4 à 7.1 %) et les causes vasculaires (2.3 à 19.5 %). Cette prédominance des traumatismes explique pourquoi les jeunes adultes sont les principales victimes, et la prépondérance masculine reflète la pratique plus fréquente par les hommes que par les femmes d'activités professionnelles ou de loisir à risque d'accident des membres supérieurs. La cause du traumatisme varie en fonction du sexe : les accidents du travail provoquent 46.8% des amputations chez les hommes et seulement 11.8% chez les femmes, alors que les accidents de la route sont en cause dans 41.2 % des amputations féminines contre 9.1 % des amputations masculines (6-8).

1.1.3 La prise en charge actuelle des amputés d'avant-bras

L'amputation majeure de membre supérieur entraîne une perte totale de la fonction de la main et du poignet touchés, à l'origine d'un handicap significatif. Une prise en charge adaptée permettant une réhabilitation fonctionnelle optimale est donc d'une importance cruciale chez ces patients, d'autant plus qu'il s'agit généralement de sujets jeunes et par ailleurs en bonne santé avec devant eux la perspective de nombreuses années de vie productive et de contribution active à la société. Le cas des amputations traumatiques faisant l'objet d'une réimplantation immédiate du membre ne sera pas envisagé ici.

1.1.3.1 La chirurgie initiale

L'amputation est toujours un acte chirurgical, que cette chirurgie se résume à régulariser un moignon dans le cadre d'une amputation traumatique complète, ou qu'elle consiste effectivement en l'ablation à visée vitale ou fonctionnelle d'un membre pathologique (cas des délabrements traumatiques de membre et des autres causes médicales d'amputation).

La technique chirurgicale dépend du niveau d'amputation et de l'état local des tissus. Schématiquement, elle comprend une exérèse et un parage de tous les tissus pathologiques, une section osseuse, des résections nerveuses proximales, des ligatures vasculaires distales, un matelassage musculaire de l'extrémité du moignon pour éviter les lésions cutanées en regard des arêtes osseuses, et une fermeture cutanée en deux valves. La couverture du moignon peut nécessiter des transferts tissulaires (greffe de peau, lambeau libre musculo-cutané, etc.)

La qualité du moignon dépend du niveau d'amputation et de la qualité du revêtement cutané. Le choix du niveau d'amputation dépend bien évidemment du niveau des lésions tissulaires, mais également des possibilités d'appareillage ultérieures, d'où l'importance d'une collaboration dès le départ entre l'équipe chirurgicale et l'équipe rééducative pour choisir le niveau d'amputation le plus approprié.

Concernant les amputations en-dessous du coude, différents niveaux sont envisageables.

La désarticulation radio-carpienne constitue un excellent niveau : le respect des reliefs latéraux des styloïdes radiale et cubitale permet l'accrochage de la prothèse (un moignon mince est préférable), et la pronosupination naturelle est suffisante pour être transmise de façon efficace à la prothèse et donc permettre une pronosupination fonctionnelle de la main prothétique. Le résultat esthétique est en revanche moins bon que dans les amputations distales d'avant-bras, notamment lorsqu'une prothèse myoélectrique est envisagée car l'adaptation de celle-ci se fait souvent au prix d'un allongement du membre appareillé vis-à-vis du membre sain.

Les amputations au tiers distal et moyen de l'avant-bras sont un peu moins favorables sur le plan fonctionnel, mais offrent néanmoins des possibilités intéressantes. Lorsque le moignon d'avant-bras est mince et conserve des reliefs osseux (correctement matelassés toutefois), l'accrochage de la prothèse est possible, mais il peut s'avérer difficile lorsque le moignon a une forme arrondie (le moignon tourne alors dans l'emboiture sans lui transmettre le mouvement, et le maintien en place de la prothèse peut être compromis). La pronosupination résiduelle de l'avant-bras dépend du niveau : plus l'amputation est distale, meilleure est la pronosupination « naturelle », sachant que seule 50 à 70% de la pronosupination est transmise entre le moignon et la prothèse. Lorsque la pronosupination transmise par l'avant-bras à la prothèse est insuffisante pour être fonctionnelle, la mise en place d'un moteur de pronosupination de la main prothétique est souhaitable, mais son encombrement nécessite un raccourcissement d'au moins 7 cm pour les parties molles et 9 cm pour les os par rapport à l'interligne radio-carpien. L'opération de Krukenberg (cf. paragraphe 1.1.1) conserve de très rares indications, notamment en cas de déficience visuelle associée.

Les amputations au tiers proximal de l'avant-bras sont à envisager si un coude fonctionnel et appareillable peut être conservé. Cet impératif implique premièrement de conserver les insertions bicipitales et tricipitales pour garder une flexion et une extension actives de coude. Deuxièmement, la longueur minimale d'un avant-bras appareillable est de 5-6 cm par rapport au pli de flexion du coude. Dans ces amputations proximales, le moignon court ne permet pas l'accrochage de la prothèse uniquement sur l'avant-bras et nécessite un accrochage sus-olécrânien sur les reliefs osseux du coude (olécrâne et épicondyles). La pronosupination ne peut être que prothétique. Les amputations proximales d'avant-bras sans conservation d'un coude suffisant ou les désarticulations de coude sont à éviter, car la mise en place d'un coude prothétique crée alors une asymétrie inesthétique des membres supérieurs. Dans ces situations, les amputations trans-humérales sont préférables (9).

1.1.3.2 Les chirurgies secondaires

A distance de la chirurgie initiale d'amputation, des reprises chirurgicales peuvent s'avérer nécessaires pour améliorer la fonctionnalité du membre. A titre d'exemples, les amputations distales dont la pronosupination naturelle s'avère insuffisante après appareillage peuvent faire l'objet d'un raccourcissement de moignon pour permettre la mise en place d'un moteur de pronosupination dans la prothèse, des lésions cutanées peuvent être une indication à reprendre le matelassage osseux ou la cicatrice du moignon, des névromes douloureux peuvent être retirés (Figure 7) , etc. (9).

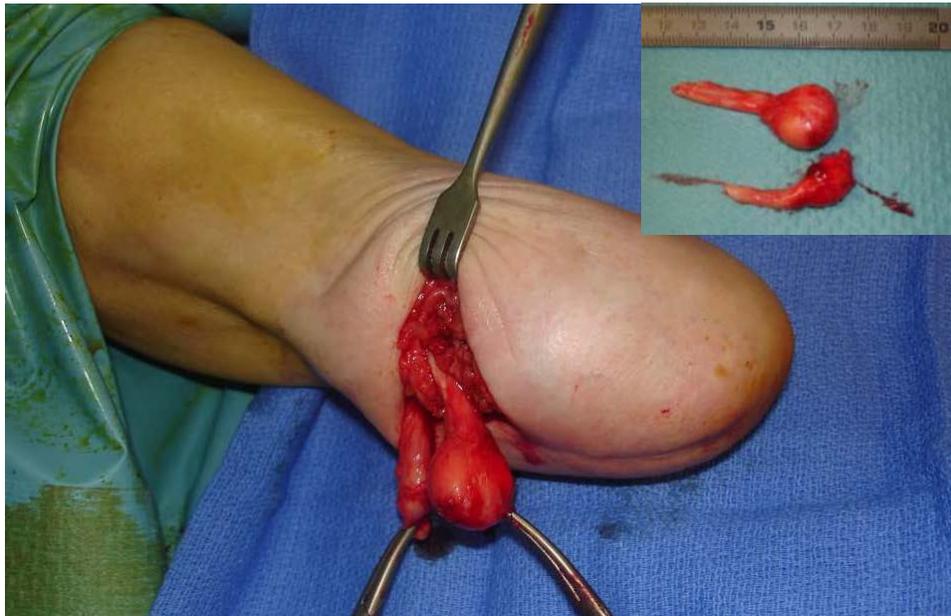


Figure 7. Reprise chirurgicale pour exérèse de névrome. Images d'après (9).

1.1.3.3 L'appareillage

L'appareillage vise à compenser la perte du membre en restaurant l'esthétique et/ou la fonction du membre amputé. Les besoins de compensation varient d'une personne à l'autre en fonction de ses souhaits en matière d'activités et de performances, de ses capacités à les réaliser et de l'environnement dans lequel il évolue : le projet de vie du patient doit donc servir de base au projet d'appareillage. L'appareillage proposé devra répondre aux besoins et attentes du sujet en termes de capacités de préhension dans la vie quotidienne, professionnelle et les loisirs, ainsi qu'en termes de cosmétique et de confort d'utilisation. En fonction de ces demandes et des possibilités techniques compte tenu des particularités anatomo-physiologiques de chacun, une ou plusieurs prothèses seront conçues et adaptées avec les éléments constitutifs appropriés.

On distingue deux principaux types de prothèses : les prothèses esthétiques et les prothèses fonctionnelles. Les prothèses esthétiques ont pour principale fonction de rétablir une certaine intégrité corporelle ; si leur aspect cosmétique est essentiel, ces mains n'ont pas de but préhensile et sont dépourvues d'articulation et de système de commande. A l'opposé, les prothèses fonctionnelles ont pour but de rétablir des capacités de préhension ; bien que certaines prothèses inertes puissent avoir une certaine fonctionnalité en fonction de l'effecteur terminal choisi, la plupart des prothèses fonctionnelles sont équipées d'effecteurs articulés dont le mouvement est commandé par le sujet. La commande peut alors être passive ou active. Les effecteurs passifs, qu'ils soient intermédiaires ou terminaux, doivent être mobilisés par le membre controlatéral ou par une aide extérieure ; un système de blocage permet généralement de verrouiller ensuite l'effecteur dans la position souhaitée. Les effecteurs actifs sont au contraire commandés par l'amputé lui-même sans l'intervention de la main controlatérale. Au sein des prothèses actives, on distingue enfin les prothèses mécaniques (ou automotrices) et les prothèses myoélectriques. Les prothèses mécaniques sont actionnées par des câbles reliés à une sangle mise en place sur l'épaule controlatérale, et dont la tension est réglée par les mouvements de l'épaule. Les prothèses myoélectriques fonctionnent grâce à l'énergie électrique fournie par une batterie rechargeable incluse dans la prothèse et sont commandées par des capteurs myoélectriques. Des électrodes de surface incluses dans l'emboîture sont positionnées au contact de la peau en regard des masses musculaires du moignon. La contraction volontaire et maîtrisée des muscles produit une activité électrique reproductible captée par les électrodes puis traitée par un microprocesseur pour commander les effecteurs.

Une prothèse pour amputation sous le coude est schématiquement composée de trois éléments : une emboiture, un effecteur intermédiaire (« poignet prothétique »), et un effecteur terminal (« main prothétique »).

L'emboiture est la zone d'interface entre le moignon et la prothèse. Elle assure donc à la fois la suspension de la prothèse, et la commande des effecteurs si nécessaire. Les amplitudes articulaires actives résiduelles du coude et de pronosupination doivent être conservées au mieux. Plusieurs modes de suspension sont possibles, mais l'emboiture sera dans tous les cas réalisée sur moulage pour s'adapter au mieux à l'anatomie du moignon. L'accrochage mécanique sur les reliefs osseux est le plus fréquemment utilisé : la peau vient directement au contact de la prothèse dont la forme vient parfaitement épouser celle du moignon et caler les reliefs osseux (styloïdes, olécrâne, épicondyles selon le niveau d'amputation), les contraintes mécaniques sur ces reliefs étant alors suffisantes pour maintenir en place la prothèse et lui transmettre les mouvements de l'avant-bras (Figure 8).



Figure 8. Prothèse pour désarticulation radio-carpienne avec accrochage mécanique sur le styloïdes. Image d'après (9).

Dans les cas plus difficiles, un accrochage par manchon peut être utile. Un manchon souple (en gel de silicone ou autre) est réalisé sur moulage et vient s'interposer entre la peau et l'emboiture. L'adhérence entre la peau et le manchon est réalisée par contact, grâce à son élasticité et son ajustement parfait sur le moignon empêchant toute infiltration d'air entre la peau et le manchon (effet ventouse) et grâce aux propriétés « auto-adhésives » de la matière du manchon. La cohésion entre le manchon et l'emboiture est assurée soit par un système mécanique d'accrochage (attache latérale ou terminale), soit par succion en recouvrant la jonction entre le collet de l'emboiture et le manchon par une gaine souple et étanche prévenant toute infiltration d'air (une valve peut être ajoutée dans l'emboiture pour améliorer l'efficacité de l'effet ventouse) (Figure 9).



Figure 9. Suspension par manchon et gaine. Images d'après (10).



Enfin, un accrochage par sanglage à l'épaule avec une structure remontant sur le bras et une articulation latérale au niveau du coude est parfois encore utilisé, bien que cette option soit actuellement moins répandue grâce aux progrès des matériaux composites permettant un meilleur ajustement des emboîtures et au développement des prothèses myoélectriques (plus besoin de sangle à l'épaule pour assurer la commande, à l'inverse des prothèses mécaniques automotrices à câble) (Figure 10).



Figure 10. Suspension par sanglage. Image d'après (3).

L'effecteur intermédiaire se limite au poignet dans le cadre des amputations d'avant-bras. La flexion et l'extension du poignet n'étant pas indispensables à la fonctionnalité de la prothèse, seule la pronosupination est généralement recherchée, bien que des systèmes de flexion existent. Les prothèses esthétiques et les prothèses mécaniques peuvent contenir un poignet mobile, généralement passif (circumduction passive par cupule à friction, pronosupination passive), bien que l'installation de ces systèmes ne soit pas très fréquente. En revanche, les prothèses myoélectriques sont régulièrement équipées d'un système motorisé de pronosupination du poignet si la pronosupination naturelle résiduelle est insuffisante.

L'effecteur terminal définit en grande partie l'esthétique et la fonctionnalité de la prothèse, et de très nombreux effecteurs sont disponibles en fonction du but recherché. L'outil terminal peut ne pas avoir de but fonctionnel mais purement cosmétique (main esthétique). Si une fonction préhensile est recherchée, le type de préhension doit être précisé : polyvalente ou spécialisée (activité identifiée professionnelle, sportive ou de loisir nécessitant une prise particulière), fine ou en force, monoprise ou multiprise, orientée (pronosupination) ou non, etc. Les capacités de maîtrise de l'outil par le patient doivent aussi être évaluées. Certains effecteurs terminaux inertes ou passifs de type crochet ou anneau peuvent conférer une certaine fonctionnalité à la prothèse. Toutefois la plupart des effecteurs terminaux fonctionnels sont des effecteurs actifs, mécaniques ou myoélectriques. Les instruments mécaniques possèdent habituellement une ouverture active par câble (contrôlée par l'épaule controlatérale) et une fermeture par rappel à ressort (la force de préhension lorsque le patient relâche l'ouverture est donc prédéterminée et fixe). Ils peuvent être morphologiques, reproduisant l'anatomie d'une main avec le plus souvent un bloc index-médium venant en opposition avec le pouce (pince termino-terminale) grâce à des articulations situées au niveau « métacarpo-phalangien » et un gant esthétique recouvrant le mécanisme, ou non morphologiques comme par exemple une pince crochet. Les outils morphologiques ont l'avantage de l'esthétisme, mais les matériaux de recouvrement cosmétiques sont fragiles aux tâches et aux dégâts mécaniques (coupure du matériau, etc.) (Figure 11).



A.



B.

Figure 11. Effecteurs terminaux anatomiques : main mécanique à câble (A), et main myoélectrique (B). Photo d'après (10) et la société Protéor.

A l'inverse, les outils non morphologiques sont généralement plus résistants et donc adaptés à l'activité manuelle. Ils ont également l'avantage d'être plus légers, mais leur aspect est moins acceptable (Figure 12)



Figure 12. Pince crochet mécanique (à gauche), pinces électriques (à droite). Photos d'après (10).

Les mêmes principes s'appliquent aux mains myoélectriques qui peuvent également être morphologiques ou non (Figure 11, Figure 12), mais avec des possibilités de commande accrues comparativement aux mains mécaniques. Selon le modèle, le patient peut ainsi contrôler séparément plusieurs mouvements (ouverture, fermeture, pronosupination, etc.) ainsi que la force et la vitesse de ces mouvements. Les capteurs EMG permettent en effet de traiter plusieurs types de signaux musculaires tels que l'intensité et la vitesse de contraction des fibres musculaires. Par exemple, deux mouvements différents (ex : ouverture et supination) peuvent être commandés avec une seule électrode en fonction du niveau d'activité musculaire capté (électrodes à deux seuils) ; la co-contraction de plusieurs groupes musculaires peut commander des mouvements supplémentaires ; la vitesse ou la force du mouvement peuvent être proportionnelles à l'intensité de la contraction musculaire, ou à la vitesse de contraction et de décontraction musculaire ; etc. Par exemple le mode 4 canaux permet grâce à deux électrodes de commander 4 fonctions (contraction faible du premier groupe musculaire : ouverture de la main ; contraction forte du premier groupe musculaire : supination ; contraction faible du deuxième groupe musculaire : fermeture de la main ; contraction forte du deuxième groupe musculaire : pronation) et d'adapter la vitesse des mouvements à la vitesse de contraction. Certaines mains myoélectriques possèdent des fonctions automatisées échappant au contrôle conscient (capteur de pression permettant de sécuriser la prise, de contrôler le glissement de l'objet saisi, de ne pas écraser les objets fragiles, etc.). Les mains polydigitales autorisent une fermeture séparée des différents doigts pour permettre différents types de prises (Figure 13). Les outils myoélectriques offrent enfin une force de préhension accrue par rapport aux outils mécaniques.

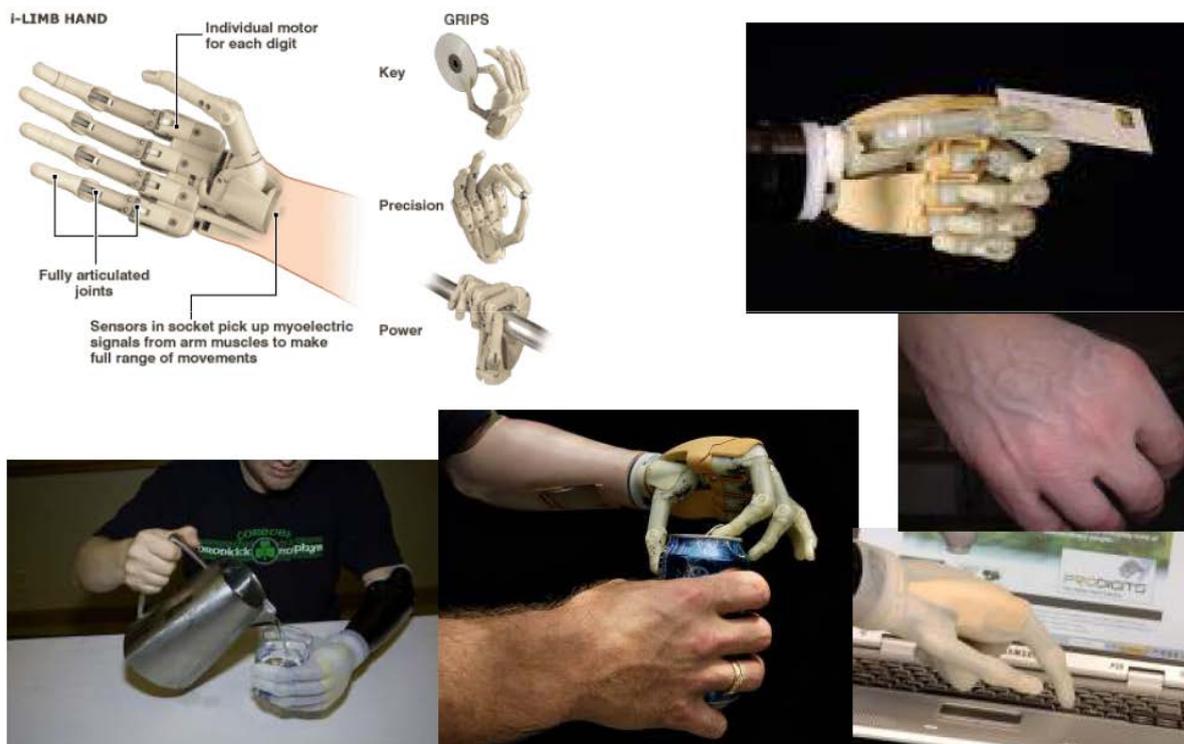


Figure 13. La main électrique polydigitale. Photos d'après (10)

Les mains myoélectriques sont donc plus performantes et plus esthétiques que les mains mécaniques, mais elles présentent d'autres limites : leur maîtrise nécessite un apprentissage souvent plus complexe ; elles sont généralement plus lourdes ; les mécanismes motorisés sont bruyants ; le système est fragile face aux contraintes environnementales (exposition à l'eau, à la

chaleur, aux matériaux gras, corrosifs, tranchants ou salissants) ; les électrodes et processeurs peuvent dysfonctionner, et l'autonomie limitée de leurs batteries (ne dépassant pas une journée d'utilisation) nécessite de les recharger fréquemment. Les prothèses mécaniques ont l'avantage de la fiabilité et de la robustesse, d'un apprentissage plus simple, d'un poids plus léger, d'une utilisation silencieuse et d'un moindre coût (à la fois initial et d'entretien, une prothèse myoélectrique d'avant-bras coutant environ 6 fois plus cher qu'une prothèse mécanique). L'absence de harnais et de câbles constitue un atout esthétique en faveur des prothèses myoélectriques, mais la somesthésie de l'épaule contrôlant une prothèse mécanique offre un feed-back sensitif rudimentaire sur la position de l'effecteur terminal qui fait défaut dans les prothèses myoélectriques.

Lorsque l'effecteur terminal est anatomique (main mécanique ou main myoélectrique), il est généralement recouvert d'un gant visant à améliorer l'aspect esthétique de la main prothétique en imitant la texture et la couleur de la peau. Cette esthétique par recouvrement peut se faire avec (par ordre croissant d'esthétisme) : une teinte homogène de série, une teinte naturelle de série, une teinte personnalisée, ou une teinte et des ongles personnalisés. (3,9-13)

1.1.3.4 La rééducation

Une prise en charge du patient amputé de membre supérieur par une équipe de médecine physique et réadaptation spécialisée est indispensable pour optimiser la récupération fonctionnelle et la réadaptation. Elle doit être la plus précoce possible.

1.1.3.4.1 La phase pré-opératoire

Bien évidemment impossible à mettre en place pour les amputations non programmées réalisées dans le cadre de l'urgence (traumatisme, ischémie aiguë de membre...), la prise en charge rééducative doit débiter dans le cas des amputations programmées avant même la chirurgie afin d'optimiser celle-ci. Le travail peut alors porter selon les besoins du patient sur l'entretien ou la récupération articulaire et/ou musculaire du membre en amont de la zone à amputer et des membres sains, l'amélioration des fonctions cardio-vasculaire et respiratoire et un reconditionnement à l'effort, le choix du niveau d'amputation en collaboration avec l'équipe chirurgicale, les premières réflexions sur l'appareillage ultérieur, l'information ainsi que le soutien psychologique et social du patient (12,13).

1.1.3.4.2 La phase de cicatrisation et de rééducation pré-prothétique

La rééducation permet d'abord d'accompagner la cicatrisation post-chirurgicale des tissus. La qualité de la peau et des tissus sous-jacents étant un des éléments capitaux qui conditionneront les possibilités ultérieures d'appareillage et d'utilisation du membre résiduel, les soignants s'assurent par les moyens appropriés (notamment techniques de pansement, kinésithérapie et ergothérapie, reprise chirurgicale si nécessaire) d'obtenir la meilleure qualité de cicatrice possible afin d'éviter les facteurs défavorables (hypertrophie cicatricielle, brides, etc.).

Dès le réveil, le patient peut également présenter des douleurs du membre résiduel ou du membre fantôme. Il convient de les contrôler par les thérapeutiques médicamenteuses et non médicamenteuses appropriées, qu'il s'agisse de douleurs par excès de nociception dues à la chirurgie ou à ses complications (plaies, infection, etc.) ou de douleurs neuropathiques secondaires à la section des structures nerveuses périphériques (névromes, déafférentation des cortex sensori-moteurs, etc.).

Cette phase précoce a enfin pour but essentiel de préparer le patient à utiliser un appareillage ou son moignon. Cette préparation se décline en trois volets menés simultanément : la préparation physique, la préparation à l'utilisation des effecteurs, la préparation à l'indépendance. Elle repose dans tous les cas sur une prise en charge kinésithérapique et

ergothérapique, mais peut aussi faire intervenir d'autres rééducateurs comme des psychomotriciens ou des psychologues.

La préparation physique a pour but d'améliorer et de stabiliser le moignon sur le plan trophique, de maintenir (ou récupérer) son potentiel musculaire, articulaire et sensitif (Figure 14), et d'assurer un état général satisfaisant.



Figure 14. Travail kinésithérapique du moignon.

Le travail trophique vise essentiellement à réduire l'œdème du moignon, par le port le plus fréquent possible de bandages élastiques compressifs. Des massages de drainage vasculaire et/ou lymphatique peuvent y être associés. Sur le plan musculaire, l'objectif est d'abord d'améliorer la trophicité musculaire du moignon par des techniques de renforcement musculaire. Toutes les méthodes peuvent être utiles, dans le respect de la cicatrisation des tissus : renforcement global du membre résiduel, renforcement analytique (isométrique, concentrique, excentrique) de muscles ou de groupes musculaires, électrostimulation. Le travail musculaire a également pour objectif d'améliorer la perception de la contraction musculaire, par exemple par des techniques de biofeedback, permettant au patient d'individualiser un muscle ou un groupe musculaire au sein d'un schéma moteur global du moignon souvent perturbé, et donc de corriger ce schéma moteur. La problématique à ce stade est de ne pas créer d'automatismes qui s'avéreront gênants pour le futur. Sur le plan articulaire, le but est de maintenir les amplitudes articulaires actives et passives du membre résiduel, ou de les récupérer si une raideur s'est déjà installée (adhérences tissulaires, algodystrophie, périarthrites et capsulites rétractiles, brides rétractiles ou rétractions globales des tissus mous, ossifications ectopiques para-articulaires, etc.). Dans le cas des amputations d'avant-bras, la limitation de la pronosupination est un problème classique, dont la restitution est indispensable afin d'obtenir une pronosupination efficace de la main prothétique puisque seule une partie de l'amplitude résiduelle est transmise par l'interface moignon-emboiture. Ce travail des amplitudes articulaires peut notamment comprendre une installation correcte du patient en dehors des séances de rééducation, des mobilisations passives et des postures manuelles ou instrumentales, des mobilisations actives, des étirements musculaires, des massages anti-adhérences. Sur le plan sensitif, un moignon douloureux et/ou présentant des déficits sensitifs risque de limiter la mise en place et l'utilisation d'une prothèse. Un travail de désensibilisation en cas de douleurs neuropathiques de type dysesthésique (stimulations sensitives par différentes textures, physiothérapie, etc.) et/ou de rééducation tactile et proprioceptive peut donc être entrepris. Enfin sur le plan général, un reconditionnement global à l'effort (travail cardio-vasculaire, respiratoire, musculaire) est proposé si nécessaire, et l'entretien ou la récupération d'un état locomoteur satisfaisant du membre controlatéral et du tronc est assuré par un travail des amplitudes articulaires de l'épaule controlatérale et du rachis, des muscles de la région cervico-scapulaire et thoracique, la prévention des modifications de la statique du rachis cervico-dorsal par un renforcement des érecteurs du rachis et le maintien de l'équilibre de la ceinture scapulaire.

La préparation à l'utilisation des effecteurs comprend des exercices spécifiques d'apprentissage de nouveaux mouvements qui aideront ultérieurement le patient à contrôler une prothèse fonctionnelle. Dans le cas d'une prothèse mécanique, le patient commence à travailler les gestes qui contrôleront sa main et/ou son coude prothétique : ouverture de la main (ou de la pince) par enroulement des épaules et antépulsion de l'épaule valide, blocage-déblocage du coude par abaissement des épaules, etc. Ces exercices sont proposés devant un miroir quadrillé (afin d'éviter les mouvements parasites du tronc et de la tête), puis sans contrôle visuel, puis en situation d'activité. Dans le cas d'une prothèse myoélectrique, l'entraînement vise à objectiver le niveau de contraction musculaire et à améliorer son contrôle (renforcement de la qualité musculaire, dissociation volontaire des muscles sollicités). Les exercices se font sur des appareils d'entraînement de type Myolab® utilisant le biofeedback (enregistrement de l'activité musculaire par une électrode de surface et restitution au sujet sur un écran de la contraction produite), pour faire produire au patient des contractions musculaires volontaires dissociées, des co-contractions, des maintiens à niveau, des oscillations, etc. Cette préparation peut se faire dans différentes positions simulant les positions courantes en activité. A la fin de l'entraînement, le patient doit être capable de contracter et de relâcher à volonté un ou plusieurs muscles, selon un temps et une intensité parfaitement maîtrisés.

La préparation à l'indépendance définit le début de l'apprentissage de l'autonomie sans prothèse dans les actes de la vie quotidienne : travail des activités bi-manuelles avec le(s) moignon(s), travail de re-latéralisation en cas d'amputation unilatérale du côté dominant, adaptation d'aides techniques, développement des mouvements de substitution utilisant les pieds et la bouche pour les amputés bilatéraux, etc. Cette phase qui vise à redonner au patient la plus grande autonomie possible le plus précocement possible permet de préparer la réadaptation sociale, et d'améliorer l'état psychologique des patients (apaisement des angoisses concernant la perte d'autonomie, valorisation des capacités résiduelles, incitation du patient à adopter une attitude active et positive dans sa prise en charge quotidienne après la phase initiale de soins passifs). Cette période post-opératoire précoce est également marquée par les premières confrontations du patient avec son membre amputé et l'altération de son image corporelle. La mise en place de stratégies de coping adaptées, le travail d'acceptation de l'amputation et de reconstruction d'une image corporelle positive de lui-même, parfois compliqué par un trouble anxieux ou un trouble de l'humeur post-traumatique, peuvent nécessiter pour certains patients un accompagnement psychologique ou en psychomotricité (12-14).

1.1.3.4.3 La phase de rééducation avec la prothèse

Dès la phase initiale, l'équipe de rééducation devra poser ou non l'indication d'un appareillage. Bien qu'une prothétisation soit proposée à la majorité des patients dans une optique d'optimisation fonctionnelle, cette question doit faire l'objet d'une réflexion collégiale incluant le patient et prenant en compte la motivation du patient, sa personnalité, et les résultats fonctionnels attendus au vu de la situation clinique.

Si l'option d'un appareillage est retenue, l'étape suivante consiste à choisir le type de prothèse adéquat. De nombreux éléments rentrent en jeu dans ce choix, le projet d'appareillage devant représenter le meilleur compromis possible entre les souhaits du patient et les possibilités techniques. Le projet de vie du patient est le premier élément à prendre en compte : il détermine les objectifs fonctionnels de la prothèse qui varient en fonction du projet de vie personnelle et professionnelle (une prothèse pour quels types d'activités, quels types de prises ?). Les capacités du patient à utiliser les différents types d'appareillage représentent le second élément clé. Elles doivent être appréciées selon la motivation du patient pour cet apprentissage, son niveau intellectuel et son comportement psychomoteur, son âge, ses capacités physiques, ses performances dans le travail préparatoire à l'utilisation des effecteurs. Le choix du type de prothèse dépendra enfin des possibilités médico-techniques d'adaptation

d'un appareillage en fonction du niveau d'amputation, de la qualité du moignon, des comorbidités éventuelles, des habitudes de l'équipe rééducative. Dans tous les cas, l'implication du patient dans le choix de sa prothèse et la promotion dès la phase initiale d'attentes réalistes vis-à-vis des performances de la prothèse sont des éléments cruciaux pour favoriser l'acceptation ultérieure de son appareillage (3,12-14).

Une fois la cicatrisation cutanée acquise, ou du moins la suppression des pansements imposant une surépaisseur notable au membre, et l'œdème post-opératoire contrôlé (relative stabilité du volume du moignon), soit généralement un mois après la chirurgie, une première prothèse, provisoire, peut être réalisée sur moulage. Le travail du maniement de la prothèse et de l'autonomie avec la prothèse débute alors : apprentissage de la mise en place et du retrait de la prothèse, du contrôle des mouvements et des effecteurs, travail proprioceptif (recherche de nouvelles capacités sensibles à partir de la ceinture scapulaire et du moignon via l'emboîture), travail des préhensions mono- et bi-manuelles, travail postural, intégration des prothèses dans le schéma corporel, récupération d'un schéma moteur adéquat, travail des actes de la vie quotidienne et de l'indépendance y compris l'entretien de la prothèse et les soins cutanés du moignon (Figure 15, Figure 16). Parallèlement à cet apprentissage centré sur l'utilisation de l'appareillage, la rééducation entreprise à la phase pré-prothétique se poursuit (travail physique, indépendance sans prothèse). Le projet de réadaptation socio-professionnelle s'affine durant cette phase, en fonction des capacités retrouvées (3,12-14).



Figure 15. Travail des préhensions avec la prothèse. Photos d'après (3).



Figure 16. Ajustement de commandes myoélectriques. Photo d'après l'Institut Régional de Réadaptation de Nancy.

La prothèse provisoire permet de redonner une autonomie précoce au patient alors que l'anatomie du membre résiduel n'est pas entièrement stabilisée (poursuite des modifications anatomiques mineures des tissus sur plusieurs mois) et de vérifier l'adéquation du projet d'appareillage en situation de vie réelle pour le modifier si des éléments nouveaux émergent. Une fois la stabilisation complète du moignon obtenue et le projet d'appareillage finalisé (six à douze mois habituellement), une prothèse définitive est réalisée. Elle est généralement plus performante mais aussi plus coûteuse et parfois moins adaptable à posteriori que la prothèse provisoire (choix des matériaux...), d'où l'importance de la phase d'essai avec la prothèse provisoire pour faire les bons choix (3,12-14).

Le délai optimal entre l'amputation et la première adaptation prothétique reste débattu dans la littérature (délai maximal de 1 à 6 mois selon les auteurs), mais la plupart des auteurs s'accordent à dire que le plus tôt est le mieux. Une rééducation précoce (dans les 3 mois) et spécialisée est plus efficace qu'un entraînement prothétique retardé ou non spécialisé. Des études ont mis en évidence que les patients bénéficiant dans les 30 jours suivant leur amputation d'un appareillage et d'un entraînement adapté montraient plus de succès dans leur réhabilitation, un retour au travail plus précoce et moins de douleurs liées à l'amputation. Ces patients sont également moins susceptibles d'adopter des habitudes uniquement mono-manuelles (3,12-14).

Le cas des bi-amputés est particulier. L'amputation bilatérale induit une incapacité fonctionnelle sévère, et les capacités d'utilisation des prothèses ainsi que l'autonomie ultérieure dépendent fortement du niveau d'amputation. L'amputé des deux avant-bras optera soit pour l'utilisation de prothèses mécaniques à câbles des deux côtés dont le harnachement pourra se faire sans l'aide d'un tiers mais restera complexe, soit pour des prothèses myoélectriques de mise en place plus aisée et de performances souvent supérieures. La rééducation, bien qu'en général nettement plus prolongée, n'est pas plus difficile, mais le niveau de performance et d'indépendance acquis reste inférieur à celui des amputés unilatéraux. L'amputé des deux bras restera dépendant pour la mise en place de son appareillage. Quel que soit le type de prothèse choisi, la rééducation est difficile et n'apporte qu'une indépendance relative, limitée à une partie des activités de la vie quotidienne (3,12-14).

1.1.3.4.4 La réadaptation

Une fois l'autonomie dans les actes essentiels de la vie quotidienne récupérée, la réadaptation joue un rôle majeur dans la reprise des activités et la qualité de vie du patient.

La réadaptation professionnelle dépend de l'âge du patient, de son activité antérieure, du niveau de performance retrouvé, et de sa motivation. Selon les cas, le retour à la vie professionnelle passe souvent par un aménagement du poste de travail ou par un reclassement professionnel assorti si nécessaire d'une nouvelle formation. Selon l'activité, des aménagements spécifiques de l'appareillage peuvent être proposés.

La réadaptation à la conduite automobile est habituellement possible, mais nécessite souvent des aménagements du véhicule, par exemple un système adapté d'ouverture des portières, une boîte automatique, une boule au volant avec commande satellite, une direction par disque podal ou volant adapté (pour les amputés bilatéraux notamment) (Figure 17), etc. L'évaluation des possibilités et des aménagements nécessaires ainsi que l'entraînement à la conduite se font par des auto-écoles spécialisées, souvent intégrées aux centres de rééducation, permettant l'obtention ou la régularisation du permis.



Figure 17. Systèmes de conduite adaptés pour amputés bilatéraux. Photos d'après www.blhhisto.canalblog.com (gauche) et www.charbonnier-paris.com (droite).

La réadaptation sociale, notamment les loisirs, peut justifier une prise en charge réadaptative spécifique avec l'adaptation de l'appareillage et/ou d'aides techniques en fonction des loisirs antérieurs si le patient désire les poursuivre, ou la découverte de nouvelles activités adaptées (Figure 18) (12–14).



Figure 18. Adaptations spécifiques pour les loisirs. Photos d'après l'Association de Défense et d'Etude des Personnes Amputées

1.1.3.4.5 Le suivi

Tous les patients amputés, notamment s'ils sont appareillés, nécessitent un suivi régulier par une équipe de rééducation. L'usure de l'appareillage, l'évolution du projet de vie, le vieillissement physiologique ou pathologique du moignon et du patient en général, ainsi que les progrès techniques en orthoprothésie nécessitent des adaptations à intervalles réguliers de l'appareillage (réparation, modification, renouvellement), et parfois la reprise d'une rééducation. L'appareillage peut également être à l'origine de pathologies spécifiques (problèmes de peau dans l'emboîture, problèmes orthopédiques, etc.) qui justifient une prise en charge par des praticiens spécialisés (12–14).

1.1.3.4.6 L'organisation

Pour être optimale, l'ensemble de la prise en charge rééducative est au mieux menée au sein d'une structure spécialisée regroupant sous un même toit l'ensemble des professionnels

impliqués. L'équipe pluridisciplinaire comprendra notamment des personnels médicaux et paramédicaux (médecins de médecine physique et réadaptation, chirurgiens, psychiatres, personnels de soin, diététiciens, etc.), des orthoprothésistes, des rééducateurs (kinésithérapeutes, ergothérapeutes, psychomotriciens, psychologues, moniteurs d'activités physiques adaptées, moniteurs de conduite, instructeurs professionnels, etc.), et des travailleurs sociaux. La collaboration quotidienne étroite entre tous et l'expérience de l'équipe assure au patient un parcours efficace et coordonné. Après une prise en charge initiale en hospitalisation complète habituellement de quelques semaines ou mois, la fin de la rééducation peut souvent être menée en ambulatoire (hospitalisations intermittentes de type hospitalisation de jour ou de semaine) afin de permettre une transition douce entre la phase de soins aigus et la réintégration du patient dans son environnement et sa communauté. (12–14).

Le coût de cette prise en charge varie bien évidemment selon l'organisation du système de santé et d'assurance maladie de chaque pays, mais de grandes tendances se retrouvent dans la plupart des pays occidentaux. Ainsi, si la prise en charge des soins liés à l'amputation et à la rééducation est généralement assurée, la prise en charge de l'appareillage est souvent plus incomplète et une grande partie des amputés supporte une partie du coût de son appareillage dès que celui-ci dépasse le forfait de prise en charge de l'assurance maladie. La majorité des systèmes de couverture maladie prennent en effet en charge les prothèses qui sont raisonnables et nécessaires pour restaurer une bonne fonction dans les activités de la vie quotidienne et professionnelle (le coût moyen d'appareillage pour une prothèse de membre supérieur est estimé entre 3000 et 8000€ pour une prothèse mécanique, et entre 20000 et 60000€ pour une prothèse électrique). En revanche, tout apport technologique supplémentaire, par exemple pour améliorer l'aspect cosmétique de la prothèse ou pour permettre la pratique d'activités sportives ou de loisir, n'est généralement pas couvert et reste à la charge du patient. Ces prothèses « non indispensables » peuvent améliorer nettement la qualité de vie de certains patients, mais leur acquisition reste dépendante des ressources financières du sujet. Le coût peut également être un obstacle au succès de l'appareillage lorsqu'un patient nécessite plusieurs prothèses pour réaliser efficacement différentes tâches, puisque de nombreux systèmes ne prennent pas en charge les appareillages multiples (14).

1.1.4 Conséquences de l'amputation majeure de membre supérieur

La complexité et la diversité des fonctions assumées par le membre supérieur et la main induisent une multitude de changements physiques et psychosociaux en cas de perte. En plus de la fonction de préhension, la salience de la main dans d'autres champs d'activité tels que la communication, l'affectivité ou la représentation de soi implique après une amputation des altérations profondes du fonctionnement physique, de l'image corporelle, du style de vie, des relations interpersonnelles, du concept de soi et de son équilibre bio-psycho-social. Chacun de ces domaines représente un défi spécifique et significatif, qui n'est souvent que partiellement relevé malgré la réhabilitation et la restauration prothétique, et nombre d'amputés majeurs du membre supérieur souffrent de limitations d'activité et de restrictions de participations persistantes.

1.1.4.1 Des déficiences chroniques

Les amplitudes articulaires actives des membres supérieurs et du rachis cervical restent fréquemment altérées. Seulement 35% environ des amputés ont des amplitudes d'inclinaisons latérales cervicales normales, et près de la moitié ont des amplitudes de rotation cervicale limitée. Concernant le bras, en l'absence de prothèse, seuls 52.6% des amputés ont du côté de l'amputation une amplitude de flexion d'épaule normale et moins de la moitié ont une amplitude correcte de pronation (47.8%) et de supination (39.1%). Ces altérations sont toutefois modérées dans la plupart des cas, puisque pour tous les mouvements précédemment évoqués, le

pourcentage de patients présentant une limitation sévère (amplitude inférieure à 50% de la norme) n'excède pas 20% excepté pour la supination (43.5%). En revanche, ces limitations s'aggravent encore lors du port de la prothèse, et s'y ajoutent en plus dans cette situation des limitations de la flexion et de l'extension du coude (15).

La force musculaire des membres supérieurs est préservée chez la majorité des amputés lorsqu'ils ne portent pas leur prothèse. En revanche, elle diminue significativement avec le port de la prothèse, notamment pour l'abduction d'épaule. Ces limitations surajoutées concernant la force comme les amplitudes articulaires lors du port de la prothèse s'expliquent par le poids de la prothèse et les contraintes mécaniques imposées par le système d'accroche de la prothèse (15).

La douleur reste un problème important chez de nombreux amputés, et peut concerner le membre amputé comme le rachis ou le membre controlatéral. Une étude portant sur une population d'amputés du membre supérieur tous niveaux confondus rapporte la présence de douleurs chez 85% des patients, dont 60% présentant des douleurs du membre fantôme, 46% des douleurs du membre résiduel, 45% des paresthésies, et 10% des douleurs dans une prothèse s'ajustant mal au moignon. Les douleurs dans le membre sain concerneraient 50% des amputés. 42% des patients rapportent que ces douleurs interfèrent avec leur capacité à porter leur prothèse (16,17). Une étude portant sur des amputés proximaux (au niveau du coude et au-dessus) rapporte une fréquence de douleurs du membre fantôme dans 60% des cas, de douleurs du moignon dans 48.3% des cas, de cervicalgies et de dorsalgies hautes dans respectivement 45 et 40% des cas, de douleurs dans le membre controlatéral dans 45% des cas pour l'épaule, 28.3% pour le coude et le poignet, 23.3% pour la main, et de paresthésies suggérant un syndrome du canal carpien dans 26.6% des cas (18). Alors que les douleurs du membre amputé sont en lien direct avec l'amputation, les douleurs rachidiennes et controlatérales s'expliquent généralement par la sur-utilisation du membre sain, et peuvent être aggravées par le port d'une prothèse imposant des contraintes mécaniques supplémentaires à la ceinture scapulaire du fait de son poids, de son système d'accroche ou de son mécanisme de commande. On notera toutefois qu'une étude norvégienne, portant sur un échantillon représentatif de la population des amputés de membre supérieur, ne retrouve pas significativement plus de douleurs musculo-squelettiques chez les amputés que dans son groupe contrôle issus de la population générale (19).

1.1.4.2 Un appareillage souvent insuffisant

Malgré les possibilités de restauration qu'offrent les prothèses, leurs limitations techniques aboutissent à un degré de satisfaction parfois limité des usagers. Pour qu'une prothèse soit acceptée et utilisée par un amputé, elle doit être confortable, utile, fiable et raisonnablement esthétique. Seul 24% à 29% des patients se déclarent très satisfaits de leur prothèse, et un pourcentage non négligeable de patients abandonne totalement son appareillage (17.9% à 43.9% des amputés du membre supérieur selon les études) (11,16,17,20-23).

Parmi ceux qui continuent à l'utiliser, la fréquence et les circonstances d'utilisation ainsi que le temps de port quotidien varient considérablement selon les personnes, allant d'une utilisation permanente à une utilisation très occasionnelle. La fréquence d'utilisation déclarée varie également largement selon les études : 66 % des patients portent leur prothèse moins de la moitié du temps selon Davidson, alors que 70.2 % des patients portent leur prothèse au moins 8h par jour (et 11.1% entre 4 et 8h) pour Ostlie et que le temps moyen de port est d'environ 11h par jour (rang : 1 à 24h) selon Raichle avec une utilisation 24 jours par mois en moyenne (rang : 1 à 31). Les amputés bilatéraux porteraient leurs prothèses plus fréquemment que les amputés unilatéraux (16,20,24). Le type de prothèse n'influence pas la fréquence et la durée de port journalier dans les études les plus robustes méthodologiquement (11,24) bien que certaines études sur des échantillons plus réduits de patients aient pu retrouver un temps d'utilisation

plus importante pour les prothèses cosmétiques (17) ou inversement pour les prothèses fonctionnelles (11). Le taux d'usage des prothèses reste bas dans de nombreuses activités, mais là encore avec des variations assez larges selon les patients et les études. 30% des patients appareillés n'utilisent jamais la fonction de préhension de leur prothèse. Au travail, 35% des patients portent toujours leur prothèse et 40% ne la portent jamais ; 30% d'entre eux la portent en permanence dans leurs activités sociales alors que 50% ne l'utilisent jamais dans cette circonstance ; 48 à 71% ne la portent pas ou peu pour leurs activités de loisir ; 59% ne la portent pas ou rarement à la maison, 65% ne l'utilisent pas ou peu pour les activités domestiques (préparation des repas, etc.), 59% ne l'utilisent pas pour leurs soins d'hygiène, 49% ne l'utilisent pas aux toilettes, et 43 à 80% ne l'utilisent pas ou peu pendant les repas (16,22,24). Les domaines d'activité pour lesquels la prothèse est la plus utilisée (utilisation par au moins 70% des patients appareillés) sont les achats, les tâches ménagères et le travail de bureau. Globalement, les prothèses sont utilisées dans environ la moitié des activités de la vie quotidienne, avec une tendance pour les amputés bilatéraux à utiliser leur prothèse dans plus d'activités que les amputés unilatéraux. Les prothèses sont plus utilisées dans les tâches bi-manuelles que dans les tâches aisément réalisées d'une main, et les patients montrant les meilleures performances uni-manuelles avec leur main saine (comportement de compensation) sont ceux utilisant le moins leurs prothèses. Le membre appareillé adopte donc le rôle fonctionnel du membre non-dominant, utilisé dans les activités bi-manuelles et comme main d'appui et de support. Les prothèses fonctionnelles sont utilisées dans plus d'activités que les prothèses cosmétiques. Il faut noter l'absence de corrélation entre le nombre d'activité pour lequel la prothèse est utilisée et le degré de performance avec la prothèse, l'utilité perçue, la satisfaction avec la prothèse ou le temps de port journalier (24). Un quart des amputés qui choisissent initialement une prothèse fonctionnelle (mécanique ou myoélectrique) l'abandonnent secondairement au profit d'une simple prothèse cosmétique (17). Dans la série d'amputés proximaux de D. Datta et collaborateurs (18), ayant tous fait l'objet d'un processus d'appareillage initialement (dont environ 65% de prothèses esthétiques et 35% de prothèses fonctionnelles) et à 34 ans de suivi en moyenne, 71.6% des patients utilisent toujours régulièrement leur prothèse (et parmi eux 65% l'utilisent plus de 5h par jour), 3% l'utilisent occasionnellement et 25 % l'ont complètement abandonnée. Seulement 76.6% des patients sont satisfaits de l'apparence de leur prothèse. Pourtant, dans le cas de ces amputations proximales, la majorité des patients utilisent leur prothèse essentiellement pour des raisons esthétiques, puisque seulement 15% la trouvent utile au travail, 20% pour leurs loisirs, 25% pour conduire, et que très peu l'utilisent pour leurs soins personnels. K. Ostlie et collaborateurs (24) note toutefois que même chez les amputés proximaux, les prothèses fonctionnelles sont utilisées dans plus d'activités quotidiennes que les prothèses esthétiques. Pris dans leur ensemble, ces chiffres indiquent un apport fonctionnel global assez limité des prothèses, ou du moins un apport significatif uniquement dans certaines tâches assez spécifiques (variables selon les sujets) et non généralisable dans d'autres activités quotidiennes (16,18).

Les caractéristiques des prothèses les plus problématiques pour les patients concernent la sudation dans la prothèse (« inacceptable » pour 55% des patients), le confort du bras (« inacceptable » pour 34% des patients), le confort du harnais (« inacceptable » pour 20% des patients), le poids de la prothèse ; moins fréquemment cités à travers les études, certains auteurs pointent également les limitations dans la fonction (notamment les limitations d'amplitude de mouvement), l'apparence et les difficultés de maintenance des prothèses (ennuis de batteries, de câble, de détérioration rapide du gant de recouvrement, etc.) comme étant problématiques. Seuls 64% des sujets sont satisfaits de leur outil terminal. Interrogés spécifiquement sur les prothèses myoélectriques, environ 30% des patients jugent la forme de la main ou l'apparence du crochet « inacceptable », et certaines études identifient également le bruit et la vitesse de fermeture insuffisante de la pince comme des désagréments pour les usagers (11,16,17,20).

En dépit des limites qui viennent d'être décrites et même si un faible pourcentage seulement de patients est suffisamment content de sa prothèse pour s'en dire « très satisfait », la plupart des patients reconnaissent un mérite certain à leur appareillage. 82.2% des amputés utilisant une prothèse se déclarent globalement satisfaits de leur prothèse principale, et 90.3% la jugent utile, sans différence en fonction du type de prothèse. Le profil d'utilité varie cependant selon le type de prothèse : alors que toutes les prothèses sont jugées utiles à l'école, au travail, pour améliorer l'apparence (à condition d'utiliser un outil terminal anatomique pour les prothèses fonctionnelles) et en tant que main d'appoint, seules les prothèses mécaniques et myoélectriques sont jugées utiles dans de nombreuses activités de la vie quotidienne telles que prendre des objets, préparer un repas ou mener à bien des activités extérieures physiquement exigeantes (ex : pelleter de la neige, couper du bois). Le contraste entre ces différences de capacité à l'échelle des activités et l'absence de différence dans la fréquence d'utilisation, l'utilité globale perçue et la satisfaction générale selon le type de prothèse reflète des besoins et des préférences extrêmement individualisés d'un amputé à l'autre (11,24).

Les caractéristiques cliniques et démographiques des patients associées au degré d'usage prothétique sont difficiles à identifier : divers déterminants tels qu'un niveau d'amputation proximal ou très distal (au-dessus du coude ou sous le poignet), la perte de la main non dominante, un délai prolongé entre l'amputation et l'appareillage, l'étiologie de l'amputation, la présence de douleurs, une rééducation insuffisante, l'âge élevé, un faible niveau d'éducation, l'absence d'activité professionnelle, l'absence d'acceptation de l'amputation, la dépression, le statut marital (célibat) ou la non perception du coût des prothèses ont ainsi été évoqués par certains auteurs comme des facteurs pouvant influencer négativement le niveau d'usage des prothèses, mais avec des résultats souvent non reproductibles voire contradictoires d'une étude à l'autre. L'hétérogénéité des populations et des critères analysés entre les études, les faibles effectifs et les biais de sélection peuvent expliquer cette inconstance. Un usage plus important des prothèses chez les amputés distaux comparativement aux amputés proximaux a été retrouvé dans plusieurs études, mais pas dans toutes. En revanche il semble assez clair que les amputés bilatéraux tendent à utiliser plus leurs prothèses que les amputés unilatéraux, suggérant un plus grand bénéfice fonctionnel des prothèses chez ces patients incapables de compenser la perte d'une main par l'utilisation de l'autre (11,14,16,17,20,22,24).

Selon une étude portant sur un échantillon représentatif de la population globale des amputés en Norvège, chaque amputé possède en moyenne 2.5 prothèses que l'amputation soit uni ou bilatérale, bien que ce chiffre varie significativement d'un patient à l'autre (de une à sept prothèses différentes pour chaque patient). Lorsque les patients possèdent plusieurs prothèses, il s'agit généralement de prothèses de différents types (combinaison de prothèses mécaniques et prothèses myoélectriques le plus souvent). Il n'est toutefois pas rare qu'un patient possède plus d'une prothèse de même type (esthétique ou mécanique ou myoélectrique), avec un outil terminal identique ou différent de l'une à l'autre selon les patients (24). La prothèse n'étant pas la prothèse principale est portée tous les jours chez un quart des patients, et moins souvent chez les trois-quarts restants. Ces données soulignent la faible polyvalence des prothèses, les sujets étant obligés de changer de prothèse en fonction des activités réalisées, et peuvent également refléter la nécessité de posséder des prothèses « de secours » en cas de défaillance technique de la prothèse principale. La prothèse la plus fréquemment portée est une prothèse esthétique pour 25% des patients, une prothèse mécanique pour 32% des patients, une prothèse myoélectrique pour 37% des patients et une prothèse hybride mécanique-myoélectrique pour 4% des patients. Les mains sont l'outil terminal le plus fréquent pour les prothèses myoélectriques alors que les prothèses mécaniques sont majoritairement équipées d'une pince crochet (24). Notons toutefois sur ces sujets que des chiffres assez discordants peuvent être retrouvés d'une étude à l'autre : pour une étude menée dans un centre d'appareillage anglais et un centre suédois, seuls 28% des patients possédaient au moins 2 prothèses, et les prothèses esthétiques constituaient la prothèse principale de 60% des patients, suivi par les prothèses myoélectriques pour 27% et les autres types de prothèses pour 13% (11). Ces discordances avec l'étude norvégienne

s'expliquent probablement en grande partie par une moins bonne qualité méthodologique, l'échantillon de patients anglo-suédois étant beaucoup moins exhaustif et représentatif de la population globale des amputés que dans l'étude norvégienne, mais elles peuvent aussi refléter des différences réelles de pratiques d'un pays à l'autre et d'une équipe d'appareillage à l'autre au sein d'un même pays en fonction des contextes socio-culturel et économique locaux.

Signe supplémentaire de l'insuffisance fonctionnelle des prothèses, 90% des amputés utilisent en plus de leur(s) prothèse(s) au moins une autre aide technique dans la réalisation de certaines tâches quotidiennes, tels que des supports antidérapants, des ustensiles de cuisine électriques ou adaptés (éplucheur, trancheur, ouvre-bocal...), des couverts adaptés (couteau-fourchette), etc. Les patients recourant le plus à ce type d'aides techniques sont les patients les moins performants avec leur prothèse et ceux utilisant leur prothèse dans le moins d'activités (24).

Plus de 55% des patients requièrent un ajustement de leur matériel au moins une fois par an, et 22.4% plus de quatre fois par an. Ces déplacements fréquents pour se rendre chez leur orthoprothésiste qui peut être éloigné de leur domicile selon leur lieu de vie représentent une contrainte supplémentaire pour les patients (24).

