



<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>

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Masso-Kinésithérapie

Mémoire N°1849

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie

Par

BOUAZIZ Maëva

Efficacité de la gravité artificielle par centrifugation à bras court pour limiter la perte de force causée par l'amyotrophie liée à l'alitement : revue systématique de la littérature.

Effectiveness of artificial gravity by short-arm centrifugation in limiting strength loss due to bedrest-related amyotrophy: systematic literature review.

Directeur de mémoire

GILLIAUX Maxime

Année 2022-2023

Session 1

Membres du jury

BECAT Jeanne

COMEMALE Edith

CHARTRE ANTI-PLAGIAT DE LA DREETS AUVERGNE - RHONE - ALPES

La Directions régionales de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (DREETS) délivre sous l'autorité du préfet de région les diplômes paramédicaux et du travail social.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue, que les directives suivantes sont formulées.

Elles concernent l'ensemble des candidats devant fournir un travail écrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'État, qu'il s'agisse de formation initiale ou de parcours VAE.

La présente charte définit les règles à respecter par tout candidat, dans l'ensemble des écrits servant de support aux épreuves de certification du diplôme préparé (mémoire, travail de fin d'études, livret2).

Il est rappelé que « le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable »¹.

La contrefaçon (le plagiat est, en droit, une contrefaçon) **est un délit** au sens des articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle.

Article 1 :

Le candidat au diplôme s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 2 :

Le plagiaire s'expose à des procédures disciplinaires. De plus, en application du Code de l'éducation² et du Code de la propriété intellectuelle³, il s'expose également à des poursuites et peines pénales.

Article 3 :

Tout candidat s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, cette charte dûment signée qui vaut engagement :

Je soussigné(e) BOUAZIZ Maëva

Atteste avoir pris connaissance de la charte anti-plagiat élaborée par la DREETS Auvergne-Rhône-Alpes et de m'y être conformé(e)

Je certifie avoir rédigé personnellement le contenu du livret/mémoire fourni en vue de l'obtention du diplôme suivant :

Fait à LYON Le 12/04/2023

Signature



Zér  **Plagiat**

¹ Site Université de Nantes : <http://www.univ-nantes.fr/statuts-et-chartes-usagers/dossier-plagiat-784821.kjsp>

² Article L331-3 : « les fraudes commises dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat sont réprimées dans les conditions fixées par la loi du 23 décembre 1901 réprimant les fraudes dans les examens et concours publics »

³ Article L122-4 du Code de la propriété intellectuelle

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Masso-Kinésithérapie

Mémoire N°1849

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie

Par

BOUAZIZ Maëva

**Efficacité de la gravité artificielle par centrifugation à bras court pour limiter la
perte de force causée par l'amyotrophie liée à l'alitement : une revue
systématique de la littérature.**

**Effectiveness of artificial gravity by short-arm centrifugation in limiting
strength loss due to bedrest-related amyotrophy: systematic literature review.**

Directeur de mémoire

GILLIAUX Maxime

Année 2022-2023

Session 1

Membres du jury

BECAT Jeanne

COMEMALE Edith

Université Claude Bernard Lyon 1

Président
Frédéric FLEURY

Vice-président CA
REVEL Didier

Secteur Santé

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Jacques LUAUTE

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Jean Christophe MAURIN

U.F.R de Médecine Lyon-Sud Charles
Mérieux
Directrice
PAPAREL Philippe

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
DUSSART Claude

Département de Formation et Centre de
Recherche en Biologie Humaine
Directeur
SCHOTT Anne-Marie

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
COCHAT Pierre



Institut Sciences et Techniques de la Réadaptation Département MASSO-KINESITHERAPIE

Directeur ISTR
Jacques LUAUTE

Équipe de direction du département de Masso-kinésithérapie :

Directeur de la formation
Charles QUESADA

Responsables des travaux de recherche
Denis JAUDOIN

Référents d'années
Ilona BESANCON
Edith COMEMALE

Référent formation clinique
Ayodélé MADI

Référent projets pédagogiques
Denis JAUDOIN

Responsable de scolarité
Audrey MOIRON

Remerciements

Je souhaite exprimer ma gratitude envers mon directeur de mémoire, Maxime GILLIAUX, pour son aide précieuse, ses conseils bienveillants et son expertise, tout au long de ce mémoire.

Je remercie les membres du jury Jeanne BECAT et Edith COMEMALE d'avoir pris le temps de lire mon travail et d'avoir été présentes pour ma soutenance.

Merci également à mes meilleures amies Charlène et Emma, pour leur motivation sans faille. Leurs encouragements et leur soutien ont été essentiels lors de mes études et pour l'écriture de ce mémoire. Leur présence à mes côtés a été un véritable soutien moral. Je les remercie de tout mon cœur pour leur amitié sincère.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance envers mes amis de promotion Charlotte, Servane, Lauriane, Céline, Marie, Léa, Maxime, Rayane et Corentin pour m'avoir permis de vivre de si belles études.

Enfin, je souhaite adresser mes remerciements à ma famille qui m'a permis de réaliser mes études. Leur présence, leur amour, et leur soutien ont été indispensables lors de mon parcours.

Liste des acronymes

AG : Artificial Gravity

BRACE : Bed Rest with Artificial gravity and Cycling Exercise

BU : Bibliothèque Universitaire

CNRTL : Centre Nationale de Ressources Textuelles et Lexicales

DBR : Dynamic Balancing Randomization

ESA : Agence spatiale Européenne

HAS : Haute Autorité de santé

MEDES : Institut de Médecine et de Physiologie Spatiale

MeSH : Medical Subject Heading

MI : Membres Inférieurs

PEDro : Physiotherapy Evidence Database

PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

TMS : Troubles Musculosquelettiques

USI : Unité de Soins Intensifs

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1 Situation d'appel.....	1
1.2 Cadre théorique.....	2
1.2.1 Définition et épidémiologie	2
1.2.2 Rappels anatomiques	3
1.2.3 Physiopathologie	5
1.2.4 Diagnostic et rééducation.....	6
1.2.5 Gravité artificielle	7
1.3 Problématique et justification de la revue	10
2. Méthodologie	12
2.1 Critères d'éligibilité.....	12
2.1.1 Critères d'inclusion	12
2.1.2 Critères d'exclusion	13
2.2 Bases de données	13
2.3 Mots clés et équations de recherche	13
2.4 Sélection des articles	16
2.5 Qualité méthodologique des articles.....	17
2.6 Extraction et analyse des données	18
3. Résultats et analyse	19
3.1 Résultats de la sélection des articles.....	19
3.2 Description des articles.....	21
3.2.1 Design des articles	21
3.2.2 Population	31
3.2.3 Qualité des études.....	32
3.2.4 Interventions.....	35

3.2.5 Critères de jugement et outils de mesure	37
3.3 Effet des interventions.....	38
3.3.1 Critère de jugement principal.....	39
3.3.2 Critère de jugement secondaire	40
4. Discussion	40
4.1 Synthèse des résultats et interprétation.....	40
4.2 Niveau de preuve et recommandations.....	42
4.3 Limites des études.....	44
4.3.1 Validité externe	45
4.3.2 Validité interne	46
4.4 Perspectives	48
4.4.1 Perspectives scientifiques.....	48
4.4.2 Perspectives cliniques	49
4.5 Biais de la revue.....	50
5. Conclusion.....	51

Liste des figures

Figure 1 - Illustration de la structure du muscle strié squelettique. Tirée d'Institut de myologie : (Connaissances sur le muscle - Institut de Myologie, 2022) https://www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/	3
Figure 2 - Illustration de la structure de la fibre musculaire. Tirée de Open stax : (Gordon et al. 2013) https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/10-2-skeletal-muscle	4
Figure 3 - Photographie de l'installation du patient dans une centrifugeuse à bras court. Tirée de MEDES : La centrifugeuse à bras court (http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/les-equipements/la-centrifugeuse.html)	9
Figure 4 - Photographie de l'interface de contrôle du patient soumis à la centrifugation. Tirée de MEDES : La centrifugeuse à bras court (http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/les-equipements/la-centrifugeuse.html)	9
Figure 5 - Diagramme de flux selon Prisma	20
Figure 6 - Répartition des types d'intervention en fonction du nombre d'études	35
Figure 7 - Durée de la période d'alitement en fonction de la durée totale des interventions par article	36

Liste des tableaux

Tableau I - Avantages et inconvénients de la technique de gravité artificielle par centrifugeuse à bras court.....	10
Tableau II - Mots clés.....	14
Tableau III - Association des mots clés sur Pubmed.....	14
Tableau IV - Association des mots clés sur Cochrane.....	15
Tableau V - Association des mots clés sur Sciencedirect	15
Tableau VI - Niveau de preuve d'une étude selon la HAS. Tirée de Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux HAS, (HAS, Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, 2013)	18
Tableau VII - Grade des recommandations. Tirée du Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux HAS, (HAS Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, 2013)	18
Tableau VIII - Caractéristiques générales des études de la revue.....	22
Tableau IX - Descriptif des interventions	26
Tableau X - Echelle PEDro	32
Tableau XI - Niveau de preuve des interventions selon la HAS	43

Résumé

Contexte : L'amyotrophie est un problème de santé publique lié à l'augmentation du taux de survie post Unité de Soins Intensifs et à l'accroissement de la sédentarité. Elle impacte de manière significative l'autonomie ainsi que la vie quotidienne des patients soumis à l'immobilisation ou à la restriction d'activités. En outre, il est primordial de trouver des techniques efficaces permettant une prise en charge multimodale de l'amyotrophie afin d'optimiser la rééducation pendant ou après l'alitement. La gravité artificielle, technique innovante dont l'efficacité est un sujet grandissant en recherche, semble pouvoir répondre à ce besoin.

Objectif : L'objectif principal est de déterminer si la technique de gravité artificielle est efficace pour limiter la perte de force liée à l'amyotrophie, pendant ou à la suite d'un alitement. L'objectif secondaire est de déterminer son intérêt pour la préservation de la capacité fonctionnelle (VO₂max).

Méthode : Réalisation d'une revue systématique de la littérature via la méthode PRISMA. Trois bases de données ont été utilisées : Pubmed, Cochrane Library et ScienceDirect. La question de recherche a été construite selon la méthode PICO. L'évaluation de la qualité méthodologique des études a été établie d'après le score PEDro. Les niveaux de preuves ainsi que les recommandations ont été déterminés à l'aide du référentiel de la Haute Autorité de Santé.

Résultats : Cinq essais contrôlés, dont deux randomisés, ont été inclus dans cette revue sur la base de nos critères d'éligibilité. L'ensemble des essais sélectionnés comparent la technique de gravité artificielle (groupe d'intervention) à aucun traitement (groupe contrôle).

Conclusion : Les résultats suggèrent que la gravité artificielle permet de minimiser la perte de force provoquée par l'amyotrophie pour les muscles du genou et de la cheville. De fait, nous recommandons de manière modérée la centrifugation à bras court pour limiter la fonte musculaire. Toutefois, elle n'a pas été efficace pour maintenir la capacité d'exercice aérobie (VO₂max). Ainsi, nous ne recommandons pas cette technique pour lutter contre le déconditionnement physique en raison de la faible demande cardio-respiratoire qu'elle suscite.