Parmi les patients qui délaissent complètement l'appareillage, l'abandon est généralement expliqué par un inconfort (ex : sudation excessive) ou des douleurs dans la prothèse, le poids de celle-ci, l'absence de bénéfice fonctionnel et/ou l'esthétique pauvre. L'apport fonctionnel insuffisant peut recouvrir des possibilités intrinsèques limitées de la prothèse et/ou des difficultés à contrôler celle-ci et/ou des compensations fonctionnelles suffisantes par le membre sain. Bien que ce motif soit rarement au premier plan, le manque de fiabilité de la prothèse (fragilité, autonomie des batteries, etc.) et son coût (selon les systèmes d'assurance maladie) jouent également un rôle pour certains. Dans tous les cas, les patients qui rejettent leur appareillage sont ceux considérant que les bénéfices apportés par la prothèse sont insuffisants pour contrebalancer les désagréments induits par son usage (16,18,21-23). Ces abandons surviennent le plus souvent après un certain temps d'usage de l'appareillage (abandon secondaire), les abandons primaires (patient n'ayant jamais utilisé d'appareillage) ne concernant qu'une minorité de patients (environ 4%) (11,21). Les causes des abandons primaires sont très peu décrites dans la littérature. Sur une série de 10 patients, K. Ostlie (21) rapporte que les prothèses disponibles ne répondaient pas aux attentes du sujet pour 3 patients, que 2 patients ne ressentaient pas le besoin d'être appareillé, qu'un patient n'a pas pu être appareillé pour des raisons médicales, et que l'abandon primaire des 4 derniers patients était lié à des « raisons autres ». Les patients plus âgés (âge supérieur à 60 ans) et les amputés proximaux semblent plus exposés à l'abandon primaire que les amputés jeunes et/ou distaux. Les abandons secondaires surviennent en moyenne 6.7 ans après l'adaptation de la première prothèse. Il n'y a pas de différence significative dans la fréquence des rejets en fonction du type de prothèse (cosmétique ou mécanique ou myoélectrique, type d'outil terminal), et la plupart des patients essayent plusieurs types de prothèse avant de délaisser totalement leur appareillage. Les amputés proximaux et ceux conservant des raideurs d'épaule sont les plus à risques d'abandon secondaire (6.2 à 29 % de rejets pour les amputés transradiaux, 27.5 à 57 % pour les amputés au-dessus du coude avec des rejets toujours plus fréquents pour les amputations proximales que distales quelle que soit l'étude) ; les femmes seraient également plus concernées selon Ostlie et Bidiss (4.6 à 6.8 fois plus d'abandon chez les femmes que chez les hommes), mais pas selon Wright. Ostlie en 2012 et Bidiss en 2007 ne retrouvent pas de différence significative dans le taux d'abandon primaire ou secondaire entre les amputés unilatéraux et les amputés bilatéraux, alors que Wright en 1995 note des abandons beaucoup moins fréquents chez les amputés bilatéraux. Bidiss note également que les amputés bilatéraux sont significativement moins satisfaits que les amputés unilatéraux concernant leur expérience avec les services de santé (adaptation prothétique, rééducation, suivi, réparation, information). Le degré d'implication perçu par le patient dans le choix de sa première prothèse apparaît

également comme un facteur déterminant dans l'acceptation ou le rejet de la prothèse : les patients qui continuent à utiliser leur appareillage estiment généralement avoir été fortement impliqués dans son choix, alors que ceux qui l'abandonnent jugent au contraire avoir peu participé au choix de la prothèse qui leur a été confectionnée. Un appareillage précoce suivant l'amputation favorise enfin l'acceptation de la prothèse dans la plupart des études, mais le délai maximal recommandé entre l'amputation et le premier appareillage reste débattu dans la littérature (de 1 à 6 mois selon les auteurs) (11,14,17,21-23). D'autres facteurs psycho-sociaux peuvent également favoriser l'abandon tels que des réactions négatives de l'entourage familial et socio-professionnel, une estime de soi basse, un défaut d'acceptation du handicap, des attentes irréalistes concernant les fonctions de la prothèse, et une mauvaise expérience initiale avec l'appareillage (11,14).

1.1.4.3 Des limitations d'activité et restrictions de participation notables

La majorité des amputés de membre supérieur récupèrent un niveau de performance et d'autonomie élevé au quotidien, y compris dans les activités impliquant l'utilisation des membres supérieurs. K. Ostlie a par exemple testé les capacités d'amputés dans une soixantaine d'activités de la vie quotidienne nécessitant l'usage des membres supérieurs, avec un score moyen de 3.7/4 (4 étant le meilleur score possible) ce qui peut sembler très satisfaisant (24). Toutefois, avec ou sans prothèse, de nombreuses activités de la vie quotidienne restent impossibles ou difficiles à accomplir pour un amputé de membre supérieur. Lorsqu'ils sont testés ou interrogés sur leurs capacités dans divers actes quotidiens, les amputés sont en difficulté et expriment une grande insatisfaction pour les activités bi-manuelles comme « cuisiner », « faire la vaisselle », « utiliser un couteau et une fourchette », « éplucher des légumes », « faire ses lacets », « attacher un collier », « boutonner les manches d'une chemise », « se couper les ongles », « porter un plateau », « planter un clou avec un marteau », « rebrancher une prise », « porter plusieurs paquets à la fois », et seulement 28% se déclarent globalement satisfaits de leurs capacités (16,24). Ces difficultés dans les activités du quotidien sont encore majorées pour les amputés bilatéraux comparés aux amputés unilatéraux (score de 2.87/4 pour les amputés bilatéraux contre 3.75/4 pour les amputés unilatéraux dans l'évaluation de K. Ostlie) (24). Les amputés proximaux sont également moins performants que les amputés distaux (11).

Le questionnaire DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) est un questionnaire d'auto-évaluation par le patient portant sur les symptômes et la capacité fonctionnelle globale des deux membres supérieurs (cf. paragraphe 2.1.2 pour une description plus détaillée). Le résultat est exprimé sous la forme d'un score allant de 0 à 100, le score étant d'autant plus élevé que l'incapacité liée aux membres supérieurs est sévère. Une étude menée sur une population représentative d'amputés majeurs de membre supérieur à distance de leur amputation retrouve un score DASH moyen de 22.1/100 chez les amputés unilatéraux (intervalle de confiance à 95% : 19.8-24.5), et 35.7/100 chez les amputés bilatéraux (IC95% : 23.0-48.4). Les items pour lesquels la gêne est la plus sévère portent sur les activités bimanuelles, comme les travaux domestiques ou diverses activités quotidiennes (soins personnels par exemple) et de loisirs, et ce d'autant plus que l'amputation est bilatérale. Aucun des deux groupes ne rapporte d'incapacité majeure concernant les transports, les activités sociales, le travail, la vie sexuelle. L'estime de soi est modérément affectée. La fonction des membres supérieurs est jugée meilleure par les patients ayant un emploi rémunéré, et ceux dont les délais post-amputation sont plus longs. Elle est jugée moins bonne chez ceux ayant les amplitudes de mouvement actif de l'épaule les plus altérées. Chez les amputés unilatéraux, la fonction des membres supérieurs ne semble pas varier en fonction du côté amputé (dominant ou non dominant), du niveau d'amputation, de l'usage ou non d'une prothèse ni du type de prothèse pour les prothèses fonctionnelles (11,15).

L'impact de l'amputation sur les activités de loisirs varie selon les études. 38% des patients ne reprennent pas au moins un de leur(s) loisir(s) antérieur(s) selon Wright, alors que pour Davidson ces loisirs sont relativement préservés, puisque selon l'activité considérée, seulement 5 à 20% des amputés sont obligés de les abandonner (16,22). Indépendamment du type d'activité pratiquée, K. Ostlie ne relève pas de différence significative concernant l'exercice d'une activité physique régulière entre les amputés et la population générale (19).

La grande majorité des amputés qui conduisaient avant l'amputation reprennent la conduite, mais avec des aménagements de véhicule pour la plupart (dont 92% avec une boîte automatique, et 73% avec des modifications du volant) (16).

Il n'y a pas de différence significative entre les amputés et la population générale concernant le support social ou le statut conjugal (19).

L'amputation de membre supérieur peut être une source de difficulté d'accès ou de maintien dans l'emploi. D'après l'étude norvégienne de K.Ostlie et collaborateurs (8,19), sur une population globale d'amputés majeurs du membre supérieur, seulement 54% environ des personnes d'âge actif ont une activité professionnelle rémunérée (ou sont étudiants), alors qu'elles sont 90% dans le groupe contrôle issu de la population générale. 32.1% des amputés de membre supérieur sont jugés inaptes au travail et perçoivent une pension liée au handicap, contre 4.7% de la population générale. Une étude australienne et une étude américaine retrouvent des chiffres similaires, avec respectivement 56% et 59% des patients d'âge actif ayant une activité professionnelle (16,20). Wright souligne par ailleurs que ces chiffres s'expliquent à la fois par des problèmes de retour à l'emploi et des difficultés à se maintenir dans l'activité professionnelle : dans sa série d'amputés en dessous du coude, 75% des patients travaillent après leur amputation (dont 68% en changeant d'emploi), mais seulement 60% maintiennent à distance une activité professionnelle (22). Les séries portant uniquement sur des amputés au-dessus du coude rapportent des données encore moins satisfaisantes concernant l'emploi des amputés : seulement 43 à 45.4% des patients d'âge actif ont un emploi, bien que 68 à 73.2 % des patients aient repris une activité professionnelle après l'amputation, indiquant un taux d'échec important de ces retours au travail. De plus 6.6% seulement ont pu reprendre leur ancien emploi alors que les 66.6% restants ont dû changer de travail (18,22). Citant la littérature, K. Ostlie, D. Datta et J. Davidson confirment que 70 à 90% des amputés de membre supérieur (tous niveaux confondus) reprennent un travail après leur amputation, mais que la proportion d'amputés qui conservent une activité professionnelle à long terme chute entre 40 et 75 % selon les études, et qu'environ 70% doivent changer d'emploi. Le retour au travail est d'autant plus difficile que le niveau éducatif de base de la personne amputée est faible : ces patients avaient souvent un travail manuel qu'ils ne peuvent pas reprendre après l'amputation (seul 3% des patients parviennent à reprendre un travail manuel peu qualifié), et leur reconversion vers des emplois moins exigeants physiquement est compliquée car il s'agit généralement d'emplois plus qualifiés donc difficilement accessibles pour eux. A l'inverse, les personnes qui avaient un emploi plus intellectuel ont moins de difficulté à retourner à leur métier d'origine puisque celui-ci nécessite souvent moins d'habileté manuelle, et leur niveau plus élevé de formation initiale augmente les possibilités de reclassement si celui-ci s'avère nécessaire. Si la personne était sans emploi avant son amputation, l'accès au marché du travail s'avère particulièrement difficile après l'amputation. Les patients âgés de plus de 50 ans et les femmes ont également plus de difficultés à trouver un emploi après l'amputation que les patients plus jeunes et ceux de sexe masculin. Les conséquences de l'amputation sur la vie professionnelle sont associées à divers facteurs, comme le niveau d'amputation, les douleurs, la fonction des membres supérieurs et l'usage d'une prothèse (taux d'emploi supérieur pour les amputés distaux, non douloureux, ayant une bonne fonction des membres supérieurs et utilisant une prothèse). Les relations entre la fonction des membres supérieurs (avec ou sans prothèse) et le retour à l'emploi sont toutefois complexes à interpréter, notamment lorsque cette fonction est évaluée de manière subjective par le patient comme dans le questionnaire DASH. Si de

meilleures capacités fonctionnelles facilitent évidemment l'accès à diverses activités professionnelles, il est aussi connu que le fait de travailler apporte de nombreux bénéfices sur la santé y compris une meilleure estime de soi et une amélioration de la satisfaction de vie : ces facteurs peuvent à leur tour influencer positivement l'évaluation par le sujet de la fonction de ses membres supérieurs (11,15,16,18,22).

L'amputation de membre supérieur est également un facteur de risque psychologique, notamment concernant la dépression. B.D. Darnall et collaborateurs en 2005 aux Etats-Unis (25), ainsi que D.M. Desmond en 2007 au Royaume-Uni (26), ont ainsi montré que le taux de dépression était au moins trois fois plus élevé chez les amputés majeurs de membre supérieur que dans la population générale. Parmi une population de vétérans de l'armée ayant subi une amputation traumatique au moins 5 ans auparavant, Desmond a mis en évidence que 28.3% des sujets présentaient des signes cliniques de dépression. Darnall a obtenu des résultats similaires avec une prévalence de symptômes dépressifs de 32% chez des amputés vivant à domicile, contre un taux estimé entre 3.6 et 10.6% dans la population générale. Bien que légèrement plus faible, le taux de dépression était également notable dans la population d'amputés proximaux de D. Datta (18.9%). A noter toutefois, l'étude norvégienne ne retrouvait pas de différence aussi nette mais seulement une tendance non significative des patients amputés à présenter plus de signes de dépression que la population générale, mais dans un contexte de puissance statistique faible compte-tenu de nombreuses données manquantes (19). Parmi les amputés, Desmond relève que ceux présentant un trouble de l'humeur sont principalement ceux ayant développé des stratégies de coping inadaptées, de type stratégie d'évitement. Le risque de trouble anxieux ne semble en revanche pas augmenté suite à l'amputation, la même étude n'ayant pas retrouvé une fréquence plus élevée des symptômes d'anxiété dans son échantillon (35.5%) que dans la population générale, et l'étude norvégienne n'ayant pas mis en évidence de différence significative entre ses deux groupes.

Enfin, l'amputation provoque une altération de la qualité de vie dans de nombreux cas. K. Ostlie et collaborateurs (19) ont ainsi observé des scores de satisfaction de vie (définie comme une mesure globale de la qualité de vie d'une personne selon ses propres critères) significativement moins bons chez les amputés de membre supérieur que dans la population générale, cette baisse s'expliquant principalement par la détérioration de l'employabilité et par la survenue de problèmes de santé relatifs à l'amputation (incluant diverses plaintes concernant le moignon, la sur-utilisation du membre sain controlatéral et les séquelles autres que l'amputation du polytraumatisme initial ayant provoqué l'amputation). D'autres études citées par Ostlie rapportent une baisse de la satisfaction de vie chez les amputés présentant des douleurs (douleurs du membre fantôme, du membre résiduel, etc.). Les études portant sur la qualité de vie relative à la santé, mesurée selon des critères imposés par l'examineur comme dans l'Indice de santé perceptuelle de Nottingham (*Nottingham Health Profile*), montrent également un impact fort de l'amputation de membre supérieur, notamment dans les domaines de la mobilité, de la douleur et de l'énergie, alors que les domaines du sommeil, des réactions émotionnelles et de l'isolement social sont moins affectés (27).

Compte tenu des déficiences, limitations d'activités et restrictions de participations précédemment décrites à la suite d'une amputation uni ou bilatérale de membre supérieur, on comprend que certains patients ne s'accommodent pas de leur état d'amputation malgré les meilleures prises en charges rééducatives et d'appareillage possibles, et souhaitent se tourner avec leurs soignants vers une autre option thérapeutique. Plutôt que des prothèses dont les performances sont encore loin d'égaliser celles de la nature, la greffe de main apparaît alors intuitivement comme une solution prometteuse, au-delà des défis médico-chirurgicaux et éthiques colossaux qu'elle représente.

1.1.5 Les allogreffes de main : perspective historique

Le désir de remplacer un organe ou un membre défectueux ou absent grâce à une transplantation est aussi vieux que la pathologie et le handicap humains. Nous en voulons pour preuve les chimères traversant les mythes et légendes de nombreuses civilisations antiques, que ce soit par greffe à l'homme de parties du corps prélevées chez l'animal ou chez un autre être humain. On évoquera par exemple la mythologie égyptienne et son dieu Horus à tête de faucon, la mythologie Hindoue relatant l'histoire de Ganesha auquel on aurait greffé une tête d'éléphant, la mythologie grecque dans laquelle Persée vainc Méduse grâce à l'œil unique des trois sœurs Grées qu'elles se passent de l'une à l'autre (Figure 19), les sirènes des mythologies scandinaves, etc.



Figure 19. Persée rendant leur œil aux Grées, par Johann Heinrich Füssli.

Les récits de transplantation sont aussi bien présents dans la culture chrétienne : plusieurs passages de la bible évoquent des miracles relatifs à la réimplantation ou à la transplantation de membre. Le plus emblématique reste « le miracle de la jambe noire » des frères médecins Saint Côme et Saint Damien qui remplacèrent la jambe gangrénée d'un sacristain par celle d'un Maure décédé (Figure 20), mais on peut également évoquer Saint Antoine de Padoue ressoudant le pied d'un mutilé ou Saint Pierre remettant en place les seins arrachés par les romains de Sainte Agathe ;



Figure 20. Greffe d'une jambe par St Côme et St Damien, par Fra Angelico.

Les premières tentatives réelles de greffes par les médecins sont probablement tout aussi anciennes. Des textes indiens font état de greffes de nez (amputés sur des criminels) aux alentours de 800 ans avant JC, et des écrits chinois relatent des tentatives de transplantation cardiaque au 3^{ème} siècle avant JC. Mais les succès n'existaient que dans les légendes ou les mystifications historiques jusqu'à il y a peu.

L'ère moderne de la chirurgie de transplantation débute en 1905 : Zim prouve avec la première greffe réussie de cornée que des allotransplantations sont réalisables. L'essor de la chirurgie vasculaire au début du 20^{ème} siècle, suite aux travaux d'Alexis Carrel, ouvre la voie à de nombreux travaux expérimentaux chez l'animal et chez l'homme en allotransplantation d'organe et de tissus composites. L'allotransplantation se définit par le transfert de greffons prélevés chez un sujet donneur et revascularisés chez un sujet receveur, que ces greffons soient monotissulaires (allogreffe d'organe) ou pluritissulaires (allogreffe de tissus composites). Dès 1906, Jaboulay et Carrel tentent de greffer des reins de porcs ou de chèvres chez des patientes atteintes d'insuffisance rénale, se soldant en quelques jours par la mort des receveuses. En 1908, Carrel réalise une allotransplantation orthotopique de membre chez le chien ; Guthrie expérimentera par la suite une allotransplantation hétérotopique d'une tête de chien, marquée par une certaine récupération fonctionnelle (paupières et salivation). En chirurgie clinique, les progrès techniques successifs permettent la naissance de la chirurgie reconstructrice, la greffe apparaissant comme une solution théorique idéale pour remplacer des tissus manquants par des tissus identiques. Padgett en 1932 puis Brown en 1937 réalisent les premières greffes de peau sans rejet chez des jumeaux homozygotes, démontrant la faisabilité de la technique. Mais sorties du cas particulier des jumeaux homozygotes, les allogreffes se heurtent toujours au phénomène du rejet, identifié depuis longtemps chez l'homme comme chez l'animal bien que son origine reste à l'époque inconnue. Brown décrit l'utilisation des allogreffes de peau comme méthode de couverture provisoire des pertes de substances tissulaires étendues, notamment chez les brûlés. La seconde guerre mondiale entraîne le développement à grande échelle de cette technique. Confrontées à un grand nombre de marins et de pilotes de la Royal Air Force victimes de brûlures graves, les autorités de santé britanniques créent une unité de traitement des grands brûlés à l'Infirmierie Royale de Glasgow. Les prises en charge par allogreffe de peau y offrent l'opportunité de nouvelles recherches concernant le phénomène de rejet. Gibson et Medawar, respectivement chirurgien plasticien et biologiste attachés à ce centre, identifient alors le rejet comme un phénomène immunologique en 1943. En 1951, Billingham, Brent et Medawar mettent en évidence la notion de tolérance immunologique naturelle et acquise, ouvrant la voie à l'espoir de surmonter l'obstacle du rejet dans les allogreffes et relançant l'intérêt des cliniciens pour les greffes d'organes (les travaux de Medawar sur l'immunologie de la transplantation lui vaudront le prix Nobel de médecine en 1960).

Après l'échec en 1952 de la première allogreffe de rein entre une mère et son fils par Michon et Hamburger (s'étant soldée par un rejet aigu et le décès par insuffisance rénale du patient 21 jours plus tard), Murray et collaborateurs réussissent en 1954, après des expérimentations animales sur le chien, la première isogreffe de rein entre des jumeaux homozygotes, puis en 1959 la première allogreffe de rein entre des jumeaux dizygotes en utilisant l'irradiation corps entier (ces succès seront couronnés par le prix Nobel de médecine en 1990) : l'ère de la transplantation d'organes s'ouvre. La première allogreffe réussie n'impliquant pas des donneurs et receveurs apparentés, qui est aussi la première allotransplantation de tissus composites, est menée à bien par Peacock en 1957 : il transplante en bloc un appareil tendineux fléchisseur des doigts (tendons, gaines, poulies et vaisseaux) issu d'un donneur cadavérique. Suite au premier succès de 1957, une quarantaine d'opérations similaires sont réalisées, avec plus de 70% de réussite malgré l'absence d'immunosuppression grâce à la faible immunogénicité des tissus tendineux (l'antigénicité varie selon les tissus, la peau étant considérée comme le tissu le plus immunogène et sujet aux rejets). Mais en dehors des exploits médico-chirurgicaux qu'ils représentent, ces succès ne sont permis que par des situations immunologiques très particulières qui confinent les transplantations à l'anecdote jusqu'à la révolution de l'immunosuppression thérapeutique.

La découverte par Dausset (récompensé par le prix Nobel de médecine en 1980) du complexe majeur d'histocompatibilité en 1958 permet de préciser la notion de compatibilité entre donneur et receveur. En 1959, une étude de Schwarz et Dameshek chez le lapin utilisant la mercaptopurine, un inhibiteur de la production d'anticorps, permet pour la première fois d'obtenir une tolérance immunologique pharmacologiquement induite. En 1960-1961, la prolongation expérimentale chez l'animal de la survie des transplants rénaux grâce à la mercaptopurine (Zukoski et Calne) puis à son précurseur l'azathioprine (Hitching et Elion) est démontrée. En 1962, Murray et Calne introduisent l'azathioprine et les stéroïdes en pratique clinique dans la transplantation rénale : les traitements immunosuppresseurs sont nés, la survie des allogreffons est désormais possible.

L'apparition de ces immunosuppresseurs permet une véritable explosion quantitative et qualitative des transplantations d'organe. Les greffes rénales sont bientôt suivies par les premières transplantations hépatiques (1963), pulmonaires (1963), pancréatiques (1966), cardiaques (1967), et de moelle osseuse (1968). Les allotransplantations de tissus composites n'échappent pas à l'intérêt général suscité par l'introduction de l'azathioprine, et Gilbert tente en Equateur la première allotransplantation de main en 1964. L'opération est un succès technique, mais l'immunosuppression par azathioprine et prednisone ne suffit à prévenir le rejet aigu de la main greffée qui doit être ré-amputée trois semaines plus tard. Cet échec, complété par divers travaux chez l'animal, amène à la conclusion que la peau et les structures tissulaires recouvertes de peau sont des structures trop antigéniques pour autoriser la transplantation. Les allotransplantations de tissus composites sombrent alors dans l'oubli pendant plusieurs décennies, alors même que les progrès techniques chirurgicaux permettent l'émergence des réimplantations pour la prise en charge des amputations traumatiques de membre supérieur : Malt et Mc Khan accomplissent avec succès la première réimplantation de bras en 1962, suivis en 1964 par Chen pour la première réimplantation microchirurgicale de main. Ces précurseurs posent ainsi les bases de la chirurgie de transfert de membre supérieur, qui s'appliqueront ultérieurement tout aussi bien à la transplantation qu'à la réimplantation de mains : bases techniques, contraintes, récupération fonctionnelle prolongée mais de qualité appréciable, nécessité d'une sélection rigoureuse des indications, principaux facteurs pronostiques (mécanisme traumatique, niveau d'amputation, durée d'ischémie, âge et implication du patient dans la rééducation). La réimplantation constitue par la suite un domaine moteur dans le développement de la microchirurgie.

Les années 1970, 1980 et 1990 sont marquées par l'introduction de nouvelles molécules immunosuppressives (dont les inhibiteurs de la calcineurine, parmi lesquels le tacrolimus

apparu en 1989), et par la mise au point de protocoles immunosuppresseurs plus efficaces et mieux tolérés. Ces avancées immunologiques relancent l'intérêt pour les allotransplantations de tissus composites, et les succès expérimentaux chez l'animal conduisent à de nouvelles tentatives chez l'homme. Il s'agit dans tous les cas de transplantation sans élément cutané, le plus à risque de rejet. En 1988 et 1989, l'équipe de Guimberteau renouvelle les transferts d'appareils fléchisseurs digitaux complets vascularisés, complétant les travaux de Peacock, avec de bons résultats. Compte tenu de la faible antigénicité des structures tendineuses, le rejet est efficacement prévenu grâce à un traitement immunosuppresseur à faible dose et bien toléré qui peut être interrompu au bout de six mois. En 1990, Chiron et collaborateurs réalisent la première allogreffe revascularisée de diaphyse fémorale chez l'humain. L'équipe allemande de Hoffman et Kirschner réalise ensuite entre 1994 et 1998 plusieurs allotransplantations vascularisées de tissus ostéo-articulaires (trois diaphyses fémorales et cinq articulations complètes du genou incluant l'appareil extenseur), avec un traitement immunosuppresseur maintenu pendant quelques mois jusqu'à consolidation osseuse. Les résultats fonctionnels à long terme sont encourageants chez quatre patients sur huit, tant sur le plan de l'intégration osseuse du greffon que de la récupération fonctionnelle du genou, mais les quatre autres cas échouent à cause d'infections. De 1988 à 1998, une équipe américaine menée par MacKinnon réalise une série d'allogreffes de nerfs périphériques chez sept victimes de traumatismes délabrants des membres avec perte de substance étendue des nerfs. Il s'agit de greffons d'interposition non vascularisés, visant à guider la repousse neuronale. Le traitement immunosuppresseur est maintenu sans complication significative jusqu'à l'obtention d'une régénération nerveuse d'aval (12 à 26 mois). Un greffon est perdu par rejet aigu complet à quatre mois post-opératoires, mais la récupération sensitivo-motrice est satisfaisante chez les autres cas. Parallèlement aux travaux de MacKinnon, la compréhension des phénomènes de régénération nerveuse et les moyens de l'améliorer, notamment par les inhibiteurs de la calcineurine, font l'objet d'une recherche expérimentale intensive dans les années 1990. La découverte de l'effet pro-régénératif du tacrolimus fait espérer une récupération nerveuse meilleure et plus rapide, et devient un élément décisif pour le développement des allotransplantations de tissus composites (cf. paragraphe 4.1.4.2 pour détails).

L'idée des allotransplantations totales de membre bénéficie du même regain d'intérêt suscité par les progrès de l'immunosuppression, ainsi que des avancées précédentes concernant les greffes tendineuses, ostéo-articulaires et nerveuses. De nouveaux modèles expérimentaux sont testés avec succès chez le rongeur, et encouragent la réalisation de modèles précliniques chez le gros animal, notamment le porc immunologiquement proche de l'homme avec de bons résultats. Les débats sur la faisabilité et la justification d'une transplantation de membre supérieur chez l'homme sont relancés. En novembre 1997, le premier symposium international sur l'allogreffe de main depuis l'échec équatorien (Figure 21), rapidement suivie par l'équipe de Louisville qui entreprend la deuxième transplantation en janvier 1999, et par l'équipe de Guangzhou (Chine) qui greffe deux patients en septembre 1999. En janvier 2000, l'équipe lyonnaise mène à bien la première allotransplantation bilatérale de main, réitérée à Innsbruck (Autriche) et Guangzhou en mars et septembre de la même année. Les résultats précoces de ces tentatives sont couronnés de succès sur le plan immunologique et fonctionnel : l'ère de l'allogreffe de main a débuté. De nombreuses équipes de par le monde emboîtent le pas de ces pionniers par la suite et jusqu'à aujourd'hui, accroissant chaque année l'expérience mondiale qui compte actuellement plus de 83 mains greffées (cf. paragraphe 1.2.11.1) (28-30).



Figure 21. Le premier receveur d'une allogreffe de main réussie. Photo : Associated Press.

1.2 Les allogreffes de main

1.2.1 Les indications

1.2.1.1 Type d'amputation

Les allogreffes de main ont pour l'instant été réservées à la prise en charge des amputés adultes uni ou bilatéraux et dont l'amputation est d'origine traumatique ou résultant d'une nécrose distale dans le cadre d'un choc septique. Les causes tumorales et infectieuses locales sont des contre-indications compte-tenu des risques de complication oncologique et infectieuse du traitement immunosuppresseur. Les causes congénitales (une fois atteint l'âge adulte uniquement) et les autres causes médicales possibles n'ont pour l'instant pas été rapportées dans les allogreffes réalisées, mais certaines équipes ont annoncé au grand public être prêtes à recevoir des candidats dans cette situation. Le mécanisme lésionnel responsable de l'amputation influence le pronostic. Les amputations nettes de type « guillotine » sont plus favorables que les mécanismes par écrasement, avulsion ou brûlure dans lesquels les tissus du membre résiduel sont souvent plus endommagés (31). Tous les mécanismes lésionnels traumatiques peuvent cependant être considérés pour une transplantation. Il faut noter que l'amputation peut s'entendre au sens fonctionnel du terme, bien qu'étant une réalité anatomique dans la majorité des cas : un patient a ainsi reçu une transplantation bilatérale alors qu'il possédait encore ses mains, mais celles-ci n'étaient plus fonctionnelles suite à une brûlure grave (32) ; ceci a d'ailleurs permis le maintien de tendons et de nerfs plus longs et de meilleure qualité que chez un amputé « classique ». Plusieurs cas de greffe au tiers-distal de l'avant-bras ont également été décrits chez des patients présentant une amputation partielle de la main, trans-carpienne ou trans-métacarpienne, parfois avec la persistance de quelques doigts, mais dans tous les cas avec une fonction inexistante ou excessivement pauvre de la main (33,34).

Toutes les équipes actuelles retiennent les amputations bilatérales comme indication. Le but majeur de la procédure est alors fonctionnel, la restauration de la fonction des mains devant permettre au patient de retrouver son autonomie dans les actes de la vie quotidienne et donc d'améliorer sa qualité de vie.

Dans le cas des amputations unilatérales, le gain fonctionnel potentiel semble moins évident car en dépit des difficultés persistantes déjà évoquées (cf. paragraphe 1.1.4.3), une grande part du déficit fonctionnel peut tout de même être compensé par le membre sain restant et une prothèse, a fortiori si le membre restant est le membre initialement dominant du patient. Les études sur les capacités fonctionnelles des amputés de membre supérieur confirment les

meilleures performances en cas d'amputation unilatérale (24). Dans ces conditions, certaines équipes jugent le rapport bénéfice-risque insuffisant pour retenir les amputations unilatérales comme indication. D'autres équipes estiment qu'en plus du bénéfice fonctionnel qui reste non négligeable même dans les greffes unilatérales, d'autres bénéfices potentiels doivent être pris en compte et qui peuvent faire pencher pour certains patients la balance bénéfice-risque en faveur de la greffe. L'image corporelle a pris une place prépondérante dans nos sociétés d'une part, et est devenue de plus en plus normée et standardisée d'autre part. Il est donc plus difficile de vivre avec un défaut physique, de supporter les difficultés psychologiques associées et de surmonter le désavantage qu'il peut représenter en termes d'intégration sociale. Les écarts de l'image corporelle par rapport à l'image idéale véhiculée par les normes sociales et sociétales actuelles peuvent alors représenter chez certains individus un fardeau psycho-social extrêmement lourd à l'origine d'une souffrance profonde altérant la qualité de vie. Chez les patients qui ne parviennent pas à faire face au traumatisme que représente la perte d'une main et à se reconstruire une image corporelle et une estime de soi satisfaisante, la restauration par la transplantation de l'intégrité corporelle peut permettre de réparer cette image. L'amélioration du bien-être psycho-social offre alors un gain important de qualité de vie (35). Toutefois, l'objectif fonctionnel doit rester l'une des cibles prioritaires des greffes et les indications de transplantations unilatérales ont par conséquent essentiellement été posées dans des cas d'amputation de la main dominante. Un seul cas de greffe a été rapporté chez un patient amputé unilatéralement de sa main non dominante (36).

1.2.1.2 Niveau d'amputation

Les amputations distales (au niveau de la main, du poignet ou du tiers inférieur de l'avant-bras) sont considérées comme les plus favorables car elles permettent de conserver la plus grande longueur de tissus en provenance du receveur : préservation de tous les muscles extrinsèques de la main et distance de repousse nerveuse nécessaire réduite entre le moignon et l'extrémité des doigts, laissant présager un meilleur pronostic fonctionnel (31). Les premières transplantations de main ont donc été réalisées au niveau du tiers-distal de l'avant-bras. Leurs résultats satisfaisants ont ensuite encouragé les équipes à réaliser des greffes de plus en plus proximales, d'abord au tiers médian puis à la partie inférieure du tiers proximal avec un certain degré de réparation des corps musculaires des muscles extrinsèques de la main, et enfin des greffes complètes d'avant-bras avec transfert de l'intégralité des masses musculaires extrinsèques du donneur (37). Tous les niveaux d'amputation sous le coude sont actuellement considérés comme des indications recevables. Les amputations au-dessus du coude sont hors du champ de ce travail et ne seront pas détaillées.

1.2.1.3 Expérience d'appareillage et délai depuis l'amputation

Compte tenu des risques importants liés à la transplantation, la plupart des équipes de transplantation réservent les allogreffes aux amputés pour lesquels un appareillage prothétique n'apporte pas de solution satisfaisante de compensation (échec des tentatives d'appareillage malgré l'essai de différentes alternatives prothétiques, ou utilisation de prothèses mais avec un résultat jugé insuffisant par le patient), et chez qui la greffe représente donc la dernière réponse possible. Pour chaque patient, un programme d'appareillage et de rééducation doit donc avoir été tenté avec de la bonne volonté de la part du patient, et mené au terme des possibilités techniques actuelles avant d'envisager une allogreffe. De plus, le moignon doit être dans des conditions chirurgicales optimales qui impliquent d'avoir laissé passer la phase post-amputation précoce : cicatrisation complète des tissus, disparition des phénomènes inflammatoires, certitude d'absence de phénomènes infectieux potentiels. Pour s'assurer que le temps nécessaire a été consacré au processus d'appareillage et que le moignon est totalement cicatrisé et stabilisé, certains centres ont fixé un délai minimal entre l'amputation et l'inclusion dans le programme de transplantation, généralement de 6 mois (38,39). Il faut toutefois noter que certaines greffes ont

été réalisées très précocement (2 mois) après l'amputation en Chine (40), laissant supposer que dans ces cas les tentatives d'appareillage ont été limitées si ce n'est absentes.

Il n'existe aucun critère de délai maximal entre l'amputation et la greffe.

1.2.1.4 Age du receveur

Les allogreffes ne sont proposées qu'à des sujets majeurs pour plusieurs motifs. D'abord pour des raisons légales, cette procédure étant encore strictement encadrée par les réglementations de la recherche clinique dans la plupart des pays ; deuxièmement car les risques de complications liées au traitement immunosuppresseur au long cours rendent le rapport bénéfice-risque défavorable en cas de procédure non vitale chez l'enfant (risque oncologique et métabolique plus élevé que chez l'adulte, dont des risques sur la croissance) ; troisièmement car l'absence de données sur les résultats à long et très long terme de l'allogreffe rendent aléatoire son intérêt chez un très jeune sujet : si le membre greffé doit être ré-amputé ultérieurement en cas de nécessité impérieuse d'arrêter le traitement immunosuppresseur ou en cas de rejet chronique du greffon (la durée de vie moyenne des greffons est d'environ 15 ans dans le cas des greffes rénales, elle est inconnue pour les greffes de mains), les conséquences fonctionnelles et psychologiques risquent d'être beaucoup plus dévastatrices que ne l'auraient été celles de l'amputation initiale car les jeunes enfants s'adaptent mieux que les adolescents ou les adultes à cette situation ; enfin et surtout parce qu'il est communément admis qu'un enfant ou un adolescent ne possède pas la maturité suffisante pour prendre une décision éclairée face à ce type de procédure (41). En revanche, de nombreux cas de transplantation des mains concernent des patients greffés à l'âge adulte mais ayant été amputés durant leur enfance ou leur adolescence.

La limite supérieure d'âge pour être admis dans un programme de transplantation varie selon les centres entre 40 ans (38) et 69 ans (39), le risque de complications liées à l'immunosuppression étant jugé trop important au-delà.

La question des allotransplantations de main a également été posée chez les enfants agénésiques, c'est-à-dire présentant une absence congénitale de l'extrémité distale du membre supérieur (arrêt transversale de formation ou ATF), anomalie généralement isolée et unilatérale (42). Les sujets présentant une absence congénitale unilatérale de membre ont un potentiel d'adaptation majeur permettant une très grande autonomie dans les actes de la vie quotidienne, bien meilleure que celle observée chez les amputés adultes. L'ATF unilatéral jusqu'au quart supérieur d'avant-bras n'est d'ailleurs pas ou peu invalidante fonctionnellement pour les enfants, qui présentent un niveau d'indépendance standard pour leur âge. Les difficultés psychologiques liées à l'image corporelle dans les relations sociales sont en revanche fréquentes mais d'importance variable, notamment à l'adolescence. Les risques importants du traitement immunosuppresseur chez le jeune enfant ont déjà été soulignés, et comme précédemment la diminution des capacités d'adaptation fonctionnelle et psychologique avec l'âge font que la perte du membre greffé aurait des conséquences bien plus néfastes que son absence congénitale. Dans ces conditions, l'allogreffe des nouveau-nés agénésiques ne pourrait s'envisager que dans le cadre d'une tolérance immunologique qui supprimerait le risque de rejet et la nécessité d'une immunosuppression. Des travaux expérimentaux prometteurs font évoquer la possibilité d'obtenir cette tolérance compte tenu des spécificités du système immunitaire immature du nouveau-né (42). Mais même si cette tolérance immunologique devait un jour être obtenue, la greffe des nouveau-nés soulève de nombreuses questions. Sur le plan éthique et psychologique, l'impossibilité d'obtenir un consentement de l'enfant interroge sur son acceptation future de l'allogreffe et sa réaction au fait d'avoir une main « étrangère », décision prise pour lui et sans son accord. La question du donneur se pose également, puisqu'il ne pourrait s'agir que d'un nouveau-né en réanimation présentant une pathologie incompatible avec sa survie, mais des membres supérieurs normaux : la difficulté de la situation vécue par des parents dévastés par

l'annonce du décès inévitable de leur nouveau-né à qui l'on proposerait de prélever les mains ne doit pas être sous-estimée. Sur le plan technique, la greffe d'un membre sain sur un moignon hypoplasique (le développement anormal du membre résiduel en amont de l'arrêt de formation est systématique) poserait de sérieux défis chirurgicaux ; une partie pourrait être résolue par le prélèvement d'une plus grande longueur de tissu sain chez le donneur, mais la possibilité d'un échec de la transplantation doit toujours être envisagé et implique donc un raccourcissement minimal du membre résiduel pour ne pas grever le pronostic fonctionnel en cas de ré-amputation. Enfin sur le plan neurocognitif, l'intégration du membre allogreffé reste hypothétique : l'absence de l'organe cible durant le développement fœtal peut entraîner un sous-développement de sa représentation corticale mais également médullaire, et les nerfs périphériques hypoplasiques du moignon peuvent contenir un nombre d'axones suffisant pour assurer la fonction sensitivo-motrice d'un membre hypoplasique mais qui pourrait ne pas suffire à la réinnervation de l'allogreffe ; l'importante plasticité du système nerveux du nouveau-né est toutefois rassurante quant à l'intégration du nouveau membre (42). Pour toutes ces raisons, un seul cas pédiatrique d'allotransplantation de membre supérieur a été annoncé dans la presse, pratiqué à Kuala-Lumpur en 2000 sur une enfant de 28 jours présentant une agénésie trans-humérale et ayant reçu le bras de sa sœur jumelle monozygote qui présentait une lésion cérébrale incompatible avec la vie (43). Les deux enfants partageant le même patrimoine génétique et donc le même système immunitaire, aucune immunosuppression n'est nécessaire dans ce cas très particulier. Les résultats fonctionnels 5 mois après la chirurgie semblaient encourageants (157), les résultats à long terme n'ont pas été publiés.

1.2.2 La sélection des candidats

La sélection des futurs receveurs d'une allogreffe de main est un long processus visant à s'assurer qu'au-delà de la pertinence de l'indication selon les arguments définis ci-dessus, tous les critères médicaux, chirurgicaux, fonctionnels, psychologiques et sociaux sont réunis pour optimiser les chances de réussite de la procédure (39). Les candidats potentiels vont durant ce parcours rencontrer à de multiples reprises les membres de l'équipe de transplantation et être soumis à de nombreux examens cliniques et paracliniques. Chacune de ces étapes représente pour l'équipe soignante un temps de collecte d'informations sur le patient, et pour ce dernier une occasion d'être informé sur la transplantation, ses objectifs, ses risques et ses contraintes, et permet donc à chacune des parties de mûrir sa décision finale de procéder ou non à la transplantation. Ce processus est volontairement lent pour laisser à l'équipe mais surtout au patient le temps de la réflexion, nécessaire à une décision éclairée compte tenu de la lourdeur de ses conséquences. A chaque étape, l'équipe de transplantation ou le patient peut décider de poursuivre le processus de sélection, de récuser définitivement l'option de la greffe, ou de suspendre temporairement la décision s'il se présente une situation susceptible d'évoluer et d'apporter ultérieurement de nouveaux éléments en faveur ou non de la chirurgie.

1.2.2.1 La prise de contact

Les équipes à la recherche de candidats communiquent les informations nécessaires auprès du grand public via les médias (généralistes ou spécialisés type réseaux de patients), ainsi qu'auprès de la communauté médicale. C'est alors au patient amputé et à la recherche d'une solution alternative à l'appareillage de rechercher les informations accessibles au grand public concernant la greffe puis de prendre contact avec l'équipe de transplantation, apportant ainsi une première preuve de sa motivation et de sa capacité à être acteur de sa prise en charge. Si ce premier contact confirme que le patient est un candidat potentiel, il entre alors dans le processus de sélection qui va vérifier tous les critères d'inclusion et d'exclusion suivants.

1.2.2.2 Critères médicaux

Cette étape vise à s'assurer de l'absence de contre-indications à une opération chirurgicale lourde et surtout à un traitement immunosuppresseur au long cours. L'état de santé physique du patient va donc être évalué en détail à la recherche de toute pathologie associée ou intercurrente à l'amputation, avec un intérêt particulier pour les pathologies infectieuses, néoplasiques ou métaboliques. Cette évaluation est menée grâce à de multiples consultations spécialisées, associées aux examens paracliniques adaptés.

Le patient va ainsi bénéficier d'une évaluation infectiologique (dont sérologie cytomégalovirus, Epstein-Barr virus, herpes simplex virus, virus varicelle-zona, toxoplasmose, virus de l'immunodéficience humaine, Virus T-lymphotrophique humain, hépatite B, hépatite C, syphilis, recherche de tuberculose), pneumologique (dont radiographie pulmonaire et épreuve fonctionnelle respiratoire avec DLCO), cardiologique (dont ECG et échographie cardiaque), néphrologique, dentaire, gastro-entéro-hépatologique (dont échographie ou scanner abdominal, coloscopie, oesogastroduodénoscopie), hématologique, nutritionnelle, ophtalmologique, oto-rhino-laryngologique (dont radiographie des sinus), gynécologique pour les femmes et urologique pour les hommes.

Les principales contre-indications pouvant être retenue à ce stade sont (39) :

- Une pathologie incompatible avec l'immunosuppression au long cours : pathologie oncologique évolutive ou guérie depuis moins de 10 ans (5 ans pour certaines équipes), certaines infections chroniques (dont VIH et hépatite C) ou aiguës actives (dont tuberculose et toxoplasmose), déficit immunitaire préexistant, insuffisance rénale ou hépatique, diabète ou anomalie lipidique ou hyper-tension mal contrôlés, risque cardio-vasculaire élevé, etc.

- Une pathologie susceptible de compromettre la chirurgie ou la cicatrisation cutanée : coagulopathie ou autre pathologie hématologique, pathologie du collagène, pathologie du tissu conjonctif, etc.

- Une pathologie susceptible de compromettre le résultat fonctionnel (notamment la repousse nerveuse, la consolidation osseuse ou la cicatrisation musculo-tendineuse) : neuropathie, rhumatisme inflammatoire, amylose, pathologie osseuse métabolique ou génétique, lipopolysaccharidose, etc.

- Une grossesse en cours.

Le patient sera fortement incité à stopper tout tabagisme si besoin.

1.2.2.3 Critères immunologiques

Le patient est soumis à une évaluation immunologique dont le résultat permettra la sélection d'un donneur adéquat : Groupage sanguin et typage HLA. On recherche également la présence d'anticorps anti-HLA (*Panel Reactive Antibodies*) et anti-peau qui peuvent être présents chez des patients immunisés par des transfusions sanguines ou des grossesses. Si le patient n'est pas immunisé, une simple compatibilité sanguine est suffisante. En cas d'immunisation, on établit une carte des antigènes compatibles que l'on croise avec la carte des antigènes du donneur potentiel (cross-match virtuel). Dans tous les cas, un cross-match lymphocytaire réel est effectué lorsque le donneur potentiel a été identifié (prélèvement d'un ganglion sur le donneur mis en contact avec le sérum du receveur), pour éliminer une immunisation HLA spécifique du receveur contre les antigènes du donneur (39,44). Vu la rareté des donneurs, il n'est pas tenu compte des groupes HLA entre donneur et receveur, et les receveurs ont pour l'instant présenté entre 3/6 et 6/6 mismatches HLA avec les donneurs. Bien que le petit nombre de patients ayant bénéficié d'une greffe de main ne permettent pas de tirer de conclusion fiable

sur l'influence du nombre de mismatches HLA, il n'y a actuellement pas d'argument en faveur de meilleurs résultats pour les greffes présentant une meilleure compatibilité HLA (45); la situation idéale mais improbable et pour l'instant jamais atteinte (excepté dans le cas très particulier des transplantations entre enfants jumeaux monozygotes) d'une compatibilité HLA totale permettrait probablement d'alléger les protocoles d'immunosuppression (46,47).

1.2.2.4 Critères chirurgicaux

Cette étape apprécie la faisabilité technique de la transplantation, permet la mise au point du protocole chirurgical et tente d'anticiper les résultats fonctionnels que l'on peut espérer en fonction des difficultés techniques prévisibles. Elle comprend une analyse anatomique aussi précise que possible de tous les composants du membre résiduel :

- qualité de l'os : radiographies bilatérales du moignon et de l'avant-bras, du coude, du bras et de l'épaule, TDM et/ou IRM du moignon ;
- qualité de l'arbre vasculaire artériel et veineux : échographie-doppler et angiographie du membre ;
- qualité des muscles, des tendons et de l'innervation : échographie, TDM et/ou IRM des parties molles, électro-neuro-myogramme.

Des imageries fonctionnelles encéphaliques sont parfois pratiquées (IRM fonctionnelle, magnéto-encéphalographie, cartographie en stimulation magnétique transcranienne, etc.) pour permettre un suivi longitudinal de l'intégration corticale du membre greffé.

1.2.2.5 Evaluation fonctionnelle

La sensibilité, la force, les amplitudes de mouvement, la fonction des membres supérieurs et les capacités d'autonomie du patient dans les actes de la vie quotidienne (domestique et professionnelle) sont évalués sans prothèse, et avec prothèse(s) pour les patients ayant l'habitude d'en utiliser. Le degré d'implication du patient dans ses programmes antérieurs de rééducation est également investigué.

Cette évaluation fonctionnelle permet d'apprécier le niveau actuel de fonctionnement du patient pour anticiper les bénéfices potentiels de la greffe et servir de référence aux évaluations de suivi post-transplantation. Le degré d'adaptation du patient à son amputation et son comportement pendant les tests apportent également des informations sur la personnalité du patient, sa capacité à faire face au handicap, et à s'adapter aux contraintes d'un protocole de rééducation intensif et prolongé.

1.2.2.6 Evaluation sociale

Le support familial et social dont bénéficie le patient doit être soigneusement évalué car le patient aura de grandes difficultés à faire face à la lourdeur de la procédure sans un soutien fort de son entourage familial et amical. Un environnement stable et étayant est donc un critère indispensable pour envisager une greffe. Ce soutien s'envisage à la fois sur le plan psychologique et sur le plan matériel, notamment lors des premiers mois suivant la transplantation durant lesquels le patient se trouve dans une situation de grande dépendance. Passée la période post-opératoire précoce nécessitant obligatoirement une hospitalisation complète dans le service de transplantation (durée d'environ un mois, modulable selon les équipes et l'évolution clinique), le patient doit être pris en charge par un centre de rééducation. Cette rééducation peut s'envisager en hospitalisation complète, mais également selon les équipes en soins ambulatoires quotidiens à condition que le patient bénéficie à domicile de l'aide requise. Un système fiable d'assistance (aide dans les actes de la vie quotidienne, transport pour les différents soins...) devra avoir été

défini à l'avance, et il est souhaitable que le patient ne vive pas seul durant ces premiers mois (39).

Pour faciliter l'adhésion du patient à la prise en charge, celui-ci doit résider dans le même pays que le centre de transplantation et en maîtriser la langue. Si le patient habite loin du centre de transplantation et de la structure de rééducation qui lui est attachée, il doit être prêt à venir résider pendant plusieurs mois suivants la chirurgie à proximité du centre pour garantir le suivi médico-chirurgical initial rapproché, et le temps nécessaire pour assurer l'intensité et la durée de son programme de rééducation. Passée cette phase initiale, lorsque la situation médico-chirurgicale sera stabilisée et ne nécessitera plus des passages aussi fréquents au centre de transplantation, le patient pourra éventuellement regagner sa région d'origine à condition qu'existe sur place une structure de rééducation adaptée où le patient pourra poursuivre sa thérapie.

Pour les pays où les frais liés à la transplantation ne sont pas entièrement pris en charge par les pouvoirs publics, les possibilités de financement de l'ensemble de la procédure y compris les frais du traitement immunosuppresseur à vie devront être garanties (ressources personnelles du patient, assurances privées, etc...). Pour les pays où l'accès aux soins et aux médicaments peut être difficile dans certaines zones, l'accessibilité au long cours des traitements et des soins médicaux requis devra être vérifiée. La perte d'un grand nombre de greffons chinois due à l'impossibilité pour les patients de financer le traitement immunosuppresseur et/ou de se procurer les médicaments et/ou d'être pris en charge de façon adéquate en cas de complication dans certaines zones rurales souligne l'importance de cette évaluation.

1.2.2.7 Evaluation psychologique et psychiatrique

Cette étape constitue un point clé du processus de sélection, car les caractéristiques psychiques du patient conditionnent en grande partie le résultat d'une transplantation : si le patient s'avère incapable de faire face au stress et aux contraintes multiples engendrés par la procédure, celle-ci ne pourra avoir d'aboutissement satisfaisant.

Une transplantation de main va être à l'origine de difficultés physiques et psychiques multiples, prolongées et parfois sévères pour le patient, et ce à toutes les étapes du processus.

Une fois la sélection terminée et le candidat retenu et inscrit sur la liste des transplantations, il va d'abord devoir faire face au stress de l'attente d'un membre compatible. La durée de ce délai est totalement imprévisible, mais peut-être prolongée plusieurs mois voire années. Durant cette période, le patient doit veiller à rester disponible pour une éventuelle chirurgie dont l'annonce peut arriver à tout moment. Cette incertitude permanente, l'angoisse de manquer l'appel fatidique, la difficulté à faire des projets sans possibilité de planification et la frustration pouvant découler d'une attente prolongée peuvent être à l'origine d'un stress non négligeable chez le patient et son entourage.

Lors de la phase post-transplantation précoce, le patient va devoir surmonter d'importantes difficultés psychiques (essentiellement de type anxiété, avec parfois confusion ou dépression associées), liées entre autres à la confrontation avec la ou les mains étrangères (cf. paragraphe 2.4.4 pour détails). Il va devoir être capable de déployer les ressources nécessaires pour s'approprier ces mains, condition sine qua none d'une adhésion à la suite de la prise en charge.

Parallèlement aux difficultés rencontrées lors de ce processus d'appropriation des mains greffées, le patient va être confronté à la phase initiale à une situation de perte d'autonomie majeure. Ceci est d'autant plus vrai pour les greffés bilatéraux, qui se retrouvent dans l'incapacité complète d'utiliser leurs membres supérieurs associée à la nécessité de protéger les

greffes par des appareillages souvent encombrants, et sont donc dans une situation de dépendance totale vis-à-vis du personnel soignant ou de leur entourage pour la majorité des actes de la vie quotidienne. Cette situation de dépendance peut être une source de souffrance pour ces patients, qui se sont souvent longuement et durement battus pour regagner un niveau d'autonomie souvent étonnant après leur amputation. Un phénomène de régression psychologique intervient habituellement à la phase post-chirurgicale précoce, et facilite l'acceptation de cette position passive (49). Cette régression, si elle est donc souhaitable au début, ne doit en revanche pas durer trop longtemps, car elle empêcherait le patient de s'impliquer activement dans sa prise en charge alors que les phases ultérieures vont nécessiter un engagement complet de sa part.

Le patient va ensuite être confronté à un programme de rééducation intensif et prolongé (plusieurs heures par jour, tous les jours, pendant plusieurs mois) qui, malgré tous les efforts des thérapeutes pour le rendre aussi agréable que possible, sera forcément contraignant, fastidieux et lassant par moments. La coopération entière et la participation active du patient seront pourtant indispensables durant tout le programme pour obtenir un résultat optimal.

Les traitements médicamenteux qui devront accompagner la greffe représenteront également une contrainte supplémentaire pour le receveur. Il devra en effet prendre dans tous les cas un traitement immunosuppresseur, et l'immense majorité des patients devra également suivre des traitements visant à prévenir ou traiter les effets secondaires des immunosuppresseurs (prophylaxie infectieuse, traitement antidiabétique, antihypertenseur, etc.). Ces traitements devront être suivis tous les jours et pour certains être pris à heure fixe, au long cours pour la plupart et dans l'état actuel des connaissances à vie pour les immunosuppresseurs. Ces prises médicamenteuses peuvent constituer une véritable contrainte au quotidien. Le patient sera de plus soumis à un suivi médical clinique et paraclinique strict et régulier concernant non seulement la greffe mais également les possibles complications des traitements, impliquant régulièrement des examens invasifs, et nécessitant des consultations et des hospitalisations itératives pouvant peser dans l'emploi du temps personnel et professionnel de jeunes adultes actifs.

Le patient devra également faire face aux difficultés engendrées par les effets secondaires potentiels des immunosuppresseurs. En l'absence d'effets indésirables, il devra gérer le stress de leur survenue toujours possible et imprévisible. En cas de problèmes avérés, il devra affronter ces dégradations temporaires ou définitives de son état de santé. La plupart de ces patients sont des gens jeunes et en parfaite santé mis à part leur amputation avant la transplantation, hors beaucoup se retrouvent à plus ou moins longue échéance après la greffe dans une situation de maladie chronique (diabète, hypertension, etc.) avec toute la charge d'angoisse et de contraintes supplémentaires (traitements surajoutés, hospitalisations multiples, etc.) que cela implique. Certains de ces effets secondaires sont sans gravité, mais peuvent être une vraie source de désagréments quotidiens et au long cours pour les patients (par ex : troubles digestifs). A l'inverse, d'autres peuvent être très sévères et entraîner une diminution immédiate de la qualité de vie du patient, être au long cours à l'origine de handicaps supplémentaires et/ou d'une diminution de l'espérance de vie (ex : diabète et risque de complications micro et macro-vasculaires), ou menacer son pronostic vital à très court terme (ex : infection sévère). Toutes ces hypothèses devront être acceptées par le patient.

Le receveur pourra également être confronté à des espoirs déçus. La main peut ne pas récupérer le niveau fonctionnel ou esthétique espéré et le patient ne pas atteindre les objectifs qu'il s'était fixé avant l'opération. Dans les cas très péjoratifs, le patient peut perdre totalement la main greffée, soit du fait d'une complication locale de la main (ex : ischémie), soit sur fait d'une pathologie intercurrente imposant l'arrêt du traitement immunosuppresseur avec un rejet inévitable de la greffe (cf paragraphe 1.2.11.2 pour des détails sur les cas d'échecs actuellement documentés). Bien qu'un maximum de précautions soient prises pour assurer la réversibilité de la procédure, la perte de la greffe pourrait aboutir à un niveau d'amputation plus proximal que le

niveau initial, et reléguer le patient à un statut fonctionnel moins bon que son statut antérieur. Le patient devra être capable d'affronter la déception et la frustration engendrées par ces échecs.

Enfin, le patient devra être en mesure de soutenir l'incertitude engendrée par le caractère novateur et encore en partie expérimental de la procédure. Bien que l'expérience accumulée depuis maintenant 15 ans par les diverses équipes de transplantation à travers le monde ait permis de répondre à certaines questions, de nombreux aspects de la procédure restent incertains ou à optimiser. Il n'y a actuellement aucune certitude sur les résultats fonctionnels et la survie des greffons à long terme, la durée de suivi la plus longue étant de 14 ans. Les protocoles de rééducation et d'immunosuppression optimaux restent à définir et à standardiser. Et malgré toute l'expérience réunie au sein des diverses équipes dans le domaine des réimplantations de main d'une part et des greffes d'autre part, les patients allogreffés des mains seront pris en charge par des personnels de santé n'ayant qu'une expérience pratique limitée de cette procédure spécifique puisque même les équipes les plus aguerries ne se sont au mieux occupées que d'une petite dizaine de patients. Plus encore que dans d'autres pathologies, le patient devra donc accepter les incertitudes et éventuellement les erreurs des soignants.

Afin de limiter les risques de problèmes psychologiques sévères engendrés par l'un ou l'autre de ces points, les candidats à la transplantation font l'objet d'une évaluation psychologique et psychiatrique soigneuse et seuls ceux présentant un profil psychique favorable sont retenus pour la greffe. Cette évaluation cherche entre autres à préciser (39) :

- Leurs motivations et leurs attentes vis-à-vis de la greffe, afin de s'assurer que chaque patient s'inscrit dans un projet personnel réaliste compte tenu des résultats que l'on peut raisonnablement espérer dans son cas.

- Leur niveau de compréhension et de préparation cognitive et émotionnelle concernant la transplantation, les difficultés prévisibles et l'ensemble des risques potentiels y compris les issues les plus dommageables.

- Leur rapport au corps et à l'image corporelle.

- Leur qualité de vie actuelle.

- Leurs capacités à faire face aux problèmes et à les surmonter, leurs stratégies psychiques de défense et de gestion des difficultés, leurs capacités de gestion du stress et des contraintes ;

- La dynamique de leurs supports familiaux et sociaux.

- Leur niveau prévisible de compliance envers le programme de rééducation, les traitements médicamenteux et le suivi.

- Leurs facteurs de stress extérieurs.

- Leurs traits de personnalité.

- Le risque de régression, de réaction anxieuse ou de réaction dépressive excessive.

- L'existence de troubles psychologiques/psychiatriques résultant du traumatisme de l'amputation.

- L'existence de pathologies psychiatriques préexistantes.

- L'existence de conduites addictives.

Cette évaluation se fait à travers des entretiens avec un psychiatre et un psychologue, et l'utilisation d'un certain nombre d'échelles et de questionnaires standardisés dont le choix varie selon les équipes. Certains de ces outils seront utilisés dans le suivi longitudinal du patient et permettront de suivre son évolution après la greffe, par exemple les outils d'évaluation de la qualité de vie (35,39).

En plus de détecter d'éventuelles caractéristiques psychiques susceptibles d'affecter l'issue d'une greffe de main et qui la contre-indiqueraient, ces entretiens de même que toutes les autres discussions du patient avec des membres de l'équipe de transplantation permettent d'éduquer le patient. Toutes les informations sur la procédure, les résultats attendus, les risques, les complications et les contraintes seront fournies et expliquées au patient jusqu'à parfaite compréhension afin de lui permettre de mesurer tous les aspects de la balance bénéfico-risque de l'intervention et de prendre sa décision de façon éclairée. Il sera également sensibilisé à l'importance critique d'une parfaite adhésion aux différentes thérapies et suivis post-chirurgicaux pour assurer un résultat optimal. Des discussions répétées avec le patient sont indispensables pour lui permettre d'intégrer tous ces éléments, et un temps de réflexion suffisant doit lui être accordé avant de faire son choix. Au terme du processus de sélection, si l'équipe de transplantation retient l'indication d'une greffe, ce sera au patient de prendre la décision finale de la recevoir ou non (48).

1.2.3 Sélection des donneurs

En France, la transplantation de main s'inscrit dans le cadre général des dons d'organes prélevés sur donneur en état de mort encéphalique, et le prélèvement des membres supérieurs se fait habituellement au sein d'un processus de prélèvement multi-organe. Un consentement particulier est demandé à la famille pour prélever les mains, et une information spécifique sur la greffe de main lui est fournie oralement et par écrit par l'équipe de coordination des greffes. S'agissant d'un prélèvement d'organe visible et destiné au traitement d'une pathologie ne menaçant pas le pronostic vital, les familles sont souvent plus réticentes à donner leur accord que pour le prélèvement d'autres organes (49). Le maintien de l'anonymat entre l'entourage du donneur et le receveur peut dans certains cas être difficile compte-tenu de la médiatisation souvent importante des greffes de main conduisant parfois à la divulgation du nom des receveurs dans les médias grand public.

Comme pour tout don d'organe, le donneur doit être exempt de pathologies générales risquant d'altérer le résultat de la greffe, notamment des pathologies infectieuses susceptibles d'être transmises au receveur (VIH, hépatite B ou C, etc.). La concordance des sérologies pour le cytomégalovirus entre le donneur et le receveur n'est pas prise en compte par toutes les équipes, mais la description de plusieurs épisodes de rejet aigu des mains greffées simultanément à une infection à CMV (33,50,51) et les données issues des greffes d'organes en faveur d'un lien entre infection à CMV et rejet aigu et chronique incitent maintenant beaucoup d'équipe à considérer une sérologie CMV positive chez le donneur et négative chez le receveur comme une contre-indication à la transplantation (44,47,52,53). L'absence de concordance des sérologies EBV représente une contre-indication relative pour certaines équipes (47). La compatibilité immunologique du donneur repose sur la compatibilité des groupes sanguins et un cross-match lymphocytaire négatif. L'intégrité des membres supérieurs du donneur est vérifiée par un examen clinique et les examens paracliniques appropriés, au minimum des radiographies pour s'assurer de l'absence de lésion osseuse chez ces patients parfois polytraumatisés. Une attention particulière est portée à l'état du réseau artériel des avant-bras car les vaisseaux ont pu être endommagés par les cathétérismes artériels multiples pratiqués sur ces patients de réanimation et ces lésions artérielles sont susceptibles de menacer la revascularisation du greffon (risque de thrombose). Des critères morphologiques sont enfin pris en compte : dimension des os, apparence de la main (couleur de la peau, taille de la main, ressemblance avec la main saine en cas de greffe unilatérale), âge, et genre pour la majorité des équipes bien que

des cas de greffe de main prélevée chez une femme et greffée chez un homme aient été rapportés (33).

1.2.4 La procédure chirurgicale

1.2.4.1 Coordination des équipes chirurgicales

La procédure associe deux opérations : le prélèvement du membre chez le donneur et son implantation chez le receveur. Dans l'idéal, le prélèvement du membre et la chirurgie de transplantation doivent se faire dans des lieux géographiques les plus proches possibles pour réduire le temps de transport et donc le temps d'ischémie du greffon. La préparation du membre d'un côté et la préparation du receveur de l'autre doivent ensuite avoir lieu simultanément dans le même bloc opératoire ou dans deux salles adjacentes afin d'assurer la meilleure coordination possible et supprimer le temps de transport, le but global étant toujours de réduire au maximum le temps d'ischémie. Pour la même raison et pour ne pas allonger déraisonnablement le temps opératoire, les deux côtés doivent être opérés en même temps en cas de greffe bilatérale. Une transplantation de main nécessite donc le travail simultané de 2 équipes chirurgicales complètes en cas de greffe unilatérale, et de 4 équipes complètes en cas de greffe bilatérale. Si le membre est en parfaite condition, la préparation du receveur (comprenant induction du protocole immunosuppresseur et préparation du moignon) peut commencer avant l'arrivée du membre pour accélérer le processus. En cas de doute sur l'état du membre (notamment concernant des lésions vasculaires ou une thrombose artérielle), il peut être préférable d'attendre l'arrivée du transplant et de l'examiner soigneusement avec dissection et angiogramme sur table avant de prendre la décision de pratiquer l'implantation et donc de débiter la préparation du receveur (31).

1.2.4.2 Le prélèvement chez le donneur

Le membre est prélevé avec une longueur suffisante de tissu surnuméraire, souvent au-dessus du coude, pour pouvoir si besoin remplacer des tissus manquants ou endommagés dans le membre résiduel du receveur. Chaque structure anatomique est soigneusement identifiée et étiquetée au cours de la procédure pour faciliter l'assemblage ultérieur. Une fois prélevé, le membre est irrigué avec une solution de préservation à 4°C, puis refroidi dans la glace. Il est ensuite transporté au lieu de la transplantation. Le membre est alors préparé : l'intégrité des structures est vérifiée, si besoin réparée (par exemple embolectomie en cas de thrombose artérielle), et chaque élément est recoupé à la bonne longueur. La longueur osseuse est déterminée par comparaison avec le côté sain pour restaurer la symétrie de longueur des avant-bras pour les greffes unilatérales, et par calcul d'après la longueur de l'humérus pour correspondre au mieux à la longueur des avant-bras natifs dans les cas bilatéraux. Le membre est maintenue en hypothermie jusqu'au moment de l'implantation, l'ischémie froide étant moins délétère que l'ischémie chaude pour les tissus (31,49).

Après le prélèvement, l'incision sur le moignon du donneur est refermée et des prothèses cosmétiques sont mises en place afin de respecter la dignité du corps et lui rendre un aspect aussi intègre que possible pour l'entourage.

1.2.4.3 La transplantation chez le receveur

La chirurgie est menée sous anesthésie générale, renforcée par une anesthésie régionale pour la vasodilatation et l'antalgie post-opératoire. L'immunosuppression est débutée (protocole d'induction) et le moignon est préparé, sous garrot pneumatique. L'incision cutanée doit être la plus distale possible pour assurer, en cas de nécessité d'amputation ultérieure du transplant, une couverture du moignon par la seule peau du receveur sans raccourcissement

osseux. Différents types d'incision sont utilisés selon les équipes ; ils visent tous à permettre l'excision des tissus cicatriciels ou pathologiques, puis la fermeture sans constriction avec un apport de peau modulable et en assurant une vascularisation suffisante aux lambeaux. Le moignon est soigneusement disséqué et chaque structure anatomique est identifiée (si possible, parfois difficile pour les structures musculo-tendineuses lorsque le moignon comprend une quantité importante de tissus cicatriciels), étiquetée, et préparée au mieux avec parage des tissus jusqu'au niveau macroscopiquement sain.

L'assemblage commence toujours par l'ostéosynthèse radiale et cubitale qui vise à restaurer la longueur, l'alignement (notamment la congruence de l'articulation radio-ulnaire distale) et à obtenir l'union. Viennent ensuite en ordre variable les réparations vasculaires, musculo-tendineuses et nerveuses. Certains chirurgiens préfèrent commencer par les sutures artérielles et veineuses pour revasculariser au plus vite le greffon et donc réduire le temps d'ischémie. D'autres préfèrent différer la revascularisation après la réparation des autres structures car une fois la circulation rétablie, les tissus mous deviennent œdémateux et le champ opératoire sanglant : leur réparation est donc techniquement beaucoup plus difficile et risque d'être de moins bonne qualité (notamment pour les sutures nerveuses et veineuses). La réparation vasculaire consiste à anastomoser les artères radiales et cubitales, ainsi qu'un nombre variable de veines profondes et superficielles en fonction des anatomies respectives du donneur et du receveur. Si le réseau veineux distal du receveur est insuffisant, l'anastomose devra se faire plus en amont (jusqu'au niveau du coude et même au-dessus) et la conservation d'une importante longueur veineuse lors du prélèvement du membre permet de les conduire par tunnelisation sous cutanée jusqu'à celles du receveur. Les vaisseaux lymphatiques ne font l'objet d'aucune réparation chirurgicale, la circulation lymphatique se reconnectant spontanément durant la phase de cicatrisation, avec une efficacité variable mais généralement satisfaisante (54).

La réparation nerveuse comprend toujours au minimum l'anastomose du nerf ulnaire et du nerf médian. Selon le niveau et les structures identifiables chez le receveur, l'anastomose du nerf radial, de la branche sensitive du nerf radial, du nerf interosseux postérieur et/ou des branches cutanées palmaire et dorsale de l'ulnaire peuvent s'y ajouter. La réparation se fait par suture fasciculaire (anastomoses individualisées des groupes fasciculaires moteurs et sensitifs, offrant le meilleur potentiel de récupération) ou par suture épineurale selon le niveau d'amputation et la préférence du chirurgien.

La technique de réparation musculo-tendineuse dépend également du niveau de greffe et de la qualité des tissus chez le receveur. En cas de réparation distale au niveau des tendons, l'anastomose se fait au mieux tendon par tendon ; si certains tendons ne sont pas présents ou individualisables chez le receveur, la réparation est faite par groupes. L'anastomose peut se faire par suture termino-terminale, mais la technique d'entrelacement selon Pulvertaft est généralement préférée car elle augmente la solidité de la jonction tendineuse et autorise donc des mobilisations passives et actives précoces (31, 49). En cas d'anastomose située au-dessus de la jonction musculo-tendineuse et impliquant les corps musculaires, les unités musculaires sont si possible identifiées et suturées indépendamment, mais ceci n'est pas toujours réalisable et les sutures se font alors au niveau de l'épimysium et du péri-mysium. Pour les transplantations très hautes d'avant-bras où les muscles résiduels sont absents ou insuffisants pour permettre la réparation et assurer la fonction musculaire extrinsèque de la main, les complexes musculo-tendineux entiers du donneur peuvent être transposés et ancrés sur l'humérus du receveur (37). Dans ce derniers cas, les muscles résiduels du receveur sont épargnés au mieux pour préserver la capacité du sujet à contrôler une prothèse myoélectrique en cas de ré-amputation ultérieure. Selon le niveau d'amputation et la qualité du moignon, certains groupes musculo-tendineux peuvent être absents ou insuffisants chez le receveur et justifient la réalisation de transferts tendineux pour optimiser la fonction ultérieure de la main. Quelle que soit la technique de réparation musculo-tendineuse employée, le réglage final de la tension relative entre les tendons

fléchisseurs et extenseurs est d'une importance critique pour la fonction de la main. Si un bon équilibre fléchisseurs-extenseurs n'est pas rétabli, les anomalies de la balance des effets ténodèses entraîneront d'importantes limitations fonctionnelles qui seront extrêmement difficiles à corriger.

Certaines équipes pratiquent une libération préventive du canal carpien afin de limiter les compressions tendineuses et nerveuses entraînées par l'œdème post-opératoire (31).

Une greffe de peau est parfois nécessaire pour la couverture cutanée. La peau prélevée en excès du donneur comme celle du receveur peut être utilisée.

La technique chirurgicale est globalement assez proche de celle d'une réimplantation de membre supérieur, mais elle en diffère par plusieurs aspects. Premièrement, le moignon présente souvent un état moins favorable dans les allotransplantations. Certes il n'existe pas de tissu délabré, souillé ou septique, mais d'autres problèmes se posent : l'extrémité distale du moignon du receveur est toujours un tissu cicatriciel, remontant plus ou moins en proximal, dans lequel la dissection est délicate, et surtout il n'existe aucune structure anatomique d'aval permettant d'identifier les tendons retrouvés. Deuxièmement, l'absence de membre controlatéral intact dans les greffes bilatérales ne permet pas d'avoir une référence de longueur pour calculer les longueurs de radius et d'ulna à apporter au receveur, et l'approximation basée sur la longueur de l'humérus laisse persister un risque minime d'erreur pouvant conduire à un résultat esthétique insatisfaisant (avant-bras trop long ou trop court). Troisièmement, les disparités de calibre entre les structures vasculaires, nerveuses et musculaires du donneur d'une part et du receveur d'autre part compliquent souvent la réparation. Ces différences de calibre, quasi-systématiques, peuvent être surmontées pour les artères et les veines en modifiant la technique d'anastomose, au prix d'une plus grande complexité chirurgicale. Pour les sutures nerveuses, les incongruences de calibre peuvent être nettement plus problématiques. De plus, il est souvent délicat d'éviter les troubles de rotation des nerfs lors de la suture. Enfin, le réglage de la tension des tendons est beaucoup plus compliqué dans le cas des allogreffes, puisque l'équilibre doit être entièrement recréé alors qu'il est souvent naturellement préservé dans le cas des réimplantations. Pour toutes ces raisons, la difficulté chirurgicale d'une allogreffe est toujours supérieure à celle d'une réimplantation (38).

1.2.5 Les prises en charge préparatoires à la chirurgie

Certains candidats à la transplantation peuvent présenter des caractéristiques non favorables mais susceptibles d'être corrigées chirurgicalement (ex : éradication d'une infection latente, amélioration du statut vasculaire ou cutané, etc.) (49). On peut ainsi rendre opérable un patient qui ne l'était pas initialement. Un transfert de muscle grand dorsal pour restaurer la flexion du coude (55), la création d'une boucle vasculaire par shunt artério-veineux au niveau du membre résiduel pour permettre l'anastomose veineuse lors de la greffe (55), la mise en place de bougies sous-cutanées en silicone pour faciliter la tunnelisation des veines du greffon (49) sont des exemples de chirurgies préparatoires qui ont été rapportés chez des patients allogreffés.

Certains patients ont par ailleurs tenté d'améliorer la fonction des muscles extrinsèques de la main, tant au niveau de la commande neurologique centrale qu'au niveau de la trophicité musculaire, en entraînant les muscles de leur moignon avant la greffe par des exercices de contraction active ou d'imagerie mentale motrice et sensitive (48,56,57). L'intérêt semble théoriquement évident, mais ces quelques rapports de cas ne permettent pas pour l'instant de conclure quant au bénéfice apporté sur la fonction ultérieure de la main.

1.2.6 Les chirurgies secondaires

De nombreux patients font l'objet de nouvelles opérations chirurgicales de la main après la transplantation. Elles peuvent se classer en deux catégories : les interventions précoces, visant à prendre en charge les complications vasculaires ou cutanées de la transplantation, et les interventions tardives dont le but est d'améliorer la fonction ou l'esthétique de la main.

Les chirurgies secondaires précoces sont généralement indispensables et réalisées en urgence dans les jours ou les semaines suivant la greffe pour sauver la main. Plusieurs types de chirurgie pour complications vasculaires ont été rapportées : opérations de revascularisation pour thromboses artérielles (thrombectomie mécanique, thrombolyse in situ, pontage), chirurgie de débridement-excision de nécrose ischémique, dont des amputations de phalanges distales (amputation des 5 phalanges distales d'une main à J13, amputation de la dernière phalange du pouce et du 5^{ème} doigt d'une autre main), prise en charge de thrombose veineuse, occlusion de fistule artério-veineuse (32-34,40,56,58). Concernant les complications cutanées, des greffes de peau additionnelles pour des défauts de couverture par retard de cicatrisation de la plaie initiale ou de zones de nécrose cutanée secondaire ont été nécessaires chez de nombreux patients (32-35,59) ; un patient a nécessité le débridement d'un lymphocèle (60). Un patient a présenté une ostéomyélite à *Staphylococcus aureus* du cubitus ayant justifiée une ré-intervention à 4 mois post transplantation pour parage et ablation du matériel d'ostéosynthèse infecté (49).

Les chirurgies secondaires tardives interviennent plusieurs mois ou années après la greffe. Elles sont pratiquées chez de nombreux patients pour améliorer le résultat fonctionnel ou esthétique de la main. La plupart des chirurgies fonctionnelles visent à corriger ou compenser les limitations d'amplitudes articulaires actives : ont notamment été rapportés des transferts tendineux, des ténoyses des tendons fléchisseurs ou extenseurs, des arthrodeses (trapézo-métacarpienne, métacarpo-phalangienne, poignet), des arthrolyses des articulations inter-phalangiennes, des chirurgies de raccourcissement tendineux, des chirurgies de raccourcissement osseux pour compenser des tensions musculo-tendineuses excessives, des ablations d'ossifications para-articulaires ectopiques, des révisions d'ostéosynthèse pour cal vicieux, des ablations complètes ou partielles du matériel d'ostéosynthèse. Les chirurgies à but cosmétique sont également fréquentes et variées : excision de cicatrice, chirurgie de réduction cutanée pour éliminer un excès de peau, dégraissage de lambeau, etc. (35,40,49,55,59-61).

1.2.7 Le traitement immunosuppresseur

Les protocoles d'immunosuppression varient selon les équipes et les patients, avec toujours un double but commun : assurer la survie du greffon en évitant le rejet aigu et chronique, et minimiser les effets secondaires. Le traitement immunosuppresseur comporte deux phases : d'abord l'induction, qui vise à instaurer une immunosuppression brutale et intense au moment de la transplantation ; elle est débutée quelques heures avant la chirurgie et se poursuit sur quelques jours. Puis vient le traitement d'entretien, qui vise à maintenir un niveau d'immunodépression suffisant pour empêcher le rejet, et qui devra être poursuivi à vie en l'état actuel des connaissances (62).

L'induction consiste à introduire à forte dose les molécules qui constitueront ultérieurement le traitement d'entretien, auxquelles on associe généralement des anticorps anti-lymphocytaires polyclonaux (immunoglobulines anti-thymocytes) ou monoclonaux (basiliximab = anticorps monoclonal anti-CD25, ou alemtuzumab = anticorps monoclonal anti-CD52) (62).

Le traitement d'entretien repose dans la majorité des cas sur une trithérapie associant un corticoïde, du mycophénolate mofétil, et du tacrolimus ou de la rapamycine (aussi appelé sirolimus) ou de l'everolimus. La survenue d'effets secondaires sous l'une de ces quatre

dernières molécules peut amener sa substitution par l'une des autres molécules. Une part importante des effets secondaires les plus graves pouvant être attribuée à la corticothérapie chronique (ex : ostéonécrose de la hanche, diabète, etc.), certaines équipes tentent de supprimer les corticoïdes soit au cours du traitement d'entretien (par exemple : maintien sous bithérapie mycophénolate mofétil et rapamycine), soit dès l'induction (par exemple : traitement d'entretien débuté par une bithérapie mycophénolate mofétil et tacrolimus). Des bithérapies comprenant des corticoïdes (par exemple corticoïdes et tacrolimus) sont également proposées chez certains patients. Dans de rares cas, les immunosuppresseurs par voie topique (tacrolimus et corticoïdes en application cutanée) ont été utilisés à la phase d'induction ou en traitement d'entretien, bien que la majorité des équipes réservent leur usage au traitement des épisodes de rejet aigu. Quelle que soit la stratégie adoptée, le traitement choisi est toujours réduit progressivement au cours de la phase d'entretien jusqu'aux doses minimales efficaces, qui diffèrent d'un patient à l'autre. Les allogreffes de main permettent à cet égard plus de souplesse que les greffes classiques d'organes internes. Dans le cas de ces dernières, des signes précoces et sensibles de rejet aigu font généralement défaut et obligent dans une certaine mesure à maintenir les patients en sur-immunosuppression pour ne pas laisser évoluer des épisodes de rejet aigu dont le début passerait inaperçu. A l'inverse, dans le cas des allotransplantations, les épisodes de rejet aigu sont souvent facilement et rapidement identifiables grâce à leurs manifestations cutanées (éruption cutanée limitée au greffon). La simple inspection visuelle permettrait donc le diagnostic précoce du rejet aigu et sa prise en charge adaptée dès les premiers stades. L'objectif du traitement d'entretien reste bien sûr de limiter au maximum la fréquence et la sévérité des rejets aigus car l'impact de ces rejets à répétition sur la survie et la fonction à long terme de la main est inconnu, mais il n'y a pas d'argument à ce jour en faveur de moins bons résultats fonctionnels chez les patients ayant présenté plus d'épisodes. Il semblerait donc possible dans les allogreffes de main de ne pas maintenir les patients en immunosuppression excessive, sachant que les épisodes de rejet pourront être plus aisément contrôlés. Ce concept doit toutefois être utilisé avec prudence, car certains rejets histologiquement prouvés ne s'accompagnent pas d'anomalies cutanées patentes : le rejet peut concerner les tissus profonds en épargnant la peau, ou peut toucher la peau sans manifestations cliniques évidentes. La sensibilité et la spécificité des signes cliniques comme reflet du rejet restent donc à valider. Le petit nombre de patients greffés des mains dans le monde n'a pour l'instant pas permis de prouver la supériorité d'un protocole d'immunosuppression sur un autre, et la gestion du traitement immunosuppresseur dans le choix des molécules comme de leur posologie repose donc sur une appréciation individuelle pour chaque patient du rapport efficacité/tolérance (45,62).

1.2.8 Les traitements associés

La période post-chirurgicale est marquée par un risque élevé de thrombose des vaisseaux du greffon qui justifie l'instauration d'un traitement anti-thrombotique. Cette prévention est généralement assurée les premiers jours ou semaines par un traitement par héparine, avec un relais ultérieur par un antiagrégant plaquettaire oral (acide acétylsalicylique ou équivalent) pendant plusieurs mois. Les modalités et la durée du traitement anti-thrombotique ne sont cependant pas consensuelles, et varient selon les équipes de quelques jours à quelques mois (47,63,64).

Le risque infectieux induit par l'immunosuppression nécessite pour certains l'instauration d'une prophylaxie anti-infectieuse. Tous les patients bénéficient durant les premiers jours post-opératoires d'une antibiothérapie à large spectre pour juguler le risque d'infection du site opératoire ou systémique dans le contexte de la phase d'induction de l'immunosuppression. Selon les équipes, les patients reçoivent ensuite une prophylaxie des infections opportunistes par un traitement anti-CMV (ganciclovir, valganciclovir ou valaciclovir), anti-Pneumocystis carinii (trimetoprime-sulfaméthoxazole ou sulfadoxine pyriméthamine)

et/ou anti-candida (fluconazole, nystatine). Une prophylaxie complète couvrant ces trois pathogènes est appliquée chez 40% des patients, une prophylaxie partielle chez 30%, et 30% d'entre eux ne reçoivent pas de prophylaxie (46). La durée de la prophylaxie lorsqu'elle est mise en place varie largement, de 3 à 18 mois selon les équipes (37,51).

Au-delà de l'antalgie post-opératoire, la présence de douleurs neuropathiques ou nociceptives dans les mains greffées nécessite chez certains patients l'utilisation chronique de traitements antalgiques.

Enfin les complications secondaires aux traitements immunosuppresseurs ou aux traitements prophylactiques nécessitent souvent des traitements médicamenteux propres, ponctuels (par exemple en cas d'infection) ou au long cours (notamment pour la majorité des complications métaboliques : antihypertenseurs, antidiabétiques, hypolipémiants, etc.).

1.2.9 La rééducation

Le protocole de rééducation employé varie selon les équipes et les caractéristiques individuelles de chaque patient. Dans tous les cas, elle comporte de la kinésithérapie et de l'ergothérapie, et fait appel à la stimulation sensitive, visuelle et motrice des mains greffées dans un objectif de gain fonctionnel maximal.

La rééducation débute dès les premiers jours afin de limiter l'œdème et de maintenir les amplitudes articulaires. L'œdème est contrôlé grâce au drainage lymphatique manuel et au positionnement proclive des mains par des postures au lit et en position debout. Les mobilisations doivent être introduites dès le départ pour prévenir les rétractions et les adhérences tissulaires, mais la cicatrisation des différentes structures doit être respectée en proposant à la phase initiale des mobilisations en condition de moindre tension. Les mobilisations passives en secteur protégé sont utilisées d'emblée pour tous les patients, mais le moment d'introduction des mobilisations actives dépend des équipes et des contraintes liées à la technique chirurgicale (solidité des sutures musculo-tendineuses). Pour améliorer l'état tissulaire et les glissements musculaires et tendineux, les contractions actives des muscles extrinsèques sont introduites dès le départ chez certains patients, avec des exercices isométriques de type « placé-tenu » en secteur protégé et des mobilisations actives en secteur protégé, parfois dans des attelles dynamiques ; chez d'autres le début de ces exercices est différé de quelques jours ou semaines. Les mobilisations passives manuelles sont parfois complétées par des mobilisations par robot arthromoteur. Des attelles statiques plâtrées ou thermoformables assurent la protection des membres en dehors des séances de rééducation dans une position de ténodèse physiologique. Des méthodes d'imagerie motrice et de thérapie par miroir peuvent être proposées pour faciliter la récupération des représentations motrices corticales et la réintégration des mains dans le schéma corporel (38,48,49,65-68).

Lorsque la consolidation des différentes structures tissulaires est acquise, les étirements et le renforcement musculaire des muscles extrinsèques par des mobilisations actives, des orthèses dynamiques et de l'électrostimulation sont ajoutés au programme pour rééquilibrer les groupes musculaires extrinsèques antagonistes. Après quelques semaines ou mois, la récupération des extrinsèques assure une stabilisation du poignet suffisante pour permettre la confrontation libre des mains à l'environnement, d'abord sans effort contre résistance, puis contre résistance croissante. Le travail de réappropriation gestuelle et des préhensions peut alors prendre pleinement sa place (38,49,66,67).

En attendant la réinnervation des muscles intrinsèques, leur trophicité est maintenue par de l'électrostimulation et des appareillages luttant contre les rétractions en griffe. La récupération d'une activité volontaire suffisante des intrinsèques permet ensuite de travailler une motricité plus complète et plus fine de la main (38,49,67).

Parallèlement à la récupération motrice, la récupération sensitive est accompagnée et favorisée pendant toute la rééducation, par le biais d'exercices analytiques (travail proprioceptif, de discrimination, etc.) ou principalement intégrés dans le réapprentissage des gestes fonctionnels. Tant que la sensibilité à la douleur n'est pas récupérée, un soin particulier est apporté à maintenir l'état trophique des mains et éviter les blessures (38,49).

La phase finale de la rééducation se concentre sur la récupération de la précision, de la dextérité, de la vitesse, de la force et de l'endurance des membres supérieurs.

A tous les stades de la rééducation, le développement de l'indépendance dans les actes de la vie quotidienne est favorisé par l'aménagement de l'environnement, l'adaptation d'aides techniques variées et par l'utilisation optimale des capacités sensitivomotrices présentes, toute en veillant à contrôler les éventuelles compensations pour ne pas laisser s'installer des schémas moteurs erronés qui seraient préjudiciables par la suite. Le travail fonctionnel peut également concerner des gestes dépassant le domaine des actes quotidiens mais particulièrement signifiants pour le patient dans le cadre de ses activités professionnelles ou de loisir (49,56,67).

Parallèlement à la rééducation spécifique des membres supérieurs, un reconditionnement cardio-vasculaire et un réentraînement à l'effort peuvent s'avérer nécessaires chez certains patients, notamment lorsque les difficultés rencontrées lors de la phase post-opératoire précoce ont nécessité un allongement prolongé. La rééducation après greffe bilatérale de main des patients quadri-amputés peut à cet égard présenter un défi supplémentaire lorsque le déconditionnement ne permet pas la reprise rapide de la marche avec les deux prothèses de membre inférieur (59).

La phase initiale de la rééducation telle que nous venons de la décrire est un processus complexe et laborieux. Les modalités pratiques varient selon les patients et les centres, mais l'intensité et la longueur sont les maîtres mots de tous les programmes, d'où l'importance d'une bonne adhésion du patient. Elle est en général d'au moins un an, avec des extrêmes allant de 3 mois à plus de 2 ans. Les premières semaines voire les premiers mois nécessitent des séances de rééducation 7 jours sur 7, avant que leur rythme ne soit progressivement limité à 6 puis 5 jours par semaine, avec une charge quotidienne de rééducation de 4 à 6h en général. Initialement conduit en hospitalisation complète, le programme peut être poursuivi en hospitalisation de jour après un délai très variable selon les patients et les équipes (de 11 jours à 10 mois post-opératoires). Certaines équipes poursuivent la rééducation 5 jours par semaine pendant plus de deux ans pour certains patients, tandis que d'autres optent pour une réduction des séances à 3 par semaines après 3 ou 4 mois. Pour les patients reprenant durant cette phase une activité professionnelle, la rééducation est menée en parallèle de leur travail. Le cas des greffes unilatérales et bilatérales est ici assez différent : l'indépendance initiale bien meilleure des greffés unilatéraux associée à leur capacité à exécuter des exercices d'auto-rééducation grâce à leur main valide, permettent un retour à domicile, un espacement des séances de rééducation, et une reprise professionnelle souvent beaucoup plus rapides. (60,66-70).

Une fois terminée cette étape initiale, de nombreux patients poursuivent un travail rééducatif plus léger (1 ou 2 séances par semaine) ou intermittent qui vise à accompagner les phases finales de la récupération sensitivo-motrice, souvent pendant plusieurs années. Mais même une fois l'état neurologique stabilisé et la rééducation interrompue, plusieurs auteurs ont souligné lors du suivi au long cours des patients l'intérêt de prises en charge ponctuelles pour maintenir les acquis ou améliorer certaines performances spécifiques, via des séjours rééducatifs occasionnels de quelques semaines (67,69,71).

1.2.10 Le suivi médical

Tous les patients font l'objet après leur greffe d'un suivi médical lourd, visant à s'assurer de l'évolution satisfaisante, que ce soit au niveau du greffon ou systémique. Extrêmement rapproché les premiers mois, ce suivi est progressivement espacé pour aboutir en l'absence de problème intercurrent à une évaluation annuelle pendant toute la durée de suivi.

Toutes les cibles potentielles de complications sont investiguées par de multiples examens cliniques et paracliniques systématiques. La peau fait l'objet de biopsies cutanées régulières (initialement hebdomadaires) à la recherche de signes de rejet. Les réseaux vasculaires artériels et veineux sont explorés par des échographies-doppler, des angiographies, des angio-scanners, des capillaroscopies, des scintigraphies ; des méthodes visant à mesurer de façon non-invasive l'hyperplasie intimale (ex : biomicroscopie par ultrasons) sont en cours d'évaluation par certaines équipes. La régénération nerveuse est suivie par l'électro-neuromyographie et les potentiels évoqués sensitifs. L'état osseux et des tissus mous est investigué par divers examens d'imagerie (radiographies, échographies, scanners et IRMs). La tolérance du traitement immunosuppresseur fait l'objet d'investigations biologiques fréquentes, et d'une surveillance ostéodensitométrique chez certains patients.

1.2.11 Les résultats médico-chirurgicaux

1.2.11.1 Expérience mondiale des greffes de main

D'après les données de l'IRHCTT (International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation) au 01/01/2013 et les cas rapportés dans la littérature médicale et la presse grand public au 14/07/2014, au moins 83 mains ont été greffées dans le monde chez cinquante-huit patients, soit 33 cas de greffe unilatérale et 25 cas de greffe bilatérale, répartis entre 25 centres (les cas de greffes simultanées de visage et de main ne sont pas inclus ici) (cf. Annexe 1).

L'âge des patients lors de la greffe varie de 19 à 65 ans, et le délai depuis l'amputation de 2 mois à 34 ans. Les niveaux d'amputations se situent au tiers distal de l'avant-bras ou en aval dans 75 % des cas, au tiers moyen de l'avant-bras dans 15% des cas et au tiers supérieur dans 10% des cas (46). Les femmes représentent 16% des patients greffés. La plus longue durée de suivi est de 14 ans, chez un patient transplanté unilatéralement.

1.2.11.2 Survie des patients et des greffons

A l'heure actuelle, aucun patient ayant bénéficié d'une greffe de main(s) seule n'est décédé. En revanche, un patient ayant reçu une double greffe visage et mains est mort au 65^{ème} jour post-opératoire d'une anoxie cérébrale par obstruction des voies aériennes au cours d'une chirurgie dans un contexte d'infection non contrôlée à *Pseudomonas aeruginosa* évoluant depuis le 15^{ème} jour post-opératoire, après qu'une des mains ait été dé-transplantée au 45^{ème} jour post-opératoire (72). Les uniques tentatives de triple transplantation (2 membres supérieurs en trans-huméral et 1 membre inférieur) et de quadruple transplantation (2 membres supérieurs, 2 membres inférieurs) se sont soldées par les décès des patients, respectivement à 3 mois post-opératoire et 3 jours post-opératoire, sans que les détails de ces cas n'aient été publiés (73,74).

En dehors des cas chinois détaillés ci-dessous, quatre patients allotransplantés des mains ont survécu mais ont perdu leur(s) greffe(s), pour des raisons et dans des délais variables. La première greffe unilatérale de main a été amputée au 29^{ème} mois post-opératoire pour rejet, le patient ayant volontairement arrêté son traitement immunosuppresseur depuis plusieurs mois. Une greffe de main unilatérale a été perdue au 275^{ème} jour post-opératoire par ischémie aiguë liée à une hyperplasie intimale des artères du greffon (cf. paragraphe 1.2.11.3). Un patient ayant

reçu une greffe simultanée de la face et des deux mains a dû être dé-transplanté de ses deux greffons de main au 5^{ème} jour post-opératoire pour nécrose par sepsis, la greffe faciale ayant survécu (46). Une greffe de main unilatérale a été perdue le lendemain de la transplantation par ischémie sur thrombose artérielle malgré les tentatives de revascularisation (33). Par ailleurs, deux patients transplantés bilatéraux ont dû subir des amputations distales de certains doigts pour nécrose ischémique sur occlusion artérielle, sans que la survie des mains ne soit compromise : un patient a ainsi perdu les phalanges distales du pouce et du 5^{ème} doigt d'une de ses mains au 15^{ème} jour post-opératoire, et l'autre les phalanges distales des 5 doigts d'une main au 13^{ème} post-opératoire (32,33).

Plusieurs greffons ont été perdus chez des patients opérés en Chine, principalement car ceux-ci n'ont pas pu payer le traitement immunosuppresseur au long cours. Des données contradictoires ont toutefois été publiées à propos de ces cas. D'après le rapport de l'IRHCTT en 2008, tous les patients chinois greffés à l'époque avaient perdu leur(s) main(s) sauf un, soit sept greffes unilatérales et 3 greffes bilatérales ré-amputées (44,75). Mais la série chinoise rapportée par Pei et al. (2012) fait seulement état de 7 greffes unilatérales perdues, avec 2 transplantations unilatérales et 3 transplantations bilatérales survivantes. D'après cet article, un greffon a été amputé à 2 ans post-opératoire dans des circonstances peu claires (raideur, perte sensitive et douleur insupportable de la main apparue progressivement après une injection locale de corticoïdes pour le traitement d'une mycose superficielle), et les 6 autres mains ont été perdues par non compliance des receveurs au traitement immunosuppresseur, essentiellement car les patients n'ont pas pu assumer le coût financier de ce traitement une fois passé la première année post-opératoire. Ces patients provenaient pour la plupart de zones rurales isolées, sans système d'assurance maladie et avec un accès difficile aux soins de santé requis (difficultés à se procurer les médicaments, absences aux visites de suivi, pas de consultation lors des épisodes de rejet aigu). D'après les auteurs, leur faible niveau éducatif ne leur a pas permis d'avoir avant la greffe une compréhension suffisante de la nécessité d'un traitement immunosuppresseur et d'un suivi à vie, d'une prise en charge rapide des épisodes de rejet, et du fardeau financier découlant de la procédure (40). Ces échecs mettent en lumière la nécessité cruciale d'une sélection soigneuse des candidats à la transplantation, y compris sur le plan psycho-social. Ils soulèvent aussi la question éthique de proposer une greffe de main à un patient sans lui garantir les conditions thérapeutiques de succès.

1.2.11.3 Les épisodes de rejet

Presque tous les patients allogreffés des mains ont été victimes d'au moins un épisode de rejet aigu, et la plupart en ont présenté plusieurs. Le 3^{ème} patient de l'équipe de Trzebnica est le seul, parmi ceux pour lesquels des données de suivi au long cours (> 2ans) ont été publiées, à n'avoir jamais présenté d'épisode de rejet alors qu'il est actuellement à 41 mois de suivi (76). Il faut toutefois noter que le patient belge a présenté son premier épisode de rejet à 43 mois post-transplantation, et qu'il présente depuis un épisode par an environ d'après son rapport de cas à 9 ans (77). La majorité de ces épisodes de rejet surviennent dans les premières années suivant la greffe et notamment durant la première année : 85% des receveurs présentent au moins un épisode de rejet aigu durant leur première année (46). Cependant, de nombreux épisodes tardifs ont également été rapportés. Certains de ces épisodes surviennent lors d'une période de réduction de l'immunosuppression, soit par volonté de l'équipe médicale, soit par mauvaise compliance du patient envers son traitement, et d'autres sont concomitants d'une infection virale, notamment une primo-infection ou une réactivation d'infection à CMV, mais aucun facteur déclenchant n'est identifié dans la plupart des cas (77). Cliniquement, ces épisodes de rejet aigu se manifestent classiquement par des anomalies cutanées de type éruption érythémateuse ou maculo-papuleuse, localisées ou diffuses sur l'ensemble du greffon mais épargnant la peau du receveur (cf. Figure 22). Ces lésions peuvent ensuite évoluer vers l'œdème, l'apparition de vésicules, la desquamation, l'ulcération et/ou la nécrose. Des épisodes de rejet atypiques ont été décrits chez des patients exposés à des stress mécaniques répétés et

persistants de la paume de la main. Ces rejets atypiques comprenaient une éruption et une desquamation associées à une sécheresse cutanée, des papules érythémateuses et un épaissement ou une lichénification de la paume de la main, ainsi que des lésions unguéales (45).



Figure 22. Manifestations cutanées du rejet aigu. A gauche : éruption maculopapuleuse localisée de la main (rejet aigu grade 2). A droite : éruption érythémateuse diffuse limitée à la peau du donneur (rejet aigu grade 3). Photographies issues de Gorantla and Demetris, 2011.

Lorsqu'un rejet aigu est cliniquement évoqué, une biopsie cutanée permet de confirmer le diagnostic et de préciser sa gravité. La sévérité de ces épisodes est généralement de grade 1 (légère) ou 2 (modérée) d'après le score histopathologique de Banff, mais certains épisodes sont de grade 3 (sévère) voire 4 (rejet aigu nécrosant) soit le grade maximum (46,78). Les protocoles thérapeutiques de prise en charge de ces rejets varient selon les équipes et la sévérité de l'épisode, mais consistent toujours en une augmentation temporaire de l'immunosuppression. Celle-ci passe par l'augmentation des posologies des immunosuppresseurs per os habituels du patient et/ou par l'adjonction de nouveaux agents par voie topique et/ou orale et/ou intraveineuse. L'ensemble des épisodes de rejet aigu ayant été rapidement diagnostiqués ont répondu favorablement au traitement (46). Comme cités précédemment, plusieurs cas d'évolution défavorables ayant aboutis à la perte de la main ont été rapportés en Chine chez des patients non compliants avec leur traitement et n'ayant pas consulté lors des premiers signes de rejet (40).

La question du rejet chronique, telle qu'observée dans les greffes d'organe solide et se traduisant par une altération fonctionnelle du greffon pouvant aller jusqu'à sa perte totale à plus ou moins long terme, reste pour l'instant en suspens dans le domaine des allogreffes de main. Parmi les patients ayant bénéficié d'une immunosuppression adéquate, aucun cas de rejet chronique n'a été formellement prouvé. Toutefois, un patient de Louisville a présenté à 9 mois post-transplantation une ischémie incurable de sa main greffée ayant abouti à la perte de la main (79). L'examen anatomo-histopathologique du greffon amputé a révélé que cette ischémie était due à une hyperplasie intimale sévère des artères du transplant, assortie d'une infiltration cellulaire des tissus profonds. Il est intéressant de noter que ce patient avait bénéficié d'un des protocoles d'immunosuppression les plus réduits à la phase d'entretien (pas de corticothérapie) pour tenter de limiter les effets secondaires. A la suite de cet épisode, l'équipe de Louisville a intensifié la surveillance vasculaire de ses cinq autres patients avec la réalisation de biopsies des tissus profonds et d'une surveillance de la structure pariétale des vaisseaux du greffon par une technique innovante non invasive de biomicroscopie par ultrasons. Alors qu'aucun de ces cinq patients ne montrait de signe de vasculopathie clinique ou sur les explorations habituelles

(angioscanner et échographie doppler), ces explorations ont révélé une vasculopathie agressive entre le 3 et le 6^{ème} mois post-opératoire chez le sixième patient avec des arguments pour un rejet à médiation humorale, et des signes de vasculopathie moindre chez les quatre autres. Le patient six avait reçu un protocole d'immunosuppression standard. Une prise en charge agressive par plasmaphérèse, immunoglobulines intraveineuses à haute dose et modification du traitement immunosuppresseur a permis de stabiliser, au moins à court terme, l'évolution de la vasculopathie chez ce patient. La vasculopathie et notamment l'hyperplasie intimale sont une des caractéristiques du rejet chronique dans les greffes d'organe. Ces vasculopathies post-greffe de main ne sont toutefois probablement pas strictement assimilables au rejet chronique classiquement défini dans les greffes standards. D'une part la responsabilité relative entre un rejet cellulaire et/ou humoral reste à clarifier. D'autre part ces vasculopathies post-greffe de main sont probablement multifactorielles, intriquant des mécanismes immunologiques et non immunologiques (stress ischémique, mécanique, thermique, cytotoxique, infections à CMV, etc.) ; il faut notamment souligner que les mains des deux patients affectées par des vasculopathies agressives avait été soumises à des stress tissulaires importants, avec des contraintes mécaniques particulièrement fortes appliquées sur la main du premier sujet (pratique intensive du VTT, rééducation agressive), et de nombreuses complications médico-chirurgicales ayant nécessité de multiples ré-interventions (fermeture de plaie, débridement, ischémie aigue sur occlusion artérielle, infections multiples) sur la main du second (79). Le lien entre rejet chronique et vasculopathie reste donc à définir dans les greffes de main. Mais basé sur l'expérience des greffes d'organe classiques (incidence du rejet chronique à 5 ans : 5% dans les greffes de foie, 40% dans les greffes de cœur, 80% dans les greffes pulmonaires) et bien que la situation des allogreffes de membre soit différente par bien des aspects (dont la transplantation de tissus multiples semblant atténuer l'antigénicité), il semble plausible que des cas de rejet chronique apparaissent pour les greffes de main dans les années à venir, et provoquent la perte de certaines mains (32,45). L'augmentation du recul et le suivi d'un nombre accru de transplantations à plus de dix ans diront s'il s'agit d'un risque réel menaçant l'avenir fonctionnel des allogreffes, ou d'un risque théorique.

1.2.11.4 Les complications

En dehors des complications liées à la procédure chirurgicale et déjà évoquées plus haut (complications vasculaires, cutanées, ostéomyélite, etc.), les patients allogreffés des mains sont exposés à de nombreuses complications liées au traitement médicamenteux accompagnant la greffe.

Quasiment tous les patients présentent des effets secondaires plus ou moins sévères du traitement immunosuppresseur. Ces complications sont de trois types : infectieuses, métaboliques, néoplasiques. Elles peuvent menacer à court ou long terme la qualité de vie et le pronostic vital des patients, et pèsent donc lourd dans la balance bénéfice-risque de la procédure (46,80).

Selon les rapports de l'IRHCTT, les infections opportunistes concernent 77% des patients. Parmi elles, les infections à cytomégalovirus (CMV) sont les plus fréquentes (26% des patients). Qu'il s'agisse de primo-infections ou de réactivations, les infections systémiques à CMV posent des problèmes spécifiques car elles provoquent parfois des rejets aigus du greffon, et pourraient être impliquées dans le rejet chronique (cf. paragraphe 1.2.3). De nombreuses autres infections ont été rapportées, dont des infections à Herpes virus (8% des patients), à Epstein-Barr virus (3%), à Papilloma virus humain (3%), des colites à Clostridium difficile (5%), des mycoses cutanéomuqueuses (13%), des infections fongiques invasives (3%) et divers infections bactériennes (23%). En dehors des cas de double transplantation main-visage, ces infections ont toujours répondu favorablement aux traitements médicaux ou médico-chirurgicaux adaptés.

Les complications métaboliques sont variées, et touchent également une majorité des patients (90%). L'hyperglycémie, provisoire ou durable et nécessitant la mise en place d'un traitement au long cours en tant que diabète iatrogène, est la plus fréquente d'entre elles (44% des patients). La réponse au traitement hypoglycémiant oral ou par insuline est généralement bonne, et un patient qui présentait avant la transplantation un diabète de type 2 évoluant depuis 11 ans et bien contrôlé par une insulinothérapie a pu conserver un équilibre glycémique satisfaisant après la greffe. La néphrotoxicité des immunosuppresseurs se manifeste chez plus d'un quart des patients (26%). Elle se limite habituellement à une élévation modérée de la créatininémie, et peut justifier un changement de traitement immunosuppresseur en cas d'augmentation trop marquée ; toutefois, des cas plus sévères d'insuffisance rénale ont été rapportés, allant jusqu'à l'insuffisance rénale terminale nécessitant une hémodialyse chronique à 8 ans post-transplantation chez un patient. L'hypertension artérielle chronique touche 13% des patients, nécessitant fréquemment des polythérapies anti-hypertensives pour obtenir un contrôle satisfaisant. Les dyslipidémies sont également fréquentes et nécessitent l'introduction de mesures hygiéno-diététiques et de traitement médicamenteux adaptés. Des troubles digestifs (diarrhées chroniques, etc.) et des céphalées chroniques ont été rapportés par plusieurs patients. Les patients pour lesquels un suivi de l'ostéodensitométrie (mesurée à la hanche et au rachis) a été rapporté présentaient pour la plupart une ostéopénie ou une ostéoporose d'apparition assez rapide après la greffe (chute de la densité minérale osseuse dans la première année suivant la greffe, avec une stabilisation ensuite). D'autres complications métaboliques plus rares ont également été rapportées (3% des patients chacune) : ostéonécrose aseptique de la tête fémorale bilatérale ayant nécessité la pose de deux prothèses totales de hanche, hyperparathyroïdie, syndrome de Cushing, leucopénie, maladie sérique (35,37,46,81,82). Deux cas de maladies dysimmunitaires ont récemment été décrits chez des patients allogreffés de mains, une pemphigoïde bulleuse (158) et une alopecie areata (159), les liens physiopathologiques entre la greffe et ces pathologies restant à clarifier.

Peu de complications néoplasiques ont pour l'instant été rapportées chez les allogreffés de membre supérieur, mais leur nombre devrait croître avec l'augmentation du nombre de patients concernés et de la durée de suivi. Un carcinome basocellulaire du nez a été diagnostiqué chez un patient à 1 an post-opératoire et traité avec succès par exérèse (83). Un patient présente un lymphome de la zone marginale identifié à 23 mois post-transplantation, mais dont la présence a été retrouvée à posteriori sur des échantillons sanguins pré-transplantation, et qui reste indolent à plus de deux ans de suivi malgré la poursuite du traitement immunosuppresseur (32).

D'autres complications n'ont pour l'instant pas été rapportées chez les patients allogreffés de mains, mais sont à attendre car fréquentes avec ces traitements immunosuppresseurs, telles que des anémies, des retards de cicatrisation, des cataractes, des glaucomes, ou des troubles lymphoprolifératifs post-transplantation.

Indépendamment du traitement immunosuppresseur, les autres traitements médicamenteux utilisés suite aux greffes (prophylaxies ou traitements des complications) sont aussi à l'origine d'effets secondaires non négligeables, par exemple les antiviraux utilisés dans la prévention et le traitement des infections à CMV (nausées et diarrhées sous foscarnet, neutropénie sous valganciclovir, œdèmes sous cidofovir et immunoglobuline anti-CMV, etc.).

2 Revue de la littérature : résultats fonctionnels des allogreffes de main

Une quarantaine de patients ont fait l'objet de publications de type « rapport de cas » détaillant de façon plus ou moins complète la motricité, la sensibilité et la fonction des mains greffées à différents temps de suivi. D'autres patients n'ont pas fait l'objet de publications isolées, mais leurs résultats cliniques ont été colligés et analysés dans les rapports successifs du Registre International des Transplantations de main et de Tissus Composites (IRHCTT). Nous rapporterons ici les données publiées dans la littérature scientifique francophone ou anglophone et référencées sur la base de données PubMed au 14/07/2014. Nous détaillerons d'abord les résultats apportés par un certain nombre d'outils d'évaluation globale d'une allogreffe, puis nous analyserons les résultats fonctionnels de ces transplantations en suivant le modèle de la Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) proposé en 2001 par l'Organisation Mondiale de la Santé. La CIF définit ainsi trois niveaux de description :

- la déficience, qui désigne les altérations de la fonction organique ou de la structure anatomique, tel qu'une perte ou un écart important ;
- l'activité, qui désigne l'exécution d'une tâche ou d'une action par une personne ; on parle alors de limitation d'activité pour son versant négatif ;
- la participation, qui désigne l'implication d'une personne dans une situation de vie réelle, le versant négatif étant décrit sous le terme de restriction de participation.

2.1 Résultats globaux

Pour décrire rapidement le résultat général d'une transplantation et la fonction de la main, de nombreux auteurs ont utilisé des outils d'évaluation regroupant en un unique score divers critères d'évaluation. Selon l'outil choisi, ces critères peuvent être objectifs reposant sur l'évaluation du médecin (*CBOs : clinician-based outcomes*), ou subjectifs reposant sur l'avis du patient (*PROs : Patient-reported outcomes*). Ces critères prennent en compte dans des proportions variables les déficiences, les limitations d'activité et les restrictions de participation.

2.1.1 Le score HTSS

Les premières transplantations ont mis en lumière l'absence d'outil standardisé adapté à l'évaluation et au suivi des allogreffes de main, l'ensemble des scores existants jusque-là ayant été conçu pour l'évaluation des réimplantations de membre supérieur ou pour l'évaluation du handicap lié aux membres supérieurs quelque que soit la pathologie, et ne pouvant donc pas rendre compte des enjeux et problématiques spécifiques des allotransplantations (84). Un nouveau score a donc été créé par l'IRHCTT : le Hand Transplantation Score System (HTSS) (85, 86), parfois utilisé sous le nom de score IRHCTT ou Comprehensive Functional Score System. Associant CBOs et PROs, le score HTSS explore sur un total de 100 points six domaines différents du résultat fonctionnel d'une allogreffe de main (cf. annexe 2) :

- l'apparence (sur 15 points) : vascularisation et couleur de la peau, texture de la peau, croissance des poils, croissance des ongles, ressemblance avec la main controlatérale (pour les greffes unilatérales) ou le membre sus-jacent (pour les greffes bilatérales) ;

- la sensibilité (sur 20 points) : sensibilité tactile au test des monofilaments de Semmes-Weinstein, sensibilité de protection (chaud/froid/douleur) et sensibilité discriminative (test statique de discrimination des 2 points) dans les territoires médian et ulnaire, transpiration ;

- la motricité (sur 20 points) : amplitudes actives de mouvement de l'avant-bras en prono-supination, du poignet en flexion-extension, du pouce et des doigts longs, force en prise palmaire et termino-latérale, activité des muscles intrinsèques, réintégration corticale de la main en IRM fonctionnelle ;

- l'acceptation psychologique et sociale (sur 15 points) : comportement social (serrer la main, être à l'aise en groupe, surmonter la gêne, impression d'être accepté, capacité à créer de nouvelles relations, être capable de surmonter le handicap, acceptation sociale globale satisfaisante), affectivité (caresser, serrer dans les bras, toucher, sentiment d'intimité avec le partenaire, affectivité globale satisfaisante), image corporelle (sensation d'intégrité corporelle, confiance en soi concernant son apparence, utilisation de bijoux/montre/etc. sur les mains) ;

- Les activités quotidiennes et le statut professionnel (sur 15 points) : conduire/faire du vélo, se coiffer/se raser/ assurer l'hygiène corporelle, prendre un verre, verser de l'eau avec une bouteille, utiliser des couverts/des baguettes, se brosser les dents, prendre par la main, écrire, utilisation symétrique des mains, reprise d'une activité professionnelle ;

- Satisfaction et bien-être général du patient (sur 15 points) : satisfaction, bien-être, qualité de vie.

En cas de greffe bilatérale, chaque membre est coté séparément. Le résultat est considéré comme pauvre en dessous de 30/100, moyen entre 31 et 60/100, bon entre 61 et 80/100 et excellent à partir de 81/100.

Le score HTSS est simple d'utilisation et permet une évaluation globale très complète du résultat fonctionnel d'une allogreffe de main en combinant des critères objectifs et des critères subjectifs liés au patient. Il possède une bonne fiabilité test-retest ainsi qu'une bonne sensibilité au changement (86). C'est à l'heure actuelle le seul score d'évaluation spécifiquement adapté aux allogreffes de membre supérieur, et il est donc fréquemment employé.

Parmi les patients ayant plus de deux ans de suivi rapportés dans la littérature, les scores HTSS s'échelonnent entre 55.5/100 (34) et 93.5/100 (76), avec une moyenne supérieure à 70/100. Chez les greffés bilatéraux, la moyenne se situe entre 70 et 80/100 de 2 à 6 ans de suivi puis entre 80 et 90 au-delà de 6 ans, alors que chez les greffés unilatéraux la moyenne est plus fluctuante entre 70 et 90/100 selon la durée de suivi (46) (cf. annexe 1).

2.1.2 Le questionnaire DASH

Le questionnaire DASH (Disability of Arm, Shoulder and Hand) fait partie des outils les plus utilisés. C'est un questionnaire d'auto-évaluation subjective de la capacité fonctionnelle globale des deux membres supérieurs, ne portant donc que sur des PROs. Il peut s'appliquer à n'importe quelle pathologie du membre supérieur chez l'adulte, peut être rempli facilement et en quelques minutes par le patient, et a fait la preuve de sa validité, sa sensibilité au changement et sa reproductibilité. Il a l'avantage de pouvoir être utilisé avant et après la transplantation et permet donc de mesurer l'évolution de l'incapacité. Le questionnaire DASH comprend 30 items (cf. annexe 3). Parmi eux, 21 questions évaluent la difficulté à réaliser des activités de la vie quotidienne dont 8 activités bi-manuelles et 13 activités uni-manuelles. Les 9 autres questions concernent les relations sociales (3 questions) et des symptômes particuliers : la douleur (3 questions), la force (1 question), la mobilité (1 question) et le sommeil (1 question). Le DASH peut également comporter 2 modules optionnels de 4 questions chacun portant sur les activités sportives et musicales et sur la capacité au travail, mais ces modules ont peu été utilisés dans

l'évaluation des greffes de main. Pour chaque question, le patient doit choisir une réponse entre 1 et 5 correspondant à une incapacité croissante dans l'activité explorée au cours des 7 derniers jours. L'addition des valeurs retenues à chaque question donne un score total sur 150 points, qui peut être ramené sur 100 points en utilisant une table de conversion. Plus le score du patient est élevé, plus la capacité fonctionnelle physique globale des membres supérieurs est altérée (87). La différence clinique minimale importante du DASH, définissant le plus petit changement dans le score correspondant à un changement d'état perçu comme significatif pour le patient, est de 10/100 (88).