Mots-clés : alitement, amyotrophie, centrifugation, force, gravité artificielle

Abstract

Context : Muscular atrophy is a public health problem linked to the increase in post Intensive Care Unit survival rates and the increase in sedentary lifestyle. It has a significant impact on the autonomy and daily life of patients subjected to immobilization or activity restriction. Therefore, it is essential to find effective techniques for multimodal management of muscular atrophy in order to optimize rehabilitation during or after bed rest. Artificial gravity, an innovative technique whose effectiveness is a growing topic in research, seems to be able to meet this need.

Objective : The primary objective is to determine if the artificial gravity technique is effective in limiting the loss of strength related to muscular atrophy, during or following bed rest. The secondary objective is to determine its value in preserving functional capacity (VO₂max).

Method : A systematic review of the literature was conducted using the PRISMA method. Three databases were used : Pubmed, Cochrane Library and ScienceDirect. The research question was constructed using the PICO method. The methodological quality assessment of the studies was based on the PEDro score. Levels of evidence and recommendations were assessed according to the Haute Autorité de Santé.

Results : Five controlled trials, including 2 randomized trials, were included in this review on the basis of our eligibility criteria. All selected trials compared the artificial gravity technique (intervention group) with no treatment (control group).

Conclusion : The results suggest that artificial gravity can minimize the loss of strength caused by amyotrophy in the knee and ankle muscles. Indeed, we moderately recommend short-arm centrifugation to limit muscle wasting. However, it has not been effective in maintaining aerobic exercise capacity (VO₂max). Thus, we do not recommend this technique to fight physical deconditioning because of the low cardiorespiratory demand it creates.

Keywords : bed rest, amyotrophy, centrifugation, strength, artificial gravity

1. Introduction

1.1 Situation d'appel

Lors d'un stage en centre de rééducation, j'ai pu prendre en charge des patients en situation d'immobilisation partielle ou stricte. Les patients présents dans le service étaient d'âges variés, avec des pathologies hétérogènes. De ce fait, j'ai pu discuter de l'impact de l'immobilisation avec des personnes très différentes. Grâce à ces avis nuancés, j'ai pu mieux saisir la diversité des atteintes et ai observé la prévalence élevée des troubles musculosquelettiques. À la suite de ce constat, j'ai remarqué que l'amyotrophie était l'atteinte commune à tous ces patients, et ce même après une courte période d'hospitalisation. Par conséquent, j'ai saisi l'enjeu majeur que représente cette pathologie en rééducation, et ai pris conscience de l'importance d'une réhabilitation précoce et efficace pour lutter contre la fonte musculaire.

Ces modifications corporelles qui s'opèrent après une période de non (ou de sous) sollicitation du corps, m'ont évoqué les effets délétères que subissent les astronautes ultérieurement à un voyage spatial. En effet, d'après les études WISE (2005-2006) et Cocktail (2017) menées par l'Institut de Médecine et de Physiologie Spatiale (MEDES) pour l'Agence Spatiale Européenne (ESA), il s'avère que les effets de la microgravité ont de multiples points communs avec les effets de l'alitement ; dont l'amyotrophie. C'est pourquoi, l'alitement prolongé est un modèle utilisé par les agences spatiales, dans le but de simuler et de préparer les astronautes à leur voyage. En outre, j'ai réalisé qu'il pourrait exister un parallèle entre ces deux rééducations, et que les techniques étudiées sur terre pour les astronautes, pourraient être appliquées en rééducation conventionnelle.

Cette analogie a été impulsée par le retour du jeune spationaute français Thomas Pesquet, le 9 novembre 2021 après 6 mois dans l'espace. Suivre la préparation et la rééducation post voyage spatial de ce spationaute m'a fait réaliser à quel point le kinésithérapeute joue un rôle primordial pour lutter contre les séquelles de l'amyotrophie et qu'il pourrait exister des techniques novatrices applicables en rééducation classique. En effet, lors de mes visionnages et de mes lectures, j'ai observé des techniques ainsi que des protocoles différents de ce qui peut être fait en kinésithérapie standard, avec notamment l'utilisation de machines novatrices. Grâce à

cela, j'ai pris connaissance de la gravité artificielle, dont l'utilisation à des fins thérapeutiques est en plein essors.

1.2 Cadre théorique

1.2.1 Définition et épidémiologie

L'atrophie musculaire est définie d'après le Centre Nationale de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL, 2012) comme « *l'arrêt de nutrition d'un organe ou d'un tissu, qui se manifeste par la diminution de son volume ou de son poids.* » L'atrophie musculaire, ou amyotrophie, est une atteinte systématique lors d'un séjour en réanimation ou lors d'une immobilisation (Petermann-Rocha et al., 2021).

Au cours des dernières décennies, l'amélioration de la prise en charge en centre de réanimation a permis de diminuer la mortalité liée aux maladies graves. Celle-ci est passée de 27,8% en 1979 à 17,9% en 2001 (Martin GS et al., 2000), puis est redescendue à 15% en 2013 (Essola L et al., 2013). Cette meilleure prise en charge médicale est à l'origine de l'augmentation des personnes rééduquées après un séjour en Unité de Soins Intensifs (USI). En outre, du fait de l'accroissement du nombre de patients subissant une amyotrophie ainsi que de l'étiologie multiple de l'atteinte, il s'agit d'une pathologie couramment observée en kinésithérapie. Si bien, qu'elle est retrouvée dans le domaine institutionnel, mais aussi lors de l'exercice libéral. En d'autres termes, les anomalies musculaires associées à une maladie présentent un intérêt particulier étant donné leur prévalence élevée chez les patients nécessitant une immobilisation prolongée (Stevens RD et al., 2007). C'est pourquoi, l'efficacité de la kinésithérapie concernant les troubles musculosquelettiques, débutant au sein de l'USI et continuant après la sortie de l'hôpital, constitue une stratégie pour cibler le déconditionnement physique (loi HPST, 22 juillet 2009).

De plus, le vieillissement et la désuétude représentent deux des conditions d'atrophie les plus répandues et les plus coûteuses (Colleen S Deane et al., 2021). De ce fait, il est pertinent de mettre en place des moyens efficaces pour lutter contre l'altération à long terme de la fonction physique, afin de réduire les dépenses de santé publique. Par conséquent, s'intéresser à la lutte contre la fonte musculaire est primordiale dans le traitement et la prévention des problèmes de santé publique, c'est-à-dire la survie aux maladies/accidents graves et le vieillissement de la population.

1.2.2 Rappels anatomiques

Le muscle est défini comme étant un « *tissu formé de fibres douées de contraction permettant de produire un mouvement.* » (Institut de myologie, 2020). Il comporte deux grandes familles en fonction de sa structure macroscopique et de son type de contraction. Ainsi, on distingue les muscles de la vie de relation aussi appelés muscles volontaires et les muscles de la vie végétative aussi appelés muscles involontaires. De plus, leurs différentes capacités fonctionnelles et leur anatomie a permis de définir quatre sous-catégories : le muscle lisse à contraction involontaire lente, le muscle strié cardiaque à contraction involontaire, le muscle strié squelettique à contraction volontaire et le muscle strié avec insertion conjonctive à contraction mixte. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques du muscle squelettique.

Les muscles squelettiques permettent la mobilité active du corps et sont plus de 600. Ils sont attachés aux os par les tendons, qui sont des structures fibreuses, et permettent au corps de se mouvoir ou de résister aux forces extérieures en actionnant les articulations. En outre, lors d'une immobilisation ou lors d'une sous-sollicitation ceux-ci ne peuvent plus exercer correctement leur fonction.

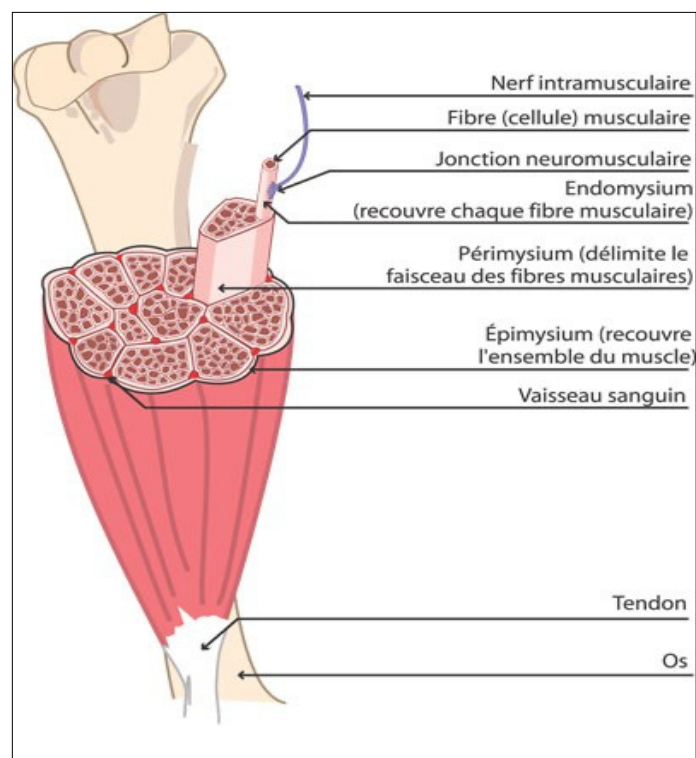


Figure 1 - Illustration de la structure du muscle strié squelettique. Tirée d'Institut de myologie : (Connaissances sur le muscle - Institut de Myologie, 2022) <https://www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/>

Le muscle squelettique est entouré de plusieurs couches de tissus conjonctif (voir figure 1 ci-dessus), qui sont du plus interne au plus externe :

- L'endomysium qui entoure la fibre musculaire
- Le périmysium qui entoure chaque faisceau de fibre musculaire
- L'épimysium qui recouvre l'ensemble du muscle

En d'autres termes, le muscle est un organe constitué de faisceaux de fibres (10 à 100mm de diamètre), eux-mêmes composés d'un ensemble de fibres musculaires. Ces fibres résultent d'un assemblage de cellules allongées comportant plusieurs noyaux, un sarcolemme, et des myofibrilles. Les cellules composant le muscle squelettique sont des cellules spécialisées avec un cytosquelette particulier. En effet, il est caractérisé par la présence de trois protéines qui permettent le raccourcissement de la cellule : l'actine, la myosine et la titine. Ces protéines s'organisent en myofilaments et constituent l'unité fonctionnelle du muscle, aussi appelée sarcomère (voir figure 2 ci-dessous). Il est construit selon un maillage complexe de ces différents filaments : les myofilaments fins d'actine, les myofilaments épais de myosine et les myofilaments de titine. Il est délimité par deux stries Z appartenant chacune à une bande I. Ainsi, il comprend en son centre une bande A, ainsi qu'une bande H. C'est grâce à l'hydrolyse de l'ATP que le sarcomère va pouvoir produire un travail mécanique qui entrainera le mouvement de contraction.