Les scores au DASH chez les allotransplantés de main avec au minimum 2 ans de suivi sont compris entre 4.84/100 (34) et 64/100 (37) dans la littérature, avec une moyenne oscillant autour de 20 après 2 ans de suivi que la greffe soit uni ou bilatérale (46), alors qu'il était en moyenne de 71.01/100 (± 25.79) avant la transplantation (89) (cf. annexe 1).

2.1.3 Le test de Carroll

Le test de Carroll évalue les fonctions de préhension du membre supérieur à travers différentes tâches de préhension mono-manuelles globales, cylindriques, fines et en force (saisir et déplacer des cubes, des tubes et des billes métalliques de différentes tailles, soulever un fer à repasser, écrire son nom, verser de l'eau depuis un pichet et un verre, porter sa main à sa bouche, sa tête et sa nuque ; cf. annexe 4). Les objets sont de différentes formes, tailles et poids de façon à tester la saisie, la tenue, les pinces, le placement, l'extension et l'élévation du bras, la pronation, la supination, et dans une moindre mesure la force. Il donne un résultat chiffré sur 96 (main non dominante) ou 99 points (main dominante), le score augmentant avec les performances de préhension. Basé uniquement sur des CBOs, il reflète assez fidèlement les capacités de préhension utiles dans la vie quotidienne et a été validé quelle que soit la pathologie de membre supérieur considérée (90), il est donc employé par plusieurs équipes dans l'évaluation des allogreffes de main.

Les patients ayant au moins deux ans de suivi chez lesquels ce test a été rapporté présentent des scores entre 55 et 72/96 (49) pour les mains non dominantes, et entre 52 (61) et 73/99 (60) pour les mains dominantes. Un score de 86/99 a été rapporté chez un patient à 1 an de suivi, mais la main greffée a été perdue par la suite (40) (cf. annexe 1).

2.1.4 Le score de Chen

Le score fonctionnel de Chen a été développé pour l'évaluation des réimplantations de membre supérieur (91). Il résume et classe en 4 catégories le résultat d'une réimplantation (de grade I : bonne fonction de la main, à grade IV : aucune fonction utile de la main), d'après 4 critères : utilisation, mobilité articulaire, sensibilité, force musculaire (chaque catégorie étant définie par un seuil pour chacun de ces 4 critères, cf. annexe 5). Il est fréquemment utilisé dans l'évaluation des allogreffes du fait de sa simplicité, de sa concision, de son association de CBOs et de PROs et de son utilisation largement répandue dans le domaine de la réimplantation, permettant une transition et une comparaison faciles entre la réimplantation et la transplantation de membre supérieur (92). Il présente toutefois deux inconvénients majeurs : en premier lieu, la classification des patients allotransplantés dans une des catégories de Chen n'est pas toujours aisée car ces patients peuvent relever de plusieurs catégories selon le critère considéré ; en second lieu, malgré son utilisation commune en chirurgie de réimplantation, ce score n'a pas été testé en terme de validité, reproductibilité et sensibilité au changement (55).

La majorité des patients à plus de deux ans de suivi dont le score de Chen a été rapporté dans la littérature se situaient dans la catégorie II, et quelques un dans la catégorie I (61,76). Aucun patient ne se situait dans la catégorie III ou IV, exception faite du premier patient de Lyon

qui avait arrêté son traitement immunosuppresseur et dont la main a été ré-amputée quelques semaines plus tard (cf. annexe 1).

2.1.5 Le score de Tamai modifié par Ipsen

Le score de Tamai, toujours utilisé dans sa version modifiée par Ipsen dans les allotransplantations, a également été créé pour l'évaluation fonctionnelle globale des réimplantations de membre supérieur en associant CBOs et PROs (93). Nettement plus précis que le score de Chen, il évalue sur un total de 100 points les amplitudes articulaires (40 points), la capacité à réaliser les actes de la vie quotidienne (20 points), la récupération sensitive (20 points), les symptômes subjectifs (- 12 points), les altérations esthétiques (- 12 points), la satisfaction du patient et son statut professionnel (20 points) (cf. annexe 6). Il permet de coter individuellement chaque membre en cas de greffe bilatérale. Toutefois, ce score n'a pas été conçu pour les transplantations de main et contrairement au score HTSS ne prend donc pas en compte certains aspects importants dans l'évaluation du résultat de cette prise en charge spécifique, comme la vie affective, l'acceptation sociale ou les effets secondaires du traitement immunosuppresseur. De plus, ce score n'a pas été testé pour sa validité, sa reproductibilité ou sa sensibilité au changement (76).

La littérature rapporte parmi les patients à plus de 2 ans post-transplantation des scores de Tamai dans sa version modifiée par Ipsen compris entre 67.8 (69) et 86/100 (76), soit un résultat fonctionnel jugé « bon » (cf. annexe 1).

2.1.6 L'auto-évaluation

Utilisée uniquement par les équipes de Lyon et Bruxelles, l'auto-évaluation subjective globale consiste pour le patient à attribuer à chacune de ses mains greffées une note entre 0 et 10, 10/10 constituant la meilleure note possible, en prenant en compte tous les aspects de la main. Purement subjectif, ce score reflète donc le degré de satisfaction du patient vis-à-vis de chacune de ses mains, en le laissant libre de choisir les critères d'évaluation qui ont de l'importance pour lui et de leur attribuer le poids qu'il souhaite. A l'exception du premier patient qui a décidé d'arrêter son traitement immunosuppresseur dans le but de se séparer de sa main greffée qu'il jugeait insatisfaisante, les six allogreffés concernés ont donné à leur main des notes entre 7 et 10/10 une fois passées les deux premières années post-transplantation (49,77) (cf. annexe 1).

2.1.7 Le bilan 400 points

Applicable à toute pathologie de la main, le bilan 400 points réalise une évaluation chiffrée de l'utilisation de la main lésée grâce à l'observation de 57 activités courantes (94). Elle se compose de 4 épreuves de type CBOs, notées chacune sur 100 points (cf. annexe 7) :

- mobilité de la main : teste 12 mouvements globaux ;
- force de préhension : teste la force dans différents types de prise au moyen de 5 appareils de mesures ;
- prises mono-manuelles et déplacement d'objets : teste la capacité du patient à prendre 20 objets différents posés sur un plan de référence, et à les transporter sur un plan plus haut ;
- fonction bi-manuelle : teste au moyen de 20 tâches de la vie quotidienne la fonction bi-manuelle du patient, en vérifiant le respect de la dominance.

Plus le score est élevé, meilleure est la fonction de la main. Il peut également être exprimé en pourcentage par rapport aux performances d'une main saine. Le bilan 400 points a été utilisé dans 3 évaluations menées chez 2 patients à plus de 2 ans de suivi, avec des scores entre 52% (38) et 68.1% (77).

2.1.8 L'Action Research Arm Test

L'Action Research Arm Test a été initialement conçu pour évaluer la fonction du membre supérieur chez les patients atteints d'hémiplégie suite à une lésion corticale (95). Il est basé sur le test de Carroll dont il propose une version modifiée, plus simple et plus rapide à réaliser, avec un regroupement des items selon une échelle hiérarchique. Il teste en quatre épreuves la capacité du patient à saisir manuellement différents objets de dimensions, formes et poids variés, ainsi qu'à réaliser différents mouvements du membre supérieur (porter la main derrière la tête, sur la tête et à la bouche) et peut donc être considéré comme un outil d'évaluation spécifique des limitations d'activités liées au membre supérieur (cf. annexe 8). Le score total est établi sur 57 points ce qui représente la meilleure note possible.

Le score ARAT a été rapporté chez un seul patient allogreffé des mains qui présentait un score de 35/57 à la main droite et 23/57 à la main gauche deux ans après une greffe bilatérale (52).

2.2 Evaluation des déficiences

La CIF définit les déficiences comme « les altérations de la fonction organique ou de la structure anatomique, tel qu'un écart ou une perte importante ». Dans le cadre des allogreffes de mains, les déficiences concernent essentiellement la force, la sensibilité et les amplitudes de mouvement des poignets et des mains greffées.

2.2.1 Evaluation de la force

La force musculaire des mains greffées a été évaluée cliniquement par la plupart des équipes en associant deux types d'outils :

- Des évaluations non instrumentales, basées sur l'appréciation du clinicien. Le résultat est alors exprimé de façon qualitative (ex : « muscles intrinsèques faibles », « absence de récupération des muscles intrinsèques », « adduction active des doigts présente »), soit en utilisant l'échelle quantitative du *British Medical Research Council* (MRC) évaluant la force d'un muscle ou d'un groupe musculaire entre 0 (absence de contraction musculaire décelable) et 5/5 (force normale) (cf. annexe 9). Les muscles intrinsèques sont toujours distingués des muscles extrinsèques de la main, la force des intrinsèques reflétant alors la qualité des muscles greffés (fibrose, dégénérescence graisseuse, etc.) et de la réinnervation motrice, alors que la force des extrinsèques rend compte de la qualité de la musculature du membre résiduel (excepté dans le cas des greffes d'avant-bras proximales où les muscles extrinsèques proviennent partiellement ou entièrement du donneur). D'après l'IRHCTT, la récupération motrice commence par les muscles extrinsèques avec la cicatrisation des sutures musculo-tendineuses, permettant aux patients de réaliser de petits mouvements actifs dès les premiers jours puis des saisies et des pinces après quelques semaines ; la récupération des muscles intrinsèques intervient ensuite, entre 9 et 15 mois chez la plupart des patients (80). La plupart des rapports de cas font état d'une récupération des muscles intrinsèques présente mais limitée, avec une cotation entre 1 et 3/5 pour la majorité des mains, bien que des cas de 0 à 4+/5 aient été rapportés à plus de deux ans de suivi pour certains muscles. Concernant les muscles extrinsèques, la récupération est souvent excellente avec des cotations entre 3 et 5/5 selon les patients (cf. annexe 1).

- Des évaluations instrumentales, mesurant grâce à divers appareils la force musculaire développée dans les différents types de prise manuelle. Parmi les mesures les plus fréquemment rapportées, on trouve la force de la prise palmaire mesurée avec un dynamomètre de Jamar, comprise entre 2 et 19.5 Kg selon les patients à plus de deux ans post-transplantation (moyenne chez un homme sain de 30 ans : 52.7 Kg), et la force de la prise key-pinch mesurée avec une pinch gauge, comprise entre 0.6 et 3.6 Kg chez ces mêmes patients (moyenne chez un homme sain de 30 ans : 11.9 Kg) (96), ces deux prises étant réalisables chez la très grande majorité des patients (cf. Figure 23) . Certains auteurs ont également rapporté les valeurs des prises termino-terminales (0-2.9Kg), tri-digitales (0-2.3 Kg), pulpaire (0-2.1 Kg) ainsi que la force de soulèvement en prise mono-manuelle (13.6-27.2 Kg) et en prise bi-manuelle (12-29.4 Kg) (cf. annexe 1).

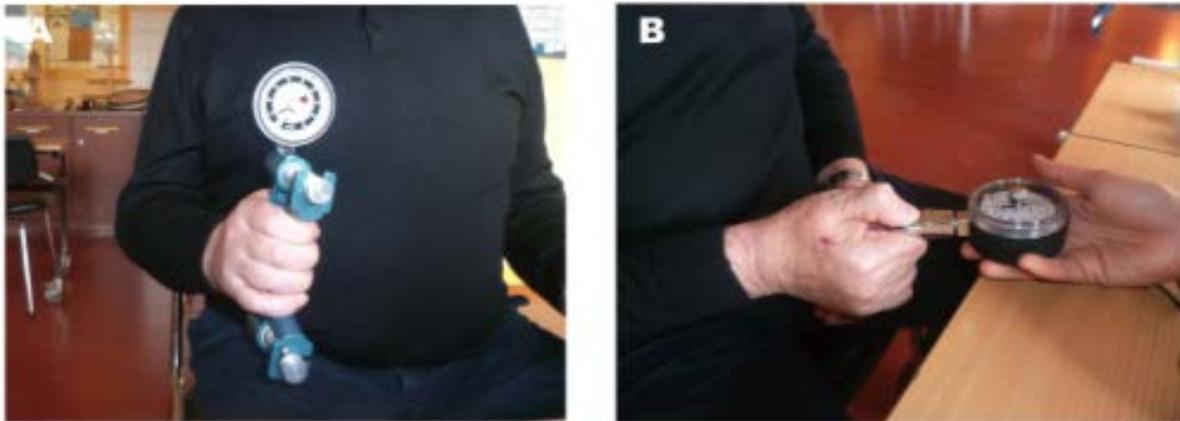


Figure 23. Mesure de la force de la prise palmaire avec un dynamomètre de Jamar (A) et key-pinch avec une pinch gauge (B). Images personnelles.

Le retour d'une activité volontaire des muscles intrinsèques à l'électromyogramme a également été prouvé chez de nombreux patients.

2.2.2 Evaluation de la sensibilité

Le niveau de récupération sensitive traduit la qualité de la réinnervation périphérique et de la réintégration de la main dans les cortex sensitifs. Il existe de nombreuses méthodes visant à tester les différents types de sensibilité. L'évaluation de la récupération sensitive chez les allogreffés de main fait généralement appel aux outils ci-dessous, que l'on peut schématiquement classer en 3 catégories : évaluation de la sensibilité thermo-algique, évaluation de la sensibilité tactile élémentaire (test aux monofilaments), évaluation de la sensibilité discriminative (discrimination spatiale, localisation, discrimination des textures, stéréognosie, pallesthésie, discrimination pique-touche).

2.2.2.1 Sensibilité thermo-algique

La capacité à percevoir la température des stimuli (distinction chaud/froid) ainsi que les stimuli nociceptifs (piqûre) a été rapportée chez les patients de façon qualitative (absente/présente). La présence d'une sensibilité thermique et à la douleur définit la sensibilité de protection, autrement dit la capacité à percevoir les stimulations menaçant l'intégrité tissulaire de la main. Cette sensibilité de protection constitue le premier niveau de récupération sensitive des mains greffées : elle est présente chez tous les patients à plus de 1 an de suivi décrits dans la littérature (cf. annexe 1) ou le rapport 2010 de l'IRHCTT (80). Par ailleurs, aucun rapport de cas ne signale de blessure significative des mains greffées survenue pendant la période initiale post-transplantation, avant le retour de la sensibilité de protection.

2.2.2.2 Test aux monofilaments de Semmes-Weinstein

Le test des monofilaments de Semmes-Weinstein détermine le seuil de perception tactile d'une zone de la main. Son principe est d'appliquer en un point unique de la peau une force de pression connue et constante au moyen d'un jeu de monofilaments de différents calibres, et de déterminer la force minimale à appliquer pour que le patient ressente la sensation de toucher (cf. Figure 24). Il met en jeu le tact protopathique (tact grossier profond) pour les filaments de gros calibre, et le tact épicrotique (tact superficiel fin) pour les filaments plus fins. Le jeu complet comprend 20 monofilaments calibrés de 0.008 g à 300 g, mais il existe un kit réduit de ce test comportant 5 monofilaments clés pour la main (0.07 g, 0.4 g, 2 g, 4 g et 300 g). Ces 20 monofilaments sont regroupés en 5 catégories, qui définissent 5 niveaux de récupération sensitive de la main (cf. annexe 10) :

- 0.008 - 0.07 g : sensibilité normale
- 0.16 - 0.4 g : sensibilité au toucher léger diminuée
- 0.6 – 2 g : sensibilité de protection diminuée
- 4 – 180 g : perte de la sensibilité de protection
- 300 g : sensibilité à la pression profonde uniquement

L'absence de perception du filament 300 g définit alors l'absence complète de récupération. Il s'agit d'une méthode quantitative, simple, standardisée et reproductible.



Figure 24. Test aux monofilaments de Semmes-Weinstein. Image personnelle.

La récupération sensitive est souvent hétérogène chez les patients allogreffés des mains, avec des seuils perceptifs différents selon la zone de la main testée au-delà même de la séparation entre territoire cubital et territoire médian. Certains auteurs ont rapporté les monofilaments précis ressentis, alors que d'autres ont simplement cité la catégorie de récupération sensitive dans laquelle se situait leur patient. Les allogreffés à plus de 2 ans de suivi rapportés dans la littérature présentaient tous un certain niveau de récupération sensitive, avec des seuils de sensibilité tactile variant entre 0.07 g (normal) et 4 g ou plus (« perte de la sensibilité de protection » sans détail) selon les patients et les zones de la main, la grande majorité des cas se situant dans les catégories « diminution de la sensibilité au toucher léger » ou « diminution de la sensibilité de protection » (0.16 – 2 g) (cf. annexe 1). Selon le rapport 2010 de l'IRHCTT (portant sur 30 patients à plus de 1 an de suivi), 90% des patients à plus de 1 an de suivi ont récupéré une sensibilité tactile (80).

2.2.2.3 Test de discrimination des 2 points

Le test de discrimination des deux points évalue les capacités de discrimination spatiale du patient au niveau de la pulpe du doigt testé. Il consiste à déterminer quel est l'écartement (en mm) minimal nécessaire entre 2 pointes touchant la peau pour que le patient identifie deux stimuli distincts et non pas un. Il peut être réalisé en maintenant fixe les stimulations tactiles au centre de la pulpe (test de discrimination des deux points statiques (S2PD), ou test de Weber ; cf. Figure 25), ou en déplaçant les stimuli lentement et parallèlement à l'axe du doigt du proximal vers le distal (test de discrimination des deux points mobiles (M2PD), ou test de Dellon). Le test statique ne met en jeu que les fibres sensibles à adaptation lente, alors que le test mobile stimule simultanément les fibres à adaptation lente et rapide : ce dernier renseigne donc sur les premiers niveaux de récupération d'une sensibilité discriminative, avant qu'une discrimination statique ne soit présente, et montre habituellement des seuils plus bas que le test statique.



Figure 25. Test de discrimination des 2 points statiques. Image personnelle.

Le résultat peut être exprimé en millimètres, ou de manière qualitative en se référant à l'une des classifications regroupant les résultats par intervalles. Dans le domaine des allogreffes de main, la classification la plus employée est l'échelle de Highet modifiée par Dellon et collaborateurs (97) qui s'applique au test statique :

- Grade S4: 2-6 mm
- Grade S3+: 7-15 mm
- Grade S3 : > 15 mm
- Grade S2 : absence de sensibilité tactile discriminative.

Compte tenu de la difficulté technique à rechercher des seuils discriminatifs supérieurs à 15 mm (notamment difficulté à appliquer deux pointes distantes de plus de 15 mm sur la pulpe de la dernière phalange pour les doigts de petite taille), certains équipes ne recherchent pas de seuils supérieurs à 15 mm et considèrent donc qu'au-delà de 15 mm le patient ne présente pas de sensibilité tactile discriminative. Certains auteurs ont également employé des descriptifs purement qualitatifs (ex : « discrimination utile », « résultat médiocre »). La valeur normale pour la pulpe des doigts est de 2-4 mm pour le test statique (jusqu'à 6 mm accepté pour les peaux épaisses), et de 2-3 mm pour le test mobile.

D'après les rapports de cas à plus de 2 ans de suivi dans la littérature avec des résultats chiffrés du test de discrimination des 2 points statiques, le seuil de discrimination tactile s'échelonne de 2 mm à l'absence de sensibilité discriminative selon les patients et les doigts, avec dans la plupart des cas une récupération de niveau au moins S3 (cf. annexe 1). D'après le rapport 2010 de l'IHRCTT, 84% des patients avaient développé une sensibilité discriminative (8 patients S3, 12 patients S3+, 8 patients S4) (80).

2.2.2.4 Localisation des stimuli tactiles

La capacité à localiser dans quelle zone de la main est appliqué un stimulus tactile a été rapportée en tant que telle chez 10 patients, bien que la méthode diffère selon les auteurs (certaines équipes ayant testé toutes les zones de la main, alors que d'autres ont simplement distingué la pulpe des différents doigts). Parmi eux, 5 étaient capables de localiser correctement les stimuli tactiles (peu ou pas d'erreur), alors que la capacité de localisation des 5 autres patients était pauvre ou absente sur la majeure partie de la main (cf. annexe 1).

2.2.2.5 Discrimination des textures

La capacité à distinguer par le toucher uniquement différentes textures de matériau, par des tests qualitatifs (exemple : velours, acier..) ou quantitatifs (exemple : plus ou moins rugueux) a été étudiée dans la littérature chez 4 patients à plus de 18 mois de suivi, qui présentaient tous des possibilités plus ou moins fines de discrimination des textures (cf. annexe 1).

2.2.2.6 Stéréognosie

Définissant la capacité à reconnaître des objets usuels (exemples : clé, gomme, écrou...) uniquement en les touchant (faisant donc entre autre appel aux capacités de discrimination spatiale, des formes, des tailles et des textures), la stéréognosie a été détaillée dans la littérature chez 11 patients allogreffés des mains à plus de deux ans de suivi, dont 4 possédaient des capacités stéréognosiques satisfaisantes alors que les 7 autres présentaient une astéréognosie (cf. annexe 1).

2.2.2.7 Autres

La sensibilité aux vibrations, ou pallesthésie, n'a été décrite que chez 2 patients de Louisville qui présentaient une sensibilité aux vibrations correcte à la fréquence 256 Hz (vibration profonde) mais pas 30 Hz (vibration superficielle) (32,51).

L'arthrokinesthésie correspond au sens de position des articulations, principalement des articulations métacarpo-phalangiennes dans le cas des doigts où l'examineur demande classiquement au patient de situer son doigt par rapport au plan de la main (en haut/en bas) après l'avoir mobilisé passivement. L'arthrokinesthésie des doigts a été décrite comme normale chez un patient (98).

Le test de discrimination pique-touche, qui évalue la capacité du patient à reconnaître s'il est mis en contact avec une aiguille (stimulation nociceptive) ou une pointe mousse (stimulation tactile), n'a été utilisé que chez un patient qui présentait une discrimination pique-touche normale sur certaines zones à 6 mois post-transplantation (48).

2.2.3 Evaluation des amplitudes de mouvement

L'amplitude des mouvements actifs des poignets et surtout des doigts est un élément critique pour la fonction de la main. Elle détermine les prises réalisables. Pour une main saine, les amplitudes articulaires passives sont proches des amplitudes actives bien qu'elles soient toujours un peu plus importantes. En cas de lésion articulaire, les amplitudes actives et passives peuvent être diminuées, mais restent également globalement similaires entre elles. En revanche, des lésions neurologiques (centrales ou périphériques) ou musculo-tendineuses peuvent être à l'origine d'une importante disparité entre les amplitudes actives et passives (les premières étant alors beaucoup plus réduites que les secondes). Les amplitudes de mouvement des patients allotransplantés de main ont donc souvent été rapportées en actif et en passif, bien que l'accent

ait généralement été mis sur les amplitudes actives qui sont les seules utiles pour le patient en situation de vie.

2.2.3.1 Amplitudes articulaires des doigts

Les amplitudes articulaires sont habituellement mesurées avec un goniomètre manuel. On distingue deux méthodes de mesure, applicables aux amplitudes actives et passives :

- la mesure articulation par articulation : pour chaque articulation, la mesure de chaque angle articulaire est prise en plaçant les autres articulations de la main dans la position donnant le plus grand degré de liberté à l'articulation testée dans l'angle testé. Les effets ténodèse (tension imposée aux appareils tendino-musculaires extenseurs lors de la flexion des doigts et pouvant limiter la flexion, et vice-versa) sont alors réduits au minimum. Cette méthode est souvent privilégiée pour le bilan articulaire passif pour rendre compte des propriétés intrinsèques de l'articulation (indépendamment des éventuels problèmes musculo-tendineux).

- la mesure en extension ou en enroulement global des doigts : applicable uniquement aux doigts, cette méthode mesure l'extension (ou la flexion) maximale de chaque articulation métacarpo-phalangienne ou inter-phalangienne lorsque tous les doigts longs sont en extension (ou en enroulement) globale maximal. Elle rend donc compte des effets ténodèses. La même définition est applicable au pouce (extension ou enroulement maximal global de la colonne du pouce). Le résultat est alors souvent exprimé en *Total Motion*, soit TAM pour les amplitudes actives (*Total Active Motion*, aussi appelé TAROM *Total Active Range of Motion*) et TPM pour les amplitudes passives (*Total passive motion*, aussi appelé TPRM *Total Passive Range Of motion*). Le TAM et le TPM rendent compte de la mobilité globale d'un doigt : ils correspondent à la somme des flexions angulaires (active ou passive) des 3 articulations (métacarpo-phalangienne MCP, inter-phalangienne proximale IPP, inter-phalangienne distale IPD) à laquelle on retranche la somme des déficits angulaires d'extension (actifs ou passifs) de ces 3 mêmes articulations (cf. Figure 26). Ils peuvent être exprimés en degré, ou en pourcentage de la normale. La norme du TAM est généralement de 260° pour les doigts longs et 140° pour le pouce, mais les normes de flexion des articulations métacarpo-phalangiennes et inter-phalangiennes peuvent varier légèrement selon les références. La valeur retrouvée à la main saine peut également être utilisée comme référence dans les atteintes unilatérales. La méthode en extension ou enroulement global est souvent privilégiée pour le bilan articulaire actif, car elle reflète au mieux les amplitudes de mouvement disponibles pour la fonction de préhension (la majorité des mouvements nécessaires à une bonne fonction de la main en situation de vie quotidienne se font en flexion ou en extension globale des doigts).

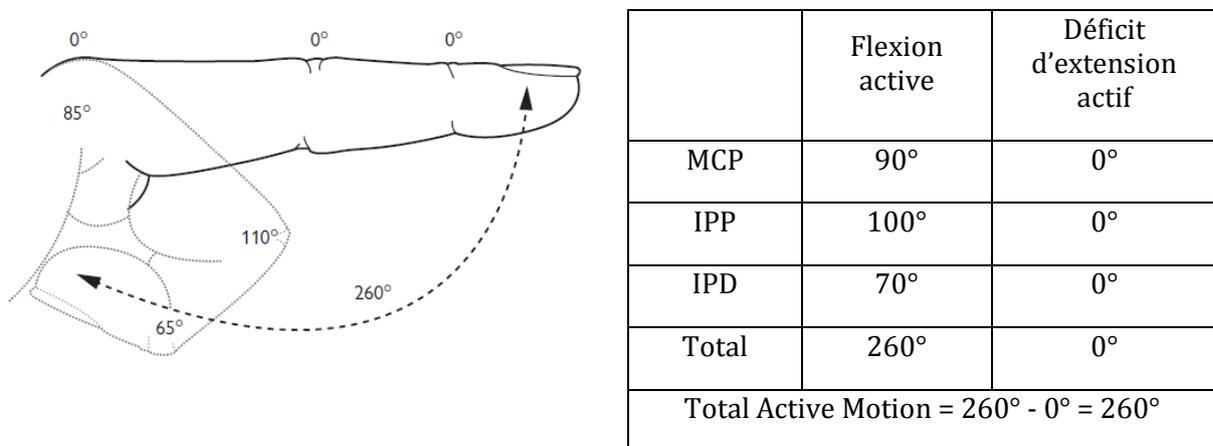


Figure 26. Exemple de calcul du TAM d'un doigt long chez une main saine. Dessin issu de (99).

Les patients allogreffés des mains à plus de deux ans de suivi chez qui les amplitudes articulaires passives ont été rapportées ne présentent pas ou peu de limitations, avec des amplitudes oscillant entre 82 et 100% de la normale selon les patients, quelle que soit la méthode utilisée (cf. annexe 1). De nombreux patients présentent même des hyper-extensions passives de certaines articulations, pouvant dans certains cas altérer la fonction de préhension par défaut de stabilité (32).

En revanche, des limitations des amplitudes articulaires actives ont été décrites chez tous les patients pour lesquels ces amplitudes ont été rapportées, soit la majorité des patients ayant fait l'objet d'un rapport de cas à plus de deux ans post-transplantation. Le TAM des doigts longs varie chez ces patients entre 45° et 245°, soit entre 17 et 95% de la normale, et le TAM du pouce entre 15 et 105° soit 10 à 75% de la normale, avec plus de trois-quarts des patients ayant un TAM inférieur à 80% de la normale pour tous les doigts (cf. annexe 1). Ces limitations sont principalement liées aux adhérences tendineuses des tendons extenseurs et fléchisseurs des doigts (34,61,65,69,77,98,100), mais également à un certain degré de fibrose et d'atrophie musculaire (34), au manque de puissance musculaire (34), ainsi qu'aux montages chirurgicaux initiaux (réparations tendineuses en groupe, transferts tendineux, importante tension imprimée aux appareils fléchisseurs pour préserver la force de prise) ou secondaires (arthrodèses) (38,55,77).

2.2.3.2 Distance pulpe-paume

La distance pulpe-paume active permet d'apprécier les capacités d'enroulement actif des doigts longs. Elle mesure l'écart (en centimètres) entre l'extrémité des doigts et le pli de flexion des articulations métacarpo-phalangiennes (pli palmaire distal) lorsque les doigts sont en enroulement global actif maximal. Elle est normalement de 0 cm, les doigts venant au contact du pli de flexion des MCP. Cette distance pulpe-paume active a été rapportée chez quelques patients à plus de 18 mois de suivi, variant de 0 à 5 cm (cf. annexe 1).

2.2.3.3 Indice de Kapanji

L'indice de Kapanji est une échelle d'évaluation de la fonction d'opposition du pouce de 0 (aucune opposition) à 10 (opposition normale), l'opposition du pouce étant l'un des déterminants majeurs des prises réalisables. L'indice de Kapanji fait référence au point anatomique avec lequel l'extrémité du pouce entre en contact lors de l'opposition maximale (cf. annexe 11).

L'indice de Kapanji varie entre 2 et 6 chez les patients greffés depuis au moins deux ans pour lesquels cet indice a été rapporté (cf. annexe 1).

2.2.3.4 Amplitudes du poignet et de l'avant-bras

Pour les mêmes raisons qu'aux doigts, les patients allogreffés des mains présentent tous des limitations des amplitudes actives de pronation-supination, ainsi que des amplitudes actives de flexion, extension, déviation ulnaire et déviation radiale du poignet.

La somme des amplitudes de pronation et de supination actives de l'avant-bras atteint 80° à 175° selon les patients (cf. annexe 1), pour une norme à 175° (85° de pronation, 90° de supination), soit 45 à 100% de la normale.

Chez les patients transplantés depuis plus de deux ans, la somme des amplitudes actives de flexion et d'extension du poignet varie entre 20 et 130° pour une norme à 170° (85° de flexion, 85° d'extension) soit 12 à 76%, et la somme des amplitudes actives des déviations radiale et ulnaire se situe entre 9° et 30° à l'exception d'un patient atteignant 60° pour une normale à 65° (20° d'inclinaison radiale et 45° d'inclinaison ulnaire) (cf. annexe 1).

Les amplitudes passives du poignet et de l'avant-bras n'ont fait l'objet d'aucune description détaillée. Elles ont été dites proches de la normale chez plusieurs patients.

2.3 Evaluation des activités

Le terme « activité » désigne selon la CIF « l'exécution d'une tâche ou d'une action par une personne ». Aucune échelle standardisée d'activités n'étant adaptée à l'évaluation des allogreffes de main, la plupart des auteurs ont rapporté littéralement un certain nombre d'activités que leurs patients étaient capables de réaliser, et qu'ils estimaient représentatives de l'autonomie dans la vie quotidienne que leur avait apportée la greffe.

La grande majorité des patients à plus d'un an de suivi sont capables de réaliser seuls la plupart des actes de la vie quotidienne, avec un gain important d'autonomie comparativement à leur situation pré-transplantation. Les possibilités ont notamment été décrites chez ces patients dans les domaines suivants (cf. annexe 1) :

- l'alimentation et la cuisine : utiliser des couverts/des baguettes, boire avec un verre, boire à une bouteille, déboucher une bouteille, verser de l'eau avec une bouteille ou un pichet, ouvrir et fermer des robinets, porter un plateau ou un plat, ouvrir un bocal, verser d'une boîte, cuisiner.

- les activités manuelles : manipuler des pièces de monnaie et des billets, ouvrir et fermer des poignées de porte, ramasser de petits objets, utiliser des ciseaux, enfiler une aiguille, porter des charges, utiliser des outils manuels de bricolage et jardinage (dont clé à molette, marteau et râtelier), utiliser des outils électriques, réparer une moto.

- l'habillement : s'habiller, utiliser une fermeture éclair, lacer ses chaussures, utiliser une pince à linge.

- l'hygiène et les soins corporels : faire sa toilette, se laver les dents, se moucher, utiliser un gant de toilette, essorer une serviette, se raser, se peigner, utiliser un sèche-cheveux.

- les transports : tourner la clé de contact d'une voiture, conduire, faire du vélo, faire de la moto, conduire un scooter des neiges.

- la communication et l'informatique : écrire, utiliser un téléphone, utiliser un clavier et une souris d'ordinateur.

- la vie sociale, familiale et les loisirs : porter un enfant en bas âge, tourner les pages d'un journal ou d'un livre, tenir et distribuer des cartes à jouer, ramasser et manipuler des jetons de jeu, lancer et rattraper une balle, manier une batte de base-ball légère, jouer au yoyo, utiliser un pistolet à eau, faire du sport (dont jouer au tennis, jouer au volley-ball, monter à cheval), jouer de la musique (dont jouer du tambour, jouer du piano), faire des voyages transcontinentaux en moto.

Par ailleurs, même les patients ayant peu amélioré leur autonomie globale par rapport à l'utilisation qu'ils avaient de leurs prothèses de membre supérieur se déclarent très heureux d'avoir récupéré certaines activités importantes dans leur vie affective, familiale et sociale et qui ne sont que rarement réalisables de façon satisfaisante avec des prothèses telles que tenir ou serrer la main, prendre dans ses bras, caresser ou applaudir (60,101).

Les limitations d'activités ont à l'inverse très peu été décrites chez ces patients. L'analyse détaillée des items portant sur les activités des scores HTSS et des scores de Tamai publiés pour certains d'entre eux montre que tous ne sont pas capables de réaliser l'ensemble des activités listées ci-dessus (69,102). Il a été spécifié pour certains d'entre eux des incapacités persistantes

pour certaines activités nécessitant une dextérité fine telle que boutonner une chemise, enclencher une fermeture éclair ou écrire, ou bien des activités en force comme ouvrir un bocal, se couper les ongles des mains, couper la viande, balayer (49,56). Enfin, un article précise que certaines activités requérant une force importante étaient plus faciles à réaliser pour le patient avec ses prothèses qu'avec ses mains greffées, comme porter une mallette ou un sac à provision, ouvrir une bouteille dont la capsule est sertie, ou tourner une clé de porte (37), mais que l'autonomie globale du patient s'est tout de même améliorée grâce à la transplantation.

2.4 Evaluation de la participation : résultats psycho-sociaux

La CIF désigne par la participation « l'implication d'une personne dans une situation de vie réelle ».

La plupart des rapports de cas de patients allogreffés de main décrivent des résultats relatifs à la reprise d'une activité professionnelle par le patient, à sa qualité de vie, à sa satisfaction d'avoir été greffé, et au retentissement psychologique de la greffe.

2.4.1 Activité professionnelle

La reprise d'une activité professionnelle est notée chez la majorité des patients : 70% des sujets d'après le troisième rapport de l'IRHCTT publié en 2008 et incluant 30 patients. La plupart réintègre l'emploi qu'ils occupaient avant la transplantation, mais certains trouvent un meilleur travail grâce aux nouvelles fonctions de leur(s) main(s) (75). Certains cas de non reprise d'une activité professionnelle après la transplantation peuvent s'expliquer par des facteurs indépendants de la fonction des mains (38,69).

2.4.2 Qualité de vie

La qualité de vie des patients a été rapportée qualitativement dans la majorité des cas. Selon l'IRHCTT, plus de 75% des patients présentent une amélioration de leur qualité de vie après la greffe (80). Une échelle standardisée d'évaluation de la qualité de vie n'a été utilisée que chez deux patients : l'un présentait un score de 50/100 à 17 mois et 53/100 à 4 ans post-transplantation, l'autre un score de 115/136 à 2 ans de la greffe. La SF-36 est une échelle multidimensionnelle générique applicable quelle que soit la pathologie (103), très largement employée. Elle peut être utilisée en auto-ou en hétéro-questionnaire. Ses 36 items évaluent 8 dimensions : activité physique, limitations dues à l'état physique, douleurs physiques, santé perçue, vitalité, vie et relation avec les autres, santé psychique, limitations dues à l'état psychique, ainsi qu'une dimension particulière à savoir l'évolution de la santé perçue comparée à un an auparavant. Un score moyen physique et un score moyen mental peuvent être calculés selon un algorithme disponible dans le manuel de l'utilisateur. Plus le score est élevé, meilleure est la qualité de vie évaluée. En dehors de l'évaluation quantitative par score nécessitant l'achat du manuel, on peut utiliser la SF-36 en comparant les scores des différents domaines avec ceux de la population normale (cf. annexe 12). La nécessité de mieux évaluer l'évolution de la qualité de vie chez les allogreffés et de développer des outils spécifiquement adaptés à cette population a été soulignée par Jensen et collaborateurs (88).

2.4.3 Satisfaction

Excepté le premier receveur d'une allotransplantation unilatérale qui n'a pas jugé suffisant le résultat de sa greffe et qui a arrêté de prendre son traitement immunosuppresseur pour se séparer de sa main, aucun cas d'insatisfaction vis-à-vis de la procédure n'a été rapporté

parmi les patients n'ayant pas rencontré de complication compromettant la viabilité de la main (les 7 cas chinois de ré-amputation étant à part). La satisfaction des patients a été le plus souvent rapportée de manière qualitative (ex : « patient très satisfait »), sans utilisation d'outils spécifiques. L'auto-évaluation de la main peut éventuellement être considérée comme une échelle d'évaluation de la satisfaction du patient vis-à-vis de chacune de ses mains, les quelques patients pour lesquels elle a été utilisée ayant alors noté leurs main greffées entre 7 et 10/10 (cf paragraphe 2.1.6). Il est toutefois important de noter que même les patients dont la main n'a récupéré qu'une fonction sensori-motrice objective médiocre se déclarent satisfaits de leur greffe, grâce à la restauration d'une sensibilité même minime et de leur intégrité corporelle qui leur ont rendu des capacités fonctionnelles pouvant sembler anecdotiques mais capitales pour eux ; le troisième patient de Louisville dont la récupération sensitive et motrice objective est assez pauvre a ainsi déclaré être content de sa greffe car le plus important pour lui était de pouvoir serrer sa femme dans ses deux bras et acclamer un match de baseball sans heurter par inadvertance avec sa prothèse le spectateur voisin (60).

2.4.4 Aspects psychologiques

Sur le plan psychologique, et bien que les patients greffés soient tous différents les uns des autres, la transplantation de main pose des problèmes spécifiques a) parce qu'elle est visible, b) parce qu'elle provient d'un cadavre, et c) parce qu'elle n'est pas immédiatement fonctionnelle (49). Un accompagnement psychologique et psychiatrique rapproché du patient est nécessaire pendant tout le processus, pour lui permettre de surmonter ces obstacles.

La période post-opératoire précoce est marquée par plusieurs aspects :

- Le choc post-opératoire, les réactions aux anesthésiques, les corticoïdes, une réaction sérique, la douleur post-opératoire, l'environnement parfois anxiogène des unités de soins intensifs peuvent entraîner un état de confusion plus ou moins délirant pendant les premières heures ou jours suivant la chirurgie. Un des patients voyait ainsi des mains sur le mur qui lui faisaient des signes (49,104).

- L'anxiété, pouvant prendre la forme d'une dépersonnalisation et/ou s'accompagner d'une agitation, de pleurs et de troubles du sommeil. Elle est liée à la nature étrangère de la main greffée, à son aspect cadavérique, et aussi à la vision de la limite très apparente qui sépare le bras du receveur de la main du donneur, symbolique de la coexistence troublante du mort et du vivant, du familier et de l'inquiétant. Une importante angoisse liée à ces premières visions de la main survient lors du ou des premier(s) pansement(s), avec chez certains patients un refus initial de regarder (et de toucher pour les greffes unilatérales) leur(s) main(s), ou une indifférence vis-à-vis du membre et de la plaie. Bien qu'ils aient souhaité être transplantés, les patients sont choqués par ce membre étranger attaché à leur corps (49,104). Cette anxiété peut être majorée par une réactivation du traumatisme initial ayant causé la perte de la (des) main(s) et de la chirurgie qui avait suivi. Le patient peut revivre son accident, voire ses mains exploser ou mises en pièce et du sang répandu, avoir des cauchemars ou des pensées obsédantes. Cette situation cède généralement rapidement avec la reconstruction d'une nouvelle image de lui-même (49).

- La régression, nécessaire et désirable dans les suites immédiates de la greffe, notamment pour les greffes bilatérales, car le patient est alors totalement dépendant et la régression l'aide à accepter les soins et l'aide extérieure que requiert cette perte d'autonomie. Elle ne doit pas durer trop longtemps et l'empêcher de redevenir actif dans sa prise en charge et sa rééducation (49).

- la dépression, dont le risque dépend de la personnalité préalable du patient, et de la différence entre ce qu'il avait imaginé et la réalité de l'aspect des mains et de son impuissance (49).

Vient ensuite le temps de l'appropriation des mains. On a vu que les réactions psychologiques initiales sont souvent péjoratives du fait de l'aspect visible et de la non fonctionnalité des mains greffées si longtemps attendues. Mais assez rapidement, le patient retrouve l'enthousiasme et le désir initial qu'il avait perdus. Ce temps de l'appropriation doit être assisté et favorisé par le psychiatre et l'ensemble de l'équipe soignante, car il est fondamental pour assurer l'adhésion du patient à sa prise en charge, mais il est menacé par le phénomène du clivage et du déni. Le déni consiste pour le patient à penser simultanément « *je sais que la main vient d'un cadavre* » et « *je ne veux rien en savoir* ». L'esprit se clive donc en deux pour éliminer la contradiction. Ce phénomène est très efficace mais ne peut durer très longtemps, et le patient doit le dépasser pour accepter sa main. Apparaît également le fantasme d'être contrôlé par le donneur, qui rompt la sensation rassurante et continue que nous avons en temps normal de notre corps et de notre propre image corporelle. Cette image est déjà fortement altérée par la perte des mains, et la greffe qui devrait la réparer la fragilise plus encore au début. L'idée de la dette contractée vis-à-vis du donneur peut également être renforcée par la vision de ces mains étrangères qu'il faudra s'approprier et constitue une pression supplémentaire pour le patient (49).

Tous ces processus nécessitent pour obtenir une issue favorable une importante élaboration mentale, et par conséquent l'assistance d'un psychiatre expérimenté. L'évolution est généralement bonne, avec une acceptation des mains et un équilibre psychologique satisfaisant chez la plupart des patients à plus ou moins longue échéance (quelques jours ou semaines). Le soutien de l'entourage familial et des conditions d'hébergement hospitalier aussi favorables que possible contribuent à améliorer le bien-être psychique des patients. L'appropriation des mains se renforce ensuite avec le retour de la fonction et surtout de la sensibilité des mains (49,104) (cf. annexe 1).

Passés les premiers mois ou années suivant la greffe, la restauration d'une fonction des mains et surtout de l'intégrité corporelle permet à la majorité des patients d'améliorer comparativement à leur situation pré-transplantation leur estime de soi et leur confiance en eux dans leur apparence personnelle et leurs relations sociales, dimensions qui sont toutes fortement altérées par l'amputation ; de nombreux patients expriment leur satisfaction de se sentir à nouveau « entiers », « complets », et montrent sans gêne leurs mains en public alors que nombre d'entre eux rapportaient un évitement des situations sociales ou une tendance à cacher leurs moignons ou leurs prothèses avant la chirurgie (33,51,53,57,58,60,61,69,76,102, 104).

Quelques cas de réactions psychologiques négatives ont été rapportés durant le suivi à long terme des allogreffés de mains. Un patient a développé une dépendance matérielle et financière excessive vis-à-vis de son épouse et de ses parents, à l'origine de difficultés psychologiques ayant culminé à 22 mois post-transplantation par une tentative de suicide, et par une mauvaise compliance au traitement immunosuppresseur dans les mois suivants ; l'état psychique s'est normalisé par la suite (61,77). Un autre patient a présenté deux épisodes dépressifs réactionnels à 1 an et 2.5 ans post-transplantation, dont le second dans un contexte d'effet secondaire sévère du traitement immunosuppresseur (ostéonécrose des 2 têtes fémorales liée à la corticothérapie, ayant nécessité la pose bilatérale de prothèses totales de hanche) et de stress psycho-social surajouté, et ayant entraîné une baisse de la compliance au traitement ; les deux épisodes ont favorablement répondu à une prise en charge psychiatrique adaptée et à la diminution des facteurs de stress psycho-sociaux (51,60). Un cas de simulation (allégation de troubles visuels avec recherche de bénéfice secondaire à type de prolongation du séjour hospitalier) a été rapporté chez une patiente (105). La première allogreffe mondiale de main représente le seul cas où les problèmes psychologiques posés par la greffe n'ont pas trouvé

d'issue favorable et se sont soldés par une perte de la main, avec absence de compliance au protocole rééducatif passés les 4 premiers mois (arrêt total de la rééducation de J120 à J240, puis de J370 à J550), arrêt du traitement immunosuppresseur à partir du 15^{ème} mois post-transplantation dans le but de provoquer un rejet et de se séparer de la main et finalement amputation à la demande du patient au 29^{ème} mois post-transplantation (34). Ce patient trouvait le résultat de la greffe insatisfaisant, continuait d'utiliser très majoritairement sa main controlatérale saine dans les actes de la vie quotidienne avec une sous utilisation de la main greffée, et ne s'est pas approprié cette nouvelle main (49).

2.5 Evolution temporelle de la récupération

La récupération des greffes de main se fait principalement dans les 2 à 3 premières années suivant la greffe, bien que des habiletés fines telles que l'anticipation motrice, qui consiste à anticiper la position des mains lors de la réception d'un objet en fonction de sa taille et de sa vitesse de déplacement, ne soient récupérées que plus de 3 ans après la greffe (38). Au-delà les résultats fonctionnels tendent généralement à stagner, mais les scores globaux et psycho-sociaux continuent de s'améliorer grâce à une meilleure intégration sociale (38,58). Toutefois, des cas de récupération prolongée ont été décrits avec des améliorations objectives de la motricité jusqu'à 6 ans, et de la sensibilité et de l'utilisation des mains jusqu'à 10 ans (60). Un patient décrit à 12 ans post-transplantation des améliorations subjectives de la fonction sensitive de sa main (32). A l'inverse, la récupération a stagné chez certains patients une fois passée la première année post-greffe (60). Au plan électrophysiologique, des améliorations des conductions motrices et sensibles à l'électro-neuro-myogramme ont été notées jusqu'à sept ans après la chirurgie (69).

Aucun patient transplanté à ce jour n'a présenté d'altération significative des fonctions sensitivomotrices des mains greffées, excepté dans des cas de lésions indépendantes de l'évolution naturelle des greffons ; un patient a par exemple présenté une réduction modérée de ses amplitudes de déviations latérales du poignet à la main gauche suite à une fracture du radius lors d'un accident de sport à 4 ans post-transplantation (38,71).

2.6 Comparaison des résultats entre greffes bilatérales et unilatérales

Au cours des deux premières années suivant la greffe (phase précoce précédant la récupération optimale des mains greffées), les limitations d'activité et les restrictions de participation sont plus marquées chez les greffés bilatéraux que chez les greffés unilatéraux qui bénéficient de possibilités de compensation par leur membre sain. Après deux ans, les résultats fonctionnels des allogreffes de main unilatérales et bilatérales sont similaires sur la base des scores HTSS et DASH, d'après le registre IRHCTT (46,80). La récupération des déficiences sensori-motrices étant similaire dans les deux cas, cette absence finale de différence entre les deux groupes peut refléter soit des niveaux d'activité équivalents (la compensation d'un membre par l'autre étant d'une efficacité égale entre deux membres greffés d'une part, et un membre greffé et un membre sain de l'autre), soit des niveaux d'activité différents (supposé meilleur dans le cas des greffés unilatéraux) mais contrebalancés par d'autres critères d'appréciation subjectifs (satisfaction vis-à-vis de la fonction de la main plus grande chez les patients greffés bilatéraux que chez les unilatéraux qui gardent le point de comparaison de leur main saine). D'après Landin et al. qui ont analysé 10 rapports de cas pour lesquels les scores DASH pré- et post-transplantation avec un suivi minimum de 300j étaient disponibles (3 greffes unilatérales, 7 greffes bilatérales), le score DASH moyen pré-transplantation était de 66.13 pour

les patients amputés bilatéraux et 65.9 pour les amputés bilatéraux ($p=0.93$) ; le score moyen post-transplantation était de 59.4 dans le premier groupe et 36 dans le second ($p=0.14$) soit un gain absolu de 21.07 points chez les receveurs unilatéraux et de 30.41 chez les bilatéraux ($p=0.66$) (89). La similitude des scores pré-transplantation entre les deux populations de cette étude contraste avec les données de la littérature rapportant habituellement des capacités plus faibles chez les amputés bilatéraux (24). Bien que des gains fonctionnels absolus plus importants chez les greffés bilatéraux que chez les greffés unilatéraux puissent donc être attendus à l'échelle d'une population plus vaste en raison de performances pré-transplantation plus faibles, il faut noter que la grande majorité des patients sont satisfaits d'avoir été greffés, que la transplantation soit uni ou bilatérale. Ces données viennent en contradiction avec l'argument souvent proposé contre l'opportunité de réaliser des greffes unilatérales, supposant que le bénéfice serait insuffisant en raison d'une marge de progression fonctionnelle plus faible et d'une insatisfaction prévisible du patient du fait de la comparaison permanente entre la main saine et la main greffée au détriment de cette dernière, car faisant ressortir ses aspects négatifs plutôt que positifs, comme semblait le confirmer l'échec du premier cas. Ces résultats soulignent l'importance de la restauration de l'intégrité corporelle parmi les bénéfices perçus par les receveurs dans les deux cas, ainsi que les différences d'attente vis-à-vis de la greffe entre les deux situations et l'importance de sélectionner des candidats aux souhaits réalistes notamment pour les greffes unilatérales. On notera par ailleurs que les scores DASH pré-transplantation relevés par Landin et al. sont deux à trois fois supérieurs aux scores DASH moyens observés chez les amputés de membre supérieur (cf. paragraphe 1.1.4.3), indiquant que les candidats à la greffe s'estiment nettement plus handicapés que la majorité des amputés de main.

2.7 Comparaison des résultats entre greffes proximales et distales

La majorité des cas rapportés concernent des greffes pratiquées au tiers distal de l'avant-bras mais 8 greffes au tiers moyen (33,34,59,77,101) et 2 greffes au tiers supérieur (37,106) ont été détaillées dans la littérature. Les résultats des greffes proximales (pratiquées au tiers médian ou supérieur d'avant-bras) n'apparaissent pas inférieurs à ceux de nombreuses greffes plus distales, bien que les meilleurs résultats aient été obtenus avec des greffes distales (cf. annexe 1). Une autre revue menée sur les rapports de cas de 28 patients n'a pas montré de différence statistiquement significative liée à la longueur de membre transplanté concernant la récupération d'une fonction des muscles intrinsèques (89). Bien que des résultats sensitifs et moteurs seulement médiocres (retour d'une sensibilité de protection mais sans discrimination, force motrice faible) puissent être raisonnablement espérés dans le cas des greffes très proximales (58,107), ces patients décrivent comme ceux ayant bénéficié de greffes plus distales une amélioration de leur qualité de vie et une importante satisfaction d'avoir été transplantés. Certains patients ont par ailleurs dépassé ces espérances, avec le retour d'un certain niveau de discrimination sensitive (cf annexe 1).

3 Article

Cet article est en cours de soumission pour publication dans une revue internationale.

Grasping objects by former amputees: the visuo-motor control of allografted hands

Huchon Laure^{1,2,3}, Badet Lionel^{3,4}, Roy Alice Catherine⁵, Finos Livio⁶, Gazarian Aram⁷, Revol Patrice^{1,2,3}, Bernardon Laurence⁸, Rossetti Yves^{1,2,3}, Morelon Emmanuel^{3,9}, Rode Gilles^{1,2,3}, Farné Alessandro^{2,3}

¹ ImpAct Team, INSERM U1028, CNRS UMR5292, Lyon Neuroscience Research Center, Lyon, France ;

² Physical and Rehabilitation Medicine Department, Mouvement Handicap, Henry Gabrielle Hospital, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France ;

³ Claude Bernard Lyon 1 University, Lyon, France ;

⁴ Transplantation Surgery Department, Edouard Herriot Hospital, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France ;

⁵ Dynamique du Langage, CNRS and Lyon 2 University, UMR5596, Lyon, France ;

⁶ Department of Statistical Sciences, University of Padova, Padova, Italy ;

⁷ Orthopaedic Surgery Department, Clinique du Parc Lyon, Lyon, France ;

⁸ Romans Ferrari Pediatric Rehabilitation Medical Center, Miribel, France ;

⁹ Nephrology and Immunology Department, Edouard Herriot Hospital, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France ;

Corresponding author : Laure Huchon, Hôpital Henry Gabrielle, 20 route de Vourles 69230 Saint Genis Laval, France.

Email: laure.huchon@chu-lyon.fr or alessandro.farne@inserm.fr

Abstract

Hand allograft has emerged since 15 years as a therapeutic option for some upper limb amputees, mostly in bilateral cases. Qualitative assessment speaks in favor of good functional outcome. Thanks to functional neuroimaging, both an amputation- and a graft-induced plastic remodeling of the sensorimotor cortices are progressively revealed. Yet, whether and to what extent hand allograft recipients gain a functional visuo-motor control of their transplanted hands remains unknown. Here, we report the first kinematic characterization of prehension performance in five bilateral hand allograft recipients. Patients had been transplanted two to five years after traumatic bilateral amputation, and the transplantation occurred three to thirteen years prior to the study. To examine in depth their visuo-motor control of prehension, we varied object position (on the ipsi- or contra-lateral hemispace with respect to the tested

hand), object size, as well as the availability of visual feedback during movement execution. Both grafted hands were assessed and performance was compared with that of a group of seven healthy control subjects matched in upper limb morphology, gender and age. Despite an overall longer reaction time and slower movement execution, patients were quite precise while performing the prehension tasks with either hand (>90% of correct grasping actions). Most interestingly, they exhibited a preserved hand grip scaling, as a function of differentially sized objects. In addition, when tested in the absence of visual feedback, their prehensile performance was relatively well preserved. These findings point to a remarkable recovery of the critical features of the visuo-motor control of prehension, and highlight the allograft recipients' abilities to produce an effective motor program, as well as a good proprioceptive-dependent online control. Nevertheless, the maximum grip aperture, notably with the largest object, was reduced and delayed. The correlational coupling between the transport and the grasp components was also reduced, and movement time was especially delayed in the final phase of the movement. This altered pattern is likely attributable to peripheral neuro-orthopedic limitations, mostly mechanical constraints following damage to the tissues. Within these limits, we conclude hand allotransplantation can offer recipients a good recovery of the visuo-motor control of prehension.

Keywords: Hand transplantation, Kinematics, Prehension, Visuo-motor control, Neural plasticity

Abbreviations: MGA: Maximal grip aperture. MVGA: Maximal velocity of grip aperture. MANOVA: Multivariate analysis of variance. ANOVA: Analysis of variance.

Introduction

Bilateral below-elbow amputations are relatively rare but catastrophic events in people's life. They cause severe functional disability and considerably deteriorate the patient's self-representation, with frequent pejorative psychological repercussions. Since the first successful hand allotransplantation (or allograft) in 1998 (48), upper limb allotransplantation has emerged as a valid option for some amputees. It provides benefits in the restoration of function, sensation and appearance that are similar to, or even better, than those expected after upper-limb replantation performed at equivalent anatomic level (33,47,60,65,67,84,111), and superior to those observed with currently available prostheses (32-35,40,47,55,58,67,77,80). For transplantations performed at mid or distal forearm, most of the recovery occurs during the first two-to-three years (58). Despite some persistent limitations in strength, range of motion and somatosensation, the sensorimotor gain of control over their allografted hands enables patients to perform most of daily and work activities, regain independence, and improve their quality of life (46,80).

Besides the recovery of these relatively basic sensory and motor aspects, very little is known about the visuo-motor control of allotransplanted limbs. Notably, even very "simple" actions such as reaching to grasp a glass of water, represent a huge computational challenge that engages a large network of cerebral regions (126,161,162,164,169). To successfully perform most of daily visually-guided prehension movements, the brain needs to collect pertinent visual and proprioceptive information about both the target object and the upper limb (e.g., size and position), to integrate and use them to plan the action, and finally to update them to control the movement online during execution (166). Many of these steps rely on multiple, coordinated and dynamic representations of the upper limb in various primary sensory and motor, as well as associative cortical areas that, even in the adult brain, are highly influenced by peripheral body modifications (115).