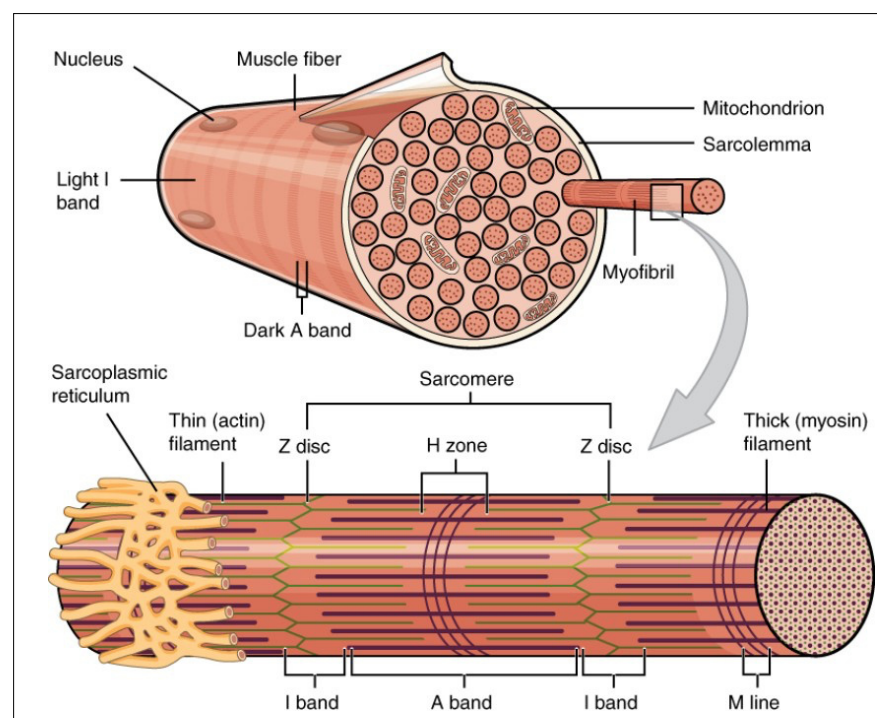


Figure 2 - Illustration de la structure de la fibre musculaire. Tirée de Open stax : (Gordon et al. 2013)
<https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/10-2-skeletal-muscle>

Pour réaliser cette contraction, la cellule musculaire possède une structure spécifique. Il s'agit d'une cellule spécialisée. Elle est constituée d'une membrane nommée sarcolemme, d'un cytoplasme nommé sarcoplasme, et d'un réticulum sarcoplasmique. Ce dernier est une structure permettant le stockage des ions Ca^{2+} autour des myofibrilles avant leur relargage dans le cytoplasme lors de la dépolarisation de la membrane. C'est cet échange d'ions, à la suite de la fixation de l'acétylcholine sur les récepteurs nicotiniques, qui va permettre de faire interagir la myosine et l'actine. C'est la contraction musculaire. De ce fait, le mouvement volontaire est permis par un ensemble de mécanismes au niveau de la jonction neuromusculaire et grâce aux fibres qui sont la source du mouvement. Les muscles sont composés d'un mélange de deux types de fibre : les fibres de type I (fibres lentes) qui ont un mode de fonctionnement aérobie ; et les fibres de type IIA ou IIB (fibres rapides) qui fonctionnent via un mode anaérobie. Pour conserver leur intégrité, elles sont entourées d'un réseau de capillaires qui assurent la vascularisation, mais aussi de nerfs appelés motoneurones pour permettre l'activation. C'est pourquoi, la physiologie du muscle, est assurée par plusieurs fonctions que sont : l'intégrité ostéoarticulaire, le système cardiovasculaire, la fonction endocrine, et le système nerveux. Ainsi, l'atteinte d'un ou plusieurs de ces processus, compromet le bon fonctionnement du muscle.

1.2.3 Physiopathologie

L'étiologie de l'amyotrophie est variée, comportant notamment une série de modifications biochimiques intrinsèques du muscle et des facteurs extrinsèques. On peut citer : « *l'altération de l'innervation, la réponse neuroendocrinienne au stress métabolique, la libération des médiateurs inflammatoires et l'accroissement du stress oxydant* » (Preiser et al., 2010). Cette perte totale, ou partielle, du tissu musculaire peut être d'origines variées. On retrouve cette atteinte lors « *d'une mauvaise alimentation, d'une mauvaise circulation, d'un soutien hormonal inadéquat, de défauts dans l'approvisionnement nerveux du tissu, lors d'une induction disproportionnée de l'apoptose dans le tissu ou encore lors de l'absence d'exercice* » (Ghafouri-Fard S et al., 2021). Entre autres, c'est une conséquence observée dans de multiples domaines en kinésithérapie.

Sur terre, nous utilisons de nombreux muscles pour contrer les effets de la pesanteur. Ainsi, de jeunes adultes en bonne santé soumis à un alitement peuvent subir une perte

majeure de la masse musculaire et de force en peu de temps (Jones S.W. et al., 2004). En effet, à cause de certaines pathologies invalidantes, il est parfois impératif de mettre en place une immobilisation prolongée. Cependant, bien que l'immobilisation soit parfois nécessaire, il est essentiel de prévenir et/ou de pallier aux effets physiologiques substantiels qu'elle provoque. Ces effets sont principalement caractérisés par un déconditionnement général avec des troubles musculosquelettiques. La suppression de la contrainte gravitaire et la sous sollicitation entraînent un affaiblissement des muscles. On note alors une atrophie musculaire, objectivée par IRM, de l'ordre de 3% pour 7 jours d'alitement strict (Ferrando et al., 1995). Cette fonte musculaire est observée principalement au niveau des membres inférieurs (MI), des muscles antigravitaires (extenseurs des MI et muscles paravertébraux), puis par la suite au niveau du muscle cardiaque et des muscles lisses. Dès lors, la fonte musculaire entraînera une perte d'autonomie et un déconditionnement général. C'est pourquoi, pour prévenir et limiter les atteintes fonctionnelles, il est impératif pour les rééducateurs de savoir repérer les risques pour les traiter précocement.

1.2.4 Diagnostic et rééducation

Pour une prise en charge efficace de l'amyotrophie en kinésithérapie, il est nécessaire de savoir identifier les différents signes cliniques associés. Ceux-ci permettront d'objectiver des variations grâce à des indicateurs quantifiables et reproductibles.

Dans un premier temps, on note une amyotrophie rapide, visible, et mesurable par périmétrie du membre. Par la suite, on note également une diminution de la force maximale en isométrique ou en dynamique, ainsi qu'une réduction de l'endurance à l'effort (P. Germain et al., 1995). Par conséquent, lors du bilan, nous pouvons retrouver une diminution de la cotation du testing musculaire et une diminution des performances dans plusieurs modalités :

- Diminution de la force maximale
- Réduction du temps d'exercice
- Diminution de la vitesse de force
- Réduction de la contraction via électromyogramme
- Réduction de la VO₂max (Montes et al., 2021)

Par ailleurs, on constate une modification de l'extensibilité et de l'élasticité avec une altération de la structure du muscle (Preiser et al., 2010). Cette étape de dégradation musculaire est objectivable par prélèvement musculaire ou par imagerie, qui mettra en évidence une diminution de la quantité musculaire ou de la qualité du tissu. Concernant l'évaluation sur le plan fonctionnel, il est possible de répéter un exercice à différent stade de la rééducation afin de suivre l'évolution du patient grâce à des marqueurs. Nous pouvons, par exemple, sur un temps donné : quantifier le nombre de répétition, la distance parcourue, ou le nombre d'actions réalisées (nombre de mouvements effectués, nombre de cible touchées, etc). Cependant, il est impératif de respecter les mêmes conditions lors des évaluations pour limiter les biais. Tous ces indicateurs nous permettent d'évaluer l'impact de l'affaiblissement musculaire à un moment précis, et nous donneront la possibilité de suivre l'évolution fonctionnelle.

Les recommandations actuelles pour lutter contre la fonte musculaire, selon la Haute Autorité de Santé (HAS) en 2008, conseillent une prise en charge multimodale associant : « *de l'électrostimulation excitomotrice, du renforcement musculaire, de l'exercice physique, et si possible de l'isocinétisme* ». Ces techniques nécessitent une adaptation selon l'état physique du patient, et son environnement : alitement, présence de machines annexes, décharge, état de conscience, etc... Du fait de l'ensemble des paramètres à respecter, une grande partie de ces techniques ne sont pas applicables aux patients subissant un alitement partiel ou total. Or, il est impératif pour le thérapeute de mettre en place des moyens variés et efficaces tout en s'adaptant à chacun. De fait, pour maximiser les chances de guérison, il convient d'utiliser des techniques diverses et efficaces pour optimiser l'arsenal thérapeutique. C'est le cas de la technique de gravité artificielle. Elle permet de mettre en place une rééducation en décharge pour les patients subissant une amyotrophie, et ce dans plusieurs positions : décubitus dorsal/ventral/latéral, assis et vertical.

1.2.5 Gravité artificielle

Lors de situation de microgravité, le corps subit de nombreuses modifications pour s'adapter au nouvel environnement. Ainsi, l'exposition à la microgravité entraîne aussi une atrophie des muscles impliqués dans la posture et la locomotion, avec l'altération des performances motrices, la diminution de la force et de l'endurance musculaires (Adams et al., 2003). Pour lutter contre ce phénomène, il a fallu trouver

un modèle terrestre se rapprochant des conditions particulières de l'espace. En outre, différents modèles d'allègement musculaire ont fait l'objet d'étude et ont démontré leur efficacité, le principal étant l'alitement tête en bas (Adams et al., 2003). C'est cet environnement d'étude qui a permis de développer la gravité artificielle, et de réaliser des parallèles avec la kinésithérapie conventionnelle.

Les changements physiologiques observés chez les spationautes correspondent à de nombreux changements couramment observés par les kinésithérapeutes sur Terre, comme : « *les personnes souffrant de lombalgie, de maladies musculaires, exposées à un alitement prolongé, les athlètes d'élite et les patients gravement malades en soins intensifs* » (Hides et al., 2017). Ainsi, les modèles utilisés pour simuler ces effets reproduisent les conditions de fonte musculaire et sont fréquemment utilisés en recherche terrestre pour étudier les phénomènes d'atrophie musculaire et leurs contremesures. En outre, il existe de nombreux parallèles entre la lutte contre la microgravité et le rôle contemporain joué par le kinésithérapeute pour optimiser la prise en charge de l'amyotrophie.

La gravité artificielle, reproduit un gradient de pression hydrostatique via une centrifugation, pour imiter les effets de la position debout sur terre. En augmentant l'afflux sanguin dans les MI avec une force mécanique inertielle, celle-ci limite le déconditionnement cardiovasculaire. De plus, elle simule des contraintes mécaniques sur l'ensemble du corps et permet de retarder les altérations osseuses et musculaires. Ses bénéfices sont multiples et semblent être un atout en rééducation conventionnelle. Elle fonctionne via une centrifugeuse à bras court. Celle-ci se compose d'un centre de rotation, nommé rotor, et de deux bras positionnés chacun sur un rail réglable. C'est une machine imposante, qui nécessite deux pièces dédiées : une pour la machine elle-même, et une pour le suivi des constantes (voir figure 3 et 4). Il est possible d'installer un ou deux patients en position allongée, assise, ou en décubitus latéral. Toutefois, pour une utilisation simultanée avec deux personnes, il est nécessaire que les réglages de la force centrifuge, du rayon rotor, ainsi que du temps d'exposition soient similaires. Ce sont les variables à régler pour le bon déroulement de la séance. Les réglages sont déterminés par la taille du patient concernant le rayon, et selon la tolérance pour la vitesse. La vitesse est souvent inférieure à 2G (Bernat, s. d.). De plus, il est possible de placer le patient dans un environnement sombre pour abolir les stimuli visuels, et ainsi éviter le mal des transports ; ou encore de placer un vélo-ergomètre pour réaliser des exercices durant la simulation (Bernat, s. d.).



Figure 3 - Photographie de l'installation du patient dans une centrifugeuse à bras court. Tirée de MEDES : La centrifugeuse (Bernat, s. d.).<http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/les-equipements/la-centrifugeuse.html>



Figure 4 - Photographie de l'interface de contrôle du patient soumis à la centrifugation. Tirée de MEDES : La centrifugeuse (Bernat, s. d.).<http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/les-equipements/la-centrifugeuse.html>

Les protocoles actuels correspondent à une exposition journalière entre 30 et 60 minutes, en complément ou non d'exercice physique. La centrifugation peut être appliquée en mode continue avec un temps donné, ou être programmée pour une exposition intermittente. Par exemple, il est possible de réaliser une séance de 30 min en continue, ou une exposition fractionnée avec 6 temps de 5 minutes (Rittweger et al., 2015).

L'ensemble de ces éléments font de cette technique une solution innovante et potentiellement intéressante en rééducation conventionnelle. Toutefois, une telle

machine représente un investissement sur le long terme. Il semble alors nécessaire d'avoir connaissance des avantages et des inconvénients qu'elle représente (voir tableau I).

Tableau I - Avantages et inconvénients de la technique de gravité artificielle par centrifugeuse à bras court

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Système avec de nombreuses modulations = adaptable à différentes applications - Charge maximale à 550 kg - Installation rapide car nacelles facilement ajustables - Possibilité de faire de l'exercice pendant la simulation via vélo-ergomètre - Conforme aux normes et directives internationales - Système automatisé avec contrôle des paramètres vitaux - Communication possible avec le patient lors du traitement + camera de visualisation du visage - Nombreux dispositifs de sécurité - Peu d'entretien avec une excellente durée de vie = grande fiabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement à hauteur de 500 000 euros en moyenne - Environ 3000 kg et 6 m de diamètre + deux pièces nécessaires pour son utilisation = grande structure nécessaire - Présence d'un médecin obligatoire à l'heure actuelle + surveillance constante du patient lors de la séance = mobilisation de deux professionnels de la santé minimum

1.3 Problématique et justification de la revue

A ce jour, la dernière revue systématique (Connolly et al., 2015) évaluant l'efficacité des techniques de rééducation classique sur une population de patient post-alitement pour lutter contre les TMS (Troubles Musculosquelettiques) a été publiée en 2015. Le choix des études sélectionnées a été finalisé en 2014. Les traitements

étudiés dans cette revue sont : le vélo pour les bras et les jambes, la marche, le renforcement musculaire général à domicile ainsi que des programmes d'exercices multiples en gymnase sous la direction de kinésithérapeutes. Les résultats indiquent que 3 études sur les 6 font l'état d'une amélioration de la force musculaire et des capacités fonctionnelles lorsque les patients sont soumis au renforcement (à domicile ou sous supervision). Toutefois, la grande variabilité des traitements actifs rend la standardisation et la mise en commun des données difficile ; en résulte une faible qualité des preuves. Par conséquent, sélectionner une seule technique permettrait de limiter ces biais. De plus, au vu de son ancienneté, il semble judicieux d'actualiser les connaissances sur le sujet en réinterrogeant la littérature.

Par ailleurs, il n'est pas question de gravité artificielle dans cette revue. A ce propos, aucune revue ne traite de cette technique concernant l'amyotrophie, et ce quand bien même le sujet intéresse la littérature. En effet, il a été dit par le centre de recherche MEDES que : « *En complément aux études spatiales, cette centrifugeuse sera également mise à la disposition de la recherche médicale terrestre.* » (Inauguration de la centrifugeuse humaine de MEDES, 2007). Ce qui, depuis ces 15 dernières années, a permis de développer de nombreuses études à l'échelle mondiale. Après des recherches menées en septembre 2022 sur PubMed, Cochrane, et Pedro il existe de nombreuses études traitant de cette technique sur l'être humain. De surcroît, la gravité artificielle représente aussi un sujet récemment exploité en France. Par exemple, en avril 2023, l'étude BRACE (Bed Rest with Artificial gravity and Cycling Exercise) a été lancée par l'institut MEDES à Toulouse dans le but de réaliser une étude à plus grande échelle pour cette technique. Entre autres, il s'agit d'un sujet d'actualité qui intéresse de plus en plus la recherche. Il semble pertinent d'étudier spécifiquement son efficacité via une revue de la littérature qui permettra d'accroître le niveau de preuve.

L'objectif principal de cette étude a été d'évaluer l'efficacité de la gravité artificielle pour limiter la perte de force causée par l'amyotrophie, pendant ou après l'alitement. L'objectif secondaire a été d'évaluer son effet sur l'amélioration de la capacité fonctionnelle représentée par la VO₂max, qui est un marqueur d'endurance et de performance.

2. Méthodologie

La revue de littérature permet de comparer de manière exhaustive et qualitative différents articles afin de réaliser une synthèse des résultats ainsi que leur interprétation. Pour ce faire, nous avons appliqué la méthode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Les items ont pu être interprétés via la traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques (Michel Gedda, 2015).

2.1 Critères d'éligibilité

2.1.1 Critères d'inclusion

La question de recherche a été rédigée via la méthode PICO, issue de l'Evidence Based Medicine :

- Population : L'étude inclut des patients de tout sexe, sans critère d'âge minimum ou maximum, subissant ou ayant subi une période d'alitement strict ou partiel.
- Intervention : Toutes les interventions utilisant la gravité artificielle sont incluses dans l'étude.
- Comparaison : Nous cherchons à comparer l'utilisation de gravité artificielle à aucun traitement, ou la gravité artificielle à un autre traitement. Le but est de vérifier l'efficacité de cette technique, de ce fait un groupe contrôle devra être envisagé.
- Outcome : Le critère de jugement principal est la force musculaire. L'objectif secondaire concerne les capacités fonctionnelles et correspond à la VO2 max. Ce dernier est facultatif en complément du critère de jugement principal.

D'une part, les études choisies devaient correspondre à des ECR (Essais Contrôlés Randomisés) de forte ou de faible puissance ou à des études comparatives non randomisées bien menées. D'autre part, les articles devaient être écrits en français ou en anglais. En dernier lieu, seuls les articles accessibles gratuitement (en libre accès), ou via le portail de la Bibliothèque Universitaire (BU) Lyon 1 ont été inclus.

2.1.2 Critères d'exclusion

Concernant la population, les patients présentant des troubles neurologiques prédisposant à la fonte musculaire, ou ayant une altération de la fonction neuroendocrine, n'ont pas été inclus. En effet, afin que les résultats puissent être exploitables, il était nécessaire de limiter les biais concernant la récupération de la force musculaire. De plus, les patients présentant des troubles vestibulaires n'ont pas été sélectionnés afin que les temps d'exposition à la gravité artificielle soient similaires entre chaque patient. Les études s'intéressant à des êtres vivants autres que des humains n'ont pas été incluses.

Enfin, les études ayant un faible niveau de preuve ont été exclues : les études de cas, les études transversales, les études de cohortes ainsi que les études rétrospectives.

2.2 Bases de données

Pour réaliser cette revue, nous avons interrogé trois bases de données, c'est-à-dire : Pubmed, The Cochrane Library et ScienceDirect. Ces recherches ont été finalisées le 12 novembre 2022. L'ensemble des explorations ont été réalisées via le portail Lyon 1, accessible sur le site internet de la Bibliothèque Universitaire.

Les critères d'inclusions faisant état d'une sélection des articles sur les bases de données du portail de la BU Lyon 1, l'ensemble des recherches ont été menées par cet intermédiaire. Dans un premier temps, nous avons établis des mots clés communs à chaque base de données ; le but étant de cibler les études traitant du même sujet. Dans un second temps, et dans l'optique de mener une recherche rigoureuse, nous avons conçu plusieurs équations de recherche en liant ces mots clés avec la fonction « Recherche Avancée ».

2.3 Mots clés et équations de recherche

La première étape de notre stratégie de recherche a été de déterminer les mots clés via la problématique. Ils ont été établis en français, puis ont été traduits avec le site internet HeTOP dans le but d'obtenir les MeSH Terms (Medical Subject Heading) anglais correspondants. Ceux-ci sont référencés sur le Tableau II. La finalité de cette

démarche est d'associer les mots clés afin d'établir une équation de recherche sur chaque base de données.

Tableau II - Mots clés

Mots clés pour la pathologie concernée :	Mots clés pour l'intervention kiné :
<ul style="list-style-type: none"> - Alitement → Bed rest (MeshTerm) - Amyotrophy → Atrophy (MeSHTerm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Centrigugation → Centrifugation MeSH Term) - Gravité artificielle → Artificial Gravity (MeSH Term) - Gravité → Gravity (MeshTerm)

Dans un second temps, l'ensemble des MeSH Terms de chaque colonne ont été lié par l'opérateur booléen « OR » ; puis chaque catégorie a été reliée par « AND ». Aucune limite temporelle n'a été appliquée pour les recherches. Ce processus a été répété sur chaque base de données, et a permis d'établir les équations de recherche propres à chacune. Aussi, chaque base ayant un algorithme spécifique, il a été nécessaire d'adapter la construction de l'équation afin qu'elle puisse correspondre au langage du moteur de recherche. Dans un premier temps, nous avons construit l'équation de recherche sur Pubmed, puis dans un second temps sur Cochrane Library, et enfin sur PedRO :

- Pubmed :

Tableau III - Association des mots clés sur Pubmed

Equation #1	((Centrifugation [Title/abstract]) OR (artificial gravity[Title/abstract]) OR (Gravity)) → n = 1707
Equation #2	(Bed rest [Title/abstract] OR Atrophy[Title/abstract]) → n = 4333
Equation #3	((Centrifugation [Title/abstract]) OR (artificial gravity[Title/abstract]) OR (Gravity)) AND ((Bed rest [Title/abstract]) OR (Atrophy[Title/abstract])) → n = 72

La recherche menée sur Pubmed comprend un filtre sur les équations #1, #2, et #3 excluant les livres, les revues, ainsi que les documents. Par conséquent, l'équation finale a ciblé 72 essais cliniques, meta-analyses ou études contrôlées randomisées.

- Cochrane Library :

Tableau IV - Association des mots clés sur Cochrane

Equation #1	(centrifugation OR artificial gravity OR gravity) → n = 3823
Equation #2	(bed rest OR amyotrophy) → n = 2333
Equation#3	(#1 AND #2) → n = 68

Le langage du moteur de Cochane Library étant différent de celui sur Pubmed, il a fallu trouver un moyen d'appliquer les mêmes critères de sélection. C'est pourquoi, un premier filtre a été utilisé sur l'ensemble des trois équations, pour que la sélection des mots clés s'applique au titre et/ou à l'abstract. Un second filtre, permettant d'obtenir seulement les essais cliniques, les meta-analyse, et les études contrôlées randomisées a été appliqué sur l'équation #3. Ainsi, la recherche sur Cochrane library a permis d'identifier 68 articles.