Neuroimaging studies have provided a large body of evidence for plastic modifications following both hand amputation and allograft. After hand loss, these changes include notably a somatotopic reorganization of the primary motor (M1) and sensory (S1) cortices contralateral to the amputated side, with an invasion of the previously hand-dedicated areas by the surrounding stump and face areas (116,117,167,171,175). Plastic modifications also concern associative motor areas (118). Several findings suggest that these large-scale plastic changes underlie a long-term reorganization of the motor control induced by the amputation, with hand movement representations being preserved, but re-directed toward the stump muscles (119,120).

Despite the relatively recent introduction of hand allotransplantation, substantial progresses have been made concerning our knowledge about the graft-induced plasticity. Functional neuroimaging studies have testified of a cortical reintegration of the grafted hand by showing after transplantation a re-expansion of the hand representations in M1 and S1, and a reduction of the previously enlarged stump and face representations. Moreover, the centers of gravity of the hand, stump and face areas migrated back towards their original locations (115,121-124). Within M1, the re-emergence of functional hand muscles representations concerns not only the extrinsic but also the intrinsic muscles (115). Plasticity within the premotor cortex (PMC) and the supplementary motor area (SMA) has been assessed only in one hand allografted patient: active flexion-extension of the digits elicited activity in the contralateral SMA since the early post-operative stage, but did not activate the contralateral PMC as late as two years after the graft (122). Sensory areas, investigated in three recipients, seem to regain activity similar to normal subjects (121,123,124,163). The time-course of post-transplantation plasticity remains poorly known, given the small number of patients investigated so far (five patients worldwide), but has been observed as early as two months post-graft, and up to two years after the graft. None of the longitudinal imagery studies had a longer than 26 months follow-up. Despite these limitations, the results tend to support the reversibility of the amputation-induced pattern of plasticity.

Most notably, this tendency to the normalization of the hands cortical representation does not imply ipso facto a normalization of the visuo-motor control of prehension. Despite the fact that the functional quality of motor control in daily actions is of paramount importance for hand allografted patients to regain a satisfactory level of control over their environment, very little is known about the level of motor control that hand allograft can allow to the recipients. Those previous studies that reported normalization of the motor cortex used either passive cartographic techniques such as Transcranial Magnetic Stimulation, or recorded active but elementary movements such as flexion-extension of fingers or elbows, but never assessed complex and coordinated goal-directed movements of the upper limb such as natural prehension. Here, we assessed the degree of functional recovery of the visuo-motor control of the French series of five bilateral hand allotransplanted patients and compared their kinematic features of prehension movements to those of healthy control subjects. To obtain a detailed assessment of their capacities to adapt their motor programs to different movement conditions for each of their grafted hands, they were exposed to several different conditions of object size and location, as well as availability of visual feedback.

Materials and methods

Subjects

Five allotransplantation recipients (four men and one woman, mean age 33) and seven healthy right-handed subjects (six men and one woman, mean age 32) matched in age, gender and upper limb morphology, were included in the experiment. The kinematic study and the clinical examination were parts of the systematic patients' post-transplantation follow-up. All

patients had received a bilateral hand allograft after a traumatic bilateral amputation that occurred between their sixteenth and twenty-ninth years of age. The bilateral transplantation was performed in a single surgical session that occurred from two and half to five years after the amputation, resulting in a range from three to thirteen years prior to the study. For each patient, the surgical procedure included harvest of the two upper limbs of a brain-dead multi-organ donor after family's consent for donation, preparation of the recipient's forearm stumps (dissection, excision of pathologic tissues, identification of each tissular structure), union of grafts and recipient's stumps via osteosynthesis of the ulna and radius (the appropriate length of the forearm bones was calculated with a formula based upon the length of the recipient's humerus) and microsurgical anastomoses of arteries, veins, nerves, tendons or muscles (depending on the graft level), and finally skin closure (Gazarian et al., 2007; Herzberg et al., 2008; Hartzell et al., 2011). The graft levels were at middle or distal third of the forearms in all patients. A lifelong immunosuppressive treatment is required to prevent graft rejection. According to the Edinburgh inventory (Oldfield, 1971), four patients were right-handed and one was ambidextrous before the amputation (the inventory was based upon patient's recall from memory); after the transplantation, two of the previously right-handed patients had become left-handed, and the ambidextrous patient showed a slight preference for the right hand. Each patient had altered active range of motion, motricity, strength, somatosensation and dexterity, resulting in daily life disabilities; one of them had an ankylosis of his right elbow as a consequence of his initial accident. All patients had experienced acute rejection episodes (see Table 1 A and B for detailed anamnestic and clinical data of each patient).

Apparatus and procedure

Subjects sat facing a table, the trunk gently maintained against the seatback by a softened Velcro strap. They wore liquid-crystal goggles (PLATO, Translucent Technologies Inc.) whose opening (allowing vision) and closing (preventing vision) was controlled by the experimenter via custom made software. The two hands of each subject were assessed separately. In the "start" position, the hand rested on the table with the thumb and the index fingers held in pinch-grip position on a release-switch, positioned about 15 cm from the subject's trunk along his sagittal axis. The objects used as prehension targets were plastic cylinders (12 cm high) of three different diameters: 1.2 cm (small object), 3.1 cm (medium object) and 5.1 cm (large object). They were located on the table, 30 cm away from the starting point, at 45° of subject's sagittal axis either on the ipsilateral or contralateral side with respect to the tested hand (see Figure 27). The objects were presented one at a time at one of the two positions in a pseudo-randomized order. The goggles were closed before the beginning of each trial, so the subject could not see the target object and its position before the go signal, which was a beep sound signal synchronous to the goggles opening. Subjects were instructed to rapidly and accurately reach and grasp to lift the object upon the go signal. In the Vision condition (with visual feedback), the goggles remained open during the entire movement; in the No-Vision condition (without visual feedback), the goggles were closed when the subject's hand left the start position (releasing of the switch beneath it). This was aimed at preventing the visual online control of movement execution. Taken together, these four factors formed a set of 24 conditions (2 visual conditions x 2 hands x 2 object positions x 3 object sizes). Eight trials were performed per condition for a total of 192 trials, divided in four blocks of 48 trials (one block per hand and per visual condition). Each block was preceded by a practice session in which the subjects grasped each object in each position once. For each hand, the Vision condition block was recorded before the No-Vision block. If the subject failed to grasp the object, the trial was repeated at the end of the block.

Table 1. Anamnestic data (A) and clinical examination data (B) of the five patients. R: Right hand, L: left hand, M: man, W: woman; U.D.: unavailable data. For the muscular testing, the mean result for the extrinsic muscles (16 assessed muscles per hand) and the intrinsic muscles (10 assessed muscles per hand) is used.

A. Anamnestic data		Patient					
		1	2	3	4	5	
Sex		Male	Male	Female	Male	Male	
Transplantation level		R: distal forearm L: distal forearm	R: mid forearm L: distal forearm	R: mid forearm L: mid forearm	R: distal forearm L: distal forearm	R: distal forearm L: distal forearm	
Age at amputation (years)		29	19	24	23	16	
Delay amputation - allograft (years)		4	2.6	2.5	5.3	5	
Age at allograft (years)		33	21	27	29	21	
Time since allograft (years)		13	9	6	4	3	
Time of surgery (hours)		R: 19 L: 19	R: 13.4 L: 14	R: 9,9 L: 12	R: 19.5 L: 19,5	R: 20 L: 17	
Time of transplant ischemia (mean of the two hand) (hours)		R: 12.8 L: 14	R: 12.5 L: 10.3	R: 9.9 L: 10.5	R: 9,4 L: 9	R: 16 L: 20	
Number of acute rejection episodes		2	3	6	1	3	
B. Clinical examination data		Patient					Norm
		1	2	3	4	5	
Range of motion	Total active range of motion (% of normal)	R: 37 L: 30	R: 62 L: 77	R: 55 L: 47	R: 37 L: 90	R: 77 L: 90	100
	Passive range of motion (% of normal)	R: 79 L: 80	R: 90 L: 97	R: 96 L: 95	R: 95 L: 96	R: 96 L: 100	100
Motricity	Muscular testing of extrinsic muscles (MRC scale)	R: 3 L: 3	R: 4 L: 4	R: 3 L: 3	R: 4 L: 4	R: 3 L: 4	5
	Muscular testing of intrinsic muscles (MRC scale)	R: 1+ L: 1+	R: 2 L: 3	R: 2 L: 2	R: 2 L: 4	R: 1 L: 2	5
Strength	Grip strength (Jamar dynamometer) (Kg)	R: 2 L: 1	R: 2.7 L: 12.2	R: 8 L: 9	R: 4 L: 14.7	R: 17 L: 15	M >43.2 W >25
	Key pinch strength (Pinch gauge) (Kg)	R: 0.75 L: 1	R: 0 L: 2.1	R: 0.7 L: 2.1	R: 2.2 L: 5.3	R: 2.3 L: 1.2	M >9.6 W >6.8
Sensitivity	Joint position sense of wrist, index, thumb	R and L: correct	R and L: correct	R and L: correct	R: altered L: correct	R and L: correct	correct
	Semmes-Weinstein monofilaments in index tip (g)	R: 0.14 L: 0.1	R: 0.25 L: 1.1	R: 0.7 L: 0.1	R: 0.4 L: 0.4	R: 2.1 L: 2.1	<0.2
	Sharp-dull discrimination in whole hand (% of success)	R: 75 L: 62.5	R: 92.5 L: 97.5	R: 92.5 L: 85	R: 92.5 L: 72.5	R: 92.5 L: 82.5	100
	Localisation of touch in whole hand (% of success)	R: 88.9 L: 77.8	R: 100 L: 100	R: 94.4 L: 100	R: 61.1 L: 93.3	R: 100 L: 100	100
	Two point discrimination in index tip (mm)	R: 20 L: 13	R: 15 L: 12	R: 9 L: 20	L: 20 R: 20	R: 6 L: 17	<3
Dexterity	Purdue Pegboard test in unimanual condition (number of elements placed)	R: 2.7 L: 1	R: 3.65 L: 8.15	R: 5 L: 3.3	R: 1 L: 7	R: 5 L: 4	M >14 W >15
	Purdue Pegboard test in bimanual assembly condition (number of elements placed)	4	11.2	8.3	8	10.3	M >29 W >31
	Box and Block Test (number of cubes transferred)	R: 25 L: 35	U.D.	R: 46 L: 46	R: 36 L: 58	R: 55 L: 41	M >69 W >76
Disability	DASH questionnaire (/100)	15	14.2	4.2	43.3	9.2	0

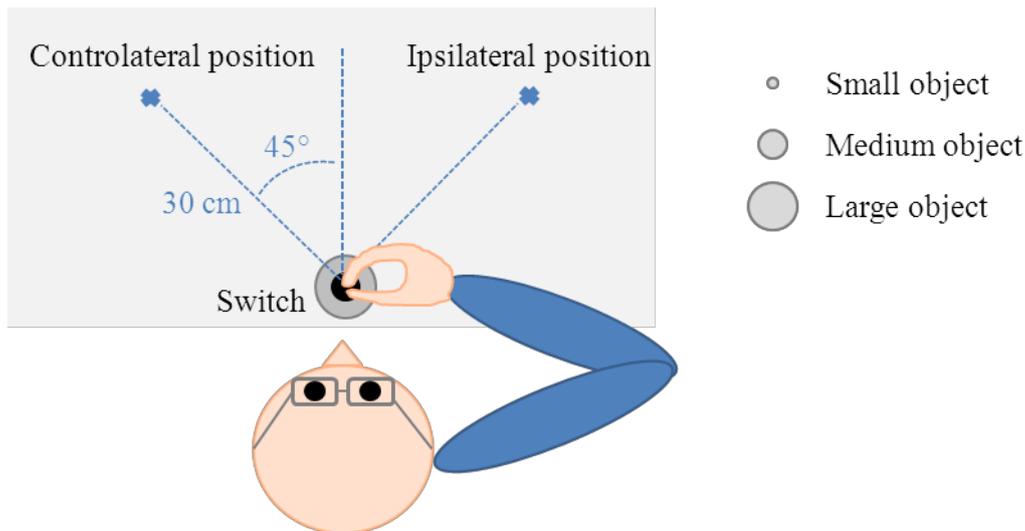


Figure 27. Schematic representation of the apparatus. The participant sat in front of a table, the assessed hand resting in pinch position on a switch button. He wore crystal-liquid goggles allowing or preventing vision. At the go signal, the subject had to reach and grasp the target object, which was one of three cylinders of different diameters located in one of two positions (the positions indicated on the scheme referred to the right hand).

Movement recording and data processing

Upper limb movements were recorded using an optoelectronic VICON MX GIGANET system, composed of infrared stroboscopes and 200 Hz infrared cameras. Four passive infrared reflecting markers were placed upon the nails of the thumb and the index, the styloid process of the radius at the wrist, and the lateral epicondyle at the elbow. After recording and tri-dimensional reconstruction, the position data of each marker were filtered with a Butterworth filter, with a cut-off frequency of 6 Hz. The time-courses of wrist velocity, wrist acceleration, thumb-index grip aperture and grip aperture velocity were derived from these data. The movement parameters indicated below were determined on these profiles by a semi-automatic procedure with manual verification trial by trial.

Movement and kinematics parameters

The movement was divided in four components.

Reaction time. The reaction time was calculated as the delay (in ms) between the go signal and the release of the start switch button.

Transport component. The onset of movement was defined as the first point of the first sequence of at least eleven consecutively ascending point, as derived from the wrist velocity curve. The maximal amplitude (peak) and the time since the movement onset (latency) were computed for the wrist acceleration, velocity and deceleration. The maximal height of wrist and elbow from the table were also calculated. The number of acceleration peaks was derived from trail by trail inspection of the acceleration profile, between movement onset and velocity peak.

Grasp component. The onset of the grip aperture was defined as the first point of the first sequence of at least eleven consecutively ascending point on the grip aperture profile. The latency of both the grip aperture onset and the maximum grip aperture were computed with respect to the movement onset. In addition, the maximum grip aperture (MGA) was calculated as the maximal thumb-index markers distance (minus the thumb-index markers distance at the

starting position). The latency and peak of the maximal velocity of the grip aperture (MVGA) were also computed.

Movement time. The movement end was determined visually on the grip aperture curve as the point of achievement of a stable grip on the object, before it was lifted. The movement time was thus computed as the time between the onset and the end of the movement.

Statistics

Trials affected by loss of markers signal were excluded from analysis (patients: 3.5% of trials; controls: 0.3% of trials). Reaction times could not be recorded in one patient and one control subject due to technical reasons. One block (Left hand, No-Vision) could not be performed in two patients, one for technical reasons and the other because the patient was unable to grasp the object in this condition.

The proportion of successful trials in each subject have been computed and used as observations in order to compare the two groups by means of a nonparametric permutation test.

A nonparametric MANOVA was conducted to compare the two groups (i.e. factor between subjects) and the way their movement components were influenced by the four factors within subjects (Vision, Hand, Object Position and Size) by taking in a global account all parameters of each component. To take in account the intra subjects variability, a random effect model was defined (160,165) and a permutation-based approach was used to assess significance of tested hypotheses (Fisher combining function, 1000 random permutations). Only factors with significant ($p \leq 0.05$) not null effect are considered for parameters level (i.e. univariate) analysis. At the parameters level, a between groups analysis (patients, controls) and a complementary within group analysis were performed for each parameter and factor, using univariate nonparametric ANOVA analysis as above.

The differences of intra-subjects variance of parameters and correlations between parameters were compared between groups. To this aim, the empirical within subjects variances and correlations within each subject was used as observation in a nonparametric permutation-based ANOVA test.

The significance level was set at $p \leq 0.05$ for all analyses.

Results

Global performance

Considering the first 48 trials of each performed block (i.e., excluding repetition for failures), the patients grasped successfully (i.e., grasped and lifted) the object in 96.6% (SD 2.4) of trials with visual feedback and 91.1% (SD 4.4) of trials without visual feedback. Controls succeed in 100% (SD 0) and 95.7% (SD 3.1) of trials, respectively, without significant differences between groups (vision: $t = 2.71$, $p = 0.99$; no-vision: $t = 2.67$, $p = 0.98$).

Group effect

The MANOVA revealed that all movement components differed between controls and patients: the reaction time ($p = 0.007$), the transport component ($p \leq 0.001$), the grasp component ($p \leq 0.001$) and the movement time ($p \leq 0.001$). With respect to controls, patients exhibited longer reaction times (see Table 2), and following a higher number of acceleration peaks they reached a

reduced and delayed acceleration peak, as well as reduced and delayed velocity and deceleration peaks (see Table 2, Figure 28, Figure 29). The patients' grasping component was further characterized by a reduced MVGA that, in turn, delayed a substantially reduced MGA (see Table 2, Figure 28, Figure 29). Finally, patients needed more time to perform the movement (see Table 2, Figure 29). Noteworthy, the additional time cost was major in the final phase of the movement, from the maximal grip aperture to the achievement of a stable grip on the object, whereas the delay cumulated during the earlier movement phase (until the deceleration peak) was less important although significant (approximately 130 ms at the deceleration peak and 650 ms at the end of the movement) (see Figure 29).

	Patients	Controls	Comparison between groups	
			t	p-value
Reaction time (ms)	607 (96)	312 (13)	3.50	0.007
Acceleration peak (mm/s ²)	3162 (364)	4212 (250)	-2.37	0.048
Number of acceleration peaks	1.97 (0.15)	1.63 (0.05)	5.09	≤0.001
Acceleration peak latency (ms)	288 (32)	225 (11)	3.83	≤0.001
Velocity peak (mm/s)	625 (31)	774 (31)	-3.25	0.014
Velocity peak latency (ms)	494 (26)	396 (15)	4.23	0.002
Deceleration peak (mm/s ²)	-2217 (185)	-3175 (258)	3.06	0.015
Deceleration peak latency (ms)	666 (35)	534 (18)	4.36	0.003
Wrist maximal height (mm)	168 (26)	173 (7)	1.62	0.150
Elbow maximal height (mm)	125 (12)	138 (5)	-0.13	0.909
Grip aperture onset latency (ms)	73 (8)	94 (12)	-1.05	0.321
MVGA (mm/s)	277 (28)	466 (35)	-3.76	0.007
MVGA latency (ms)	377 (19)	353 (31)	1.21	0.263
MGA (mm)	61 (3)	85 (3)	-6.18	≤0.001
MGA latency (ms)	873 (53)	569 (29)	5.47	≤0.001
Movement time (ms)	1507 (80)	859 (39)	7.39	≤0.001

Table 2. Main parameters of the movement in the control group and the patient group (mean, standard error of the mean in brackets, statistic result of the between groups ANOVA analysis). MVGA: Maximal velocity of grip aperture, MGA: Maximal grip aperture.

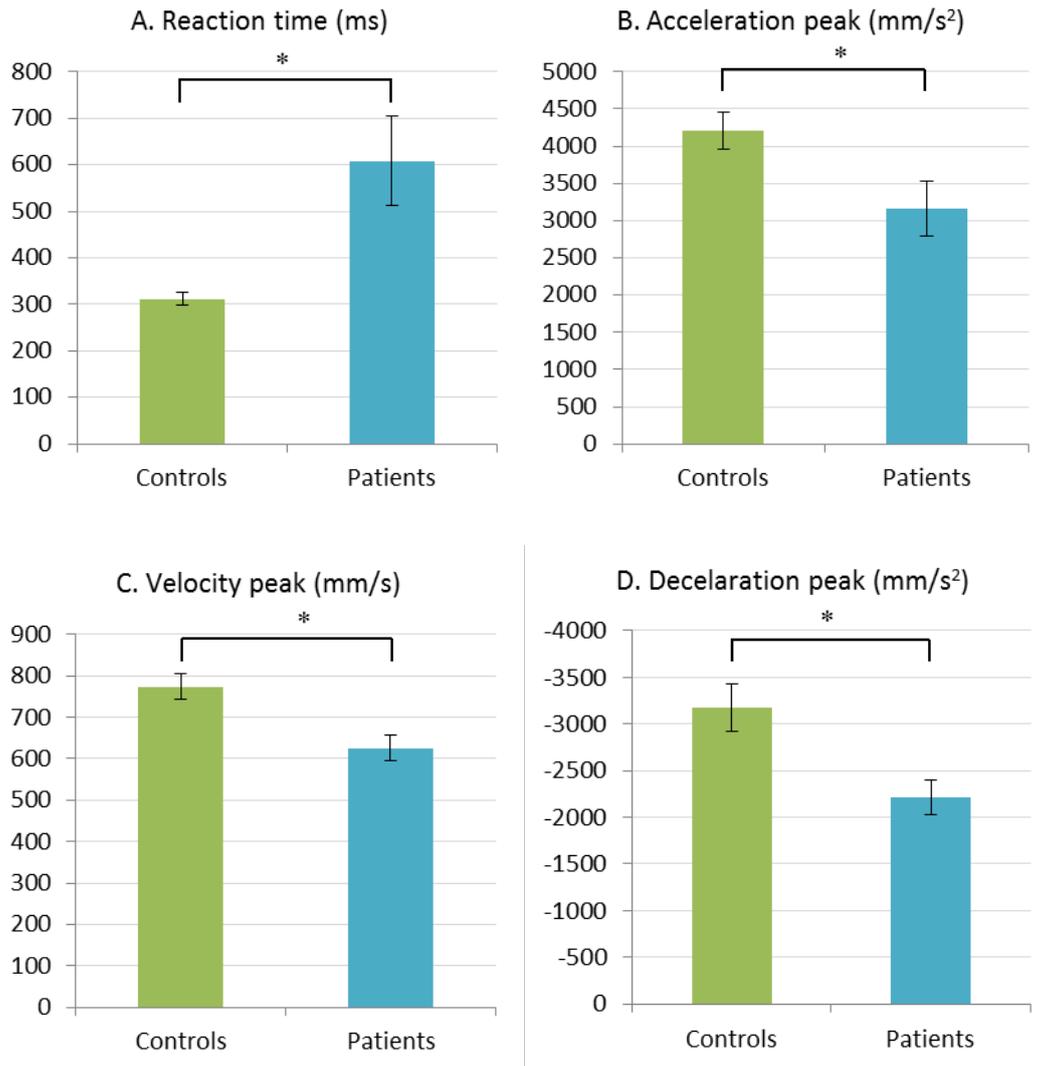


Figure 28. Mean value of reaction Time (A), acceleration peak (B), velocity peak (C) and deceleration peak (D) of the wrist in controls (green) and patients (blue). Patients had longer reaction time and lower acceleration, velocity and deceleration peaks. Error bars: standard error of the mean. * $p < 0.05$

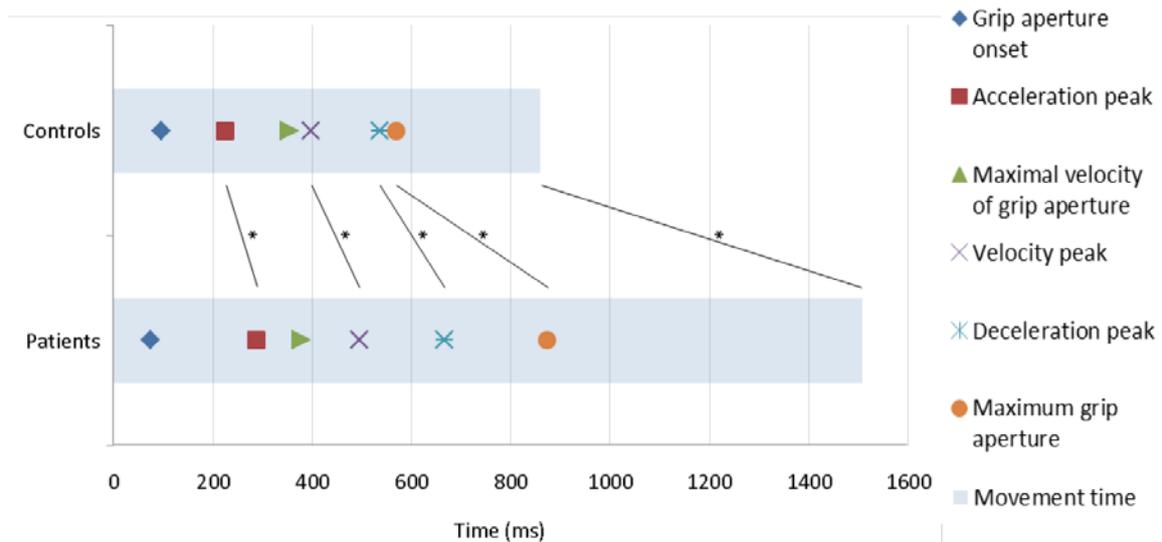


Figure 29. Temporal organization of the prehension movement in patients and controls (mean value of the group for each parameter, $*p < 0.05$). Patients showed a global slowness since all their parameters are significantly delayed comparing to the controls except the grip aperture onset and the maximal velocity of the grip aperture, and an important lengthening of their movement time ensued. However, this increased movement time is principally due to the lengthening of the final phase of the movement from the maximum grip aperture to the achievement of a stable grip on the object, whereas the early phase of the movement from the movement onset to the deceleration peak is slightly impaired.

Vision effect

The presence or absence of visual feedback during movement execution similarly impacted controls and patients movement components (no difference between patients and control subjects in the MANOVA). In sum, allografted patients were not additionally impaired when performing a prehension movement in the absence of visual feedback.

Hand effect

The use of either the right or left hand had no differential influence between groups as revealed by the MANOVA for all movement components.

Object position effect

The lateral position of the object did not interact with the factor Group in three of the four movement aspects; indeed only the transport component was differently affected in controls and patients ($p \leq 0.001$). Patients tended to symmetrically reach toward ipsi and contralateral targets. By contrast, the object position considerably affected controls' transport component: contralateral targets triggered more numerous and lower acceleration peaks, and produced velocity and deceleration peaks of increased latencies and amplitudes with respect to ipsilateral targets (see Table 3A).

Object size effect

The object size affected the transport component in controls and patients similarly, but the other movement components revealed differences between patients and controls.

Patients tended to exhibit longer reaction time for movements directed towards the small as compared to the medium target, whereas controls did not display such a trend (small versus medium: MANOVA $p=0.018$, see Table 3B for details).

In the grasp component, patients differed from controls when asked to grasp the largest object (interactions between groups and object size in the omnibus MANOVA for small versus large: $p\leq 0.001$ and medium versus large: $p\leq 0.001$). Both groups displayed the classical grip scaling as a function of object size, however the scaling was markedly reduced in patients as further testified by the marginal significance of small versus medium comparison (see Table 3B, Figure 30A). Notably, the patients' MGA latency was largely modulated by object size, with a striking increase for the largest object, whereas in controls it remained immune to the differently sized objects (see Table 3B, Figure 30B).

Object size also impacted movement time differentially in controls and patients (significant interaction in the MANOVA between groups and the large size of the object compared with the small size: $p=0.006$ and the medium size: $p=0.012$). Allografted patients needed more time to fully achieve the prehension of the large object as compared with the smaller ones. In sharp contrast, movement time remained constant across the different object sizes for the control group (see Table 3B, Figure 30C).

Correlations between movement parameters

To assess what extent the dynamical structure of patients' movements was preserved, we ran a series of correlations analyses between movement parameters, separately for patients and controls. The two groups did not show significant differences in the correlations between the transport parameters. The coupling between the transport and the grasp parameters was altered in the patients group, as evidenced by significantly lower correlations than the controls group (acceleration, velocity and deceleration peaks latencies vs grip aperture onset latency and MGA latency; velocity peak vs MGA), and, conversely, higher correlations than controls (acceleration and velocity peaks latencies vs MVGA) (see Table 4 for details). Most notably, the temporal coupling of the grasp parameters among themselves was perturbed in allografted patients, as testified by a lower correlation than in controls between the grip aperture onset latency and the MGA latency, as well as the coupling between the movement time and the earliest temporal parameters of the movement (lower correlations than controls with grip aperture onset latency and acceleration, velocity and deceleration peaks latencies) (see Table 4).

Variability

There was no difference in intra-subject variability between the two groups concerning the reaction time component. Variability was significantly different for the transport component ($p=0.025$), the grasp component ($p\leq 0.001$) and the movement time ($p=0.021$): patients had a larger intra-subject variability than the control subjects for the deceleration peak latency ($p=0.010$), the MVGA latency ($p=0.036$), the MGA latency ($p\leq 0.001$) and the movement time ($p=0.016$). On the contrary, they were less variable than controls for the MGA ($p=0.042$).

A. Object position effect	Patients				Controls				Statistic « position x group »			
	Contra-lateral position	Ipsi-lateral position	t	p value	Contra-lateral position	Ipsi-lateral position	t	p value	t	p value		
Acceleration peaks (mm/s ²)	3034	3289	-1.02	0.370	4034	4390	-2.57	0.042	0.30	0.774		
Number of acceleration peaks	1.94	1.99	-0.67	0.540	1.75	1.51	4.63	0.003	-1.62	0.130		
Acceleration peak latency (ms)	310	266	3.82	0.019	236	214	1.42	0.208	1.49	0.163		
Velocity peak (mm/s)	629	622	0.16	0.880	867	681	9.51	≤0.001	-4.17	0.003		
Velocity peak latency (ms)	493	495	-0.10	0.927	431	361	10.84	≤0.001	-4.55	0.003		
Deceleration peak (mm/s ²)	-2055	-2379	2.00	0.116	-3698	-2965	-4.65	0.004	4.61	≤0.001		
Deceleration peak latency (ms)	673	658	0.39	0.717	569	500	4.37	0.005	-2.24	0.045		
Elbow height (mm)	144	106	5.26	0.006	161	115	9.52	≤0.001	-0.86	0.393		
Wrist height (mm)	162	174	-0.90	0.418	178	169	1.34	0.233	-2.40	0.037		
B. Object size effect	Patients				Controls				Statistic « size x group »			
	Small	Medium	Large	t	p value	Small	Medium	Large	t	p value	t	p value
Reaction time (ms)	625	598	599	M vs S: -2.38 L vs S: -1.58 L vs M: 0.17	0.077 0.191 0.868	313	317	307	M vs S: 1.43 L vs S: -1.31 L vs M: -3.45	0.205 0.243 0.014	M vs S: -3.30 L vs S: -0.57 L vs M: 2.31	0.006 0.542 0.046
MGA (mm)	53	62	68	M vs S: 2.34 L vs S: 21.89 L vs M: 8.21	0.079 ≤0.001 0.002	74	86	95	M vs S: 3.08 L vs S: 6.19 L vs M: 5.72	0.020 ≤0.001 0.002	M vs S: -0.98 L vs S: -1.27 L vs M: -1.05	0.355 0.245 0.337
MGA latency (ms)	815	853	949	M vs S: -2.42 L vs S: 3.12 L vs M: 3.15	0.069 0.035 0.033	569	569	569	M vs S: -0.08 L vs S: 0.17 L vs M: 0.19	0.936 0.867 0.851	M vs S: -2.56 L vs S: 4.52 L vs M: 4.06	0.031 0.003 0.003
MVGA (mm/s ²)	216	337	277	M vs S: 1.36 L vs S: 4.10 L vs M: 4.99	0.253 0.015 0.008	389	521	490	M vs S: 0.53 L vs S: 4.27 L vs M: 4.6	0.614 0.005 0.004	M vs S: 0.05 L vs S: -1.95 L vs M: -2.30	0.96 0.078 0.052

MVGA latency (ms)	373	369	388	M vs S: 1.25	0.281	342	384	334	M vs S: 0.69	0.512	M vs S: 0.93	0.379
				L vs S: 0.62	0.564				L vs S: -0.90	0.396	L vs S: 1.10	0.311
				L vs M: -0.08	0.940				L vs M: -0.87	0.415	L vs M: 0.29	0.780
Movement time (ms)	1488	1480	1552	M vs S: -1.10	0.332	862	865	851	M vs S: 2.71	0.038	M vs S: -2.71	0.02
				L vs S: 3.17	0.032				L vs S: -1.14	0.294	L vs S: 5.93	≤0.001
				L vs M: 2.23	0.081				L vs M: -1.57	0.167	L vs M: 5.59	0.002

Table 3. Effect of the object position for the transport parameters (A) and effect of the object size for the reaction time, grasp parameters and movement time (B) in the controls and the patients groups (mean, ANOVA statistic result in each group and ANOVA statistic result of the interaction between the factor and the group). S: small, M: medium, L: large, MGA: maximal grip aperture, MVGA: maximal velocity of grip aperture.

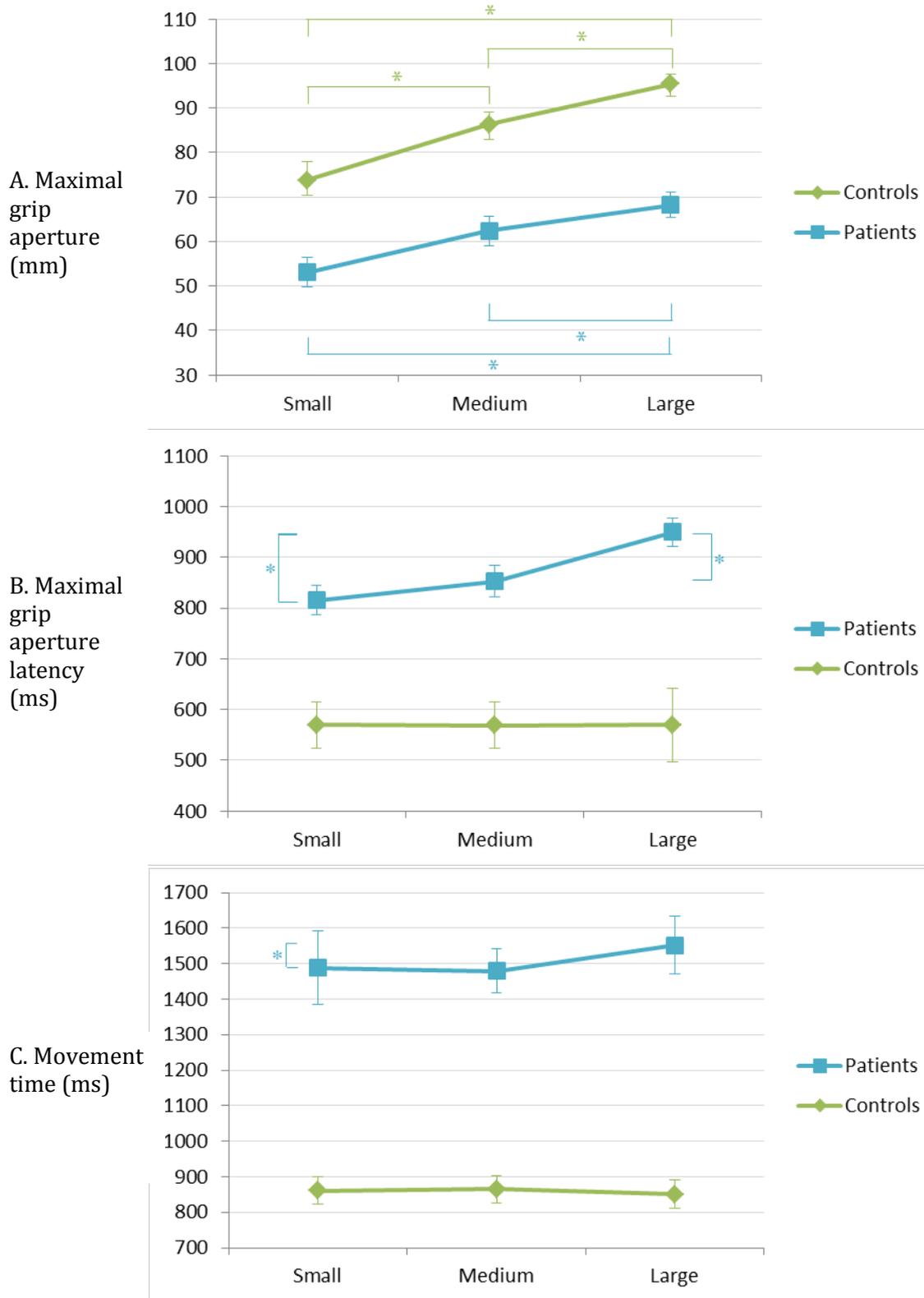


Figure 30. Effect of the object size on the maximal grip aperture (A), the maximal grip aperture latency (B) and the movement time (C) in the two groups. Both groups showed an increase of the maximal grip aperture according to the object size, but with reduced aperture for the patients. For patients, the maximal grip aperture latency and the movement time increased for the large object, whereas they stay similar whatever the object size for the controls. Conventions as Fig. 2.

Parameters	Correlation in patients	Correlation in controls	Comparison between groups	
			t	p-value
Acceleration peak latency vs Grip aperture onset latency vs	0.172	0.466	5.522	0.010
Velocity peak latency vs Grip aperture onset latency	0.248	0.550	5.680	0.019
Deceleration peak latency vs Grip aperture onset latency	0.239	0.469	4.325	0.016
Acceleration peak latency vs MGA latency	0.465	0.629	3.083	0.042
Velocity peak latency vs MGA latency	0.638	0.796	2.969	≤0.001
Time to deceleration peak vs MGA latency	0.582	0.769	3.521	0.009
Velocity peak vs MGA	0.076	0.311	4.412	0.048
Acceleration peak latency vs MVGA	-0.190	-0.044	2.730	0.041
Velocity peak latency vs MVGA	-0.269	-0.105	3.066	0.009
Grip aperture onset latency vs MGA latency	0.207	0.463	4.819	p=0.023
Grip aperture onset latency vs Movement time	0.137	0.421	5.326	0.024
Acceleration peak latency vs Movement time	0.215	0.518	5.694	0.021
Velocity peak latency vs Movement time	0.356	0.655	5.609	0.018
Deceleration peak latency vs Movement time	0.370	0.620	4.711	0.038

Table 4. Differences of inter-parameters correlations between the patient group and the control group (only parameters with a significant statistical result are shown). MGA: maximal grip aperture, MVGA: maximal velocity of grip aperture.

Discussion

The aim of the present study was to characterize the poorly known visuo-motor control of bilateral hand allotransplanted patients through fine-grained examination of their prehension movements. Our results reveal, first of all, a remarkable recovery of the visuo-motor control of prehension in hand allografts recipients, as highlighted in the following section. Despite this

impressive recovery, some motor alterations persisted when quantitatively compared to healthy matched controls. We discuss their possible origins in the last sections.

An impressive recovery of prehension movement in allografted patients

First of all, in about 95% of cases, patients, who had been deprived of hands for several years, have successfully grasped with each allografted hand differently sized cylinders, chosen to be representative of numerous objects of daily life like a can or an AA battery. Such a result can be considered as a very positive functional outcome.

Most importantly, one of the fundamental properties of the visuomotor control of the hand was present: the preserved scaling of fingers' maximal grip aperture according to the object size (126-128) in this series of patients clearly indicates that substantial recovery of critical features of their visuo-motor control can be expected in the hand allotransplanted population.

Remarkably, with only one patient exception and for one hand only, allografted patients were not more perturbed than controls by the suppression of the visual feedback during visuomotor grasping. In the No-Vision condition, participants had to rely on their motor program, elaborated before movement onset, and on proprioceptive-dependent on-line control. Our findings underline two major aspects of patients' recovery: they had the ability to produce an effective motor program, and they could rely on proprioceptive information of remarkable good quality. This finding is far from obvious, since the sensory deficit clinically diagnosed in these patients would have rather led to the opposite prediction. Indeed, an important alteration of the prehension performance in the absence of visual feedback had been reported for hand replanted patients (129). The contrast between the preserved performance of allografted patients newly reported here and the poor performances of replanted patients in a similar no visual feedback grasping task could derive from milder proprioceptive impairments in allotransplantation recipients. Seventy-five percent of the replanted patients in Paysant et al's study (eight right-handed patients replanted of their left hand three to thirteen years prior study) had an altered sense of joint position, whereas the allografted patients investigated here presented mild sensory deficits that essentially concerned the superficial sensitivity (tactile sensitivity, spatial discrimination), whereas the discrimination of joint position under passive displacement of the wrist, index and thumb were almost normal in most of them. The present findings also suggest that such a recovery of proprioception extends beyond passive sensation, to the dynamic kinaesthetic component of proprioception, thus likely contributing to the remarkable recovery of visuomotor control reported here. The use of Tacrolimus in the immunosuppressive regimen of allografted patients, a well-known molecule for enhancing nerve regeneration besides its immunosuppressive effect (130-133), could have contributed to this good proprioceptive recovery after allotransplantation.

Finally, although the early parameters (acceleration, velocity) of the prehensile movements were slightly but significantly altered compared to healthy controls, they were not less correlated between them. In addition, other parameters (the latencies to grip aperture onset and maximal velocity) were fully comparable to controls. Together, with the preserved performance when acting in absence of visual feedback, these findings speak in favor of an effective visuomotor planning in these patients: although each movement parameters are regulated by both motor program and on-line motor control, it has indeed been suggested that the early movement parameters depend more specifically on motor planning, whereas the later movement parameters rely predominantly on the on-line control (134,135). In allografted patients, the initial stage of the movement and thereby the motor program largely seems spared.

A residual central motor deficit?

Before concluding for an intact motor program in hand allografted patients, the lengthening of the reaction time need to be discussed as it is, indeed, known to depend on motor planning (136). The altered pattern of the wrist acceleration (more numerous acceleration peaks) in patients might also be ascribed to motor program alterations as early parameters would not benefit from feed-back correction (134,135). When tested in comparable conditions of object position and size, a similar perturbation of the acceleration phase has been reported in a patient suffering from optic ataxia (137), a sensory-motor deficit following damage of the posterior parietal cortex (173,174). Allograft recipients are certainly not to be compared to brain-damaged patients, yet both amputation and graft markedly impact the cortical sensory-motor organization. As reported in the introduction, after limb amputation, sensory and motor cortical maps undergo plastic modifications induced by the deprivation of their sensory afferent inputs and motor effectors. The loss of a hand provokes a somatotopic reorganization of the primary motor (M1) and sensory (S1) cortices contralateral to the amputated side, with a shrinkage of the representations of the hand and an expansion of the neighboring area dedicated to the stump and face representation (116,117,167,171,175). Beyond these primary cortices, plastic changes have also been reported in premotor areas (118). Changes in the balance of intra-cortical inhibition and facilitation seem to play a crucial role in these plastic modifications (138). Despite these important cortical reorganizations, the cortical motor networks which control the hand does not seem to disappear, at least for amputees who keep a voluntary motor control of their phantom limb. For these subjects, it has been shown that the stimulation of the presumed hand area in M1 could evoke a large range of movements of the phantom limb, including movements that the patient could not produce voluntarily (119). Moreover, voluntary movements of the phantom limb elicit contractions in stump muscles which were not previously involved in the hand control; interestingly, these contractions form specific patterns of stump muscle activity differing from each other depending on the phantom movement performed, and distinct from activity recorded during movement of the proximal limb (120). These results suggest an amputation-induced long-term reorganization of motor control, with hand movements representation preserved but re-targeted to the stump muscles. If one assumes that visuomotor planning could be at least partially altered by amputation induced cortical reorganization, then its recovery requires some further plastic adaptations after allografts, for instance to retarget the distal movement representations toward the relevant muscles. Moreover, the new hand does not have the morphological and biomechanical feature of the native one, and the re-innervation is a relatively random process, which does not reproduce the topography of the original innervation. Thereby, hand allotransplantation is not the mere return in place of a terminal effector, but the implementation of a new effector, which might require at least a partial adaptation of motor planning, and not only the reactivation of a pre-amputation one. Taken together, the massive reorganization underwent by motor and sensory networks could well contribute to the delayed reaction time and global movement lengthening. However, additional arguments may favor an alternative explanation.

Persistent invalidating peripheral limitations

The lengthened reaction and movement times could alternatively reflect execution difficulties due to peripheral neuro-orthopedic sequelae. The task being more demanding in terms of execution for patients than for controls, patients could indeed need more time to plan it (136,139,140). As reported in Table 1B, all patients experienced mild sensory and motor deficits due to the imperfect reinnervation after the graft, as well as important limitations of the active range of motion of the wrist and the fingers, secondary to tendinous lesions (adhesions, ruptures), muscular and articular lesions (fatty degenerations, fibrosis, retractions) and surgical constraints (strong tension imposed to the flexor system in order to preserve grip strength, tendinous grouping resulting in no or few dissociation of the digits movement, etc.). This

“peripheral” account for patients’ difficulties is supported by several arguments when considering patients’ grasping kinematics.

Despite a preserved grip scaling, patients showed difficulties to pre-shape their hand, particularly while approaching the largest object. Interestingly, following central lesions, patients with visuo-motor transformation deficit usually showed an over extended grip aperture (170,172). Indeed, increase in movement safety requirements (and/or accuracy), e.g. because of absence of visual or somatosensory feedback, generally leads to an increase of the maximal grip aperture to provide a greater security margin (142-145). Here, the general slowness exhibited by patients, their significantly higher intra-subject variability for numerous kinematic patterns would have predicted an increased grip aperture. In sharp contrast, not only their maximum grip size was noticeably reduced (though delayed), but also their intra-subject variability of the very same parameter was significantly reduced, as compared to controls. Patients were seemingly constrained to take smaller security margins than controls when grasping objects. In controls, object size may have no effect on movement time (127,128,146), as we report here. Alternatively, increasing object size may result in shortening of the movement time, as the accuracy demands decrease due to a larger surface area available for contact (145). Distinctively, allografted patients exhibited the opposite effect, the larger object giving rise to longer movement times. Wider fingers opening was accompanied by longer opening duration in patients: the 2 cm increase in diameter between the medium and the large object delayed the grip aperture latency by 100ms, without having any cost in controls. These findings and the reduced scaling of the grip according to the object size are in favor of a mechanical constraint: patients almost reached their widest possible grip aperture when required to grasp the larger object. In sum, patients exhibited a marked difficulty in opening their grip to ensure the safety margin while grasping the large object, which was hence the more demanding condition. In addition, grasping an object located in the contralateral or ipsi lateral side does not require the same articular displacements, both at proximal and distal levels. Side-induced modulations of the transport parameters were present in controls, but absent in hand allotransplantation recipients where the biomechanical constraints may be responsible for their altered pattern of prehension.

The peripheral hypothesis finds additional support in the pattern of correlation between the different kinematic parameters. The profound alteration of the coupling between the transport and the grasping largely depends upon patients reduced grasping skills (e.g. the latencies of the transport were loosely correlated with the MGA latency in patients due to a delayed MGA, whereas the controls’ movements display a tighter link), also emphasized by the reduced temporal coupling of the grasp parameters among themselves. As long as the transport parameters are considered, patients and controls display no difference in correlation parameters, importantly though, both the wrist and the hand were part of the allotransplantation in all patients. Moreover, the lack of correlations between the movement time and the earlier temporal parameters in patients highlight the paramount importance of the movement final phase for the patients’ difficulties. This phase needs higher precision and online control as it corresponds to the closing and fine adjusting of the fingers configuration to the object in order to achieve a stable grip, and was strikingly prolonged in patients (see Fig. 3). This alteration of the final stage of the movement, important enough to provoke a partial temporal disorganization of the movement, may be accounted for by a lack of dexterity that could follow from tactile sensitivity deficit, impaired motor capabilities and range of motion of the hands that perturbed the fingers biomechanic.

In conclusion, our results suggest an excellent recovery of the prehension in bilateral hand allografts recipients. Despite the ensuing cortical reorganization, the motor planning does not stand as the main source of disability. Conversely our findings highlight the role of peripheral neuro-orthopedic limitations in reducing patients grasping abilities. If higher intrinsic qualities of the allografted hands could be reached, the effective motor program should

enable recipients to possibly get even better control of their hands. In this respect, further optimization of the surgical procedures and rehabilitation protocols will be of valuable help: notably, reducing the ischemia duration of the transplant during the surgery, a major source of tissue damage, and favoring techniques that allow early active mobilization to prevent tissue adhesions, may be valuable priorities to pursue.

Acknowledgements

We thank all the subjects for their participation, the departments of physical therapy and occupational therapy of Henry Gabrielle Hospital and Romans Ferrari Rehabilitation Center for their help in data collection, and the allotransplantation team for his collaboration.

Funding

This work was performed in the framework of the Labex/Idex ANR-11-LABX-0042, IHU CeSaMe ANR-10-IBHU-0003 and was supported by grants from Fondation pour la Recherche Médicale (FRM) and a James S. McDonnell Foundation Scholar Award to AF. L.H. was supported by the Société Française de Médecine Physique et Réadaptation.

4 Discussion

4.1 Enjeux et place des allogreffes de main

En quelques mots, A.R. Chancholle résume les enjeux immenses qu'une allogreffe de main pose aux médecins : « De quoi s'agit-il ? D'une main qui manque à cet embryon qui pourrait être mon enfant ; d'une main amputée qui pourrait être la mienne, qui hier encore me permettait d'opérer ; du désespoir qui s'ensuit, inimaginable à qui ne l'a vécu dans sa chair ; de l'espoir fou d'une main retrouvée. Voilà ce qui se joue ici. [...] Reste au médecin à dire la Raison, c'est-à-dire les difficultés, toutes les difficultés de ce qu'il faut bien encore appeler une aventure : difficultés du long terme d'un traitement qui met en cause une vie que la lésion ne met pas en jeu. » (4)

L'allogreffe n'est bien évidemment pas destinée au traitement de la majorité des amputations de membre supérieur. Pour chaque patient, il convient de mener une réflexion individualisée pour savoir ce qui servira au mieux le malade. Les moyens de prise en charge des amputés qui existaient avant la greffe de main restent aujourd'hui des alternatives parfaitement valables dans la majorité des cas, et les progrès médico-techniques font deviner l'émergence future de nouvelles méthodes qui seront probablement supérieures aux allogreffes dans certains cas.

4.1.1 Les alternatives actuelles

Les options de prise en charge des amputations de main regroupent aujourd'hui l'abstention thérapeutique, les prothèses et la chirurgie du moignon.

Malgré les tentatives plus ou moins nombreuses et fructueuses d'appareillage observées depuis l'antiquité (cf. paragraphe 1.1.1), l'abstention thérapeutique a longtemps été la principale réponse des médecins dans cette situation, et reste souvent de règle dans les pays en développement où le manque de moyens interdit à un grand nombre de patients d'accéder à d'autres types de soins. Dans les pays occidentaux, si l'abstention thérapeutique est rarement une option retenue volontairement et en premier choix dans les amputations secondaires, elle reste une des voies préférentielles dans la prise en charge des absences congénitales de membre. Comme souligné au chapitre 1.2.1.2, les enfants présentant une amputation congénitale de membre supérieur sont capables de mettre en place au cours de leur développement des stratégies de compensation d'une très grande efficacité, leur permettant d'acquérir un niveau fonctionnel nettement supérieur à celui des patients présentant une amputation acquise. Certains patients démontrent également dans les suites d'une amputation secondaire des capacités d'adaptation importantes, et récupèrent avec leur moignon une autonomie satisfaisante. Ainsi, les ressources propres du patient peuvent lui fournir un bénéfice fonctionnel important tout en le préservant des inconvénients des prothèses et des approches chirurgicales. Il convient donc de respecter ces ressources lorsqu'elles suffisent à restaurer la qualité de vie de la personne (4).

L'appareillage prothétique est actuellement l'option proposée aux amputés de main dans l'écrasante majorité des cas, et s'avère une solution satisfaisante pour beaucoup. L'appareillage, qu'il soit esthétique, mécanique ou myoélectrique, présente en effet de nombreux atouts. En premier lieu, les prothèses représentent un moyen de suppléance efficace suite à la perte de la main, à condition d'être choisies en adéquation avec les objectifs et préférences de chacun. De nombreux patients trouvent alors dans l'appareillage un gain fonctionnel important et retrouvent grâce à lui une qualité de vie intéressante, malgré les limites des prothèses déjà

exposées au chapitre 1.1.4. On rappelle ainsi que plus de 80% des amputés s'avèrent satisfaits de leurs prothèses et que leur niveau de performance dans les actes de la vie quotidienne est généralement élevé. L'appareillage est ensuite un moyen de prise en charge non invasif et à faible risque : sans faire abstraction des problèmes d'inconfort dans la prothèse (sudation et autres) et des pathologies spécifiques pouvant être liées à son utilisation (rachialgies, pathologies cutanées, etc.), la majorité des plaintes somatiques des patients appareillés reste en relation avec l'amputation elle-même plus qu'avec la prothèse, comme les douleurs neuropathiques que le port d'une prothèse peut d'ailleurs contribuer à soulager. Enfin, l'appareillage est une technique réversible et adaptable tout au long de la vie en fonction de l'évolution des besoins du patient et des progrès technologiques. Utiles, évolutives et sans danger, les prothèses sont donc une solution appropriée pour de nombreux amputés.

La chirurgie du moignon permet d'améliorer l'usage de celui-ci. Elle peut se concevoir isolée pour optimiser l'utilisation du moignon en tant qu'outil préhensile et sensitif, ou couplée à l'appareillage pour améliorer l'usage de la prothèse. Elle consiste par exemple à corriger des douleurs de contact liées à un névrome d'amputation, une cicatrice pathologique, une exostose ; à stabiliser les masses molles sur le squelette distal ; à améliorer l'aspect esthétique du moignon ; à restaurer une pince sensible dans le cas particulier de l'opération de Krukenberg (cf. paragraphe 1.1.1 pour détails) ; etc. Dans la majorité des cas, c'est une chirurgie relativement simple, rapide, sûre et peu coûteuse. La correction du moignon augmente les possibilités fonctionnelles, et peut donc contribuer de façon décisive à la restauration d'une bonne qualité de vie (4).

Dans ce contexte, il doit rester évident que l'allogreffe de main ne peut se placer qu'en dernière ligne thérapeutique, lorsque toutes les options ci-dessus ont été envisagées et mises en échec.

Aucune étude comparative directe n'a été menée entre appareillage (ou abstention) et greffe. En revanche, la plupart des patients greffés rapportent des bénéfices fonctionnels nets comparativement à leur situation pré-greffe, appareillés ou non, sur les évaluations subjectives comme objectives (score DASH, etc.) des performances avant et après greffe (32-38,40,47,50-52,55,57,58,60,61,65-67,69,71,77,98,100-102,110,112). Toutefois, comme souligné aux paragraphes 2.1.2 et 2.6, les scores DASH pré-transplantation des greffés de mains sont 2 à 3 fois moins bons que ceux de la population moyenne des amputés de membre supérieur, et leurs scores post-transplantation rejoignent ceux de la population générale des amputés de main : les candidats à la greffe sont donc une population particulière d'amputés des mains s'auto-évaluant plus handicapée que la majorité, et les gains fonctionnels que leur apporte la transplantation ne seraient peut-être pas transposables au reste des amputés. Une comparaison indirecte peut être faite sur le score de Carroll : Hodges et al. indiquent que dans leur institution le score de Carroll des patients appareillés se situe dans la catégorie moyen (45%) ou pauvre (55%) selon la classification de Russell (67), alors que sur les 22 mains greffées pour lesquelles cette évaluation a été rapportée, 73% se situaient dans la catégorie moyen, 18% dans la catégorie bon, 4% dans la catégorie excellent et seulement 4% dans la catégorie pauvre (cf. paragraphe 2.1.3).

4.1.2 Les alternatives futures

De nombreux champs de recherche actuels offrent des perspectives encourageantes pour la prise en charge des amputations de membre supérieur, et devraient à court ou long terme permettre d'offrir des solutions satisfaisantes à une partie des patients actuellement en impasse thérapeutique.

L'amélioration des prothèses devrait d'abord permettre d'augmenter la satisfaction des amputés envers l'appareillage. Les causes de désagrément liées à l'usage des prothèses, menant parfois à leur abandon, sont principalement en lien avec les caractéristiques technologiques des

prothèses existantes : inconfort des matériaux, poids, fonctions et contrôle insuffisants, etc. L'amélioration de la qualité des prothèses comme de la rééducation prothétique dans ces domaines devrait donc permettre d'augmenter l'usage prothétique et l'utilité des prothèses (21,23). 68% des patients ayant abandonné leur appareillage se déclarent ainsi prêts à reconsidérer l'usage d'une prothèse si des progrès dans la technologie étaient faits à un coût raisonnable (14). Du point de vue des usagers, la recherche sur les prothèses devrait en priorité concerner à court terme l'amélioration des gants, des unités batteries/chargeur, et la fiabilité des électrodes ; à long terme, les priorités devraient porter sur de meilleures amplitudes de mouvement des doigts (notamment le pouce), une moindre attention visuelle requise pour contrôler la prothèse, et l'amélioration des mouvements du poignet (11).

Le membre artificiel idéal devrait être biomimétique sa fonction (mouvement et force), sa sensibilité (collecter des informations sur l'environnement) et ses caractéristiques externes (poids, inertie, aspect, etc.) (11) : le meilleur membre est donc un vrai membre dans l'état actuel de la technologie, justifiant le recours aux allotransplantations. Si les évolutions permettent de se rapprocher suffisamment de ces critères, les membres artificiels pourront devenir une option plus intéressante que les greffes.