- ScienceDirect :

Tableau V - Association des mots clés sur Sciencedirect

Equation #1	(centrifugation OR artificial gravity OR gravity) → n = 63957
Equation #2	(Bed rest OR Atrophy) → n = 24376
Equation #3	(centrifugation OR artificial gravity OR gravity) AND (bed rest OR atrophy) → n = 115

Un filtre permettant d'obtenir les articles de recherche a aussi été appliqué sur ScienceDirect pour l'ensemble des trois équations. Le nombre d'articles sélectionnés sur cette base de données est de 115.

En conclusion, l'ensemble des recherches sur ces trois bases de données a constitué une identification de 255 articles. Ceux-ci ont été exportés sur l'application Zotero, qui est un outil de gestion bibliographique. Il permet de conserver une traçabilité de notre bibliographie, et de l'ordonner. Ensuite, chaque référence a été exportée sur un tableau Excel afin de débiter la sélection des articles.

2.4 Sélection des articles

La finalité de cette étape a été d'obtenir les articles pour nous permettre de répondre à notre question de recherche. Pour ce faire, nous avons procédé étape par étape afin d'affiner notre sélection sur la base des 255 articles. Cette sélection a été réalisée en utilisant les lignes directrices PRISMA.

Étape 1 : Premièrement, nous avons éliminé les doublons (même article sur plusieurs bases de données) grâce à l'exportation des données sur un tableau Excel. Un code couleur a été appliqué à chaque article selon sa provenance. Par la suite, les articles ont été triés par ordre alphabétique, ce qui a permis d'identifier facilement les répétitions.

Étape 2 : Deuxièmement, nous avons procédé à une lecture des titres. Si le titre seul ne permettait pas de juger l'inclusion ou l'exclusion de l'article, alors celui-ci était automatiquement sélectionné pour la suite de l'étape. Une fois les titres lus, nous avons pris connaissance des abstracts ; afin d'exclure les articles ne correspondant pas à notre méthodologie. Pour déterminer l'inclusion ou l'exclusion des articles, nous nous sommes basés sur les critères d'éligibilité établis précédemment dans la partie 2.1.

Étape 3 : Troisièmement, nous avons procédé à une lecture complète de ces différents articles.

En définitive, 5 articles ont été intégrés à notre revue systématique de la littérature.

2.5 Qualité méthodologique des articles

Afin d'évaluer la qualité ainsi que le niveau de preuve des 5 articles sélectionnés, nous avons utilisé la traduction française de l'échelle PEDro (Brosseau et al., 2015). Le score obtenu pour chaque article permet de vérifier la rigueur des preuves scientifiques et des interventions. Toutefois, ce résultat n'a pas pour vocation de réaliser l'analyse des résultats, il est un indicateur de fiabilité. L'échelle PEDro est construite selon 11 items (annexe 1). L'item numéro 1 s'intéresse à la validité externe, les items 2 à 9 concernent la validité interne, et enfin les deux derniers items se rapportent à l'interprétation des résultats. Pour chaque item nous avons attribué un « oui » ou un « non ». Un « oui » équivaut à 1 point, et un « non » à 0 point. Grâce à ce système de point, l'échelle PEDro détermine un score entre 0 et 11. Plus le score est élevé, meilleure est la qualité de l'essai :

- 9 à 11 points = excellente
- 6 à 8 = bonne
- 4 à 5 = moyenne
- < 4 = mauvaise

Par la suite, nous avons appliqué les recommandations de bonne pratique de la HAS, en nous basant sur les données scientifiques. La notation de la HAS définit plusieurs niveaux de preuve grâce à une classification générale (HAS, Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux, 2013). Elle est représentée par le tableau VI. Les études sont classées en trois catégories : niveau de preuve fort, niveau de preuve intermédiaire, et niveau de preuve faible. Ces différentes échelles déterminent la capacité de l'étude à répondre à la question posée. Pour ce faire, la HAS se base sur plusieurs critères tels que : les biais, la puissance, ou encore la qualité de l'analyse statistique. Aussi, nous avons établi les grades de recommandations par type d'étude, toujours selon les données de la HAS. Ceux-ci sont référencés dans le tableau VII.

Tableau VI - Niveau de preuve d'une étude selon la HAS. Tirée de Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux HAS, (HAS, Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, 2013)

Niveau de preuve	Description
Fort	<ul style="list-style-type: none"> - le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ; - la réalisation est effectuée sans biais majeur ; - l'analyse statistique est adaptée aux objectifs ; - la puissance est suffisante.
Intermédiaire	<ul style="list-style-type: none"> - le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ; - puissance nettement insuffisante (effectif insuffisant ou puissance <i>a posteriori</i> insuffisante) ; - et/ou des anomalies mineures.
Faible	Autres types d'études.

Tableau VII - Grade des recommandations. Tirée du Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux HAS, (HAS | Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, 2013)

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 <ul style="list-style-type: none"> - études cas-témoins. Niveau 4 <ul style="list-style-type: none"> - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

2.6 Extraction et analyse des données

L'ensemble des données collectées ont été synthétisées sur un tableau Excel afin de réaliser un état de l'art rigoureux et explicite de chaque article. La même démarche a été appliquée pour chaque article, afin de pouvoir comparer les données.

Tout d'abord, nous avons extrait les caractéristiques générales. Celles-ci traitent de : l'auteur, la date de publication, le design, la population, les critères d'inclusion/d'exclusion et le(s) critère(s) de jugement. Les données relatives à la

population correspondent à : la taille de l'échantillon, l'âge, le sexe, le genre, et la situation démographique. En ce qui concerne le protocole, nous avons référencé les modalités d'application de la gravité artificielle : la durée totale du protocole, la durée des séances de gravité artificielle, le nombre d'intervention, l'intervalle entre chaque intervention, et enfin les paramètres appliqués à la machine. Les mêmes données ont été extraites pour le groupe contrôle afin de pouvoir comparer les groupes. De plus, nous avons mentionné les outils d'évaluation de chaque essai selon nos critères de jugement que sont la force et la VO2max.

Pour finir, les données relatives aux effets de l'intervention ont été répertoriées selon les échelles décrites précédemment. Plus précisément, nous avons référencé le seuil de signification alpha propre à chaque étude, ainsi que le résultat des comparaisons intergroupe par critère de jugement (groupe contrôle versus groupe d'intervention). Ce dernier a été exprimé sous la forme de « p-value » et nous a permis d'objectiver la significativité des résultats. Dans le cas de notre revue, toutes les études présentaient un seuil de signification alpha à 0,05.

3. Résultats et analyse

Cette partie s'intéresse à la synthétisation des données, ainsi qu'à l'analyse des résultats.

3.1 Résultats de la sélection des articles

Au total, nous avons identifié 255 articles grâce à trois bases de données que sont : PubMed, The Cochrane Library et Science direct. Par la suite, nous avons supprimé les doublons, ce qui nous a mené à 172 articles. Ensuite, nous avons procédé à une sélection sur la base de nos critères d'inclusion et d'exclusion. Dans un premier temps, via la lecture du titre aboutissant à 41 articles. Puis, par lecture du résumé, réduisant le nombre d'articles à 13. Pour finir, une lecture complète de ceux-ci nous a permis d'obtenir les 5 articles définitifs de notre revue de la littérature. L'ensemble du processus de screening est référencé sur la figure 5.

Lors de la lecture des titres, nous avons exclus 131 articles pour ces raisons :

- 123 études présentaient des interventions différentes

- 8 études étaient menées sur des animaux

Lors de la lecture des résumés, nous avons exclus 28 articles pour ces raisons :

- 10 études présentaient des outcomes différents
- 16 études présentaient des interventions différentes
- 1 étude était une méta-analyse
- 1 étude était de grade C

Lors de la lecture intégrale, nous avons exclus 8 articles pour les raisons suivantes :

- 5 études présentaient des outcomes différents
- 3 études n'étaient pas accessibles gratuitement

Ainsi, nous avons retenus 5 articles pour réaliser notre revue de la littérature.

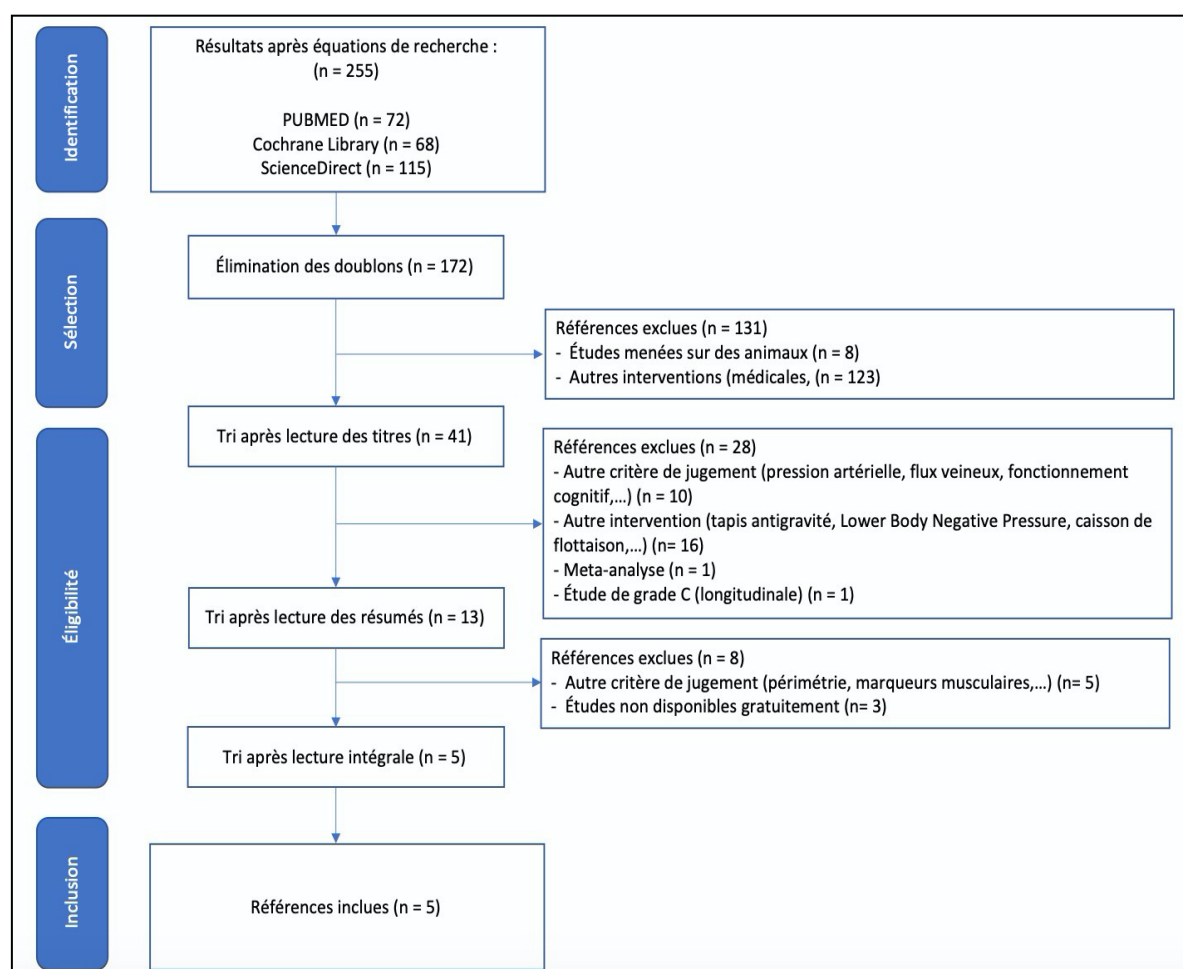


Figure 5 - Diagramme de flux selon Prisma

3.2 Description des articles

3.2.1 Design des articles

Les 5 études qui ont été obtenues à la suite du processus de sélection correspondent à des essais contrôlés, avec ou sans randomisation. L'une des études est un essai croisé (ou cross over), les 4 autres présentent des groupes parallèles. L'ensemble des caractéristiques des études ont été répertoriées dans les tableaux VIII et IX ci-dessous.

Tableau VIII - Caractéristiques générales des études de la revue

Auteur	Design	Descriptif de la population	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Critères de jugement
Caiozzo et al. (2009)	Essai contrôlé non randomisé Score PEDro : 5/11 Risque α : 0,05	Nombre total de participants : 15 → 15 hommes/0 femmes → Age moyen : 29 +/- 3 NPV = 0 N1 = 8 N2 = 7	- Être de sexe masculin	Aucune précision	- Force musculaire maximale par test isocinétique avec évaluation des relations couple-vitesse pour les fléchisseurs/extenseurs du genou + les fléchisseurs plantaires/dorsiflecteurs de la cheville à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (Nm) - Pas de mesure de la VO2
Kramer et al. (2021)	Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 7/11 Risque α : 0,05	Nombre total de participants : 24 → 16 hommes/8 femmes → Age moyen : N1 34 +/- 11 N2 32 +/- 10 N3 34 +/- 8 NPV = 4 N1 = 8	- Être âgé de 24 à 55 ans - Mesurer de 1,53 à 1,90 m - Avoir un indice de masse corporelle de 19 à 30 kg/m ² - Être non-fumeur depuis au moins 6 mois avant le début de l'étude	- Être végétarien ou végétalien - Avoir besoin de médicaments prescrits (y compris des contraceptifs) - Être toxicomane - Avoir un casier judiciaire - Avoir des problèmes de santé : dysfonctionnement cardiovasculaire	- Force de contraction musculaire isométrique volontaire maximale, pour les extenseurs du genou et les fléchisseurs plantaires à l'aide d'un ergomètre (N et N/s) - Force musculaire maximale par test isocinétique pour l'extension du genou, la flexion du genou, la

		<p>N2 = 8</p> <p>N3 = 8</p>	- Être en possession d'une assurance médicale	<p>existant ou des antécédents, déconditionnement musculosquelettique, ophtalmologiques, neurologiques et psychiques, perturbations métaboliques ou endocriniennes, problème de coagulation du sang, maladies pulmonaires actuelles ou des antécédents, troubles du sommeil et de la douleur, reflux gastro-œsophagien, calculs rénaux, maladies infectieuses ou inflammatoires</p>	<p>flexion plantaire et la flexion dorsale, ainsi que bilatéralement pour l'extension du tronc et la flexion du tronc à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (Nm)</p> <p>- Mesure de la capacité aérobie maximale = VO2 maximale via spiroergométrie sur velo (L/min)</p>
Rittweger et al. (2015)	<p>Essai croisé contrôlé randomisé</p> <p>Score PEDro : 6/11</p> <p>Risque α : 0,05</p>	<p>Nombre total de participants : 11</p> <p>→ 11 hommes/0 femme</p> <p>→ Age moyen : 34 +/- 7</p> <p>NPV = 1</p> <p>N1 = 11</p>	<p>- Être de sexe masculin</p> <p>-Valider le test de tolérance à la centrifugation (6X5 minutes d'exposition)</p>	<p>- Être toxicomane</p> <p>- Avoir des problèmes de santé : problèmes sanguins/cardiaques ou antécédents, problèmes de tensions, ostéoporose ou problème de densité osseuse</p>	<p>- Force de contraction musculaire isométrique volontaire maximale pour les fléchisseurs/extenseurs du genou, les fléchisseurs plantaires/dorsiflecteurs de la cheville et les fléchisseurs/extenseurs du coude, à l'aide d'un</p>

					dynamomètre isocinétique (Nm) - Pas de mesure de la VO2
Clement et al. (2022)	Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 5/11 Risque α : 0,05	Nombre total de participants : 24 → 16 hommes/8 femmes → Age moyen : 33,3 +/- 3 NPV = 0 N1 = 8 N2 = 8 N3 = 8	- Être une femme ou un homme	Aucune précision	- Force musculaire maximale par test isocinétique pour l'extension du genou et la flexion plantaire à l'aide d'un dynamomètre (Nm) - Force de contraction musculaire isométrique volontaire maximale pour les extenseurs du genou et les fléchisseurs plantaires à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (Nm) - Mesure de la capacité aérobie maximale = VO2 maximale via spiroergométrie sur velo (L/min)
Akima et al. (2005)	Essai contrôlé randomisé Score PEDro : 5/11 Risque α : 0,05	Nombre total de participants : 10 → 10 hommes/0 femme → Age moyen : N1 22,4 +/- 3,4	- Être un homme	Aucune précision	- Force de contraction musculaire isométrique volontaire maximale en unilatéral pour les extenseurs du genou à l'aide d'un dynamomètre (N)

		N2 20,8 +/- 1,9 NPV = 0 N1 = 5 N2 = 5			- Force musculaire isométrique volontaire maximale (en unilatéral) par unité de muscle à l'aide d'un dynamomètre (N/cm3) - Pas de mesures de la VO2
--	--	--	--	--	--

NPV = Nombre de Perdus de Vue

N1 = Nombre Groupe 1

N2 = Nombre Groupe 2

N3 = Nombre Groupe 3

Tableau IX - Descriptif des interventions

Auteur	Groupe(s) d'intervention	Groupe(s) contrôle	Résultats par critère de jugement	Interprétation
Caiozzo et al. (2009)	N2 : 21 jours d'alitement tête en bas de 6° + 1 heure de centrifugation quotidienne (2,5 G)	N1 : 21 jours d'alitement tête en bas de 6° + aucun traitement	Force isocinétique - Extenseurs du genou : différence significative intergroupes ($p < 0,04$) - Fléchisseurs plantaires : différence significative intergroupes ($p < 0,001$)	Effet protecteur de l'AG concernant la perte de force isocinétique pour les extenseurs de genou et les fléchisseurs plantaires
Kramer et al. (2021)	N2 : 1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire 2) 60 jours d'alitement tête en bas + 30 minutes de centrifugation quotidienne (1G) 3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire Total = 88 jours	N1 : 1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire 2) 60 jours d'alitement tête en bas + aucun traitement 3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire Total = 88 jours	Force isocinétique - Extenseurs du genou : différence significative intergroupes ($p = 0,03$) - Fléchisseurs plantaires : différence significative intergroupes ($p = 0,04$) - Fléchisseurs du genou ($p = 0,14$), extenseurs de cheville (dorsiflexion) ($p =$	Effet protecteur de l'AG concernant la perte de force isocinétique pour les extenseurs de genou et les fléchisseurs plantaires

	<p>N3 :</p> <p>1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>2) 60 jours d'alitement tête en bas + 6X5 minutes de centrifugation quotidienne entrecoupées de pauses de 3 minutes chacune (1G)</p> <p>3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>Total = 88 jours</p>		0,51), extenseurs du tronc (p = 0,95) et fléchisseurs du tronc (p = 0,36) : pas de différences significatives intergroupes	
			<p>Force isométrique</p> <p>- Fléchisseurs plantaires : différence significative intergroupes pour la force de contraction maximale (p = 0,02)</p> <p>- Extenseurs de genou : pas de différence significative intergroupes pour la force de contraction maximale (p = 0,11)</p>	Effet protecteur de l'AG concernant la perte de force isométrique pour les fléchisseurs plantaires
			<p>Vo2 max</p> <p>Pas de différence significative entre les groupes (p = 0,23)</p>	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant les capacités fonctionnelles (VO2max)

Rittweger et al. (2015)	<p>→ Groupes croisés, campagne 2 et 3 avec intervention</p> <p>N1 (campagne 2) :</p> <p>1) 5 jours de recueil des données</p> <p>2) 5 jours d'alitement tête en bas + 30 minutes de centrifugation quotidienne (1 G)</p> <p>3) 5 jours de récupération Total = 15 jours</p> <p>N2 (campagne 3) :</p> <p>1) 5 jours de recueil des données</p> <p>2) 5 jours d'alitement tête en bas + 6X5 minutes de centrifugation quotidienne (1 G)</p>	<p>→ Groupes croisés, campagne 1 sans intervention</p> <p>N1 (campagne 1) :</p> <p>1) 5 jours de recueil des données</p> <p>2) 5 jours d'alitement tête en bas + aucun traitement</p> <p>3) 5 jours de récupération Total = 15 jours</p>	<p>Force isométrique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Extenseurs du genou : différence significative intergroupes ($p = 0,023$) - Fléchisseurs du genou : différence significative intergroupes ($p = 0,0041$) - Fléchisseurs plantaires : différence significative intergroupes ($p = 0,0062$) - Extenseurs de cheville (dorsiflexion) ($p = 0,93$), fléchisseurs du coude ($p = 0,4$) et extenseurs du coude ($p = 0,071$) : pas de différences significatives intergroupes 	<p>Effet protecteur de l'AG concernant la perte de force isométrique pour les extenseurs/fléchisseurs de genou et les fléchisseurs plantaires</p>
------------------------------------	---	--	---	---

	3) 5 jours de récupération Total = 15 jours			
Clement et al. (2022)	<p>N2 :</p> <p>1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>2) 60 jours d'alitement tête en bas + 30 minutes de centrifugation quotidienne (1 G)</p> <p>3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>Total = 88 jours</p> <p>N3 :</p> <p>1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>2) 60 jours d'alitement tête en bas + 6X5 minutes de centrifugation quotidienne</p>	<p>N1 :</p> <p>1) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>2) 60 jours d'alitement tête en bas + aucun traitement</p> <p>3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire</p> <p>Total = 88 jours</p>	<p>Force isocinétique</p> <p>- Extenseurs du genou, fléchisseurs plantaires, fléchisseurs du genou, extenseurs de cheville (dorsiflexion), extenseurs du tronc et fléchisseurs du tronc : pas de différences significatives intergroupes (p > 0,05)</p>	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant la force isocinétique
			<p>Force isométrique</p> <p>- Fléchisseurs plantaires et extenseurs de genou : pas de différences significatives intergroupes (p > 0,05)</p>	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant la force isométrique

	entrecoupées de pauses de 3 minutes chacune (1 G) 3) 14 jours de recueil des données en ambulatoire Total = 88 jours		Vo2 max Pas de différence significative entre les groupes ($p > 0,05$)	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant les capacités fonctionnelles (VO2max)
Akima et al. (2005)	N2 : 20 jours d'alitement tête en bas + AG un jour sur deux : 2X20 min (0,8G à 1,2G 20min et 0,5G à 0,8G 20min) avec véloergomètre simultanément (60 W)	N1 : 20 jours d'alitement tête en bas + aucun traitement	Force isométrique - Extenseurs de genou : pas de différence significative intergroupes ($p > 0,05$)	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant la force isométrique
			Force isométrique par unité de muscle - Extenseurs de genou : pas de différence significative intergroupes ($p > 0,05$)	Pas d'effet protecteur de l'AG concernant la force isométrique par unité de muscle

N1 = Nombre Groupe 1

N2 = Nombre Groupe 2

N3 = Nombre Groupe 3

 : Différence significative

3.2.2 Population

Les critères de sélection établis précédemment dans notre PICO concernant la population sont : patients de tout sexe, sans critère d'âge minimum et maximum, subissant ou ayant subi une période d'alitement strict ou partiel, sans antécédents de maladies neuromusculaires, maladies neuroendocrines, ou de troubles vestibulaires.