Plusieurs axes de recherche actuels progressent en ce sens. On peut notamment citer l'amélioration des matériaux et pièces pour les prothèses « classiques », mais également le développement de nouveaux types de prothèses. L'ostéointégration consiste à ancrer directement la prothèse sur le squelette du patient au lieu de recourir à un système de fixation externe (cf. Figure 31). Elle permet une meilleure transmission des mouvements du membre résiduel à la prothèse, la récupération d'un certain retour sensitif via l'ostéoperception, et élimine les problèmes liés aux systèmes d'accroche externe (mais expose à ses propres complications).



Figure 31. Prothèse de membre inférieur ostéointégrée. Images d'après (3).

De nombreuses voies pour améliorer le contrôle prothétique par l'utilisateur sont à l'étude, généralement regroupées sous le terme de « prothèses bioniques ». Les prototypes actuels, basés sur le concept des prothèses myoélectriques, cherchent à optimiser la perception et le traitement des signaux myoélectriques pour obtenir une commande plus intuitive et plus efficace de la prothèse, avec des mouvements plus proches des mouvements naturels d'un bras. Ces modèles permettent notamment de commander une plus grande gamme de mouvements du membre supérieur (jusqu'à 10 mouvements pour les derniers modèles commercialisés, cf. Figure 32) et des mouvements simultanés des différentes articulations.



Figure 32. Le bras « bionique » DEKA arm. Image d'après la société Deka Research and Development Corporation.

La réinnervation chirurgicale ciblée s'applique aux amputés proximaux : elle consiste à déplacer chirurgicalement les extrémités nerveuses destinées au membre amputé en région pectorale, où les terminaisons axonales vont croître et coloniser le tissu musculaire. Les contractions musculaires provoquées par l'influx nerveux issu de ces motoneurons peuvent alors être captées par des électrodes de surface, permettant un contrôle efficace de la prothèse.

Encore au stade de recherche, des systèmes de commande alternatifs aux électrodes myoélectriques de surface sont envisagés. Une première voie consiste à implanter directement les électrodes dans les muscles résiduels. La seconde voie recherche une commande directe de la prothèse par le système nerveux, et donc une amélioration drastique des possibilités de contrôle, soit en reliant le système de commande de la prothèse aux nerfs périphériques du membre résiduel, soit en utilisant directement l'activité corticale (11).

L'intégration dans les prothèses d'une fonction sensitive constitue un autre domaine majeur de la recherche en appareillage. Une telle fonction implique l'adjonction aux effecteurs prothétiques de capteurs sensoriels (capteurs de force, de température, etc.), et un système d'utilisation des informations recueillies. Certains modèles prothétiques actuels utilisent déjà des capteurs mécaniques dont les informations sont utilisées par le processeur pour ajuster les mouvements de la main à la forme, la texture et la consistance des objets saisis. Le développement de ce concept, jusqu'à l'utilisation de réseaux artificiels de neurones associés à des gants capteurs, permettrait de rendre la prothèse plus « intelligente » en s'adaptant aux conditions de réalisation du mouvement indépendamment du contrôle de l'utilisateur (main robotique). Toutefois, l'un des principaux défis consiste à restaurer pour l'usager une sensibilité du membre, autrement dit à lui transmettre les informations sensorielles récoltées par la prothèse. Là encore plusieurs axes de développement semblent prometteurs, des feedbacks mécanomyographiques aux feedbacks sensoriels nerveux directs (4,11).

On peut enfin citer d'autres technologies en développement qui devraient permettre d'améliorer la fonction des prothèses, comme les muscles artificiels (polymères électroactifs) (11).

Pour finir, les progrès en chirurgie reconstructrice devraient permettre de réduire le besoin de membres de substitution, prothèse ou greffe. Des technologies d'ingénierie tissulaire, en cours de développement, devraient permettre la création extra-corporelle de tissus vivants ou semi-artificiels qui pourront être utilisés dans la prise en charge des délabrements de membre supérieur et réduiront les amputations (28,42).

4.1.3 Perspective économique

Une évaluation économique des allotransplantations de main est pour l'instant difficile à réaliser compte tenu du petit nombre de cas, de l'absence de données sur l'évolution à long terme de ces patients, et des contextes médico-économiques différents selon les pays. Une équipe américaine estime le coût d'une greffe unilatérale à 150 000 \$ pour les trois premiers mois, incluant les coûts relatifs au prélèvement d'organe, à la procédure chirurgicale et à l'hospitalisation, aux traitements, à la rééducation, et au suivi. Le coût du traitement immunosuppresseur et de sa surveillance au long cours est ensuite estimé à 15 000 \$ par an (148). On voit que ces calculs ne prennent pas en compte de nombreux coûts, dont celui de la rééducation au long cours ni celui des complications de l'immunosuppression. Par ailleurs, les auteurs américains considèrent qu'un patient rentre à domicile à 3 mois post-transplantation et poursuit sa rééducation en ambulatoire avec des kinésithérapeutes et ergothérapeutes locaux, ce qui n'est généralement pas le cas des patients européens dont les durées de prise en charge hospitalière sont beaucoup plus longues pour la plupart. Des auteurs anglais ont estimé la charge financière totale (à vie) de la procédure à environ 530 000 \$ pour une greffe unilatérale. A notre connaissance, aucun chiffre n'a été publié concernant le coût des transplantations bilatérales. Quoi qu'il en soit, il semble évident que ces coûts surpassent de loin ceux d'un appareillage prothétique.

Chung et al. ont mené en 2009 une étude coût-utilité comparant les transplantations de main à l'appareillage aux Etats-Unis, prenant en compte l'amélioration de la qualité de vie en utilisant la méthode des QALYs (Quality Adjusted Year of Life) (149). En dépit de points méthodologiques pouvant être sujets à débat (évaluation selon les préférences personnelles de l'utilité de l'appareillage et de la transplantation y compris les risques de l'immunosuppression par un panel d'étudiants en médecine sains, coût de l'appareillage semblant sous-estimé comparativement à d'autres données de la littérature), les résultats de cette étude se prononcent clairement en faveur des prothèses. Après amputation unilatérale, l'utilité de l'appareillage semble supérieure (30 QALYs versus 28.8 QALYs) et pour un coût nettement inférieur. Après amputation bilatérale, l'utilité de l'allogreffe apparaît meilleure (26.7 QALYs versus 25.2 QALYs), mais le coût supplémentaire nécessaire pour obtenir ce gain de qualité de vie outrepassait largement le seuil traditionnellement admis (381 961 \$/QALY pour un seuil habituel de 50 000 \$/QALY).

Il est bien évident que des considérations économiques seules ne peuvent guider une stratégie thérapeutique. Elles ont toutefois leur place dans la réflexion globale sur les places respectives des différentes options, dans une optique d'utilisation optimale des ressources. Dans le cas des amputations de membre supérieur, le surcoût considérable imposé par les greffes de main comparativement aux approches classiques est un argument supplémentaire pour ne pas en faire un standard de prise en charge, mais pour les réserver aux cas particuliers de certains patients dûment sélectionnés pour lesquels une telle procédure semble un investissement utile et raisonnable.

4.1.4 Perspectives de développement des allogreffes de main

4.1.4.1 Le défi immunologique

Nous avons vu aux chapitres 1 et 2 que la majorité du débat bénéfice-risque des allogreffes de main reposait sur l'apport fonctionnel d'un côté et les risques de l'immunosuppression à vie de l'autre. Si l'optimisation des prises en charge chirurgicales et rééducatives peut faire espérer des progrès sur le premier point, le champ le plus prometteur à court terme pour faire basculer cette balance bénéfice-risque en faveur de la greffe reste

l'amélioration de l'approche immunologique qui permettrait de réduire significativement les complications de l'immunosuppression.

De nombreux projets de recherche sont en cours dans ce domaine, en allotransplantation de tissus composites comme en allotransplantation d'organes. Deux stratégies semblent actuellement envisageables pour la minimisation voire la suppression de l'immunosuppression globale non spécifique (150):

- le développement de nouvelles molécules et de nouvelles formes d'immunosuppression, moins toxiques, de durée limitée ou ciblées sur les tissus les plus antigéniques.

- l'induction d'une tolérance spécifique chez le receveur, par une reprogrammation ou un blocage spécifique de son système immunitaire.

Une allogreffe de main présente des caractéristiques très particulières sur le plan immunologique, qui la différencient d'une greffe classique d'organe. Ces particularités, qui sont loin d'être parfaitement comprises, semblaient initialement des obstacles immunitaires et faisaient craindre des réactions de rejet incontrôlable ; mais l'expérience accumulée et les progrès de la recherche en immunologie suggèrent que ces différences pourraient en réalité s'avérer des atouts majeurs favorisant la tolérance du greffon et permettant d'envisager la minimisation de la prise en charge immunosuppressive. La première de ces différences majeures réside dans le caractère pluritissulaire des allogreffes de tissus composites, dont certains considérés comme les plus immunogènes de l'organisme comme la peau ; hors l'immunogénicité de ces tissus s'avère moindre lorsqu'ils sont compris dans une allogreffe multitissulaire que lorsque qu'ils sont greffés individuellement. La deuxième différence clé réside dans l'apport au sein de la greffe d'organes immunocompétents, notamment de la moelle osseuse vivante au sein des os qui pourrait jouer un rôle favorable dans la modulation de la réponse immunitaire contre le greffon (45,62,150,151).

4.1.4.1.1 Développement de nouveaux protocoles immunosuppresseurs

La recherche sur les immunosuppresseurs laisse espérer l'apparition en pratique clinique de nouvelles molécules qui offriraient moins d'effets secondaires pour une efficacité au moins équivalente voire supérieure, grâce à une action plus ciblée, glissant du concept d'immunosuppression à celui d'immunomodulation/immunorégulation. Parmi les molécules en cours de développement, un nombre important cherche à prévenir l'activation des lymphocytes T circulants lors de leur rencontre avec les antigènes (anergie). L'activation, la prolifération puis la différenciation et la survie des lymphocytes T reposent sur une double stimulation : le contact entre l'antigène et le récepteur des cellules T d'une part, et l'échange de signaux entre la cellule T et la cellule présentatrice d'antigène d'autre part (« co-stimulation »). Des molécules dirigées contre les protéines impliquées dans ces signaux de co-stimulation inhibent donc l'activation des lymphocytes T. Les anticorps monoclonaux sont actuellement une des pistes privilégiées pour la mise au point de ces molécules. Des agents physiques comme la photothérapie pourrait également être utilisé comme agent immunosuppresseur local (150,151).

Outre la mise au point de nouvelles molécules, l'utilisation différente des immunosuppresseurs disponibles est une voie explorée par de nombreuses équipes. Les associations de molécules, permettant de réduire la dose et donc la toxicité individuelle de chacune, sont aujourd'hui privilégiées en transplantation de main. L'augmentation du nombre de cas et du recul devrait permettre de définir petit à petit les associations optimales. Fortes du succès des premiers cas qui se sont avérés sur le plan immunologique plus satisfaisants qu'on ne pouvait le craindre initialement (on rappelle que tous les cas de rejet aigu qui ont été correctement pris en charge ont été contrôlés sans difficultés majeures, et qu'aucun cas de rejet chronique n'a formellement été prouvé pour l'instant lorsque la compliance au traitement immunosuppresseur est bonne), certaines équipes tentent aujourd'hui d'alléger les protocoles immunosuppresseurs des greffés de main en abandonnant les classiques tri-thérapies incluant

des corticoïdes au profit de bithérapie, voire de monothérapie (cf. l'exemple de Pittsburgh ci-dessous). La réduction ou la suppression de la corticothérapie est recherchée par beaucoup. L'utilisation d'immunosuppresseurs topiques et non par voie générale, permettant de réduire la toxicité systémique tout en ciblant la peau fortement immunogène, est également explorée (32,62,80,151).

4.1.4.1.2 Induction d'une tolérance spécifique

La tolérance spécifique se définit comme l'absence de réaction immunitaire du receveur restreinte aux seuls antigènes du greffon. Cette situation idéale permettrait de prévenir le rejet du greffon tout en laissant le sujet parfaitement compétent face aux autres antigènes étrangers. L'induction de cette tolérance chez le receveur nécessite d'intervenir sur le processus de maturation des lymphocytes T dans le thymus (tolérance « centrale ») ou sur le processus d'activation des lymphocytes T lors de leur rencontre avec l'antigène (tolérance « périphérique ») (150).

La tolérance centrale repose sur une reprogrammation du répertoire antigénique du donneur par la création d'un chimérisme hématopoïétique, autrement dit l'intégration des cellules du donneur dans le système hématopoïétique du receveur. Certaines cellules dérivées de la moelle osseuse ont en effet la capacité de migrer dans le thymus, où la présentation des antigènes du « soi » inhibe la libération de lymphocytes T autoréactifs. L'incorporation de cellules du donneur parmi les cellules présentatrices d'antigènes dans le thymus permettrait donc de faire reconnaître les antigènes du donneur comme faisant partie du « soi », et d'empêcher la maturation de lymphocytes réagissant aux antigènes du donneur. En pratique, le répertoire génétique de chaque individu via l'administration de cellules hématopoïétiques n'est facilement modifiable que pendant une période privilégiée, avant sa maturation, correspondant chez l'humain au premier trimestre de développement du fœtus. En dehors de cette fenêtre, la création d'un chimérisme hématopoïétique nécessite au préalable un conditionnement du receveur, autrement dit une destruction de ses cellules immunocompétentes pour éviter que celles-ci ne rejettent les cellules du donneur et permettre leur incorporation. Les protocoles de conditionnement sont associés à une forte toxicité, et à un risque important de réaction du greffon contre l'hôte (graft versus host) chez le receveur. Lorsque le donneur et le receveur sont génétiquement proches (apparentés), le conditionnement du receveur peut être réduit et le risque de complication est moindre. Des essais cliniques encourageants ont été menés en ce sens dans la transplantation de rein à partir de donneurs vivants apparentés. Mais l'allogreffe de tissus composites impose des contraintes spécifiques qui compliquent l'application de protocoles d'induction de tolérance : l'origine des greffons est dans ce cas limitée aux donneurs en état de mort encéphalique, ce qui exclut les donneurs apparentés et ne permet pas d'anticiper le conditionnement du receveur préalablement à la greffe. Le conditionnement doit donc être réalisé simultanément à la greffe et doit être suffisamment puissant pour vaincre une forte disparité immunologique entre le donneur et le receveur. Par ailleurs, les greffons de tissus composites sont par définition constitués de tissus hétérogènes mais dont certains ayant une forte immunogénicité, et intègrent des éléments immunocompétents (moelle osseuse et ganglions lymphatiques) qui pourraient déséquilibrer un état de tolérance spécifique. Le rôle dans l'immunologie des allogreffes de membre de la moelle osseuse contenue dans le greffon est toutefois encore très mal connu, et de nombreux arguments incitent à penser que celle-ci pourrait également jouer un rôle positif dans la tolérance du greffon.

Des essais chez l'animal ont prouvé qu'il était possible d'induire chez l'adulte un état de tolérance spécifique envers des allogreffes de membre, mais au prix d'une morbi-mortalité non négligeable liée aux protocoles de conditionnement. Celle-ci est encore trop importante pour envisager un transfert de la technique chez l'homme, mais les progrès de la recherche immunologique font espérer le développement de nouveaux protocoles de conditionnement qui permettraient d'atteindre cet objectif via l'administration au receveur de cellules de moelle osseuse et/ou de cellules souches du donneur. Associée ou non à l'induction d'une tolérance

centrale, une autre façon d'obtenir une tolérance de la greffe serait de provoquer un phénomène de tolérance spécifique périphérique en empêchant les lymphocytes autoréactifs de provoquer une réponse contre les antigènes du donneur. Plusieurs mécanismes peuvent mener à cette tolérance périphérique (déplétion clonale, indifférence lymphocytaire, anergie, etc.), et diverses pistes sont envisagées dans ce domaine et testées sur des modèles animaux (thérapies cellulaires, utilisation d'anticorps monoclonaux, etc.) (150-152).

L'hypothèse de la création naturelle d'un chimérisme entre le donneur et le receveur a été évoqué, puisque les mains greffées contiennent une certaine quantité d'os et donc de moelle osseuse. L'existence de ce chimérisme n'a jamais pu être prouvé chez les patients greffés (50,64,153).

Même si une tolérance spécifique totale, qui permettrait de supprimer tout traitement immunosuppresseur à long terme, reste un objectif encore lointain, l'équipe de Pittsburgh a développé dans les greffes de main un protocole très encourageant basé sur la transfusion chez le receveur de moelle osseuse du donneur (113). En plus du traitement habituel d'induction de l'immunosuppression (alemtuzumab et méthylprednisone) au moment de la chirurgie, cinq de leurs patients ont reçu une transfusion de cellules de moelle osseuse du donneur au quatorzième jour post-transplantation. Les patients ont ensuite reçu une monothérapie immunosuppressive par tacrolimus à dose standard. A 1 an (3 patients) ou à 4 mois (2 patients) de suivi, les résultats étaient satisfaisants avec des épisodes aigus de rejet n'apparaissant ni plus fréquents, ni plus sévères que chez les autres patients rapportés dans la littérature, et avec des résultats fonctionnels équivalents, malgré une immunosuppression beaucoup plus légère. Il n'y a pas eu de réaction du greffon contre l'hôte, ni d'autres effets secondaires graves. Aucun chimérisme hématologique à long terme n'a été identifié chez ces patients. Les résultats à long terme d'un tel protocole restent à déterminer, de même que le lien exact entre la transfusion de moelle osseuse et la possibilité de réduire l'immunosuppression chez ces patients puisque d'autres protocoles de réduction d'immunosuppression semblent également possibles sans apport de cellules de moelle osseuse (32,113). On notera également que dans le cas des greffes de visage, une tentative de transfusion de moelle osseuse dans les premiers jours post-greffe chez deux patients n'a pas permis d'induire de tolérance (46,80).

4.1.4.2 Le défi neurologique

Si la réduction des contraintes de l'immunosuppression permettra d'alléger le plateau des menaces de la balance bénéfice-risque de la greffe de main, l'optimisation des résultats fonctionnels donnera plus de poids à celui des gains. De nombreuses voies d'innovation apporteront peut-être des solutions tout au long de la prise en charge des patients, dont l'amélioration des techniques chirurgicales ou la réduction des lésions ischémiques ne sont que des exemples. On ne détaillera ici que l'optimisation de la récupération neurologique, issue des recherches sur le traitement des lésions nerveuses centrales comme périphériques, et qui pourrait entre autre apporter des bénéfices importants.

Certaines molécules sont susceptibles de favoriser la régénération nerveuse au sein du greffon. Parmi celles actuellement disponibles, le tacrolimus stimule la repousse axonale via des actions combinées sur les neurones et les cellules de Schwann (augmentation du nombre d'axones myélinisés et non myélinisés en croissance en aval de la section, accélération de la croissance axonale). Ces propriétés neurotrophiques ont été largement démontrées in vitro ainsi qu'in vivo chez l'animal, tant sur le système nerveux périphérique que central (132,133). Chez l'homme, la repousse nerveuse plus rapide qu'attendue observée après des allogreffes de tissus composites a été attribuée au tacrolimus. Suite à ces observations, du tacrolimus a été administré après une réimplantation de bras de mauvais pronostic avec un bon résultat (130). Au-delà de son utilité comme immunosuppresseur, cette propriété « pro-régénérative » nerveuse du tacrolimus en fait un traitement de première intention après une greffe de main. La fenêtre

temporelle optimale pour administrer ce traitement n'est toutefois pas connue : des modèles animaux de lésions nerveuses ont montré que l'efficacité neurorégénératrice était meilleure lorsque le tacrolimus était administré immédiatement lors de la lésion, et que son efficacité diminuait lorsque son introduction était différée de quelques jours. L'efficacité était même maximale lorsque l'administration débutait trois jours avant la lésion (précharge). Cette stratégie n'est évidemment pas applicable aux greffes de main puisque cette chirurgie ne peut pas être programmée. En revanche, l'administration d'une dose de charge dans les quelques heures précédant l'opération et consacrées à la préparation, pour atteindre rapidement des taux sériques équivalents à ceux qui seraient obtenus après 3 jours de précharge, permettrait peut-être d'optimiser l'effet neurologique du tacrolimus. Par ailleurs l'effet bénéfique du tacrolimus se prolonge sur toute la période de récupération tant qu'il est administré, d'où l'intérêt de maintenir du tacrolimus dans les protocoles immunosuppresseurs d'entretien des patients, au moins les premières années. La dose optimale de tacrolimus du point de vue neurotrophique reste à définir, d'autant que des études animales suggèrent que la relation dose-efficacité ne serait pas linéaire mais plutôt bimodale. De plus, si le tacrolimus agit sur tous les sous-types de neurones (moteurs, sensitifs, végétatifs), la dose optimale semble varier selon le type de neurone. Les effets des interactions avec les autres molécules immunosuppresseuses/immunorégulatrices sur la neurorégénération doivent aussi être étudiés de façon plus complète.

Les bloqueurs du signal de co-stimulation (CSB), en particulier les anti-CD40 ligand, font l'objet d'une attention particulière car des données chez l'animal suggèrent que ces molécules pourraient également avoir un effet favorable sur la régénération nerveuse, notamment sur la myélinisation et la maturation axonales ; l'administration conjointe de tacrolimus et de CSB pourrait donc être prometteuse, mais les essais chez l'animal montrent que les interactions et les relais dose-effet entre ces deux molécules s'avèrent extrêmement complexes. Chez la souris, l'administration des deux molécules à dose immunosuppressive annule les effets bénéfiques du tacrolimus, alors que le CSB à dose thérapeutique associé à une faible dose de tacrolimus préserve l'efficacité neurorégénérative. Les combinaisons idéales de molécules pour obtenir un effet immunologique et neurologique optimal restent donc à définir (132,133).

D'autres molécules, sans effet immunologique, sont également à l'étude pour optimiser la régénération nerveuse périphérique. Certaines molécules dérivées du tacrolimus (famille des ligands des immunophilines), qui ont la même action neurotrophe mais sans l'effet immunosuppresseur, ou le Transforming Growth Factor β , montrent par exemple *in vitro* et/ou *in vivo* des effets intéressants, mais n'ont encore jamais été testées chez l'homme (132,133).

La thérapie cellulaire représente un autre domaine potentiel pour l'amélioration de la régénération axonale. La repousse axonale étant principalement sous la dépendance des cellules de Schwann, une supplémentation en cellules de Schwann du receveur obtenues par culture autologue, ou en cellules Schwann-like dérivées de cellules souches, pourrait être bénéfique, mais les techniques d'obtention de ces cellules, et d'ensemencement du nerf avec, doivent être mises au point (132).

4.2 Allogreffes de main : apport de la cinématique

On a vu que l'intérêt des allogreffes de main réside dans leur apport fonctionnel, supérieur à celui des autres options de prise en charge actuelle des amputés de membre supérieur. La qualité fonctionnelle des greffons repose sur une multitude de paramètres : qualité des tissus mous et osseux, qualité de la régénération nerveuse périphérique, qualité de la réintégration corticale. Ce dernier point reste sujet à débat. Une tendance à la normalisation anatomique des représentations corticales de la main au sein des cortex moteur et sensitif primaires a bien été montrée par des études d'imagerie fonctionnelle, les aires secondaires ont été beaucoup moins étudiées mais semblent suivre un schéma comparable (115,121-124). En

revanche, très peu de données sont disponibles sur la qualité fonctionnelle du contrôle moteur de ces mains greffées. En effet ces études se sont concentrées sur les cortex moteur et sensitif primaires, or le contrôle moteur repose sur des réseaux neuronaux corticaux et sous-corticaux beaucoup plus vastes et très distribués au sein de l'encéphale. De plus ces études ont été menées par des techniques de cartographies passives, ou en utilisant des mouvements très simples de flexion/extension des doigts et du coude, mais jamais des mouvements complexes et coordonnées des membres supérieurs comme la préhension. La qualité fonctionnelle chez les patients allogreffés de main des réseaux impliqués dans le contrôle visuo-moteur de la préhension n'a donc jamais été étudiée directement, autrement dit en neuro-imagerie. L'évaluation de la qualité du comportement moteur issu du fonctionnement de ces réseaux est un moyen d'étude indirect ; or la préhension des patients allogreffés n'a jamais été évaluée autrement que via l'observation clinique des mouvements des patients, et par une première étude cinématique ayant rapporté de façon succincte chez un seul patient la capacité à réaliser une prise calibrée en fonction de la taille de l'objet à la fin de la phase de transport de la main (69). L'analyse cinématique est une technique qualitative et quantitative fine d'étude du mouvement. La richesse des informations qu'elle fournit concernant le déroulé du mouvement dans le temps et dans l'espace permet une évaluation détaillée de la qualité du mouvement réalisé. Nous avons mené la première étude cinématique impliquant plusieurs patients greffés des mains et étudiant des mouvements complexes de préhension, pour tester leur niveau de récupération du contrôle visuo-moteur de la préhension en comparant les caractéristiques de leurs mouvements de préhension à ceux de sujets sains. Pour évaluer leur capacité à adapter leur programme moteur à différentes conditions de réalisation du mouvement, ils ont été testés en faisant varier d'un mouvement à l'autre la taille de l'objet à saisir, la direction du mouvement, la main utilisée, l'existence ou non d'un retour visuel.

Nos résultats indiquent un haut degré de réintégration corticale des mains greffées. Représentée par un trouble de la planification motrice, l'altération centrale du mouvement, si elle existe, ne semble pas du tout au premier rang des causes d'altération du mouvement des patients greffés contrairement aux déficits neuro-orthopédiques périphériques séquellaires (notamment les lésions tissulaires altérant la biomécanique des mains greffées). Et en dépit de ces déficits, la performance des patients, bien que moins bonne que celle de sujets sains, reste remarquable (cf. partie 3. pour les détails).

Notre étude confirme donc que l'intégration neurologique centrale des mains greffées n'apparaît pas comme un obstacle à la réussite des greffes de membres supérieurs. La plasticité anatomique démontrée par l'imagerie s'accompagne bien d'une plasticité fonctionnelle d'excellente qualité. Ces résultats sont un argument supplémentaire pour considérer la greffe de main comme une alternative thérapeutique valable dans la prise en charge des amputations bilatérales.

Nos résultats n'ayant pas permis d'éliminer l'existence chez ces patients d'un léger trouble de la planification motrice, secondaire aux mouvements de plasticité cérébrale majeurs post-amputation puis post-greffe, des techniques de rééducation visant à favoriser la réintégration corticale avant même la réinnervation sensitive et motrice des muscles intrinsèques pourraient être mises à profit chez ces patients. La thérapie miroir semble à cet égard particulièrement intéressante chez les greffés unilatéraux ; elle a d'ailleurs déjà été utilisée dans la rééducation de certains (68). Des techniques d'imagerie motrice pourraient aussi être particulièrement profitables, chez les greffés unilatéraux comme bilatéraux.

5 Conclusions

Nom, prénom du candidat : HUCHON Laure

CONCLUSIONS

Les amputations bilatérales de main sont rares (une dizaine de cas par an en France). Généralement d'origine traumatique, elles touchent principalement des adultes jeunes, de sexe masculin, actifs et en bonne santé par ailleurs. La perte des deux mains entraîne une incapacité fonctionnelle majeure et altère sévèrement l'image corporelle, avec des retentissements psycho-sociaux souvent délétères.

Une prise en charge chirurgicale et rééducative adaptée offre habituellement une restauration au moins partielle de la fonction et de l'image des mains. Elle permet la création de membres résiduels sains, la restauration d'un état général satisfaisant, la confection et l'adaptation de membres prothétiques, l'apprentissage de la maîtrise de l'appareillage, la reconquête d'une autonomie dans les actes de la vie quotidienne et la réadaptation socio-professionnelle, en accord avec le projet de vie du patient. En ce qui concerne l'appareillage notamment, différents types de prothèses peuvent être proposés à la personne en fonction de ses attentes fonctionnelles et de ses capacités d'utilisation. Mais même les meilleures prothèses et techniques actuelles de réhabilitation se heurtent à la diversité et à la complexité des fonctions exercées par la main (préhension, communication, affectivité, représentation de soi), et la plupart des patients amputés bilatéraux conservent des déficiences, des limitations d'activité et des restrictions de participation notables. De nombreuses activités de la vie quotidienne et professionnelle restent difficiles ou impossibles à réaliser pour les amputés bilatéraux de mains. L'esthétique des prothèses reste souvent pauvre. Ces limitations persistantes entraînent souvent des difficultés psycho-sociales, et bien évidemment une altération notable de la qualité de vie de certains amputés bilatéraux de main. Ces difficultés empêchent certains patients de retrouver un équilibre personnel satisfaisant, et les incitent à rechercher avec leurs soignants des alternatives thérapeutiques.

La première allogreffe de main réussie a été réalisée en 1998, et aujourd'hui plus de 80 mains ont été greffées dans le monde, dont plus de la moitié dans le cadre de transplantations bilatérales. Les résultats fonctionnels de ces greffes de main sont encourageants : tous les patients retrouvent un certain niveau de sensibilité et une fonction motrice de la main, et la grande majorité gagne après la greffe une dextérité et des capacités fonctionnelles nettement supérieures à celles qu'ils présentaient auparavant. Malgré certaines limitations persistantes, la plupart des patients récupèrent ainsi leur autonomie dans la majorité des actes de la vie quotidienne et reprennent une activité professionnelle, avec une amélioration de leur qualité de vie. Mais face à ces gains fonctionnels, la contrainte d'un traitement immunosuppresseur à vie nécessaire pour prévenir le rejet des greffons pèse lourd par ses risques de complications infectieuses, carcinologiques et métaboliques. Le rapport bénéfice-risque de ces allogreffes doit donc être soigneusement évalué, et malgré une expérience de plus en plus riche dans ce domaine, le faible nombre de patients concernés et le manque de recul impliquent que certains éléments de cette balance soient encore à préciser.

La capacité d'intégration corticale de ces mains greffées est une de ces questions majeures, car elle conditionne en partie la qualité fonctionnelle du résultat. L'amputation induit en effet des changements plastiques importants au sein des cortex moteurs et sensitifs, avec entre autres une réduction des aires de représentation des mains et une colonisation par les aires environnantes (face, moignon) des zones précédemment dédiées aux mains. Des études en imagerie fonctionnelle réalisées après des greffes de main ont prouvé une réversibilité au moins partielle de ces changements post-amputations, avec une tendance à la normalisation anatomique des aires de représentation des mains. Mais ces études ont utilisé des méthodes de cartographie passive, ou des mouvements simples des doigts ou du coude, mais n'ont jamais étudié des mouvements complexes et coordonnés vers un but tel que le mouvement de préhension. En dehors de considérations cliniques, la qualité fonctionnelle du contrôle visuo-moteur de la préhension après une allogreffe bilatérale de main n'a donc quasiment pas été décrite. L'analyse cinématique permet via l'analyse fine et quantifiée du comportement moteur d'étudier la fonctionnalité du contrôle moteur. Nous avons donc

mené une étude cinématique visant à comparer les caractéristiques des mouvements de préhension de cinq patients allogreffés bilatéraux des mains à celles de sujets sains, et leur capacité à s'adapter à différentes conditions de réalisation du mouvement.

Nos résultats mettent en évidence une excellente récupération du contrôle visuo-moteur de la préhension chez les patients allogreffés bilatéraux de mains. Le taux de réussite des patients dans la tâche de préhension est en effet similaire à celui des contrôles, et les principales caractéristiques d'un bon contrôle visuo-moteur sont retrouvées chez ces patients, comme la préservation du calibrage de la pince pouce-index en fonction de la taille de l'objet à saisir, le relatif respect des phases précoces du mouvement, ou l'absence de perturbations engendrées par la suppression du retour visuel. Ces données soulignent les excellentes performances des patients dans la planification du mouvement comme dans le contrôle moteur en ligne. Comparativement aux mouvements des sujets sains, l'analyse des mouvements des patients met en évidence des difficultés d'exécution, avec des altérations concernant principalement la phase de saisie de l'objet. Elles s'expriment essentiellement par un allongement du temps de réaction, une réduction de la taille d'ouverture de la pince pouce-index, des difficultés majorées pour saisir les gros objets, un allongement important de la phase finale de saisie de l'objet, et un moins bon couplage entre la phase de transport de la main et la phase de saisie. Ces altérations sont à rapporter aux déficits neuro-orthopédiques périphériques séquellaires et notamment aux déficiences biomécaniques musculo-tendineuses des mains greffées (altération des amplitudes actives de mouvement). Les déficits sensitifs semblent peu perturber la préhension, au moins pour la grande majorité des mains, et si nos données ne permettent pas totalement d'exclure un trouble central de planification motrice qui serait le stigmate d'une réintégration corticale imparfaite, celui-ci est dans tous les cas mineur. Si l'optimisation des techniques chirurgicales et de rééducation permettait de mieux préserver la qualité tissulaire des greffons, les futurs patients allogreffés pourrait probablement obtenir une fonction encore meilleure de leurs mains grâce à ce contrôle moteur efficace.

Dans la balance bénéfice-risque des greffes de main, nos résultats s'inscrivent donc au crédit des bénéfiques. Dans le futur, cette appréciation tiendra aussi compte des progrès technologiques de l'appareillage qui permettront de réduire le nombre de patients susceptibles d'être intéressés par une greffe de mains, et des progrès thérapeutiques qui permettront de minimiser les risques liés à l'immunosuppression qui sont aujourd'hui l'un des freins majeurs au développement des allogreffes de mains.

Le Président de la thèse,
Professeur Gilles RODE



Vu et permis d'imprimer
Lyon, le 09 SEP. 2014

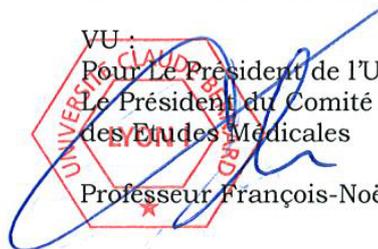
VU :
Le Doyen de la Faculté de Médecine
Lyon-Est

Professeur Jérôme ETIENNE



VU :
Pour Le Président de l'Université
Le Président du Comité de Coordination
des Etudes Médicales

Professeur François-Noël GILLY



6 Bibliographie

1. Monet J. Naissance de la kinésithérapie et de la physiothérapie. L'émergence des instituts de rééducation (1880-1915). *Journal de réadaptation médicale*. 2010;30(4):167-76
2. Thurston AJ. Paré and prosthetics: the early history of artificial limbs. *ANZ J Surg*. 2007;77(12):1114-9
3. André J. Appareillage des amputés du membre supérieur, Diplôme Universitaire Handicapés moteurs Nancy. 2008. <http://www.cofemer.fr/UserFiles/AppDU08EvoIMS.pdf> (consulté le 28/07/2014)
4. Chancholle A-R, Souquet R, Moutet F, Saboye J. Une main vous manque et... Indications thérapeutiques des agénésies et amputations de main : plasties et prothèses versus allogreffes. *Ann Chir Plast esthétique*. 2010;55(4):272-86
5. André J, Paysant J. Les amputés en chiffres. Collège des enseignants de Médecine Physique et Réadaptation. 2006. http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/AP2Amp_Chiffres.pdf (consulté le 28/07/2014)
6. National Amputee Statistical Database. The Amputee Statistical Database for the United Kingdom 2004/05. Edinburgh: ISD Publication; 2005
7. Ziegler-Graham K, MacKenzie EJ, Ephraim PL, Travison TG, Brookmeyer R. Estimating the prevalence of limb loss in the United States: 2005 to 2050. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008 ;89(3):422-9
8. Østlie K, Skjeldal OH, Garfelt B, Magnus P. Adult acquired major upper limb amputation in Norway: prevalence, demographic features and amputation specific features. A population-based survey. *Disabil Rehabil*. 2011;33(17-18):1636-49
9. Dap F. Bases chirurgicales des amputations, DES de médecine Physique et Réadaptation. 2011. [http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/1Dap\(bis\).pdf](http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/1Dap(bis).pdf) (consulté le 28/07/2014)
10. Martinet N. Les amputés de membre supérieur appareillage et rééducation, DES Médecine Physique et Réadaptation. 2011. <http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/8AmputesMSappareillageMartinet.pdf> (consulté le 28/07/2014)
11. Martin CW. Upper Limb Prostheses A Review of the Literature With a Focus on Myoelectric Hands. 2011. http://www.worksafebc.com/health_care_providers/Assets/PDF/UpperLimbProstheses2011.pdf (consulté le 28/07/2014)
12. Barouti H, Agnello M, Volckmann P. Amputations du membre supérieur. In : *Encyclo Méd Chir, Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation* [Article 26-269, A-10], 1998
13. Esquenazi A, Meier RH. Rehabilitation in limb deficiency. 4. Limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(3 Suppl):S18-S28

14. Resnik L, Meucci MR, Lieberman-Klinger S, Fantini C, Kelty DL, Disla R, et al. Advanced upper limb prosthetic devices: implications for upper limb prosthetic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(4):710–7
15. Østlie K, Franklin RJ, Skjeldal OH, Skrondal A, Magnus P. Assessing physical function in adult acquired major upper-limb amputees by combining the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) Outcome Questionnaire and clinical examination. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92(10):1636–45
16. Davidson J. A survey of the satisfaction of upper limb amputees with their prostheses, their lifestyles, and their abilities. *J Hand Ther.* 2002;15(1):62–70
17. Dudkiewicz I, Gabrielov R, Seiv-Ner I, Zelig G, Heim M. Evaluation of prosthetic usage in upper limb amputees. *Disabil Rehabil.* 2004;26(1):60–3
18. Datta D, Selvarajah K, Davey N. Functional outcome of patients with proximal upper limb deficiency--acquired and congenital. *Clin Rehabil.* 2004;18(2):172–7
19. Østlie K, Magnus P, Skjeldal OH, Garfelt B, Tambs K. Mental health and satisfaction with life among upper limb amputees: a Norwegian population-based survey comparing adult acquired major upper limb amputees with a control group. *Disabil Rehabil.* 2011 ;33(17-18):1594–607
20. Raichle KA, Hanley MA, Molton I, Kadel NJ, Campbell K, Phelps E, et al. Prosthesis use in persons with lower- and upper-limb amputation. *J Rehabil Res Dev.* 2008 ;45(7):961–72
21. Østlie K, Lesjø IM, Franklin RJ, Garfelt B, Skjeldal OH, Magnus P. Prosthesis rejection in acquired major upper-limb amputees: a population-based survey. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2012;7(4):294–303.
22. Wright TW, Hagen a D, Wood MB. Prosthetic usage in major upper extremity amputations. *J Hand Surg Am.* 1995;20(4):619–22
23. Biddiss E, Chau T. Upper-limb prosthetics: critical factors in device abandonment. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007 ;86(12):977–87
24. Østlie K, Lesjø IM, Franklin RJ, Garfelt B, Skjeldal OH, Magnus P. Prosthesis use in adult acquired major upper-limb amputees: patterns of wear, prosthetic skills and the actual use of prostheses in activities of daily life. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2012;7(6):479–93.
25. Darnall BD, Ephraim P, Wegener ST, Dillingham T, Pezzin L, Rossbach P, et al. Depressive symptoms and mental health service utilization among persons with limb loss: results of a national survey. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005 ;86(4):650–8
26. Desmond DM. Coping, affective distress, and psychosocial adjustment among people with traumatic upper limb amputations. *J Psychosom Res.* 2007;62(1):15–21
27. Demet K, Martinet N, Guillemin F, Paysant J, André J-M. Health related quality of life and related factors in 539 persons with amputation of upper and lower limb. *Disabil Rehabil.* 2003 May 6;25(9):480–6

28. Duhamel P, Bey E, Petit F, Cariou J-L. L'histoire expérimentale et clinique des allotransplantations de tissus composites en chirurgie reconstructrice. *Ann Chir Plast esthétique*. 2007;52(5):399-413
29. Tobin GR, Breidenbach WC, Ildstad ST, Marvin MM, Buell JF, Ravindra K V. The History of Human Composite Tissue Allotransplantation. *Transplant Proc*. 2009;41(2):466-71
30. Foroohar A, Elliott RM, Kim TWB, Breidenbach W, Shaked A, Levin LS. The history and evolution of hand transplantation. *Hand Clin*. 2011;27(4):405-9, vii
31. Hartzell TL, Benhaim P, Imbriglia JE, Shores JT, Goitz RJ, Balk M, et al. Surgical and technical aspects of hand transplantation: is it just another replant? *Hand Clin*. 2011;27(4):521-30, x.
32. Kaufman CL, Breidenbach W. World experience after more than a decade of clinical hand transplantation: update from the Louisville hand transplant program. *Hand Clin*. 2011;27(4):417-21, vii-viii
33. Jablecki J. World experience after more than a decade of clinical hand transplantation: update on the Polish program. *Hand Clin*. 2011;27(4):433-42, viii
34. Petruzzo P, Dubernard JM. World experience after more than a decade of clinical hand transplantation: update on the French program. *Hand Clin*. 2011;27(4):411-6, vii.
35. Hautz T, Engelhardt TO, Weissenbacher A, Kumnig M, Zelger B, Rieger M, et al. World experience after more than a decade of clinical hand transplantation: update on the Innsbruck program. *Hand Clin*. 2011;27(4):423-31, viii
36. Ravindra KV, Buell JF, Kaufman CL, Blair B, Marvin M, Nagubandi R, et al. Hand transplantation in the United States: experience with 3 patients. *Surgery*. 2008;144(4):638-43; discussion 643-4.
37. Schneeberger S, Ninkovic M, Gabl M, Hussl H, Rieger M, Loescher W, et al. First forearm transplantation: outcome at 3 years. *Am J Transplant*. 2007;7(7):1753-62
38. Rizzo C, Guigal V, Badet L, Gazarian A. Résultats fonctionnels des allogreffes de main. In : Fontaine C, Liverneaux P, Masméjean E. *Cours européen de pathologie chirurgicale du membre supérieur et de la main - 2012*. Montpellier : Sauramps Medical ; 2012. p. 325-35
39. Shores JT. Recipient screening and selection: who is the right candidate for hand transplantation. *Hand Clin*. 2011 ;27(4):539-43, x
40. Pei G, Xiang D, Gu L, Wang G, Zhu L, Yu L, et al. A report of 15 hand allotransplantations in 12 patients and their outcomes in China. *Transplantation*. 2012;94(10):1052-9
41. Benatar D, Hudson DA. A tale of two novel transplants not done: the ethics of limb allografts. *BMJ*. 2002;324(7343):971-3
42. Gazarian A, Abrahamyan DO. Allogreffe de main chez le nouveau-né agénésique : étude de faisabilité. *Ann Chir Plast esthétique*. 2007;52(5):451-8
43. Loh D. Arm transplant which made history has set precedent for similar attempts on babies. *New straits times*. 2000.

<http://news.google.com/newspapers?nid=1309&dat=20000611&id=XwEzAAAAIBAJ&sjid=hBQEAAAAIBAJ&pg=3626,6148118> (consulté le 27/07/2014)

44. Lantieri L. Composite allotransplantation in the upper extremity: from research to clinical reality. *Chir Main.* 2009;28(2):67-73
45. Gorantla VS, Demetris AJ. Acute and chronic rejection in upper extremity transplantation: what have we learned? *Hand Clin.* 2011;27(4):481-93, ix
46. Petruzzo P, Dubernard J-M. The International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation. *Clinical Transplants.* 2011:247-53
47. Schuind F, Abramowicz D, Schneeberger S. Hand transplantation: the state-of-the-art. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007;32(1):2-17
48. Dubernard JM, Owen E, Herzberg G, Lanzetta M, Martin X, Kapila H, et al. Human hand allograft: report on first 6 months. *Lancet.* 1999;353(9161):1315-20
49. Gazarian A, Abrahamyan D-O, Petruzzo P, Kanitakis J, Guigal V, Garret J, et al. Hand allografts: experience from Lyon team. *Ann Chir Plast Esthet.* 2007;52(5):424-35
50. Margreiter R, Brandacher G, Ninkovic M, Steurer W, Kreczy A, Schneeberger S. A double-hand transplant can be worth the effort! *Transplantation.* 2002;74(1):85-90
51. Breidenbach WC, Gonzales NR, Kaufman CL, Klapheke M, Tobin GR, Gorantla VS. Outcomes of the first 2 American hand transplants at 8 and 6 years posttransplant. *J Hand Surg Am.* 2008;33(7):1039-47
52. Brandacher G, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, et al. The Innsbruck hand transplant program: update at 8 years after the first transplant. *Transplant Proc.* 2009 ;41(2):491-4
53. Jablecki J, Kaczmarzyk L, Domanasiewicz a, Chelmonski a, Boratynska M, Patrzalek D. Hand transplantation--Polish program. *Transplant Proc.* 2010;42(8):3321-2
54. Cavadas PC, Thione A, Carballeira A, Dominguez PC. Lymphedema after upper limb transplantation: scintigraphic study in 3 patients. *Ann Plast Surg.* 2013 ;71(1):114-7
55. Cavadas PC, Landin L, Thione A, Rodríguez-Pérez JC, Garcia-Bello MA, Ibañez J, et al. The Spanish experience with hand, forearm, and arm transplantation. *Hand Clin.* 2011;27(4):443-53, viii
56. Piza-Katzer H, Ninkovic M, Pechlaner S, Gabl M, Ninkovic M, Hussl H. Double hand transplantation: functional outcome after 18 months. *J Hand Surg Br.* 2002;27(4):385-90
57. Jablecki J, Kaczmarzyk L, Patrzalek D, Domanasiewicz a, Boratyńska Z. First Polish forearm transplantation: report after 17 months. *Transplant Proc.* 2009;41(2):549-53
58. Schneeberger S, Landin L, Jablecki J, Butler P, Hoehnke C, Brandacher G, et al. Achievements and challenges in composite tissue allotransplantation. *Transpl Int.* 2011 ;24(8):760-9

59. Lee J, Garcia AM, Lee WPA, Munin MC. Inpatient rehabilitation challenges in a quadrimembral amputee after bilateral hand transplantation. *Am J Phys Med Rehabil.* 2011;90(8):688–93
60. Kaufman CL, Blair B, Murphy E, Breidenbach WB. A new option for amputees: transplantation of the hand. *J Rehabil Res Dev.* 2009;46(3):395–404
61. Schuind F, Van Holder C, Mouraux D, Robert C, Meyer A, Salvia P, et al. The first Belgian hand transplantation-37 month term results. *J Hand Surg Br.* 2006 ;31(4):371–6
62. Ravindra KV, Ildstad ST. Immunosuppressive protocols and immunological challenges related to hand transplantation. *Hand Clin.* 2011;27(4):467–79, ix
63. Lanzetta M, Pozzo M, Bottin A, Merletti R, Farina D. Reinnervation of motor units in intrinsic muscles of a transplanted hand. *Neurosci Lett.* 2005;373(2):138–43
64. Francois CG, Breidenbach WC, Maldonado C, Kakoulidis TP, Hodges A, Dubernard JM, et al. Hand transplantation: comparisons and observations of the first four clinical cases. *Microsurgery.* 2000;20(8):360–71
65. Dubernard JM, Petruzzo P, Lanzetta M, Parmentier H, Martin X, Dawahra M, et al. Functional results of the first human double-hand transplantation. *Ann Surg.* 2003;238(1):128–36
66. Jones JW, Gruber SA, Barker JH, Breidenbach WC. Successful hand transplantation. One-year follow-up. *N Engl J Med.* 2000;343(7):468–73
67. Hodges A, Chesher S, Feranda S. Hand transplantation: rehabilitation: case report. *Microsurgery.* 2000;20(8):389–92
68. Jabłęcki J, Syrko M, Arendarska-Maj A. Patient rehabilitation following hand transplantation at forearm distal third level. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2010;12(6):570–80
69. Petruzzo P, Badet L, Gazarian A, Lanzetta M, Parmentier H, Kanitakis J, et al. Bilateral hand transplantation: six years after the first case. *Am J Transplant.* 2006;6(7):834–41
70. Ninkovic M, Weissenbacher A, Gabl M, Pierer G, Pratschke J, Margreiter R, et al. Functional outcome after hand and forearm transplantation: what can be achieved? *Hand Clin.* 2011 ;27(4):455–65, viii–ix
71. Schneeberger S, Ninkovic M, Piza-Katzer H, Gabl M, Hussl H, Rieger M, et al. Status 5 years after bilateral hand transplantation. *Am J Transplant.* 2006;6(4):834–41
72. Lantieri L, Hivelin M, Audard V, Benjoar MD, Meningaud JP, Bellivier F, et al. Feasibility, reproducibility, risks and benefits of face transplantation: a prospective study of outcomes. *Am J Transplant.* 2011;11(2):367–78
73. Murphy BD, Zuker RM, Borschel GH. Vascularized composite allotransplantation: an update on medical and surgical progress and remaining challenges. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2013 ;66(11):1449–55

74. Sheets CA. Atilla Kavdir Dead Months After Receiving Triple-Limb Transplant In Turkey. *International Business times*. 2012. <http://www.ibtimes.com/atilla-kavdir-dead-months-after-receiving-triple-limb-transplant-turkey-694734> (consulté le 27/07/2014)
75. Petruzzo P, Lanzetta M, Dubernard JM, Margreiter R, Schuind F, Breidenbach W, et al. The international registry on hand and composite tissue transplantation. *Transplantation*. 2008;86(4):487–92
76. Jablecki J, Kaczmarzyk L, Domanasiewicz a, Chelmoński a, Kaczmarzyk J. Unilateral hand transplant-results after 41 months. *Transplant Proc*. 2013;45(1):440–3
77. Schuind F, Van Holder C, Mouraux D, Robert C, Meyer A, Salvia P, et al. Le premier cas belge de transplantation de main. Résultat à neuf ans. *Rev Med Brux*. 2011;32(6 Suppl):S66–70
78. Cendales LC, Kanitakis J, Schneeberger S, Burns C, Ruiz P, Landin L, et al. The Banff 2007 working classification of skin-containing composite tissue allograft pathology. *Am J Transplant*. 2008;8(7):1396–400
79. Kaufman CL, Ouseph R, Blair B, Kutz JE, Tsai TM, Scheker LR, et al. Graft vasculopathy in clinical hand transplantation. *Am J Transplant*. 2012;12(4):1004–16
80. Petruzzo P, Lanzetta M, Dubernard J-M, Landin L, Cavadas P, Margreiter R, et al. The International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation. *Transplantation*. 2010;90(12):1590–4
81. Guigal V, Pialat J-B, Vilayphiou N, Deshayes E, Rizzo C, Gazarian A. Evaluation de la qualité de l'os dans les allogreffes de main. *Chir Main*. 2010;29 Suppl 1:S199–213.
82. Cavadas PC, Landin L, Ibañez J. Bilateral hand transplantation: result at 20 months. *J Hand Surg Eur Vol*. 2009;34(4):434–43
83. Landin L, Cavadas PC, Ibañez J, Roger I. Malignant skin tumor in a composite tissue (bilateral hand) allograft recipient. *Plast Reconstr Surg*. 2010;125(1):20e–21e.
84. Lanzetta M, Petruzzo P, Margreiter R, Dubernard JM, Schuind F, Breidenbach W, et al. The International Registry on Hand and Composite Tissue Transplantation. *Transplantation*. 2005;79(9):1210–4
85. Lanzetta M, Petruzzo P, Dubernard JM, Margreiter R, Schuind F, Breidenbach W, et al. Second report (1998-2006) of the International Registry of Hand and Composite Tissue Transplantation. *Transpl Immunol*. 2007;18(1):1–6
86. Lanzetta M, Petruzzo P. A comprehensive functional Score system in hand transplantation. In: Lanzetta M, Dubernard JM. *Hand Transplantation*. Milan : Springer ; 2007. p. 355–62
87. Dubert T, Voche P, Dumontier C, Dinh A. Le questionnaire DASH. Adaptation française d'un outil d'évaluation international. *Chir Main*. 2001;20(4):294–302
88. Jensen SE, Butt Z, Bill A, Baker T, Abecassis MM, Heinemann AW, et al. Quality of Life Considerations in Upper Limb Transplantation : Review and Future Directions. *J Hand Surg Am*. 2012;37(10):2126–35

89. Landin L, Bonastre J, Casado-Sanchez C, Diez J, Ninkovic M, Lanzetta M, et al. Outcomes with respect to disabilities of the upper limb after hand allograft transplantation: a systematic review. *Transpl Int.* 2012;25(4):424–32
90. Carroll D. A quantitative test of upper extremity function. *J Chronic Dis.* 1965;18:479–91
91. Chen Z. Reattachment of traumatic amputations: a summing up of experience. *Chinas Med.* 1967;5:392–402
92. Herzberg G, Parmentier H, Erhard L. Assessment of functional outcome in hand transplantation patients. *Hand Clin.* 2003;19(3):505–9, x
93. Ipsen T, Lundkvist L, Barfred T, Pless J. Principles of evaluation and results in microsurgical treatment of major limb amputations. A follow-up study of 26 consecutive cases 1978-1987. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 1990;24(1):75–80
94. Gable C, Xenard J, Makiela E, Chau N. Evaluation fonctionnelle de la main. Bilan 400 points et tests chiffrés. *Ann Réadaptation Méd Phys.* 1997;40(2):95–101
95. Lyle RC. A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *Int J Rehabil Res.* 1981 ;4(4):483–92
96. Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M, Rogers S. Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 1985;66(2):69–74
97. Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT. Reeducation of sensation in the hand after nerve injury and repair. *Plast Reconstr Surg.* 1974;53(3):297–305
98. Herzberg G, Weppe F, Masson N, Gueffier X, Erhard L. Clinical evaluation of two bilateral hand allotransplantations at six and three years follow-up. *Chir Main.* 2008;27(2-3):109–17
99. Warwick D, Dunn R, Melikyan E, et al. *Hand surgery.* Kettering : Oxford University Press ; 2009. Oxford Specialist Handbook in Surgery
100. Dubernard JM, Henry P, Parmentier H, Vallet B, Vial D, Badet L, et al. Première transplantation des deux mains : résultats à 18 mois. *Ann Chir.* 2002;127(1):19–25
101. Landin L, Cavadas PC, Garcia-Cosmes P, Thione A, Vera-Sempere F. Perioperative ischemic injury and fibrotic degeneration of muscle in a forearm allograft: functional follow-up at 32 months post transplantation. *Ann Plast Surg.* 2011;66(2):202–9.
102. Jablecki J, Kaczmarzyk L, Domanasiewicz A, Chelmonski A, Boratynska M, Patrzalek D. First Polish forearm transplantation - final report (outcome after 4 years). *Ann Transplant.* 2010;15(2):61–7
103. Leplège A, Ecosse E, Pouchot J, et al. *Le questionnaire MOS SF-36.* Paris : Editions Scientifiques Techniques et Médicales ; 2001.
104. Zhu L, Pei G, Gu L, Hong J. Psychological consequences derived during process of human hand allograft. *Chin Med J (Engl).* 2002;115(11):1660–3

105. Landin L, Cavadas PC, Nthumba P, Muñoz G, Gallego R, Belloch V, et al. Morphological and functional evaluation of visual disturbances in a bilateral hand allograft recipient. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2010;63(4):700–4.
106. Özkan Ö, Demirkan F, Özkan Ö, Dinçkan A, Hadimioglu N, Tuzuner S, et al. The first (double) hand transplantation in Turkey. *Transplant Proc*. 2011;43(9):3557–60.
107. Shores JT, Imbriglia JE, Lee WPA. The current state of hand transplantation. *J Hand Surg Am*. 2011;36(11):1862–7.
108. Dubernard JM, Owen E, Herzberg G, Martin X, Guigal V, Dawahra M, et al. Première transplantation de main chez l'homme. Résultats précoces. *Chirurgie*. 1999;124(4):358–65; discussion 365–7.
109. Dubernard JM, Owen E, Lefrançois N, Petruzzo P, Martin X, Dawahra M, et al. First human hand transplantation. Case report. *Transpl Int*;13 Suppl 1:S521–4.
110. Piza-Katzer H, Estermann D. Cognitive re-education and early functional mobilisation in hand therapy after bilateral hand transplantation and heterotopic hand replantation-two case reports. *Acta Neurochir Suppl*. 2007;100:169–71
111. Jablecki J, Kaczmarzyk L, Patrzalek D, Domanasiewicz a, Chełmoński a. A detailed comparison of the functional outcome after midforearm replantations versus midforearm transplantation. *Transplant Proc* . 2009 ;41(2):513–6
112. Tuder D, Pederson WC, Abrahamian G a, Ingari J V, Bagg MC, Person DW, et al. San Antonio military and civilian hand transplantation program: a case report. *Transplant Proc*. 2011 ;43(9):3561–2
113. Schneeberger S, Gorantla VS, Brandacher G, Zeevi A, Demetris AJ, Lunz JG, et al. Upper-extremity transplantation using a cell-based protocol to minimize immunosuppression. *Ann Surg*. 2013 Feb;257(2):345–51.
114. Mayor S. UK surgical team reports encouraging early results of first hand transplantation. *BMJ*. 2013 ;346:f79
115. Vargas CD, Aballéa A, Rodrigues EC, Reilly KT, Mercier C, Petruzzo P, et al. Re-emergence of hand-muscle representations in human motor cortex after hand allograft. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009;106(17):7197–202
116. Kew JJ, Ridding MC, Rothwell JC, Passingham RE, Leigh PN, Sooriakumaran S, et al. Reorganization of cortical blood flow and transcranial magnetic stimulation maps in human subjects after upper limb amputation. *J Neurophysiol*. 1994;72(5):2517–24
117. Pascual-Leone A, Peris M, Tormos JM, Pascual a P, Catalá MD. Reorganization of human cortical motor output maps following traumatic forearm amputation. *Neuroreport*. 1996;7(13):2068–70
118. Cruz VT, Nunes B, Reis AM, Pereira JR. Cortical remapping in amputees and dysmelic patients: a functional MRI study. *NeuroRehabilitation*. 2003;18(4):299–305
119. Mercier C, Reilly KT, Vargas CD, Aballea A, Sirigu A. Mapping phantom movement representations in the motor cortex of amputees. *Brain*. 2006;129(Pt 8):2202–10

120. Reilly KT, Mercier C, Schieber MH, Sirigu A. Persistent hand motor commands in the amputees' brain. *Brain*. 2006;129(Pt 8):2211–23.
121. Giraux P, Sirigu A, Schneider F, Dubernard JM. Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands. *Nat Neurosci*. 2001;4(7):691–2
122. Brenneis C, Löscher WN, Egger KE, Benke T, Schocke M, Gabl MF, et al. Cortical motor activation patterns following hand transplantation and replantation. *J Hand Surg Br*. 2005;30(5):530–3
123. Neugroschl C, Denolin V, Schuind F, Van Holder C, David P, Balériaux D, et al. Functional MRI activation of somatosensory and motor cortices in a hand-grafted patient with early clinical sensorimotor recovery. *Eur Radiol*. 2005;15(9):1806–14
124. Frey SH, Bogdanov S, Smith JC, Watrous S, Breidenbach WC. Chronically deafferented sensory cortex recovers a grossly typical organization after allogenic hand transplantation. *Curr Biol*. 2008;18(19):1530–4
125. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971;9(1):97–113
126. Castiello U. The neuroscience of grasping. *Nat Rev Neurosci*. 2005;6(9):726–36
127. Jeannerod M. Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. In: Long J, Baddeley A. *Attention and Performance IX*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates Publishers ; 1981. p. 153–68
128. Jeannerod M. The timing of natural prehension movements. *J Mot Behav*. 1984 Sep;16(3):235–54
129. Paysant J, Beyaert C, Berhili-Lansac H, Martinet N, Dautel G, Dap F, et al. Evaluation clinique et cinématique 3D du membre supérieur après réimplantation de la main. *Ann Readapt Med Phys*. 2004;47(3):119–27
130. Martin D, Pinsolle V, Merville P, Moreau K, Pelissier P, Baudet J. First case in the world of autoreplantation of a limb associated with oral administration of an immunosuppressant agent (FK 506-Tacrolimus). *Ann Chir Plast Esthet*. 2005;50(4):257–63.
131. Kuffler DP. Chapter 18: Enhancement of nerve regeneration and recovery by immunosuppressive agents. *Int Rev Neurobiol*. 2009 ;87(09):347–62
132. Glaus SW, Johnson PJ, Mackinnon SE. Clinical strategies to enhance nerve regeneration in composite tissue allotransplantation. *Hand Clin*. 2011;27(4):495–509, ix
133. Toll EC, Seifalian AM, Birchall MA. The role of immunophilin ligands in nerve regeneration. *Regen Med*. 2011;6(5):635–52
134. Haaland KY, Prestopnik JL, Knight RT, Lee RR. Hemispheric asymmetries for kinematic and positional aspects of reaching. *Brain*. 2004;127(Pt 5):1145–58
135. Desmurget M, Grafton S. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends Cogn Sci*. 2000;4(11):423–31

136. Sternberg S, Monsell S, Knoll R, Wright C. The latency and duration of rapid movement sequences: comparisons of speech and typewriting. In: Stelmach G. Information processing in motor control and learning. New York : Academic Press ; 1978. p. 117–52.
137. Roy AC, Stefanini S, Pavesi G, Gentilucci M. Early movement impairments in a patient recovering from optic ataxia. *Neuropsychologia*. 2004;42(7):847–54
138. Siemionow M, Mendiola A. Methods of assessment of cortical plasticity in patients following amputation, replantation, and composite tissue allograft transplantation. *Ann Plast Surg*. 2010;65(3):344–8
139. Fitts PM, Peterson JR. Information capacity of discrete motor responses. *J Exp Psychol*. 1964 ;67:103–12
140. Harrington DL, Haaland KY. Programming sequences of hand postures. *J Mot Behav*. 1987;19(1):77–95
141. Nowak D a, Grefkes C, Dafotakis M, Küst J, Karbe H, Fink GR. Dexterity is impaired at both hands following unilateral subcortical middle cerebral artery stroke. *Eur J Neurosci*. 2007 ;25(10):3173–84
142. Gentilucci M, Toni I, Chieffi S, Pavesi G. The role of proprioception in the control of prehension movements: a kinematic study in a peripherally deafferented patient and in normal subjects. *Exp Brain Res*. 1994;99(3):483–50
143. Gentilucci M, Toni I, Daprati E, Gangitano M. Tactile input of the hand and the control of reaching to grasp movements. *Exp Brain Res*. 1997;114(1):130–7
144. Jakobson LS, Goodale MA. Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Exp Brain Res*. 1991;86(1):199–208
145. Chieffi S, Gentilucci M. Coordination between the transport and the grasp components during prehension movements. *Exp Brain Res*. 1993 ;94(3):471–7
146. Paulignan Y, Frak VG, Toni I, Jeannerod M. Influence of object position and size on human prehension movements. *Exp Brain Res*. 1997;114(2):226–34
147. Gentilucci M, Daprati E, Gangitano M. On orienting the hand to reach and grasp an object. *Neuroreport*. 1996;7(2):589–92
148. Ravindra K V, Gorantla VS. Development of an upper extremity transplant program. *Hand Clin*. 2011;27(4):531–8, x
149. Chung KC, Oda T, Saddawi-Konefka D, Shauver MJ. An economic analysis of hand transplantation in the United States. *Plast Reconstr Surg*. 2010;125(2):589–98
150. Petit F. Perspectives en immunothérapie des allogreffes de tissus composites. *Ann Chir Plast esthet*. 2007;52(5):502–8
151. Brandacher G, Lee WPA, Schneeberger S. Minimizing immunosuppression in hand transplantation. *Expert Rev Clin Immunol*. 2012;8(7):673–83; quiz 684.