Le nombre total de participants des 5 études sélectionnées est de 84. La plupart des sujets sont des hommes. En effet, nous retrouvons un pourcentage de sujets masculins s'élevant à 80,9% (n = 68), contre 19,1% pour les femmes (n = 16). Cette différence peut s'expliquer par la présence de 3 études sur 5 comportant exclusivement des sujets masculins : Caiozzo et al. (2009), Rittweger et al. (2015) et Akima et al. (2005). Aucune justification en lien avec l'inclusion de sujets uniquement masculin n'est apportée dans les trois études concernées.

L'âge moyen des 84 participants est de 31,9 ans. Cette moyenne pondérée a été calculée en faisant la moyenne d'âge des moyennes de chaque article en utilisant un coefficient de pondération. Concernant la distribution de l'âge des sujets, nous retrouvons un intervalle compris entre 24 ans et 55 ans pour les participants de l'étude de Rittweger et al. (2015). Aucun intervalle n'est indiqué pour les 4 études restantes. Toutefois, nous avons à disposition l'écart type dans les 5 études sélectionnées. Celui-ci oscille entre 3 et 11, indiquant une dispersion des âges proche de la moyenne. Un critère d'âge est donné pour l'inclusion des sujets dans l'étude de Kramer et al. (2021), pour les autres essais aucun minimum ou maximum n'est spécifié.

Les autres informations relevées concernant la population sont : la taille, le poids, les antécédents (maladies cardiovasculaires, maladies endocrines, pathologies rénales, pathologies digestives, pathologies psychiatriques), les traitements, le régime alimentaire et la densité osseuse. L'étude de Kramer et al. (2021) est celle qui fournit le plus de détails concernant les données démographiques des participants.

La répartition géographique des lieux d'étude est : 1 étude menée aux Etats-Unis, 2 études menées en Allemagne, 1 étude menée en France et 1 étude menée au Japon.

3.2.3 Qualité des études

Pour analyser la qualité ainsi que le niveau de preuve des 5 essais cliniques, nous avons utilisé la traduction française de l'échelle PEDro (Brosseau et al., 2015). L'échelle PEDro nous permet d'évaluer la validité interne et la validité externe en identifiant les possibles biais méthodologiques. Elle ne permet pas de mesurer la validité des conclusions mais elle vise à aider les utilisateurs dans leur processus de synthétisation des données pour évaluer la fiabilité des articles. Les résultats des 11 items en fonction des 5 articles ont été répertoriés sur le tableau X.

Tableau X - Echelle PEDro

Critères PEDro	Caiozzo et al. (2009)	Kramer et al. (2021)	Rittweger et al. (2015)	Clement et al. (2022)	Akima et al. (2005)
1. Critère d'éligibilité	NON	OUI	OUI	NON	NON
2. Randomisation aléatoire	NON	OUI	OUI	NON	NON
3. Assignment secrète	NON	OUI	NON	NON	NON
4. Groupes similaires au début d'étude	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
5. Sujets « en aveugle »	NON	NON	NON	NON	NON
6. Thérapeutes « en aveugle »	NON	NON	NON	NON	NON

7. Examinateurs « en aveugle »	NON	NON	NON	NON	NON
8. Résultats pour plus de 85% des sujets initiaux	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
9. En intention de traiter	OUI	NON	NON	OUI	OUI
10. Résultats intergroupes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
11. Estimation des résultats	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Score PEDro /11	5/11	7/11	6/11	5/11	5/11
Qualité	Moyenne	Bonne	Bonne	Moyenne	Moyenne

Concernant le premier item, 2 des 5 études détaillent leurs critères d'inclusion et d'exclusion : Kramer et al. (2021) et Rittweger et al. (2015). Comme énoncé précédemment dans la partie qualité méthodologique, cet item influence la validité externe. La validité externe influence la capacité de l'étude à fournir des résultats pertinents et applicables à un large éventail de situations, au-delà des conditions spécifiques de l'essai scientifique. En d'autres termes, la présence de critères d'éligibilité permet de déterminer l'applicabilité des résultats aux patients rencontrés lors de notre pratique. Par conséquent, 2 études respectent les critères de validité externe.

La randomisation aléatoire, correspondant à l'item 2, est mentionnée dans les études de Kramer et al. (2021) et Rittweger et al. (2015) mais pas dans celles de Clement et al. (2022), de Caiozzo et al. (2009) et de Akima et al. (2005). La randomisation permet une répartition au hasard des participants dans les groupes d'étude, et ne permet pas à l'examineur/évaluateur de choisir l'intervention pour un patient. Elle garantit la comparabilité des groupes à priori en permettant la répartition équivalente des facteurs pronostics. De ce fait, elle minimise les biais de sélection. Dans l'étude de Kramer et al. (2021), il est spécifié qu'il s'agit d'une randomisation dynamique équilibrée, ou Dynamic Balancing Randomization (DBR). Elle a pour but d'instaurer une répartition plus égale des sujets entre les facteurs de risques pronostics (strates) et les traitements, tout en préservant le caractère aléatoire de la répartition. L'assignation secrète est décrite seulement dans l'étude de Kramer et al. (2021) avec la mention d'enveloppes attribuées à chaque participant la veille de la première intervention. Les 4 autres études ne valident pas cet item étant donné l'absence d'informations concernant l'assignation secrète des participants. Pour les 5 études, il n'y a pas de différences significatives entre les groupes, ce qui permet de valider l'item 4 pour tous les essais cliniques. Les items 5 et 6 ne sont validés dans aucune des études étant donné l'impossibilité de mettre en place un traitement « en aveugle ». En effet, il est impossible de réaliser une intervention de gravité artificielle « en aveugle », qu'il s'agisse des patients ou des thérapeutes. Concernant la possibilité d'examineurs « en aveugle », correspondant à l'item 7, seule l'étude de Kramer et al. (2021) en fait mention. Toutefois, il est expliqué qu'aucune mesure stricte n'a été appliquée pour mettre les évaluateurs « en aveugle », ne permettant pas de valider l'item. Les autres études ne fournissent pas d'explications concernant la présence d'examineurs « en aveugle ». C'est pourquoi, aucune des études ne valident l'item 7. Les résultats pour le critère de jugement principal sont présents pour plus de 85% des sujets initiaux dans les 5 études. L'item 8 est donc validé pour les 5 essais. La validation de l'item 9 permet de contrôler les biais d'attrition liés à la perte d'un ou de plusieurs participants lors de l'étude. Les études de Kramer et al. (2021) et de Rittweger et al. (2015) présentent des patients perdus de vue qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse finale, du fait de leur exclusion au cours de l'étude. Les 3 autres études ne présentent pas de perdus de vue puisque tous les participants ont terminé le protocole. Ils respectent l'item implicitement. De surcroît, trois essais sont en intention de traiter.

Pour finir, toutes les études présentent des résultats intergroupes et proposent une estimation des résultats ou de la variabilité. Entre autres, l'ensemble des résultats de nos 5 études peuvent être interprétés.

3.2.4 Interventions

La durée minimale et maximale des interventions se situe entre 15 jours et 88 jours. L'intervention présentant la période la plus petite est celle de Rittweger et al. (2015) avec 15 jours. Les études présentant les périodes d'intervention les plus grandes sont : Kramer et al. (2021) et Clement et al. (2022) avec 88 jours. La moyenne de ces interventions est de 46,4 jours.

Nous notons la présence de deux types d'intervention utilisant l'AG (Artificial Gravity). Leurs proportions par rapport aux 5 études sont renseignées sur la figure 6. Nous notons une répartition égale entre :

- La technique d'AG continue avec une durée comprise entre 30 min et 1h
- La technique d'AG par intermittence avec une durée comprise entre 5 min et 20 min, avec une fréquence de répétitions comprise entre 2 et 6 fois

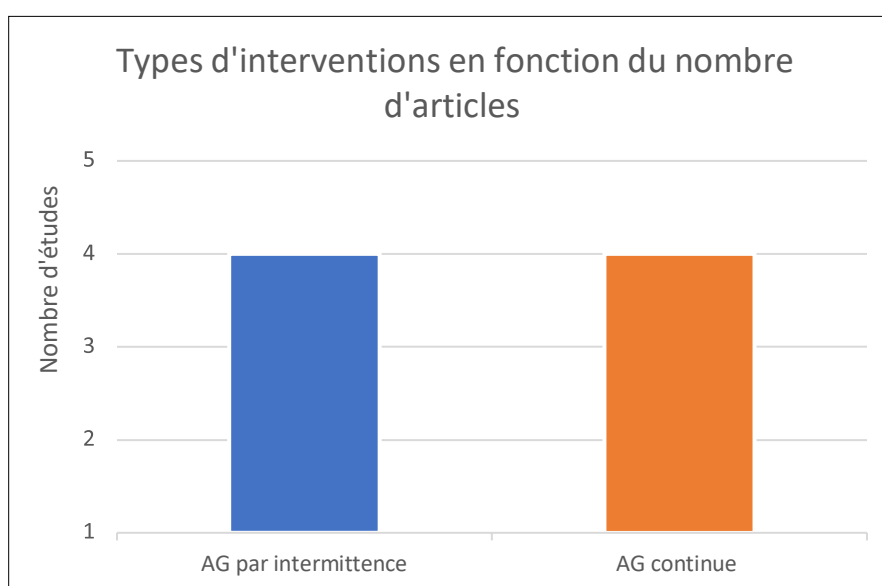


Figure 6 - Répartition des types d'intervention en fonction du nombre d'études

2 études comparent un groupe contrôle, qui ne reçoit aucun traitement, et un groupe d'intervention exposés à l'AG. Nous avons l'essai de Caiozzo et al. (2009) qui oppose un groupe contrôle versus un groupe d'intervention avec AG continue. Puis, l'essai de

Akima et al. (2005) qui comporte un groupe contrôle versus un groupe d'intervention avec AG intermittente. Les trois autres essais analysent non seulement l'évolution de la force musculaire entre la technique d'AG et aucun traitement, mais aussi les techniques d'AG entre elles (méthode continue ou intermittente). Il s'agit des études de Kramer et al. (2021), Rittweger et al. (2015), et Clement et al. (2022).

L'une de ces études, comporte des groupes croisés. Cette configuration implique de réaliser une ou plusieurs interventions sur un seul groupe à différentes périodes. Si bien que, ce même groupe est à la fois un groupe contrôle puis un groupe d'intervention.