152. Brandacher G, Gorantla VS, Lee WPA. Hand allotransplantation. *Semin Plast Surg.* 2010;24(1):11-7
153. Petruzzo P, Kanitakis J, Badet L, Pialat J-B, Boutroy S, Charpulat R, et al. Long-term follow-up in composite tissue allotransplantation: in-depth study of five (hand and face) recipients. *Am J Transplant.* 2011;11(4):808-16
154. Russell RC, O'Brien BM, Morrison WA, Pamamull G, MacLeod A. The late functional results of upper limb revascularization and replantation. *J Hand Surg Am.* 1984 Sep;9(5):623-33
155. Les prothèses du future. L'histoire des prothèses. http://www.prothese-futur.sitew.com/#L_Histoire_des_protheses.A (consulté le 30/08/2014)
156. Barker JH, Jones JW, Breidenbach WC. Closing remarks, International symposium on composite tissue transplantation. *Transplant Proc.* 1998;30(6):2787
157. Shears R. Baby given tragic sister's arm. *Mail Online.* 2000. <http://www.dailymail.co.uk/health/article-5503/Baby-given-tragic-sisters-arm.html> (consulté le 30/08/2014)
158. Weissenbacher A, Hautz T, Zelger B, Mueller H, Zelger BG, Margreiter R, et al. Bullous pemphigoid eleven years after bilateral hand transplantation. *Am J Transplant.* 2012;12(4):1064-5
159. Kanitakis J, Petruzzo P, Morelon E, Badet L. Alopecia areata in a composite tissue (hand) allograft recipient following graft rejection. *Transpl Int.* 2012;25(11):e117-9
160. Basso D, Finos L. Exact Multivariate Permutation Tests for Fixed Effects in Mixed-Models. *Commun Stat - Theory Methods.* 2012;41(16-17):2991-3001
161. Cavina-Pratesi C, Monaco S, Fattori P, Galletti C, McAdam TD, Quinlan DJ, et al. Functional magnetic resonance imaging reveals the neural substrates of arm transport and grip formation in reach-to-grasp actions in humans. *J Neurosci.* 2010;30(31):10306-23
162. Culham JC, Cavina-Pratesi C, Singhal A. The role of parietal cortex in visuomotor control: what have we learned from neuroimaging? *Neuropsychologia.* 2006;44(13):2668-84
163. Farnè A, Roy AC, Giroux P, Dubernard JM, Sirigu A. Face or hand, not both: perceptual correlates of reafferentation in a former amputee. *Curr Biol.* 2002;12(15):1342-6
164. Filimon F. Human cortical control of hand movements: parietofrontal networks for reaching, grasping, and pointing. *Neuroscientist.* 2010;16(4):388-407
165. Finos L, Basso D. Permutation tests for between-unit fixed effects in multivariate generalized linear mixed models. *Stat Comput.* 2013;24(6):941-52
166. Gaveau V, Pisella L, Priot A-E, Fukui T, Rossetti Y, Pélisson D, et al. Automatic online control of motor adjustments in reaching and grasping. *Neuropsychologia.* 2014;55:25-40
167. Irlbacher K, Meyer B-U, Voss M, Brandt S a, Rörich S. Spatial reorganization of cortical motor output maps of stump muscles in human upper-limb amputees. *Neurosci Lett.* 2002;321(3):129-32

168. Jeannerod M. The neural and behavioural organization of goal-directed movements. Oxford: Oxford university Press; 1988.
169. Jeannerod M, Arbib M a, Rizzolatti G, Sakata H. Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neurosci.* 1995;18(7):314–20
170. Jeannerod M, Decety J, Michel F. Impairment of grasping movements following a bilateral posterior parietal lesion. *Neuropsychologia.* 1994;32(4):369–80
171. Kaas JH, Qi H-X. The reorganization of the motor system in primates after the loss of a limb. *Restor Neurol Neurosci.* 2004 Jan;22(3-5):145–52
172. Milner a D, Dijkerman HC, Pisella L, McIntosh RD, Tilikete C, Vighetto A, et al. Grasping the past. delay can improve visuomotor performance. *Curr Biol.* 2001;11(23):1896–901
173. Pisella L, Binkofski F, Lasek K, Toni I, Rossetti Y. No double-dissociation between optic ataxia and visual agnosia: multiple sub-streams for multiple visuo-manual integrations. *Neuropsychologia.* 2006;44(13):2734–48
174. Pisella L, Sergio L, Blangero A, Torchin H, Vighetto A, Rossetti Y. Optic ataxia and the function of the dorsal stream: contributions to perception and action. *Neuropsychologia.* 2009;47(14):3033–44
175. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Phantom limbs and neural plasticity. *Arch Neurol.* 2000;57(3):317–20
176. Russell RC, O'Brien BM, Morrison W a., Pamamull G, MacLeod A. The late functional results of upper limb revascularization and replantation. *J Hand Surg Am.* 1984;9(5):623–33

7 Annexes

Annexe 1. Synthèse des rapports de cas

Ensemble des cas d'allogreffe de main détaillés dans la littérature médicale, avec pour chaque cas les résultats rapportés des évaluations fonctionnelles aux différents temps de suivi. Pour faciliter les comparaisons, les scores DASH qui étaient rapportés sur un total de 150 points dans l'article original ont été ramenés sur 100 points ; les résultats des tests aux monofilaments de Semmes-Weinstein qui étaient rapportés en numéro de référence ou en couleur des monofilaments ont été convertis en grammes (cf. annexe 10 pour table de conversion) ; le TAM ou le TPM ont été calculés chaque fois que possible et les amplitudes de poignets en flexion/extension et en déviation radiale/déviation ulnaire ont été additionnées lorsque les auteurs ont rapporté les amplitudes articulaires de chaque articulation séparément. Lorsque deux valeurs sont rapportées pour un même test, celles-ci désignent la valeur minimale et la valeur maximale rapportées chez ce patient lorsque ce test présente des résultats différents entre les deux mains et/ou entre les doigts et/ou entre les différentes zones de la main.

Equipe	Cas Type de greffe	Auteurs	Suivi	Scores globaux, tests fonctionnels	Evaluation motrice	Paramètres d'évaluation Evaluation sensitive	Evaluation des amplitudes de mouvement	Evaluation des activités de vie quotidienne	Evaluation psycho-sociale
Lyon France	Patient 1 Unilatérale main dominante tiers distal	(48) (108) (109)	6 mois		- pince pouce-index satisfaisante	- Monofilaments : 0.008 g sur poignet, 300 g sur paume et doigts - Discrimination pique-touche, sensibilité algique et thermique : présentes	- Amplitudes passives : normales - Flexion et extension actives modérées des doigts et du poignet	Capable d'écrire, boire avec un verre, tenir une bouteille, conduire un véhicule	
		(49)	28 mois	- Chen : 4/4 - Auto-évaluation : très insatisfait Ré amputation à 28 mois suite à l'arrêt du traitement immunosuppresseur par le patient					

Patient 2 Bilatérale, tiers distaux	(100) (65)	18 mois	- Tamai modifié par Ipsen :48.6- 55.6-100	- muscles extrinsèques : 4 à 5/5 (MRC) - muscles intrinsèques : faibles - Key-pinch : 750 g - Jamar : 150 g -soulève en prise crochet une charge ≥8 Kg - prises sphériques et cylindriques faites avec quelques difficultés ;	- Sensibilité algique et thermique : présentes - Discrimination des 2 points statiques et mobiles : ≥15 mm - Monofilaments : 0.6-4 g - localisation stimuli : mauvaise - stéréognosie : correcte en bimanuel pour les gros objets - Discrimination des textures grossières et intermédiaires	- amplitudes passives : presque complètes doigts et poignets - amplitudes actives à 12 mois : poignets 45-50° ; TAM doigts : 158- 163° ; TAM pouces : 70° - distance pulpe-pli palmaire distal : 3-5 cm	- peut écrire, utiliser des ciseaux, porter des charges, ouvrir un bocal, utiliser un téléphone, manipuler une fermeture éclair, se raser, assurer l'hygiène personnelle, - gain important d'autonomie pour l'ensemble des actes de la vie élémentaire	- appropriation des mains transplantées - satisfaction du patient
	(65)	3 ans	- Chen : 2/4	- cotation MRC : m. extrinsèques : 4-5/5 ; m. intrinsèques : 3-4/5 - Key-pinch : 1-1.5 Kg	- Monofilaments : 0.6 g - localisation stimuli : peu d'erreurs - discrimination des 2 points statiques et mobiles : discrimination utile - stéréognosie : correcte pour petits objets			Reprise d'une activité professionnelle

	(69) (98) (49)	6 ans	- Chen : 2/4 - Tamai modifié par Ipsen : 67.8 - 76.8 /100 - DASH : 18.6/100 - HTSS : 82-83.5/100 - Carroll : 65/99-55/96 - auto-évaluation : 7-9/10	- Muscles extrinsèques : 3+ - 4+/5 ; muscles intrinsèques : 1-4/5 (MRC) - Jamar : 2-3 Kg - Key-pinch : 2-2.5 Kg - Force prise bimanuelle : 12 Kg	- Monofilaments : 0.07-1 g - discrimination des 2 points : 4-12 mm - arthrokinesthésie doigts : normale	- Amplitudes passives : 82% - amplitudes actives : 46% (prono-sup : 160-170° ; Poignets Flex/ext : 20-60°, dev 10-15° ; TAM doigts : 175-180° ; TAM pouces : 35-50°) - Kapanji 3-5	- Capable d'effectuer de nombreuses activités de la vie quotidienne - difficulté pour ouvrir un bocal, se couper les ongles des mains, écrire, tenir un manche à balai, couper la viande	- En activité professionnelle (travail manuel léger) - patient très satisfait
	(34)	10 ans	- HTSS : 86-90.5/100 - DASH : 4.84/100		Sensibilité discriminative S3+ (échelle de Highet modifiée par Dellon)	Limitée	Peut manger, se raser, conduire, prendre, écrire, téléphoner, faire du vélo, de la moto, enfiler une aiguille	
Patient 3 Bilatérale, Tiers moyen et tiers distal	(69)	2 ans	- DASH : 18.66/100 - HTSS : 69-69.5/100	- Muscles extrinsèques : 3+ - 4+/5 ; muscles intrinsèques : 2-4/5 (MRC) - Jamar : 4-8 Kg - Key-pinch : 1-2 Kg	- Monofilaments : 0.16-0.6 g - Discrimination des 2 points : 7-12 mm	- Amplitudes actives : prono-sup : 160° ; poignets flex/ext : 75-85°, dév 10° ; TAM doigts : 170-210° ; TAM pouces : 30-105°		
	(98) (49)	3 ans	- Auto-évaluation :	- Muscles extrinsèques	- Monofilaments : 0.6 g	- Amplitudes passives	- Capable d'effectuer de	haut degré de satisfaction

			7-10/10 - Chen : 2/4 - Carroll Test : 57/99- 72/96 -HTSS : bon- excellent	: 3-5/5 ; muscles intrinsèques : 3/5 (MRC) - Key-pinch : 1-3 Kg - Jamar : 6-10 Kg	- Discrimination des 2 points : >15 mm	poignets et doigts : 97% ; TPM poignets et doigts : 90% - TAM poignets et doigts : 63%	nombreuses activités de la vie quotidienne - Difficulté pour ouvrir un bocal, se couper les ongles des mains, boutonner les boutons, enclencher une fermeture éclair et couper la viande	
	(34)	7 ans	- HTSS : 85.5-87/100 - DASH : 6.25/100	Récupération partielle des muscles intrinsèques	Sensibilité discriminative S3+ (échelle de Highet modifiée par Dellon)	limitée	Peut manger, se raser, conduire, écrire, utilise un vélo, une moto, un téléphone, enfiler une aiguille	
Patient 4 Bilatérale, tiers moyens	(49)	6 mois	- Auto- évaluation : 4-6/10 -DASH : 22.5/100					
	(34)	3 ans	- HTSS : 76- 76.5/100 - DASH : 4.31/100	Récupération partielle des muscles intrinsèques	Sensibilité discriminative S3+ (échelle de Highet modifiée par Dellon)	limitée	Peut manger, écrire, conduire, téléphoner, enfiler une aiguille, faire du vélo, de la moto	

	Patient 5 Bilatérale, tiers distaux	(34)	2 ans	- HTSS : 55.5-61/100 - DASH : 31.45/100	Récupération limitée des muscles intrinsèques	Sensibilité tactile S3 (échelle de Highet modifiée par Dellon)	limitée	Peut manger, écrire, conduire, téléphoner, se raser enfiler une aiguille, faire du vélo, de la moto	
	Patient 6 Bilatérale, tiers distaux	(34)	1 an	- HTSS : 54- 56/100 -DASH : 12.10/100	Récupération limitée des muscles intrinsèques	Sensibilité tactile S3 (échelle de Highet modifiée par Dellon)	limitée	Peut manger, se raser, écrire, conduire, téléphoner, enfiler une aiguille, faire du vélo, de la moto	En activité professionnelle
		(38)	2 ans	- DASH : 5.8/100 - Carroll : 66/99- 60/96 - Bilan 400 points : 52- 56% - Auto- évaluation: 9-10/10	- Jamar : 12.3-16.6 Kg - Key-pinch : 1.33-3.25 Kg	- Monofilaments : 2 g - Sensibilité thermo-algique normale	- Kapanji : 4-6	Bilan d'indépendance : 80.8% tâches effectuées sans difficulté, 8.2% effectuées difficilement, 11% non réalisables.	
Louis- ville USA	Patient 1 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(66) (67)	1 an	- Carroll Test : 54/99	- Muscles intrinsèques présents, faible adduction du pouce possible - Jamar : 3.6	- Sensibilité thermique, algique et à la pression : présentes - Monofilaments : diminution de la sensibilité de	- Amplitudes actives poignet flex/ext 95°, déviations 20°, prono-sup 130°, TAM doigts (avec stabilisation	Peut lancer une balle, manier une batte légère, écrire, tourner les pages d'un journal, tenir et distribuer des	- Reprise d'une activité professionnelle (administrateur et instructeur paramédical) - incorporation de la main à

				<p>Kg</p> <ul style="list-style-type: none"> - Key-pinch : 1.4 Kg 	<p>protection</p> <ul style="list-style-type: none"> - localisation stimuli : absente 	<p>poignet) 172-193°, TAM pouce 30°</p> <ul style="list-style-type: none"> - distance active pulpe-paume : 2 cm 	<p>cartes à jouer, ramasser des jetons de jeu, lacer ses chaussures, utiliser un gant de toilette, tenir une bouteille, un sèche-cheveux, manipuler des pièces et des billets, tourner certaines poignées de porte et de robinet, porter un jeune enfant, un plateau, jouer au yoyo, verser avec un pichet, jouer du tambour, utiliser un pistolet à eau</p>	<p>l'image corporelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Patient très satisfait
(36) (51)	8 ans	- Carroll Test : 72/99	<ul style="list-style-type: none"> - Muscles intrinsèques : 2- 4+/5 MRC - Jamar : 4.9 Kg - Key-pinch : 2.9 Kg - Pince terminale : 2.9 kg 	<ul style="list-style-type: none"> - Monofilaments : normal - Discrimination des 2 points statiques et mobiles : présentes - Localisation stimuli, stéréognosie, 	<ul style="list-style-type: none"> - amplitudes passives complètes des doigts 	<p>Capable de lacer ses chaussures, tourner les pages, écrire, lancer une balle, ramasser des jetons de jeu, s'habiller</p>	<ul style="list-style-type: none"> - en activité professionnelle (administrateur et instructeur paramédical) - sentiment de « réparation » de l'accident initial, d'être « entier » et 	

			<ul style="list-style-type: none"> - Pince tridigitale : 2.3 Kg - force de soulèvement: bimanuelle 29.4 Kg, unimanuelle : 27.2 kg 	<ul style="list-style-type: none"> sensibilité thermique, pallesthésie : présentes 			<ul style="list-style-type: none"> « équilibré », amélioration de l'image corporelle et de la confiance en soi - patient très satisfait 	
	(60)	10 ans	- Carroll test : 73/99		<ul style="list-style-type: none"> - Discrimination des 2 points : 5-6 mm - Sent une plume - Sensibilité thermique, discrimination des textures : présentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitudes passives complètes des doigts 	<ul style="list-style-type: none"> Indépendant, peut ramasser de petits objets, déboucher une bouteille, lancer et attraper une balle, tourner les pages 	<ul style="list-style-type: none"> - Patient très satisfait - Amélioration de la confiance en soi et de l'image corporelle
	(32)	12 ans	- Carroll Test 69/99	<ul style="list-style-type: none"> - Muscles intrinsèques présents - abduction pouce 4/5 (MRC) 	<ul style="list-style-type: none"> - Discrimination des 2 points : 5-9 mm - Sensibilité thermique et discrimination des textures présentes 		<ul style="list-style-type: none"> Indépendant, peut ramasser de petits objets, déboucher une bouteille, lancer et attraper une balle, tourner les pages 	
Patient 2 Unilatérale Main non dominante Tiers distal	(36) (51)	6 ans	- Carroll test : 55/99	<ul style="list-style-type: none"> - Muscles intrinsèques : 0- 3/5 MRC (pas ou peu fonctionnels) - Jamar : 2.3 Kg - Key-pinch : 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la sensibilité de protection - Sensibilité thermique et pallesthésie présentes - discrimination 	<ul style="list-style-type: none"> - TPM doigts : 250-275° - amplitudes actives : pronosup 150°, flex/ext poignet 40% (100°), TAM doigts 85- 		<ul style="list-style-type: none"> - Reprise d'une activité professionnelle (dont travail manuel) - symptômes dépressifs réactionnels à 1

				3.6 Kg - Pince terminale et tridigitale : 0 Kg - force de soulèvement : bimanuelle 20.4 Kg, unimanuelle 13.6 kg	des textures grossières - Localisation stimuli, stéréognosie : pauvres	110°		an et 2.5 post-transplantation, résolutifs - satisfait de la greffe - excellente qualité de vie
	(60)	7 ans	- Carroll Test : 57/96	- Muscles intrinsèques non fonctionnels - Pince key-pinch forte	- perçoit les stimuli - Sensibilité thermique et pallesthésie : présentes - Localisation stimuli : pauvre - Pas de discrimination des 2 points, astéréognosie	Amplitudes actives : pronosup bonnes, flex/ext poignet 40%	Peut lancer et attraper une balle, tourner les pages, déboucher une bouteille, ramasser de petits objets, indépendant pour tous les actes quotidiens	- En activité professionnelle (artisan propriétaire d'une entreprise d'installation de gouttière) - excellente qualité de vie
	(32)	10 ans	- Carroll test : 59/96	- Muscles intrinsèques non fonctionnels - Pince key-pinch forte	- Sensibilité de protection diminuée (perçoit les stimuli) - Sensibilité thermique, pallesthésie : présentes - Localisation stimuli, stéréognosie,		Peut lancer et attraper une balle, tourner les pages, déboucher une bouteille, ramasser de petits objets, lacer ses chaussures, indépendant	

					discrimination des 2 points: absentes		pour tous les actes quotidiens	
Patient 3 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(36)	1 an	- Carroll test : 57/99		Diminution de la sensibilité de protection et localisation stimuli uniquement sur index, annulaire, auriculaire	- Amplitudes actives doigts : 45%		
	(60)	2 ans	- Carroll Test : 57/99	- pas de muscles intrinsèques	-Diminution de la sensibilité de protection et localisation stimuli uniquement sur index, annulaire, auriculaire - Sensibilité thermique présente - Pas de discrimination des 2 points, astéréognosie	- Amplitudes actives doigts : 45%	Capable de tourner la clé de contact d'une voiture, stabiliser des outils électriques, verser d'une boîte, se laver les dents, manipuler des pièces de monnaie, applaudir	- reprise d'une activité professionnelle - Patient satisfait
	(32)	4 ans	- Carroll Test : 57/99	- Muscles intrinsèques du pouce absents	- Sensibilité de protection et thermique présentes - Pas de discrimination des 2 points	Amélioration de la flexion active des MCP et de l'hyper extension des IPP	Peut tourner un bouton de porte, conduire un scooter des neiges, utiliser des outils électriques	
Patient 4	(60)	6	Carroll Test		- Discrimination	Pronation et	Peut ramasser	- Reprise d'une

	Unilatérale Main dominante Tiers distal		mois	67/99		des 2 points présente	supination possibles	des objets légers entre le pouce et l'index	activité professionnelle
		(60)	9 mois	Réamputation à 9 mois pour ischémie (hyperplasie intimale sévère)					
	Patient 5 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(32)	2 ans		Récupération des muscles intrinsèques	Peut détecter les stimuli seulement			
	Patient 6 Bilatérale, tiers distaux	(32)	6 mois	Carroll test : 59		Peut détecter les stimuli seulement	Amputation précoce de la dernière phalange du pouce et du 5 ^{ème} doigt à la main droite pour ischémie sur thrombose	Réalise de nombreux actes quotidiens dont manger, boire à une bouteille, se raser, se laver les dents, se moucher, tourner les pages, ouvrir les portes, enfiler ses sous- vêtements et son T-shirt, manipuler les interrupteurs	
Inns- bruck Autriche	Patient 1 Bilatérale, Tiers distaux	(56) (50) (71)	18 mois		- Légère abduction et adduction active des doigts	- Sensibilités algique, thermique et à la pression présentes	- Amplitudes actives : 60.1% (Prono-sup : 135-175° ; Poignets	- Capable de tourner les pages d'un journal, écrire, utiliser un	- appropriation très rapide des mains - Reprise d'une activité

				<ul style="list-style-type: none"> - Jamar : 8.5-14 Kg - Key-pinch : 1.1-1.3 Kg - Prise pulpaire : 0-0.4 Kg - Prise tri-digitale : 0-0.6 Kg 	<ul style="list-style-type: none"> - Discrimination des deux points mobiles : 5-12 mm - Monofilaments : 0.07- 0.4 g 	<ul style="list-style-type: none"> 49.3%-61.1% (flex/ext 45-70°, dev 20-30°) ; TAM pouces 35-80° ; TAM doigts 59.2% 69.9% (150°-200°) - Ecart actif pulpe-paume 0-3 cm -Kapanji : 2-4 	<ul style="list-style-type: none"> ordinateur, un téléphone, une fourchette, un couteau, un verre, assurer son hygiène personnelle, s'habiller, conduire une moto - activités de motricité fine : difficiles (ex : boutonner une chemise) 	<ul style="list-style-type: none"> professionnelle (travail de bureau) - Reprise des loisirs (moto) - Très satisfait
(71) (110)	5 ans		<ul style="list-style-type: none"> - Jamar : 8-17.5 kg -Key-pinch : 1.8-2.7 Kg - Prise pulpaire : 1.2-2.1 Kg - Pince terminale : 0.8-1 Kg - Prise tridigitale : 1-1.3 Kg - Opposition active pouce 	<ul style="list-style-type: none"> - Discrimination des 2 points mobiles : 4-8 mm ; statiques : 10-15 mm - sensibilité thermique et discrimination des textures : complètes 	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitudes actives : poignets ext/flex 65°, dev 15-27° ; TAM pouces 45°-90° ; TAM doigts 170°-225° - Ecart actif pulpe-paume 0-2 cm - Kapanji : 3-5 	<ul style="list-style-type: none"> - Ecriture fluide - Utilise un clavier et une souris d'ordinateur - Prend des leçons de piano - réalise des voyages trans-continentaux en moto 	<ul style="list-style-type: none"> - En activité professionnelle - Très satisfait - considère sa vie quotidienne « complètement normale » 	
(52)	8 ans	- DASH : 34.	Muscles intrinsèques : 3-5/5 (MRC)		<ul style="list-style-type: none"> - TAM pouces 81° ; TAM index 182° 	Capable de réaliser tous les actes de la vie quotidienne,		

							réparer sa moto	
	(70)	11 ans	- DASH : 27/100 - HTSS : 93/100	Key pinch : 0.6Kg	- Discrimination des 2 points statiques : normale ; mobiles : résultat moyen - Discrimination des stimuli, stéréognosie, thermo-algésie : présentes	- TAM doigts 179-200° ; pouce droit 85°	Réalise tous les actes de la vie quotidienne, en difficulté uniquement pour attacher les petits boutons	
Patient 2 Bilatérale, tiers proximaux	(37)	3 ans	- HTSS : 69.5-71 - DASH : 64/100	- Muscles intrinsèques : 1-2/5 (MRC) - Key-pinch : 1-1.66 Kg	- Sensibilité thermique présente - Pas de discrimination des 2 points - Monofilaments : 2 g	- Amplitudes actives : pronosup 80-95° ; poignets flex/ext 95°, dev 20-25° ; TAM doigts 165°-245° ; pouces 15-95° -Kapanji : 4-6 - Ecart actif pulpe-paume 15 mm	- Capable de se laver, se raser, se laver les dents, s'habiller, prendre un verre	- Patient satisfait
	(52)	5 ans		- Jamar : 5.5-6.8 Kg	- Sensibilité thermique présente - Pas de discrimination des 2 points	- Kapanji 2-4		
	(70)	8 ans	- DASH : 57/100 - HTSS :	- Muscles intrinsèques : faibles	- Monofilaments : perte de la sensibilité de	- TAM doigts 104-175° ; pouce droit 55°	Quelques difficultés dans la vie	

				74/100	- Jamar : 6-6.6 Kg - key-pinch : 2.4 Kg	protection - Discrimination des 2 points statiques : sensibilité de protection - sensibilité thermo-algique présente		quotidienne (ex : prendre de petits objets, activités en force)	
Patient 3 Bilatérale, Tiers distaux ; Patient aveugle	(52) (35)	2 ans	- HTSS à 1 an : 64-65.5/100 - Action Research Arm Test : 23-35/57	Récupération des muscles intrinsèques			- TAM index : 89-124 °		
	(70)	5 ans	- DASH : 40/100 - HTSS : 90/100	- Muscles intrinsèques : 3/5 (MRC) - Jamar : 4.6 kg - Key-pinch : 2.1 Kg	- Monofilaments : sensibilité de protection diminuée - Discrimination des 2 points statiques et mobiles : 2-7 mm - Stéréognosie, sensibilité thermo-algique présentes	- TAM doigts : 130-206° ; pouce droit 35°		- Patient très satisfait de sa qualité de vie	
Patient 4 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(70)	2 ans	- DASH : 6.6/100 - HTSS : 79/100	-M. abductor pollicis brevis : 4/5 (MRC) - Jamar : 7.5 Kg	- Monofilaments : 4 g - stéréognosie, localisation des stimuli : absentes - Discrimination	- TAM doigts 185-233° ; pouce 75° - Kapanji : 5	Capable de réaliser tous les actes de la vie quotidienne dont écrire, prendre un		

					- Key-pinch : 3 Kg	des 2 points statiques : 14-15 mm ; mobiles : absente - sensibilité thermo-algique présente		verre, verser de l'eau d'une bouteille, faire du vélo, conduire, serrer la main,	
Bruxelles Belgique	1 Patient Unilatérale Main dominante Tiers moyen	(61)	37 mois	- Chen : 1 à 2 /4 - Bilan 400 points : mobilité 33/100, fonction mono- manuelle 60/100, fonction bimanuelle 90/100 - Carroll : 52/99 - DASH : 10.8/100	- Contraction des muscles intrinsèques, flexion active des MCP mais adduction- abduction active des doigts limitée - Jamar : 17.9 Kg - Key-pinch : 2 kg - Pince terminale : 0.3 Kg	- Discrimination des 2 points statiques : 6-11 mm - Monofilaments : 0.16-1.4 g - Localisation des stimuli présente - Sensibilité thermique présente	- Hyper- extension fonctionnel- lement gênante de l'IP du pouce - Amplitudes actives : pronosup 150°, poignet flex/ext 120°, dev 30°, pouce 100°, doigts 260-280°	Capable de conduire une voiture, faire du vélo, jouer au tennis, au volley-ball, réalise toutes les activités de la vie quotidienne	- Reprise d'une activité professionnelle (travail administratif) - Troubles psychologique avec tentative de suicide à 22 mois, résolutifs - Patient satisfait, amélioration de la confiance en soi
		(77)	9 ans	- Score de satisfaction : 10/10 - DASH : 5/100 - Bilan 400 points : 68.1% - HTSS : 91/100	- Jamar : 7.4 % de la main saine - Force pince pouce-index : 23.8% de la main saine - Bonne fonction des intrinsèques	- Monofilaments : 2 g - Bonne sensibilité discriminative	TAM doigts : 145-170 °	Fait du sport	- En activité professionnelle - Mène une vie normale

Valencia Espagne	Patient 1 Bilatérale Tiers distaux	(82) (105)	20 mois	- HTSS : 69 - DASH : 19/100 - Chen : 2/4	- Contraction des muscles intrinsèques, sans opposition active pouce - Jamar : 7Kg - Key-pinch : <1 Kg	- Monofilaments : 0.2 g (S3) - Sensibilité thermique présente - Discrimination des 2 points > 15mm	- Amplitudes actives : poignets flex/ext 55-70°, dev 20° ; TAM doigts 110- 200° ; TAM pouces 10 °	- Autonome dans la vie quotidienne (vit seule) - Prise pulpaire possible	- Reprise d'une activité professionnelle (Auxiliaire de vie pour personnes âgées)
		(55)	4 ans	- Chen : 2/4 - HTSS : 74.5 -DASH : 17.86/100					
	Patient 2, Bilatérale Tiers moyen et tiers distal	(101) (55)	32 mois	- Chen : 2/4 - HTSS : 69.5- 73.5/100 - DASH : 36.6/100	- Jamar : >10- <5 Kg - Prise pulpaire : <0.5-0.5 Kg	- Discrimination des 2 points : >15 mm - monofilaments : 0.2-2 g	- Amplitudes actives poignets flex/ext 110- 130°, dev 10- 60°, TAM doigts 45-245°	- Capable de réaliser la plupart des activités quotidiennes	- Reprise d'une activité professionnelle
Trzeb- nica Pologne	Patient 1 Unilatérale Main dominante Tiers moyen	(57)	17 mois	- DASH : 54.2/100 - Chen : 2/4 (bon) - HTSS : 84/100 (excellent)	Pas de récupération des muscles intrinsèques	- Sensibilité tactile et partiellement discriminative - Monofilaments : 0.4- 2 g (S3-S3+) - Sensibilité thermique présente	- TAM doigts : 63%	Capable de conduire, faire du vélo, écrire, porter des objets de grande ou moyenne taille	- Incorporation du membre dans l'image corporelle - Amélioration de la confiance en soi -SF36 : 50/136
		(111)	26 mois	- Chen : 2/4 - DASH : 50/100 - HTSS : 84/100	- Contraction des muscles intrinsèques - Jamar : 8Kg	- Monofilaments : 2 g - Discrimination des 2 points : 12- >15 mm	- TAM doigts : 155°	Key pinch impossible	
		(102) (33)	4 ans	- Chen : 2/4 - DASH :	- muscles intrinsèques	- Monofilaments : 0.4-2 g (S3-S3+)	- TAM doigts : 60%	Capable de conduire, faire	- en activité professionnelle

			51.7/100 - HTSS : 84/100	faibles, non fonctionnels : pas d'écartement des doigts ni d'opposition du pouce - Jamar : 3kg - pince 2 et 3 points : non mesurables	- Discrimination des 2 points : 15 mm - Sensibilité thermique présente - localisation stimuli : correcte - astéréognosie		du vélo, écrire, porter des objets de grande ou moyenne taille	(vendeur) - SF 36 : 53/136 - patient très satisfait
Patient 2 Unilatérale Main dominante	(53)	Ré amputation précoce (J1) pour ischémie sur thrombose (transplantation au tiers moyen d'avant-bras)						
Patient 3 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(53)	6 mois	- HTSS : 82/100 - DASH : 45.8/100	- Jamar : 4 kg	- Monofilaments 4g - Discrimination des 2 points : >15 mm	- TAM doigts : 200°		
	(68)	2 ans	- DASH : 29.2/100 - HTSS : 90/100 (excellent)	- Jamar : 4.5 Kg	- Monofilaments : 0.4-2 g - Discrimination des 2 points : 10-15 mm	- Amplitudes actives : pronosup 25°, poignet flex-ext 100°, TAM doigts 210° (80% de la main saine) - distance active pulpe-paume : 0-7 mm	Utilise sa main pour toutes les tâches ménagères et professionnelles, peut attraper des objets de grande taille (ballon de volley) et réaliser de prises de	- En activité professionnelle depuis le 9 ^{ème} mois post-transplantation, à temps plein depuis le 13 ^{ème} mois (conducteur de chariot élévateur) - Participe aux

							précision (tourner les pages, attraper des pièces de monnaie)	événements sociaux qu'il évitait avant la greffe, fier de sa main - SF-36 : 115/136
	(33) (76)	3 ans	- DASH : 29.2/100 - HTSS : 93.5 (excellent) - Chen : 1/4 - Tamai modifié par Ipsen : 86 (moyen)	- Muscles intrinsèques présents : écartement des doigts et légère opposition du pouce - Jamar : 5.4 Kg	- Monofilaments : 0.4-2 g (S3-S3+) - Discrimination des 2 points statiques 8 mm, mobiles résultats moyens - Sensibilité thermique, localisation stimuli : présentes - astéréognosie	- Amplitudes actives : pronosup 130°, poignet flex-ext 105°, dev 9°, TAM doigts 210° (85%), TAM pouce 100° - Kapanji : 4	Capable d'écrire, conduire, faire du vélo, porter de petits objets, réaliser presque tous les actes de la vie quotidienne	- En activité professionnelle - incorporation complète de la main greffée dans l'image corporelle - amélioration de la confiance en soi
	(33)	6 mois		Fonction pauvre pour la main gauche (très petits mouvements actifs des doigts), meilleure à droite		Amputation des phalanges distales des 5 doigts de la main gauche à J13 pour nécrose ischémique	Effectue la plupart des actes de la vie quotidienne	
San Antonio USA	(112)	9 mois	- DASH : 23.3/100		- Discrimination des 2 points : 15mm - sensibilité thermique		Capable de cuisiner, écrire, ouvrir des portes, monter à cheval	

	distal-tiers moyen					présente dans la paume			
Pitts- burgh USA	Patient 1 Unilatérale Main dominante Tiers distal	(113)	1 an		- Flexion et extension active des doigts via les extrinsèques - une certaine réinnervation des muscles intrinsèques - Jamar : 17.7Kg	- Monofilaments : 1.4g - Sensibilité thermique présente		Dextérité manuelle satisfaisante	
	Patient 2 Bilatérale, Tiers moyen et tiers distal (patient quadri- amputé)	(59)	4 mois					- MIF : 67/126 - Capable de prendre et empiler des cônes, lancer une balle par ténodèse, utiliser un lit médicalisé	
		(113)	1 an		- Flexion et extension actives des doigts présentes mais faibles - Pas de réinnervation intrinsèque	- Sensibilité thermique présente - Sensibilité de protection inconstante			
	Patient 3 Bilatérale,	(113)	1 an		- Droite : coude	- Droite : signe de Tinel à 17cm de la	- Amplitudes actives de		

Avant-bras complet (droite) et main (gauche)				flexion/extension 4/5 (MRC), poignet flexion/extension 3+/5 (MRC), flexion et extension actives des doigts - Gauche : réinnervation des muscles intrinsèques, flexion et extension actives des extrinsèques 3 à 4/5 (MRC), Jamar 19.5Kg	cicatrice - Gauche : sensibilité thermique présente et monofilaments 0.4g dans tous les doigts	flexion et extension de coude proches de la norme		
Patient 4 Unilatérale Tiers distal (patiente quadri-amputée),	(113)	4 mois		- Jamar : 9.7 à 13.6 Kg - Extension du poignet présente	Présence de sensations dans le pouce, l'index, le majeur, et en proximal des autres doigts			
Patient 5, Bilatérale Tiers distal (patiente quadri-	(113)	4 mois		- Flexion et extension active des doigts et des poignets	Sensibilité thermique présente dans les paumes			

	amputée),								
Antalya Turquie	1 Patient Bilatérale Tiers proximal et tiers distal	(106)	3 mois		Flexion- extension active des doigts par les muscles extrinsèques				
Chine 6 centres	12 patients (1 bilatérale et 5 unilatérale s mains, 2 bilatérales et 3 unilatérale s avant- bras, 1 unilatérale paume et pouce)	(40) (64) (104)	1 an- 10 ans	<p>- 7 greffes unilatérales ré-amputées plus d'un an après la transplantation dont 4 pour non-compliance au traitement immunosuppresseur (coût d'achat trop élevé pour les patients), 2 pour complications infectieuses ayant nécessité la diminution de l'immunosuppression, et 1 pour douleur, dégradation sensori-motrice et nécrose progressive de la main.</p> <p>- Carroll Test à 1 an post-transplantation : 50/99 à 86/99</p> <p>- récupération d'une sensibilité de protection dans tous les cas</p> <p>- Fonction précoce des muscles extrinsèques</p> <p>- Fonction des muscles intrinsèques dans 14 mains sur 15 (1 cas d'atrophie musculaire précoce)</p> <p>- Capables de nombreuses activités</p> <p>Concernant les 2 premiers patients (greffes unilatérales, tiers distal), à 1 an post-transplantation :</p> <p>- capables de s'habiller, de manger avec des baguettes, de soulever un poids de 35 Kg avec la main greffée</p> <p>- appropriation complète de la main, pas de gêne pour montrer la main et sa fonction en public, amélioration de la qualité de vie globale et en particulier de l'évaluation par les patients de leur santé, leur énergie, leur niveau d'activité, leurs relations familiales et sociales.</p>					

Autres cas de greffes de main rapportés (rapport IRHCTT, presse scientifique, médias grand public), sans données disponibles concernant les résultats fonctionnels.

Equipe	Cas	Date
Monza-Milan (Italie)	Unilatérale main	Octobre 2000
	Unilatérale main	Octobre 2001
	Unilatérale	Novembre 2002
	Bilatérale main (patient quadri-amputé)	Octobre 2010
Munich (Allemagne)	Bilatérale main 07/2008	Juillet 2008
Los Angeles (USA)	Unilatérale main	Mars 2011
Melbourne (Australie)	Bilatérale (patient tri ou quadri amputé)	Mars 2011
Atlanta (USA)	Unilatérale main	Mars 2011
Boston (USA)	Bilatérale main (patient quadri-amputé)	Octobre 2011
	Unilatérale main	Octobre 2012
Philadelphie (USA)	Bilatérale (patient quadri-amputé)	Septembre 2011
Louisville (USA)	Unilatérale main	Juillet 2011
	Unilatérale main	Février 2012
Téhéran (Iran)	Unilatérale	Mars 2013
Lyon (France)	Bilatérale	Décembre 2012
Londres (Royaume-Uni)	Unilatéral	Décembre 2012

Annexe 2. Hand Transplantation Score System

Appearance (max 15 points)

Skin color and vascularization	Normal	3 points
	Abnormal	0 points
Skin texture	Normal	3 points
	Abnormal	0 points
Hair growth	Normal	3 points
	Diminished	1.5 points
	Abnormal	0 points
Nail growth	Normal	3 points
	Diminished	1.5 points
	Abnormal	0 points
Matching with controlateral hand (monolateral Tx – size, color, texture)	Excellent	3 points
	Good	2 points
	Fair	0.5 points
	Poor	0 points
Matching with upper limb/body (bilateral Tx)	Excellent	3 points
	Good	2 points
	Fair	0.5 points
	Poor	0 points
Total		Points

Sensibility (max 20 points)

Tactile sensation (Semmes-Weinstein monofilament testing)		
Median nerve	Green (1.65-2.83)	3 points
	Blue (3.22-3.61)	3 points
	Purple (3.84-4.31)	2 points
	Red (4.56)	1 points
	Red (6.65)	0 points
Ulnar nerve	Green (1.65-2.83)	3 points
	Blue (3.22-3.61)	3 points

	Purple (3.84-4.31)	2 points
	Red (4.56)	1 points
	Red (6.65)	0 points
Protective sensation (hot-cold-pain)		
	Yes (median-ulnar)	5 points
	Yes (median)	2 points
	Yes (ulnar)	1 points
	No	0 points
	Radial nerve	1 points
Discriminative sensation ^a		
Median nerve	S2PD-grade S4 (2-6mm)	3 points
	S2PD-grade S3+ (7-15mm)	2.5 points
	S2PD-grade S3 (>15mm)	1.5 points
	S2PD-grade S2 (none)	0 points
Ulnar nerve	S2PD-grade S4 (2-6mm)	3 points
	S2PD-grade S3+ (7-15mm)	2.5 points
	S2PD-grade S3 (>15mm)	1.5 points
	S2PD-grade S2 (none)	0 points
Sweating	Normal	2 points
	Abnormal	0 points
Total		Points

Movement (max 20 points)

Active range of motion

Forearm (combined prono-supination)	> 150°	2 points
	> 120°	1 points
	> 90°	0.5 points
Wrist (combined flexion/extension)	> 90°	2 points
	> 45°	1 points
	> 25°	0.5 points
Thumb and long fingers (total digital)	> 50%	2 points

ROM of controlateral or normal hand - (%)	> 25%	1 points
	> 10%	0.5 points
Strength (Jamar dynamometer)		
Grip	> 10 kg	2 points
	> 5 Kg	1 points
	> 2.5 kg	0.5 points
Pinch	> 2 Kg	2 points
	> 1 Kg	1 points
	>0.5 Kg	0.5 points
Intrinsic muscles activity	Clinically useful	6 points
	EMG detectable	3 points
	None	0 points
Cortical reintegration of the hand ^b	Yes	4 points
	No	0 points
Total		Points

Psychological and social acceptance (max 15 points) ^c

Social behavior (max 7 points – 1 points each aspect)	Holding/shaking hands
	Feeling well in group
	Overcoming sense of embarrassment
	Sense of being accepted
	Ability to create new relationships
	Being able to overcome handicap
	Satisfactory global social acceptance
Affectiveness (max 5 points – 1 point each aspect)	Caressing
	Hugging
	Touching
	Sense of intimacy with partner
	Satisfactory global affectiveness
Body image (max 3 points – 1 point each aspect)	Sensation of having complete body
	Self confidence in personal appearance

Total	Use of jewelry-watch-etc. on hand(s)	
		Points
Daily activities and work status (max 15 points)		
Activities of daily life (max 9 points - 1 for each activity)	Driving/riding	
	Combing hair/personal hygiene/shaving	
	Grasping glass	
	Pouring water from bottle	
	Using cutlery/chopsticks	
	Brush teeth	
	Holding hands	
	Writing	
	Symmetrical use of hands	
Work status	Employed	6 points
	Unemployed	0 points
Total		Points
Patient satisfaction and general well-being (max 15 points)		
Patient satisfaction	Very satisfied	5 points
	Satisfied	3 points
	Unsatisfied	0 points
Well being	Physically and mentally healthy	5 points
	On pharmacological treatment for side effects	0 points
	Permanent side effects/pathologies from drugs	-5 points
Quality of life	Improved a lot	5 points
	Improved	3 points
	Same	0 points
	Worsened	-3 points
	Worsened a lot	-5 points

Total

Points

Total=100 points
0-30 points = poor
31-60 points = fair
61-80 points = good
81-100 points = excellent

^a Highest scale modified by Dellon et al. S2PD: static 2 points discrimination

^b Based on positive functional magnetic resonance imaging

^c Based on subjective improvement compared to pre-operative status

Annexe 3. Auto-questionnaire DASH

Ce questionnaire s'intéresse à ce que vous ressentez et à vos possibilités d'accomplir certaines activités. Veuillez répondre à toutes les questions en considérant vos possibilités au cours des 7 derniers jours. Si vous n'avez pas eu l'occasion de pratiquer certaines de ces activités au cours des 7 derniers jours, veuillez entourer la réponse qui vous semble la plus exacte si vous aviez dû faire cette tâche. Le côté n'a pas d'importance. Veuillez répondre en fonction du résultat final, sans tenir compte de la façon dont vous y arrivez.

Veuillez évaluer votre capacité à réaliser les activités suivantes au cours des sept derniers jours (entourez une seule réponse par ligne) :

	aucune difficulté	difficulté légère	difficulté moyenne	difficulté importante	impossible
1 Dévisser un couvercle serré ou neuf	1	2	3	4	5
2 Ecrire	1	2	3	4	5
3 Tourner une clé dans une serrure	1	2	3	4	5
4 Préparer un repas	1	2	3	4	5
5 Ouvrir un portail ou une lourde porte en la poussant	1	2	3	4	5
6 Placer un objet sur une étagère au-dessus de votre tête	1	2	3	4	5
7 Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols ou des murs)	1	2	3	4	5
8 Jardiner, s'occuper des plantes (fleurs et arbustes)	1	2	3	4	5
9 Faire un lit	1	2	3	4	5
10 Porter des sacs de provision ou une mallette	1	2	3	4	5
11 Porter un objet lourd (plus de 5 Kg)	1	2	3	4	5
12 Changer une ampoule en hauteur	1	2	3	4	5
13 Se laver ou se sécher les cheveux	1	2	3	4	5
14 Se laver le dos	1	2	3	4	5
15 Enfiler un pull-over	1	2	3	4	5
16 Couper la nourriture avec un couteau	1	2	3	4	5

17 Activités de loisir sans gros effort (jouer aux cartes, tricoter, etc.)	1	2	3	4	5
18 Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule, du bras ou de la main (bricolage, tennis, golf, etc.)	1	2	3	4	5
19 Activités de loisir nécessitant toute la liberté de mouvement (badminton, lancer de balle, pêche, frisbee, etc.)	1	2	3	4	5
20 Déplacements (transports)	1	2	3	4	5
21 Vie sexuelle	1	2	3	4	5

22. Pendant les 7 derniers jours, à quel point votre épaule, votre bras ou votre main a-t-elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins ? (Entourez une seule réponse)

1 Pas du tout 2 Légèrement 3 Moyennement 4 Beaucoup 5 Extrêmement

23. Avez-vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles du fait (en raison, par) de problèmes à votre épaule, votre bras ou votre main ? (Entourez une seule réponse)

1 Pas du tout limité 2 Légèrement limité 3 Moyennement limité 4 très limité 5 Incapable

Veillez évaluer la sévérité des symptômes suivants durant les 7 derniers jours (entourez une réponse sur chacune des lignes) :

	Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
24 Douleur de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
25 Douleur de l'épaule, du bras ou de la main en pratiquant une activité particulière : précisez cette activité :	1	2	3	4	5
26 Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
27 Faiblesse du bras, de l'épaule ou de la main	1	2	3	4	5
28 Raideur du bras, de l'épaule ou de la main	1	2	3	4	5

29. Pendant les 7 derniers jours, votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ? (Entourez une seule réponse)

1 Pas du tout 2 Un peu 3 Moyennement 4 Très perturbé 5 Insomnie complète

30. « Je me sens moins capable, moins confiant ou moins utile à cause du problème de mon épaule, de mon bras ou de ma main »

1 Pas d'accord du tout 2 Pas d'accord 3 Ni d'accord ni pas d'accord 4 D'accord 5 Tout à fait d'accord

Interprétation du questionnaire et calcul du score :

L'addition des valeurs choisies pour les 30 questions donne le score total (qui va de 30 à 150), le score final est obtenu en utilisant le tableau de conversion ci-après :

Score total : /150

SCORE FINAL: /100

Remarques :

- s'il y a moins de 4 réponses manquantes, le questionnaire est interprétable. L'examineur doit donner une valeur estimée aux réponses manquantes : cette valeur est calculée en faisant la moyenne des valeurs remplies. En cas de réponses multiples pour une question, la conduite à tenir est la même : la valeur attribuée ne sera pas nécessairement l'une des deux réponses entourées, mais sera égale à la moyenne des réponses données.

- Le DASH mesure la capacité en fonction du résultat global, sans tenir compte de la façon d'y arriver : l'utilisation d'une tierce personne est proscrite, en revanche si le patient utilise une aide matérielle pour réaliser les tâches proposées il doit répondre en fonction de sa capacité à effectuer ces tâches avec l'aide matérielle.

Tableau de conversion du DASH.

30	0,0	66	30,0	101	59,2	131	84,2
31	0,8	67	30,8	102	60,0	132	85,0
32	1,7	68	31,7	103	60,8	133	85,8
33	2,5	69	32,5	104	61,7	134	86,7
34	3,3	70	33,3	105	62,5	135	87,5
35	4,2	71	34,2	106	63,3	136	88,3
36	5,0	72	35,0	107	64,2	137	89,2
37	5,8	73	35,8	108	65,0	138	90,0
38	6,7	74	36,7	109	65,8	139	90,8
39	7,5	75	37,5	110	66,7	140	91,7
40	8,3	76	38,3	111	67,5	141	92,5
41	9,2	77	39,2	112	68,3	142	93,3
42	10,0	78	40,0	113	69,2	143	94,2
43	10,8	79	40,8	114	70,0	144	95,0
44	11,7	80	41,7	115	70,8	145	95,8
45	12,5	81	42,5	116	71,7	146	96,7
46	13,3	82	43,3	117	72,5	147	97,5
47	14,2	83	44,2	118	73,3	148	98,3
48	15,0	84	45,0	119	74,2	149	99,2
49	15,8	85	45,8	120	75,0	150	100,0
50	16,7	86	46,7	121	75,8		
51	17,5	87	47,5	122	76,7		
52	18,3	88	48,3	123	77,5		
53	19,2	89	49,2	124	78,3		
54	20,0	90	50,0	125	79,2		
55	20,8	91	50,8	126	80,0		
56	21,7	92	51,7	127	80,8		
57	22,5	93	52,5	128	81,7		
58	23,3	94	53,3	129	82,5		
59	24,2	95	54,2	130	83,3		
60	25,0	96	55,0				
61	25,8	97	55,8				
62	26,7	98	56,7				
63	27,5	99	57,5				
64	28,3	100	58,3				
65	29,2						
66	30,0						
67	30,8						

Pour chaque colonne, le chiffre de gauche représente le total calculé.

Le chiffre de droite en gras représente la valeur correspondante après conversion sur une échelle de 0 à 100. C'est ce dernier chiffre qui doit être utilisé.

Annexe 4. Test de Carroll

Dispositif

Il consiste en une table de bois de 45 x 72 cm dont le plateau est à 80 cm du sol, et une étagère de 10 cm de large montée à l'arrière de la table et dont la surface est situé 37 cm plus haut que celle de la table (cf. figure : vue supérieure de la plateforme d'évaluation).

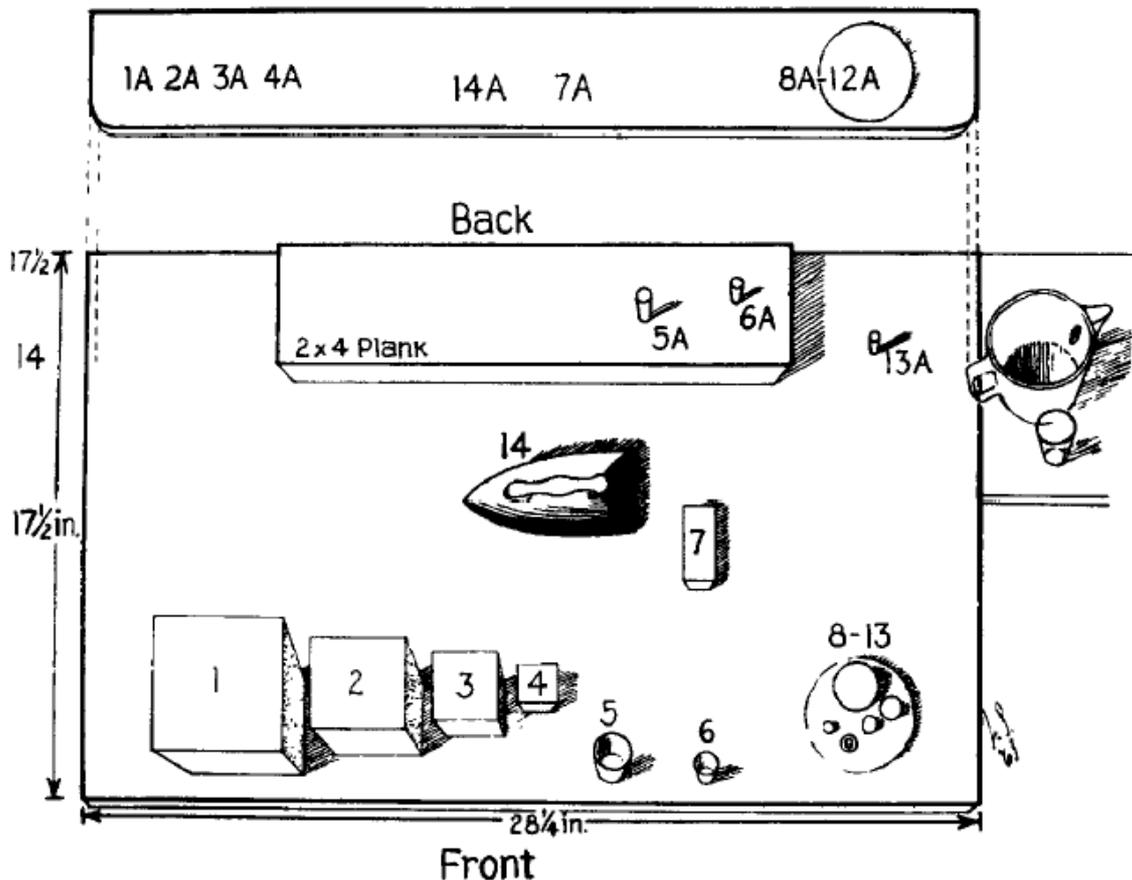


FIG. 2. Top view of evaluation platform. The shelf (attached by broken line) is located $14\frac{1}{2}$ inches above the table surface. Items to be moved are numbered 1 to 14 and positions to which they are to be moved are numbered 1A to 14A.

Les emplacements 1, 2, 3 et 4 sont des compartiments creusés dans le bois d'environ 1 cm de profondeur, destinés à recevoir des cubes de bois. Les cubes doivent être soulevés et transportés sur l'étagère en position 1A à 4A. L'emplacement 5 est une cheville de bois de 12 cm de hauteur et 2 cm de diamètre, sur laquelle est placé le tube métallique large. Le tube est saisi et placé en position 5A sur une cheville de 2 cm dépassant de 10 cm d'une planche de 5 x 10 cm montée à l'arrière de la plateforme. La position 6 est une cheville de 0.6 cm dépassant de 5 cm de la table, sur laquelle est placé le petit tube métallique. Le tube est saisi et placé en position 6A sur une cheville similaire de 0.6 cm dépassant de 6,5 cm de la planche. Il n'y a pas de compartiment en position 7, la tuile est placée sur la table pour être ramassée par le patient et déplacée sur l'étagère en position 7A. Sur la position 8-13 est placé un bac (couverture de boîte) de 13 cm de diamètre avec une bordure d'environ 1 cm de haut, contenant les billes et la rondelle en acier. Les billes doivent être déplacées dans un bac similaire sur l'étagère en position 8A-12A. La rondelle en acier doit être placée sur un clou de finition dépassant de 7.5 cm de la table en position 13A. L'item 14 est un fer à repasser posé à plat sur la table. Il doit être transporté sur l'étagère, sur laquelle il peut être placé en n'importe quelle position. Les objets 15 et 16 sont des verres, l'objet 17 est un pichet d'eau. L'un des verres doit être rempli avec le

pichet, puis l'eau du verre doit être transvasée dans l'autre verre en utilisant un mouvement de versage en pronation. L'eau doit ensuite être à nouveau transvasée dans le premier verre en utilisant un mouvement de versage en supination.

Epreuves

Chaque main est testée séparément. Le patient est assis face à la table. La saisie et le transport des objets, le positionnement de la main ainsi que l'écriture du nom (main dominante uniquement) constituent un ensemble de 33 épreuves (cf. tableau) dont chacune est cotée de la façon suivante :

- score 3 : l'épreuve est réalisée normalement

- score 2 : l'épreuve est réalisée complètement, mais lentement ou très maladroitement. La réalisation complète de l'épreuve comprend le déplacement de l'objet testé à la position adéquate, le versage de l'eau, le placement de la main dans la position indiquée ou l'écriture du nom.

- score 1 : le patient réalise partiellement l'épreuve. Ce score est attribué lorsque le patient est capable de d'attraper ou de soulever l'objet de la table ou de sa cheville, mais est incapable de le placer dans la position de destination correcte. Pour les items 27 à 29, le patient est capable de soulever le pichet ou le verre, mais est incapable de verser l'eau dans le récipient adéquat. Pour l'item 33, le patient peut tenir le crayon dans sa main, mais est incapable d'écrire lisiblement.

- score 0 : le patient ne peut réaliser aucune partie du test. Pousser les objets hors de leur emplacement ou autour de la table est coté 0.

Le résultat total est obtenu en additionnant les notes obtenues à chaque épreuve, aboutissant à un score maximale de 99 pour la main dominante (avec l'écriture du nom) et de 96 pour la main non dominante (sans l'écriture du nom).

Epreuve		N° objet	Score (0-3)
Saisie			
1	Cube en bois de 10 cm de côté (576 g)	1	
2	Cube en bois de 7.5 cm de côté (243 g)	2	
3	Cube en bois de 5 cm de côté (72 g)	3	
4	Cube en bois de 2.5 cm de côté (9 g)	4	
Tenue			
5	Tube métallique de 4 cm de diamètre et 15.5 cm de long (500 g)	5	
6	Tube métallique de 2 cm de diamètre et 10.5 cm de long (125 g)	6	
Préhension latérale			
7	Tuile 11 x 2.5 x 1 cm (61 g)	7	

Pince			
8	Balle de bois diamètre 7.5 cm (100 g),	8	
	Bille de marbre diamètre 1.5 cm (6.3 g) :	9	
9	- avec pince pouce-index		
10	- avec pince-majeur		
11	- avec pince pouce-annulaire		
12	- avec pince pouce-auriculaire		
	Bille métallique diamètre 1 cm (6.6 g)	10	
13	- avec pince pouce-index		
14	- avec pince-majeur		
15	- avec pince pouce-annulaire		
16	- avec pince pouce-auriculaire		
	Bille métallique diamètre 0.6 cm (1 g)	11	
17	- avec pince pouce-index		
18	- avec pince-majeur		
19	- avec pince pouce-annulaire		
20	- avec pince pouce-auriculaire		
	Bille métallique diamètre 0.4 cm (0.34 g)	12	
21	- avec pince pouce-index		
22	- avec pince-majeur		
23	- avec pince pouce-annulaire		
24	- avec pince pouce-auriculaire		
Placement			
25	Rondelle d'acier (épaisseur 0.2 cm x diamètre externe 3.5 cm x diamètre interne 1.5 cm ; 14.5 g) sur le clou	13	
26	Fer à repasser sur l'étagère (environ 2.7 Kg)	14	
Supination et pronation			
27	Verser l'eau du pichet en aluminium (capacité 2.5 L) dans le premier verre (capacité 250 mL)		
28	Verser l'eau du premier dans le deuxième verre		

	(capacité 250 mL) (pronation)		
29	Verser l'eau du deuxième dans le premier verre (supination)		
30	Placer la main derrière la tête		
31	Placer la main sur le sommet de la tête		
32	Placer la main sur la bouche		
33	Ecrire son nom (main dominante uniquement)		
		TOTAL	

Russell propose pour les réimplantations de membre supérieur une classification du score en 4 catégories (176) :

≥85 points : excellent

75-84 points : bon

51-74 points : moyen

≤50 points : pauvre

Annexe 5. Score de Chen

Grade I: excellent

- Ability to resume original work with a critical contribution from the reattached parts
- Collective range of joint motion exceeds 60% of normal, including the joint immediately proximal to the reattached part
- Recovery of sensibility to a high grade without excessive intolerance of cold
- Muscular power of 4-5 on a scale of 1-5

Grade II: good

- Ability to resume some gainful work but not original employment
- Range of motion of joints exceeds 40% of normal
- Recovery of near-normal sensibility in the median and ulnar nerve distributions without severe intolerance of cold
- Muscular power of 3-4

Grade III: fair

- Independence in daily living
- Range of motion exceeds 30% of normal
- Poor but useful recovery of sensory (e.g. only median or ulnar recovery is good or quality is only protective in median and ulnar areas)
- Muscular power of 3

Grade IV: poor

- Tissue survival with no recovery of useful function

Annexe 6. Score de Tamai modifié par Ipsen

Motion	
1. Joint movement (40 points)	
Shoulder	% of normal range of motion
Elbow	% of normal range of motion
Wrist	% of normal range of motion
Average % of normal ROM of joints above the hand:	
Thumb	% of normal range of motion
Fingers (II-IV)	% of normal range of motion
Average % of normal ROM of hand:	
Score = (Average % of normal ROM of joints above the hand + Average % of normal ROM of hand) x 20/100	
2. Daily life activities (20 points)	
Tapping	
Picking up coins	
Knotting	
Buttoning	For each item:
Writing	Easy = 2
Power grasping	Difficult = 1
Wringing towel	Impossible = 0
Scissoring	
Hammering	
Using clothespin	
Sensation (20 points)	
S0=0; S1 = 4; S2 = 8; S3 = 12; S3+ = 16; S4 = 20	
Subjective symptoms (- 12 points)	
Pain	For each item:
Cold intolerance	Severe = -3
Numbness	Moderate = -2
Paresthesia	Mild = -1
Cosmesis (-12 points)	
Atrophy	For each item:
Scar	Severe = -3
Color change	Moderate = -2
Deformities	Mild = -1
Patient satisfaction and job status (20 points)	
Highly satisfied = 20; Fairly satisfied = 15; Satisfied = 10; poorly satisfied = 5; not satisfied = 0	
Job status: same = 0; changed = -5; cannot work = -10	
Final evaluation: scoring is made on a basis of 100 points	
Excellent = 100-90 points	
Good = 89-70 points	
Fair = 69-40 points	
Poor = 39-0 points	

Annexe 7. Le bilan 400 points

Pour chaque épreuve, les performances de la main à tester (main lésée) sont comparées à celles de la main controlatérale (main saine) en cas d'atteinte unilatérale ou aux performances d'un groupe de sujets témoins en cas d'atteinte bilatérale.

Epreuve 1 : Mobilité de la main (100 points)

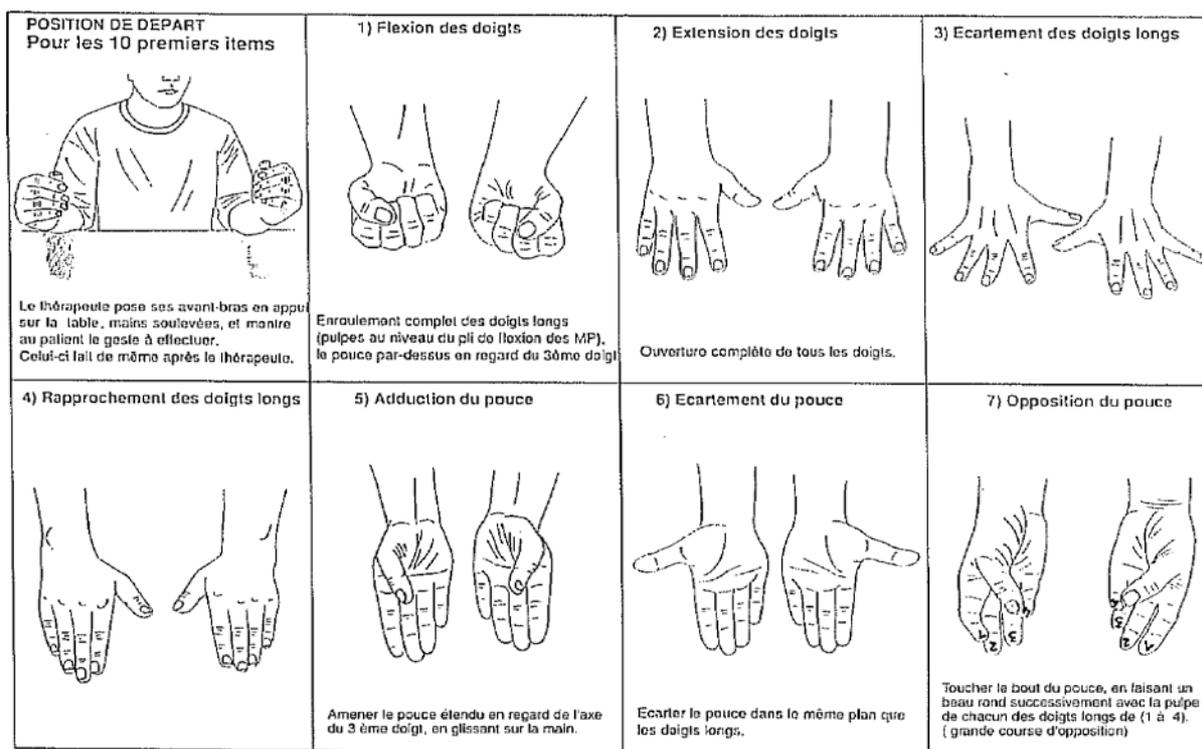
On teste simultanément les 2 mains du patient au moyen de 12 mouvements globaux dont on note la qualité d'exécution (cf. figure).

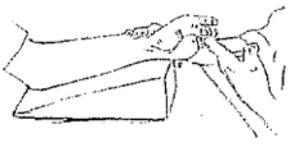
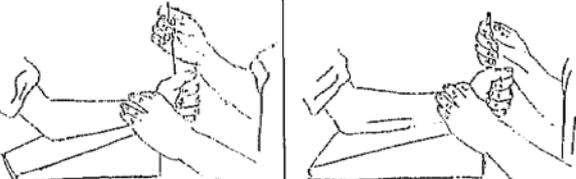
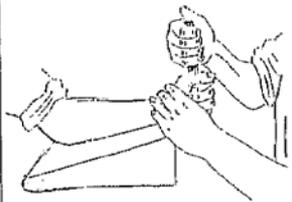
Cotation :

- 3 : mouvement normal, conforme aux représentations graphiques ;
- 2 : mouvement normal, effectué en entier mais lent ou dysharmonieux ;
- 1 : mouvement non conforme car effectué : de façon incomplète, ou avec exclusion, ou avec compensation ;
- 0 : mouvement impossible à réaliser, soit parce qu'il y a une contre-indication, soit parce qu'il y a une incapacité provisoire ou définitive.

Calcul du score :

Chaque item est coté de 0 à 3, puis chaque cotation est multiplié par son coefficient (cf. tableau) pour obtenir une note (les mouvements ne sont pas tous d'égale importance en ce qui concerne la fonction, aussi des coefficients modérateurs leur sont attribués pour les hiérarchiser). Le total de l'épreuve est obtenu en additionnant les 12 notes de la main lésée. Enfin, ce total est divisé par 90 (score maximum) et multiplié par 100 pour obtenir le pourcentage de mobilité de la main lésée par rapport à la mobilité d'une main saine.



<p>8) Opposition contre résistance</p>  <p>Le patient doit résister pour chaque opposition à la traction exercée par l'ergothérapeute. Celui-ci lui maintient le poignet d'une main et exerce la traction de l'autre.</p>	<p>9) Pincés latérales contre rés.</p>  <p>Doigts étendus et rapprochés, le patient doit rotationner une carte placée alternativement dans chacun des 4 espaces interdigitaux.</p>	<p>10) Prises pleine main contre résistance.</p> <p>a) Bâtonnet de 3mm de diamètre. b) Bâtonnet de 10mm de diamètre.</p>  <p>Le patient doit <u>retenir successivement 3 bâtonnets</u> placés au niveau du pli de flexion des MP des doigts longs contre la traction de l'ergothérapeute. * Attention ! Notation spéciale pour cet item.</p>	
<p>10) Prises pleine main contre rés. c) Bâtonnet de 20 mm</p> 	<p>POSITION DE DEPART pour les 2 derniers items.</p>  <p>Coudes au corps, fléchis à 90°, pouces au zénith.</p>	<p>11) Pronation</p>  <p>Le patient doit amener ses paumes de mains face au sol.</p>	<p>12) Supination</p>  <p>Le patient doit amener ses paumes de mains face au plafond.</p>

* Bâtonnet retenu : diam. 3 mm = 3 pts, diam. 10 mm = 2 pts, diam 20 mm = 1 pt. Bâtonnet de 20mm non retenu = 0 pt.

Mouvement	Cotation (0-3)	Coefficient	Note
Flexion des doigts		3	
Extension des doigts		2	
Ecartement des doigts longs		3	
Rapprochement des doigts longs		2	
Adduction du pouce		2	
Ecartement du pouce		3	
Opposition du pouce		3	
Opposition contre résistance		2	
Pincés latérales contre résistance		2	
Prises pleine main contre résistance		3	
Pronation		3	
Supination		2	
		Total	
		Score = (total / 90) x100	

Epreuve 2 : Force de préhension (100 points)

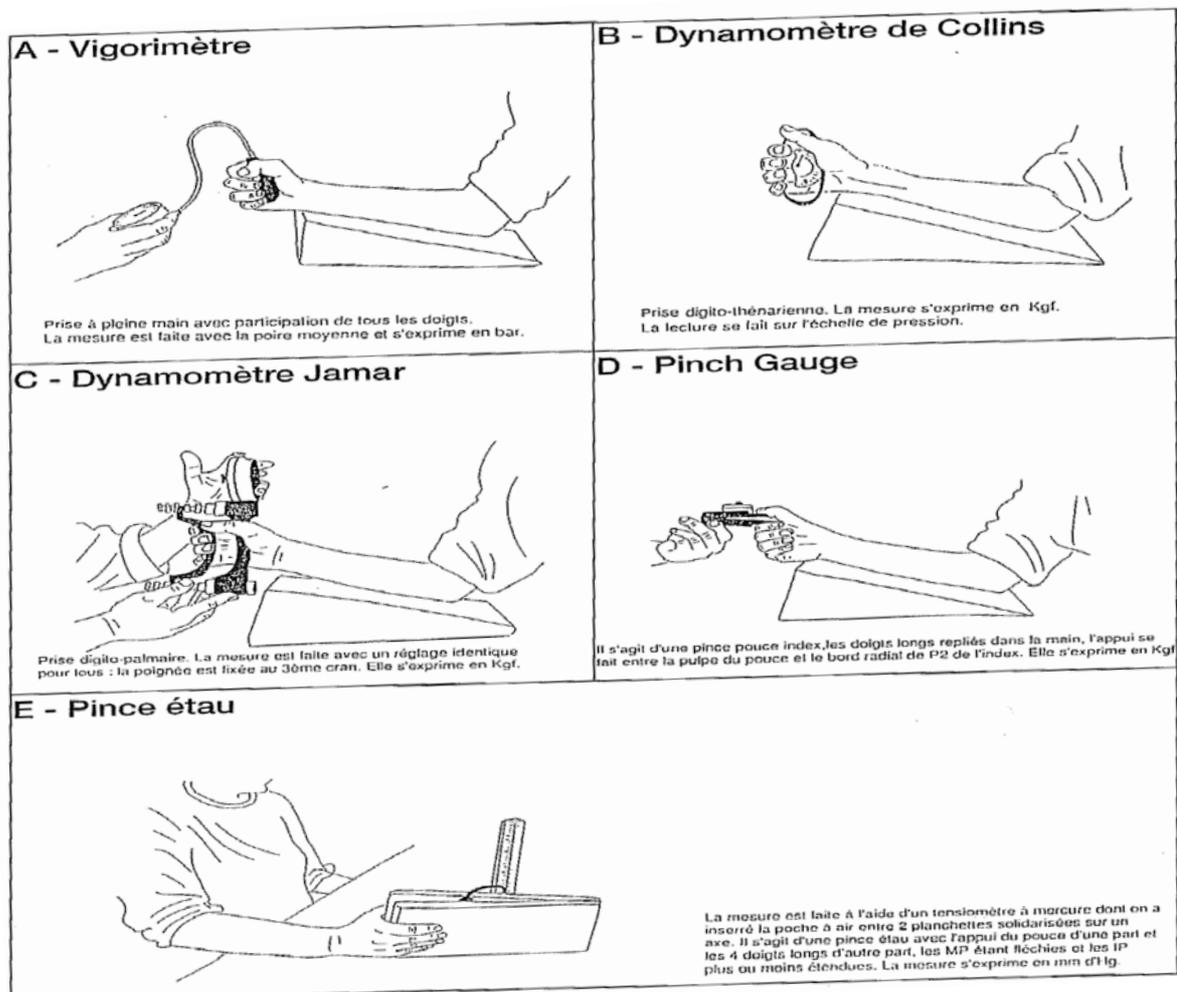
La mesure de la force de préhension est réalisée au moyen de 5 appareils de mesures (cf. figure). Elle est faite successivement du côté sain puis du côté lésé.

Calcul du score : par convention, la main saine à une force maximale : la valeur obtenue par celle-ci pour chacun des dynamomètres correspond donc à la note maximale, soit 10 points. La main lésée est notée par rapport à la main saine, sa note étant obtenue en faisant une règle de trois :

$$\text{Note coté lésé} = (\text{valeur coté lésé} / \text{valeur coté sain}) \times 10$$

A chaque note est ensuite appliqué un coefficient 2. Le total est obtenu en faisant la somme des 5 notes du côté lésé, puis il est réajusté en fonction de la dominance manuelle (les études de mesure de force accordant en général 10% de force de préhension en plus à la main dominante) pour obtenir le score de l'épreuve: si la main lésée est la main dominante, on retranche 10% au total obtenu ; si la main lésée est la main d'appoint, on ajoute 10% au résultat obtenu. Le score de l'épreuve donne le pourcentage de force de préhension de la main lésée par rapport à une main saine.

En cas d'atteinte bilatérale, les résultats obtenus pour chaque côté sont comparés aux moyennes établies dans le groupe de sujet témoin (cf. tableau).



Valeurs moyennes obtenues dans le groupe témoin :

	Hommes		Femmes	
	Main dominante	Main d'appoint	Main dominante	Main d'appoint
Vigorimètre	1.3 bar	1.2 bar	1.1 bar	1 bar
Collins	46 Kg	41 Kg	26 Kg	21 Kg
Jamar	51 Kg	48 Kg	33 Kg	30 kg
Pinch	12 Kg	11 Kg	8 Kg	7.5 kg
Etau	98 mmHg	90 mmHg	76 mmHg	73 mmhg

	Valeur côté sain	Valeur coté lésé	Note = (valeur coté lésé/ valeur coté sain) x 10	Coefficient	Note pondérée = note x coefficient
Vigorimètre				2	
Collins				2	
Jamar				2	
pinch				2	
Etau				2	
				Total	
				Score	
				(= total x 90% si main dominante lésée ; = total x 110% si main d'appoint lésée)	

Epreuve 3 : Prise mono-manuelle et déplacement d'objet

Teste la capacité du patient à prendre 20 objets différents posés sur un plan de référence (à 0.75 m de hauteur), dans un ordre précis, et à les transporter sur un plan en hauteur (à 1.25 m pour les patients qui peuvent faire l'épreuve en position debout, et à 1 m pour les patients qui ne peuvent réaliser l'épreuve qu'assis) (cf. figure). L'épreuve est chronométrée avec la main saine puis avec la main lésée. Ainsi, le patient concentre d'avantage son attention sur la rapidité d'exécution plutôt que sur la qualité, effectuant ses gestes de manière spontanée et habituelle.

Cotation :

- 3 : la prise d'objet et le déplacement sont conformes ou convenables ;
- 2 : la prise d'objet est conforme ou convenable mais le déplacement est lent ou imprécis, ou la prise d'objet est dysharmonieuse, imprécise et le déplacement conforme ou convenable ;

- 1 : la prise d'objet est conforme ou convenable mais le déplacement est incorrect (effectué avec compensation, bien qu'il pourrait l'être correctement,) ou la prise est incorrecte (effectuée avec exclusion ou compensation, bien qu'elle pourrait l'être correctement) mais le déplacement est conforme ou convenable ;

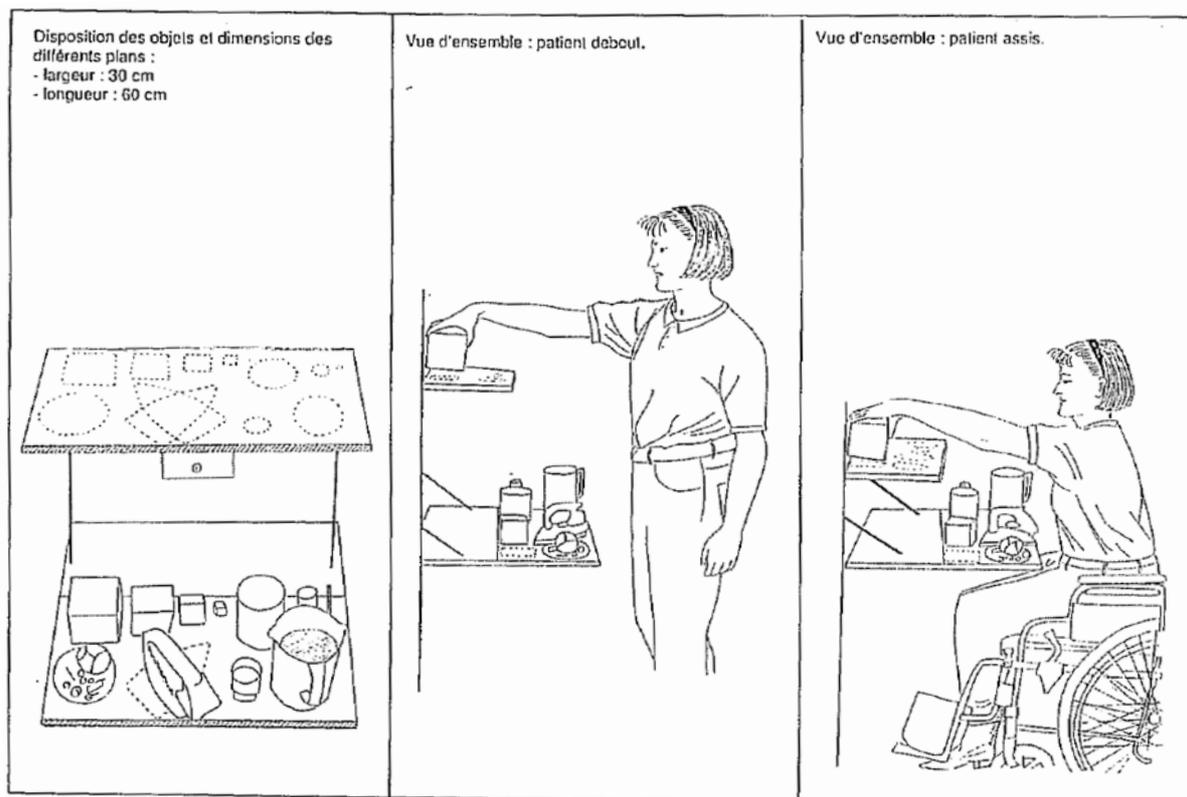
- 0 : l'action ou le transport sont impossibles.

Rq : le terme de « convenable » s'applique pour les épreuves 3 et 4 quand un patient présentant une séquelle définitive (amputation digitale, arthrodèse, etc.) effectue les items dans les conditions proches de la normale, avec une utilisation optimale de ses possibilités restantes ; dans ce cas, les compensations sont admises.

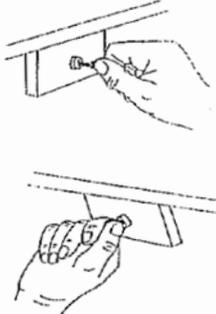
Calcul du score :

Chaque item est coté de 0 à 3. Le total correspond à la somme des 20 notes coté lésé. Cette somme est divisée par 60 (score maximum) et multipliée par 100 pour obtenir le pourcentage d'utilisation mono-manuelle de la main lésée par rapport à une main saine.

Rq : Le temps nécessaire à cette épreuve doit être inférieur ou égal à 1 minute. Le score n'est pas modifié si ce temps est dépassé, mais le thérapeute en tire une information supplémentaire sur les performances du patient.



<p>1) Cube de 10 cm de côté</p> 	<p>2) Cube de 7,5 cm de côté</p> 	<p>3) Cube de 5 cm de côté</p> 	<p>4) Cube de 2,5 cm de côté</p> 	<p>5) Cylindre de 10 cm de diamètre et 12 cm de haut.</p> 
<p>6) Cylindre de 4 cm de diamètre et 12 cm de haut.</p> 	<p>7) Tourillon de 8 mm de diamètre et 16 cm de haut.</p> 	<p>8) Balle de tennis</p> 	<p>9) Briquet électronique</p> 	<p>10) Bille de 25 mm de diamètre</p> 

<p>11) Bille de 15 mm de diamètre</p> 	<p>12) Clef de serrure</p> 	<p>13) Pièce de 29 mm de diamètre (5 FF)</p> 	<p>14) Pièce de 24 mm de diamètre (1 FF)</p> 	<p>15) Pièce de 16 mm de diamètre (5 CtsF)</p> 
<p>16) Pointe</p> 	<p>17) Fer à repasser (2kg)</p> 	<p>18) Verre de 65 mm de diamètre</p> 	<p>19) Versage en pronation (1/2 verre)</p> 	<p>20) Versage en supination (1/2 verre)</p> 

	Note (0-3)
1 Cube de 10 cm de côté	
2 Cube de 7.5 cm de côté	
3 Cube de 5 cm de côté	
4 Cube de 2.5 cm de côté	
5 Cylindre de 10 cm de diamètre	
6 Cylindre de 4 cm de diamètre	
7 Tourillon de 8 mm de diamètre	
8 Balle de tennis	
9 Briquet électronique (sans molette, s'allumant uniquement par pression) : à allumer avant de le transporter sur le plan en hauteur	
10 Bille de 25 mm de diamètre	
11 Bille de 15 mm de diamètre	
12 Clef : à engager dans la serrure, verrouiller, ouvrir et retirer puis poser sur le plan sup.	
13 Pièce de 29 mm de diamètre (5 FF)	
14 Pièce de 24 mm de diamètre (1 FF)	
15 Pièce de 16 mm de diam. (5 cts F)	
16 Pointe (diam. 2 mm, long. 4 cm)	
17 Fer à repasser (2 Kg)	
18 Verre de 65 mm de diamètre	
19 Cruche remplie d'eau (500mL) munie de 2 becs verseurs : remplir la moitié du verre en pronation	
20 Cruche : remplir l'autre moitié du verre en supination avant de poser la cruche sur le plan supérieur	
Total	
Score = (note x 60) / 100	

Epreuve 4 : Fonction bi-manuelle (100 points)

Teste la fonction bi-manuelle du patient au moyen de 20 tâches de la vie quotidienne (cf. figure), et vérifie le respect de sa dominance. Cette épreuve est effectuée sans chronométrage ni consignes particulières.

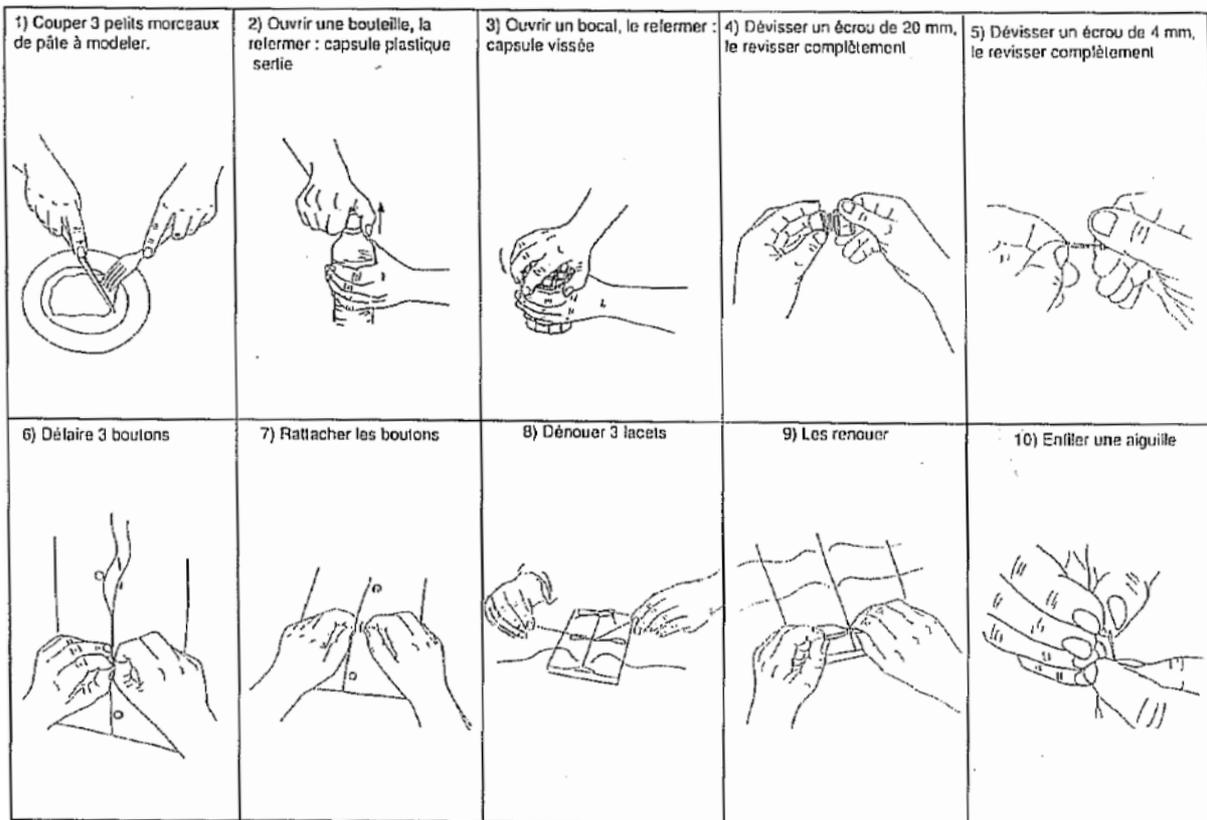
Cotation :

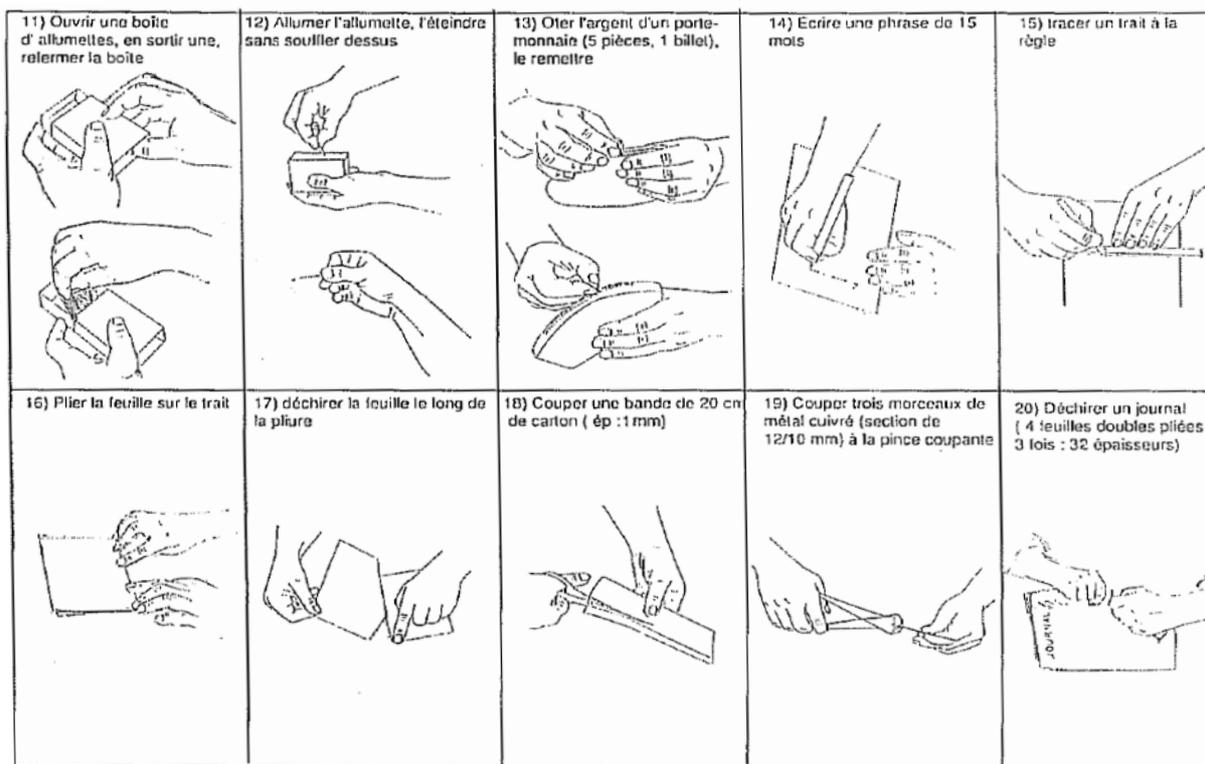
- 3 : l'item est effectué de façon conforme ou convenable
- 2 : l'item est effectué en entier mais avec lenteur ou imprécision
- 1 : l'item est effectué en partie seulement, ou l'item est effectué en entier mais avec exclusion ou compensation (bien que les capacités nécessaires au patient pour bien le réaliser soient présentes).
- 0 : incapacité pour le patient d'effectuer l'item

Rq : cette épreuve sert également à observer un transfert de dominance, surtout en cas de main dominante lésée. En cas de transfert de dominance, la note est ponctuée d'un signe « - » ; si la dominance est bien respectée, la note est ponctuée d'un signe « + » (exemple : un patient droitier se servant de sa main gauche pour dévisser le bocal d'un couvercle mais utilisant bien sa main droite pour le maintenir sera coté « 3- »). Ces observations ne modifient pas le score, mais donnent des renseignements supplémentaires sur le patient.

Calcul du score :

Chaque item est coté de 0 à 3, le total des 20 notes est obtenu en les additionnant, ce résultat est divisé par 60 (score maximum) et multiplié par 100 pour arriver au pourcentage de l'utilisation bi-manuelle du patient par rapport à une personne ayant 2 mains saines.





	Note
	(0-3)
1 Couper 3 petits morceaux de pâte à modeler	
2 Ouvrir une bouteille, la refermer (capsule plastique sertie)	
3 Ouvrir un bocal, le refermer (capsule vissée)	
4 Dévisser un écrou de 20 mm, le revisser complètement	
5 Dévisser un écrou de 4 mm, le revisser complètement	
6 Défaire 3 boutons de chemise	
7 Rattacher les 3 boutons de chemise	
8 Dénouer 3 lacets (fixés sur une planche)	
9 Renouer les 3 lacets	
10 Enfiler une aiguille à gros chas	
11 Ouvrir une grosse boîte d'allumettes, en sortir une, refermer la boîte	
12 Allumer l'allumette, l'éteindre sans souffler dessus	
13 Oter l'argent d'un porte-monnaie à fermeture éclair (5 pièces, un billet), le remettre	

14	Ecrire une phrase de 15 mots avec un stylo bille classique (type Bic)	
15	Tracer un trait à la règle	
16	Plier la feuille sur le trait	
17	Déchirer la feuille le long de la pliure	
18	Couper une bande de 20 cm de carton (épaisseur : 1 mm)	
19	Couper 3 morceaux d'une tige de métal cuivré (section de 12/10 mm) à la pince coupante	
20	Déchirer un journal (4 feuilles doubles pliées 3 fois : 32 épaisseurs)	
	Total	
	Score = (note x 60) / 100	

Calcul global du bilan

Faire la somme des scores obtenus dans chacune des épreuves et diviser ce résultat par 4 afin d'obtenir un pourcentage d'utilisation fonctionnelle de la main du patient.

Annexe 8. Action research Arm Test

Dispositif

Table de 83 cm de haut et une tablette (93 cm x 10 cm) positionnée à 37 cm au-dessus de la table. Chacun des objets des items SAISIR et PINCER (blocs de bois, balle, pierre, billes de 6 mm et de 1,5 cm) devra être soulevé depuis la table jusqu'à la tablette (à 37 cm au-dessus).

L'item TENIR requiert :

- le déplacement de tubes (en métal) depuis un emplacement vers un autre, horizontalement sur la surface de la table ;
- le placement d'une rondelle au-dessus d'un boulon.

Il n'y a pas d'emplacement précis pour chaque tâche : les objets sont placés préférentiellement du côté testé (droit ou gauche). Dans tous les cas, le patient est assis sur une chaise à 44 cm du sol, la table devant sa chaise.

Le test

SAISIR = /18

- 1 - SAISIR : un bloc de bois de 10 cm³ (si le test est réussi le score = 3, le total = 18 et passer à TENIR)
- 2 - SAISIR : un bloc de bois de 2,5 cm³ (si le test est manqué le score = 0, le total = 0 et passer à TENIR)
- 3 - SAISIR : un bloc de bois de 5 cm³
- 4 - SAISIR : un bloc de bois de 7,5 cm³
- 5 - SAISIR : une balle (cricket) de 7,5 cm de diamètre
- 6 - SAISIR : une pierre de 10 x 2,5 x 1 cm

TENIR = /12

- 1 - TENIR: un verre d'eau et transvaser l'eau dans un autre verre (si le test est réussi le score = 3, le total = 12 et passer à PINCER)
- 2 - TENIR: un tube de 2,25 cm de diamètre et 11,5 cm de long (si le test est manqué le score = 0, le total = 0 et passer à PINCER)
- 3 - TENIR: un tube de 1 cm de diamètre et de 16 cm de long
- 4 - TENIR: une rondelle (3,5 de diamètre) au-dessus d'un boulon

PINCER = /18

- 1 - PINCER: une petite bille de 6 mm de diamètre entre le pouce et l'annulaire (si le test est réussi le score = 3, le total = 18 et passer à MOUVEMENTS GLOBAUX)
- 2 - PINCER: une bille de 1,5 cm de diamètre entre le pouce et l'index (si le test est manqué le score = 0, le total = 0 et passer à MOUVEMENTS GLOBAUX)
- 3 - PINCER: une petite bille de 6 mm de diamètre entre le pouce et le majeur
- 4 - PINCER: une petite bille de 6 mm de diamètre entre le pouce et l'index
- 5 - PINCER: une bille de 1,5 cm de diamètre entre le pouce et l'annulaire
- 6 - PINCER: une bille de 1,5 cm de diamètre entre le pouce et le majeur

MOUVEMENTS GLOBAUX = /9

- 1 - Placer la main derrière la tête (si le test est réussi le score = 3, le total = 9 et TERMINER) (si le test est manqué le score = 0, le total = 0 et TERMINER)
- 2 - Placer la main sur le dessus de la tête
- 3 - Mettre la main à la bouche

Cotation

- 0: Ne peut exécuter aucune partie de l'épreuve.
- 1: Peut exécuter une partie de l'épreuve.

- 2: Peut exécuter l'épreuve mais en temps anormalement long ou avec une grande difficulté.
- 3: Exécute l'épreuve normalement.

Score /57.

Annexe 9. Echelle MRC (Medical Research Council) testing musculaire

0/5 : absence de contraction musculaire volontaire palpable

1/5 : contraction musculaire palpable mais n'entraînant pas de mouvement

1+/5 : mouvement possible en l'absence de gravité (dans le plan horizontal) n'atteignant pas toute l'amplitude articulaire permise

2/5 : mouvement en l'absence de gravité possible dans toute l'amplitude articulaire permise

3/5 : mouvement contre la gravité possible dans toute l'amplitude articulaire permise

4/5 : mouvement contre résistance possible dans toute l'amplitude articulaire permise

5/5 : force normale

Remarque : le signe « + » est parfois ajouté aux score 2, 3 et 4 pour signaler un résultat légèrement supérieur à l'échelon considéré sans atteindre le degré supérieur, mais n'a alors pas de signification précise officielle.

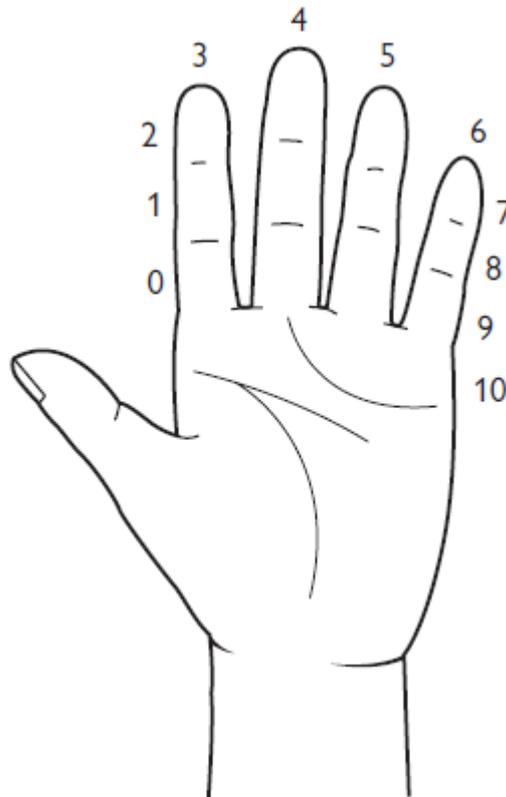
Annexe 10. Test des monofilaments de Semmes-Weinstein

N° monofilament	Force d'application (en g)	Couleur	Seuils sensitifs (main)
1.65	0.008	Vert	Normal
2.36	0.02		
2.44	0.04		
2.83	0.07		
3.22	0.16	Bleu	Diminution de la sensibilité au toucher léger
3.61	0.4		
3.84	0.6	Pourpre	Diminution de la sensibilité de protection
4.08	1		
4.17	1.4		
4.31	2		
4.56	4	Rouge	Perte de la sensibilité de protection
4.74	6		
4.93	8		
5.07	10		
5.18	15		
5.46	26		
5.88	60		
6.10	100		
6.45	180	Rouge hachuré	Sensibilité à la pression profonde uniquement
6.65	300		

Annexe 11. Indice de Kapanji

La pulpe du pouce peut venir en contact avec :

- 0 : le bord radial de la première phalange du deuxième doigt
- 1 : le bord radial de la deuxième phalange du deuxième doigt
- 2 : le bord radial de la troisième phalange du deuxième doigt
- 3 : la pulpe du deuxième doigt
- 4 : la pulpe du troisième doigt
- 5 : la pulpe du quatrième doigt
- 6 : la pulpe du 5^{ème} doigt
- 7 : le pli de l'IPD du 5^{ème} doigt
- 8 : le pli de l'IPP du 5^{ème} doigt
- 9 : la base du 5^{ème} doigt (pli digito-palmaire)
- 10 : le pli de la MCP du 5^{ème} doigt



Indice de Kapanji. Dessin d'après (99).

Annexe 12. Medical Outcome Study Short form – 36 (MOS SF-36 ou SF-36)

Les questions qui suivent portent sur votre état de santé, telle que vous la ressentez. Ces informations nous permettront de mieux savoir comment vous vous sentez dans votre vie de tous les jours. Veuillez répondre à toutes les questions en entourant le chiffre correspondant à la réponse choisie, comme il est indiqué. Si vous ne savez pas très bien comment répondre, choisissez la réponse la plus proche de votre situation.

1/ Dans l'ensemble, pensez-vous que votre santé est :

1 : excellente 2 : très bonne 3 : bonne 4 : médiocre 5 : mauvaise

2/ Par rapport à l'année dernière à la même époque, comment trouvez-vous votre état de santé actuel ?

1 : Bien meilleur que l'an dernier 2 : plutôt meilleur
 3 : A peu près pareil 4 : Plutôt moins bon
 5 : Beaucoup moins bon

3/ Voici la liste d'activités que vous pouvez avoir à faire dans votre vie de tous les jours. Pour chacune d'entre elles, indiquez si vous êtes limité en raison de votre état de santé actuel.

Liste d'activités	OUI, beaucoup limité(e)	OUI, un peu limité(e)	NON, pas du tout limité(e)
A : Efforts physiques importants tels que courir, soulever un objet lourd, faire du sport...	1	2	3
B : Efforts physiques modérés tels que déplacer une table, passer l'aspirateur, jouer aux boules	1	2	3
C : Soulever et porter les courses	1	2	3
D : Monter plusieurs étages par l'escalier	1	2	3
E : Monter un étage par l'escalier	1	2	3
F : Se pencher en avant, se mettre à genoux, s'accroupir	1	2	3
G : Marcher plus d'un kilomètre à pied	1	2	3
H : Marcher plusieurs centaines de mètres	1	2	3
I : Marcher une centaine de mètres	1	2	3
J : Prendre un bain, une douche ou s'habiller	1	2	3

9/ Les question qui suivent portent sur comment vous vous êtes senti(e) au cours de ces quatre dernières semaines. Pour chaque question, veuillez indiquer la réponse qui vous semble la plus appropriée. Au cours de ces quatre dernières semaines, y a-t-il eu des moments où :

	En permanence	Très souvent	Souvent	Quelques fois	Rarement	Jamais
A : vous vous êtes senti(e) dynamique ?	1	2	3	4	5	6
B : Vous vous êtes senti(e) très nerveux(se) ?	1	2	3	4	5	6
C : Vous vous êtes senti(e) si découragé(e) que rien ne pouvait vous remonter le moral ?	1	2	3	4	5	6
D : Vous vous êtes senti(e) calme et détendu(e) ?	1	2	3	4	5	6
E : Vous vous êtes senti(e) débordant(e) d'énergie ?	1	2	3	4	5	6
F : Vous vous êtes senti(e) triste et abattu(e) ?	1	2	3	4	5	6
G : Vous vous êtes senti(e) épuisé(e) ?	1	2	3	4	5	6
H : Vous vous êtes senti(e) heureux(se) ?	1	2	3	4	5	6
I : Vous vous êtes senti(e) fatigué(e) ?	1	2	3	4	5	6

10/ Au cours de ces quatre dernières semaines, y a-t-il eu des moments où votre état de santé, physique ou émotionnel, vous a gêné dans votre vie et vos relations avec les autres, votre famille et vos connaissances ?

1 : En permanence

2 : Une bonne partie du temps

3 : De temps en temps

4 : Rarement

5 : Jamais

11/ Indiquez pour chacune des phrases suivantes dans quelle mesure elles sont vraies ou fausses dans votre cas :

	Totalement vraie	Plutôt vraie	Je ne sais pas	Plutôt fausse	Totalement fausse
A : Je tombe malade plus facilement que les autres	1	2	3	4	5
B : Je me porte aussi bien que n'importe qui	1	2	3	4	5
C : Je m'attends à ce que ma santé se dégrade	1	2	3	4	5
D : Je suis en excellente santé	1	2	3	4	5

Mode de calcul des scores :

Remarque : La méthode de calcul ci-dessous correspond à la version RAND-36, libre d'utilisation. Une nouvelle version du calcul du score à été mise au point, son utilisation est protégée par copyright et soumise à autorisation (www.sf-36.org/).

Numéro de la question	Réponse donnée	Note obtenue (sur 100)
1, 2, 6, 8, 11b, et 11d	1	100 points
	2	75 points
	3	50 points
	4	25 points
	5	0 point
3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g, 3h, 3i, 3j	1	0 point
	2	50 points
	3	100 points
4a, 4b, 4c, 4d, 5a, 5b et 5c	1	0 point
	2	100 points
7, 9a, 9d, 9e, 9h	1	100 points
	2	80 points
	3	60 points
	4	40 points

	5	20 points
	6	0 point
9b, 9c, 9f, 9g, 9i	1	0 point
	2	20 points
	3	40 points
	4	60 points
	5	80 points
	6	100 points
10, 11a et 11c	1	0 point
	2	25 points
	3	50 points
	4	75 points
	5	100 points

Dimension	Calcul du score	Dimension	Calcul du score
Activité physique (PF) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g, 3h, 3i et 3j divisée par 10	Vitalité (VT) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 9a, 9e, 9g et 9i divisée par 4
Limitations dues à l'état physique (RP) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 4a, 4b, 4c et 4d divisée par 4	Vie et relation avec les autres (SF) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 6 et 10 divisée par 2
Douleurs Physiques (BP) (/100)	Somme des notes obtenues aux item 7 et 8 divisée par 2	Limitations dues à l'état psychique (RE) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 5a, 5b et 5c divisée par 3
Santé perçue (GH) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 1, 2, 11a, 11b, 11c et 11d divisée par 6	Santé psychique (MH) (/100)	Somme des notes obtenues aux items 9b, 9c, 9d, 9f et 9h divisées par 5
Score physique (/100)	Somme des scores obtenus aux 4 dimensions ci-dessus divisée par 4	Score psychique (/100)	Somme des scores obtenus aux 4 dimensions ci-dessus divisée par 4

Laure HUCHON

Contrôle visuo-moteur de la préhension après allogreffe bilatérale de main : étude clinique et cinématique

Th. Méd : Lyon 2014 n°

Nbr pages 174 ill. 32 tab. 4

RESUME :

Les amputations de main entraînent une incapacité fonctionnelle sévère ainsi qu'une dégradation importante de l'image corporelle, et les possibilités de restauration offertes par l'appareillage et la rééducation sont parfois insuffisantes. Depuis la première allogreffe de main réussie en 1998, la transplantation émerge comme une alternative thérapeutique valable chez certains patients soigneusement sélectionnés. Une soixantaine de patients dans le monde ont aujourd'hui bénéficié de cette intervention, dont au moins 25 cas de greffe bilatérale, avec une récupération fonctionnelle satisfaisante permettant aux patients de retrouver leur autonomie dans la vie quotidienne, au prix d'une immunosuppression à vie avec ses risques de complications infectieuses, métaboliques et oncologiques. Un remodelage plastique du cortex sensori-moteur induit par la greffe a été documenté en neuro-imagerie. Mais la qualité fonctionnelle du contrôle visuo-moteur de la préhension n'a quasiment jamais été étudiée. Nous rapportons la première analyse cinématique des performances de préhension de cinq patients français porteurs d'une allogreffe bilatérale de main depuis trois à treize ans, comparés à un groupe de sujets contrôles appariés en âge, genre, et morphologie des membres supérieurs. Les patients ont accompli une tâche de préhension d'un objet cylindrique, et leur capacité à adapter leur programme moteur à différentes conditions de réalisation du mouvement a été évaluée en faisant varier la position de l'objet à saisir, sa taille, la main utilisée et la disponibilité du contrôle visuel. Les résultats montrent une très bonne récupération des principales caractéristiques du contrôle visuo-moteur de la préhension chez les patients allogreffés, avec notamment une préservation du calibrage de l'ouverture maximale de la pince pouce-index en fonction de la taille de l'objet à saisir et peu d'altération du mouvement induites par la suppression du retour visuel, en faveur d'un programme moteur et d'aptitudes proprioceptives satisfaisantes. En revanche, les déficits neuro-orthopédiques périphériques séquellaires des patients induisent des altérations du mouvement notamment dans la phase de saisie, avec une ouverture de pince drastiquement réduite et retardée comparativement aux sujets contrôles, une altération du couplage entre transport et saisie, et un allongement marqué de la phase finale du mouvement lors de la stabilisation de la pince pouce-index sur l'objet. Notre étude plaide donc pour une excellente récupération du contrôle visuo-moteur des mains greffées, et s'inscrit en faveur des gains fonctionnels dans la balance bénéfice-risque d'une telle intervention.

MOTS CLES : Transplantation de main, Cinématique, Préhension, Contrôle visuo-moteur, Plasticité cérébrale

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Gilles RODE

Membres : Monsieur le Professeur Lionel BADET
Monsieur le Professeur Jacques LUAUTE
Monsieur le Professeur Jean PAYSANT
Monsieur le Professeur Pascal GIRAUX
Monsieur le Docteur Alessandro FARNE

DATE DE SOUTENANCE : 02 octobre 2014

Adresse de l'auteur : 5 allée Paul Sherrer 69002 Lyon
laurehuchon@gmail.com