La période d'alitement pendant l'intervention varie entre 5 jours et 60 jours. Le temps d'alitement en fonction de la durée totale des interventions par article est représenté sur la figure 7. Nous observons que l'alitement correspond à :

- 21 jours, soit 100% des 21 jours d'intervention pour Caiozzo et al. (2009)
- 60 jours, soit 68% des 88 jours d'intervention pour Kramer et al. (2021)
- 5 jours, soit 33,3% des 15 jours d'intervention pour Rittweger et al. (2015)
- 60 jours, soit 68% des 88 jours d'intervention pour Clement et al. (2022)
- 20 jours, soit 100% des 20 jours d'interventions pour Akima et al. (2005)

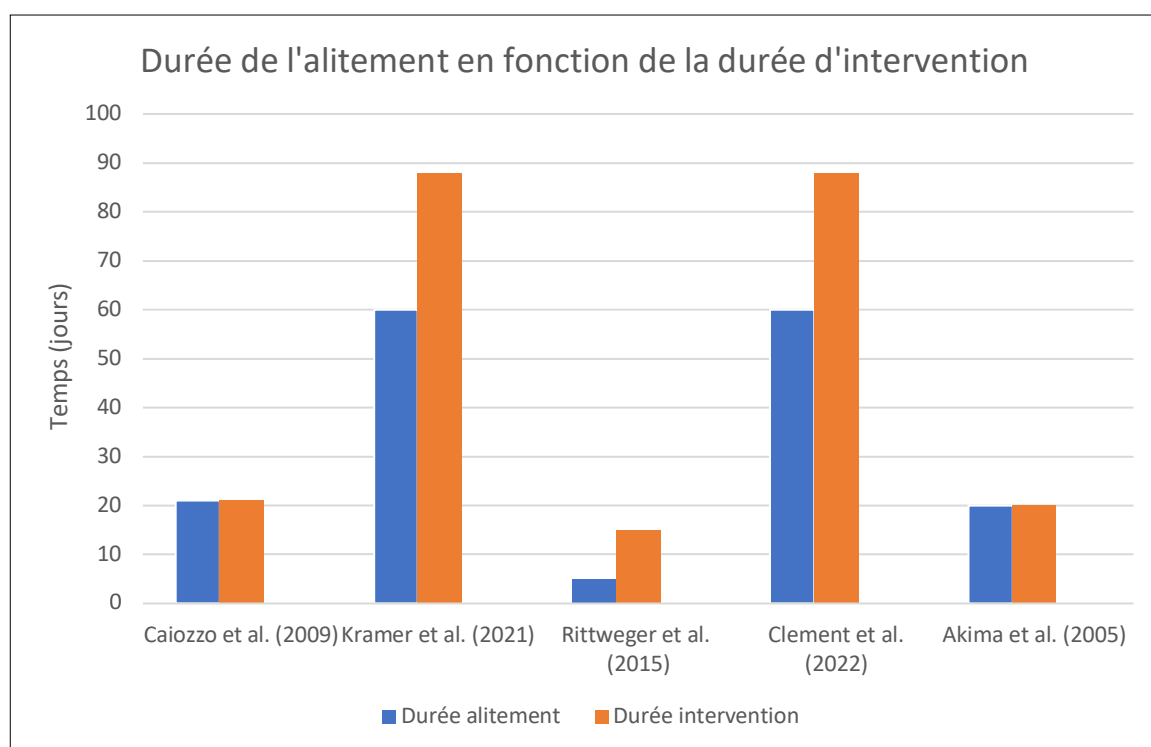


Figure 7 - Durée de la période d'alitement en fonction de la durée totale des interventions par article

La force centrifuge minimale appliquée lors des protocoles d'AG est de 0,5G, avec un maximum de 2,5 G. La moyenne est de 1,2 G.

3.2.5 Critères de jugement et outils de mesure

Dans notre revue, nous avons choisis comme critère de jugement principal la force musculaire. La perte de force est la conséquence directe et rapide de l'amyotrophie. C'est pourquoi, nous l'avons identifié comme étant un indicateur représentatif de cette atteinte. De plus, la force est mesurable à l'aide de machines/matériels, ce qui permet de produire des mesures facilement reproductibles et précises. Nous avons relevé que trois types de forces ont été sélectionnées comme critères de jugement principale : la force maximale isocinétique, la force maximale isométrique et la force maximale isométrique par unité de muscle.

3 études comportent deux critères de jugements liés à la force :

- Kramer et al. (2021) avec la force maximale isocinétique et la force maximale isométrique
- Clement et al. (2022) avec la force maximale isocinétique et la force maximale isométrique
- Akima et al. (2005) avec la force maximale isométrique et la force maximale isométrique par unité de muscle

2 études comportent un seul critère de jugement lié à la force :

- Caiozzo et al. (2009) avec la force maximale isocinétique
- Rittweger et al. (2015) avec la force maximale isométrique

Par conséquent, au sein des 5 études de notre revue : 3 études s'intéressent à la force maximale isocinétique, 4 études s'intéressent à la force isométrique maximale et 1 étude s'intéresse à la force maximale isométrique par unité de muscle.

Le suivi de la force maximale isocinétique a été réalisé dans toutes les études qui en font l'état, via un dynamomètre. Le dynamomètre utilisé dans ces 3 études est une machine d'isocinétisme qui permet d'exprimer la force musculaire en Nm grâce à l'analyse des relations couple/vitesse. Différents muscles ont été ciblés avec cette méthode : les fléchisseurs et extenseurs de genou, les fléchisseurs/extenseurs de

cheville ainsi que les fléchisseurs/extenseurs du dos. Concernant la force isométrique, celle-ci a été évaluée dans les études de Rittweger et al. (2015), Clement et al. (2022) et Akima et al. (2005) avec un dynamomètre. Dans l'essai de Kramer et al. (2021) les mesures ont été effectuées avec un ergomètre. Enfin, la force maximale isométrique par unité de muscle (N/cm³), seulement présente dans l'étude menée par Akima et al. (2005) a été évaluée avec un dynamomètre.

Le critère de jugement secondaire, et optionnel, est la VO₂max. Nous avons décidé d'inclure la VO₂max à notre analyse dans le but d'avoir un marqueur fonctionnel lié à l'amyotrophie. Deux études sur les 5 évaluent l'effet de la technique d'AG sur la valeur de la VO₂max : Clement et al. (2022) et Kramer et al. (2021). Les mesures effectuées dans ces deux études ont été réalisées par l'évaluation des échanges gazeux sur vélo-ergomètre. Toutefois, le protocole d'exercice effectué sur le vélo-ergomètre pour la collecte des données diffère.

Dans l'étude de Clement et al. (2022) les participants avaient pour consigne de réaliser un effort graduel avec une puissance de 50W pendant 3 minutes puis 25W supplémentaire toutes les minutes jusqu'à épuisement volontaire. De plus, les sujets devaient maintenir une fréquence de pédalage de 70-75 tours/min. Les données de spiroergométrie ont été extraites en calculant la médiane sur 5 respirations puis la moyenne mobile sur 30s. Ensuite, la valeur maximale de VO₂ a été exportée. Concernant l'étude de Kramer et al. (2021), les sujets devaient dans un premier temps effectuer 2 minutes de repos assis sur le vélo-ergomètre. Puis, maintenir une cadence de 50W pendant 3 minutes avec une augmentation de 25W par minutes jusqu'à épuisement volontaire sous encouragement verbal. La cadence imposée au sujet était de 80 tours/min et la perception de l'effort sur l'échelle de Borg devait être supérieure à 17. La méthode de détermination de la VO₂ max est identique à celle de l'étude de Clement et al. (2022). Ainsi, les outils de mesure employés pour la VO₂ max dans ces deux études, sont quasiment similaires.

3.3 Effet des interventions

Dans cette partie, nous avons évalué les résultats des 5 études de notre revue en fonction de nos critères de jugements.

3.3.1 Critère de jugement principal

L'étude de Caiozzo et al. (2009) montre que la technique d'AG est efficace pour limiter la perte de force musculaire isocinétique. En effet, nous notons une différence significative pour les extenseurs du genou ($p < 0,04$) et pour les fléchisseurs plantaires ($p < 0,001$).

Les résultats de l'étude de Kramer et al. (2021) quant à eux, sont plus mitigés. En outre, les données suggèrent que l'AG diminue la perte de force isocinétique avec une différence significative pour les extenseurs du genou ($p = 0,03$) et les fléchisseurs plantaires ($p = 0,04$). Cependant, ils ne permettent pas de conclure à une différence significative pour les fléchisseurs du genou ($p = 0,14$), extenseurs de cheville (dorsiflexion) ($p = 0,51$), extenseurs du tronc ($p = 0,95$) et fléchisseurs du tronc ($p = 0,36$). Qui plus est, les résultats pour la force isométrique sont en faveur d'un effet pour les fléchisseurs plantaires ($p = 0,02$) mais pas pour les extenseurs de genou ($p = 0,11$).

Dans l'essai de Rittweger et al. (2015) nous notons que la technique d'AG entraîne une interaction significative temps X AG sur la force isométrique pour les extenseurs du genou ($p = 0,023$) avec une augmentation de 18,0 Nm (erreur standard 8,6) à J+1 de la phase de récupération (= R+1). Les fléchisseurs du genou ($p = 0,0041$) et les fléchisseurs plantaires ($p = 0,0062$) présentent aussi une différence significative intergroupe, avec respectivement une augmentation de 25,6 nm (erreur standard 8,6) et 9,6 Nm (erreur standard 4,1) à R+1. Néanmoins, pour les extenseurs de cheville (dorsiflexion) ($p = 0,93$), fléchisseurs du coude ($p = 0,4$) et extenseurs du coude ($p = 0,071$) il n'y a pas de différences significatives intergroupes.

Concernant l'étude de Clement et al. (2022) nous notons que pour les deux critères de jugements (force isocinétique et force isométrique) il n'y a pas de différences significatives ($p > 0,05$). L'ensemble des muscles testés dans le groupe d'intervention : extenseurs du genou, fléchisseurs plantaires, fléchisseurs du genou, extenseurs de cheville (dorsiflexion), extenseurs du tronc et fléchisseurs du tronc n'ont pas permis de conclure à un effet.

Enfin, nous retrouvons les mêmes résultats dans l'essai d'Akima et al. (2005). Aucune différence significative n'est observée avec la technique d'AG pour la force isométrique et la force isométrique par unité de muscle pour les extenseurs de genou ($p > 0,05$).

3.3.2 Critère de jugement secondaire

Deux études sont concernées par cette partie : Kramer et al. (2021) et Clément et al. (2022). Ces deux essais n'ont révélé aucune différence significative entre l'utilisation de l'AG et le groupe contrôle au sujet de la VO₂max. En effet, nous notons que la « p-value » obtenue est supérieure au seuil alpha ($p > 0,05$) pour les deux études, ce qui ne permet pas de conclure à un effet.

4. Discussion

Nous avons mené cette revue dans le but d'examiner l'intérêt de la technique de gravité artificielle concernant l'amyotrophie liée à l'alitement strict ou partiel. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux effets que celle-ci pourrait avoir sur la force musculaire (objectif principal) et sur la VO₂max (objectif secondaire). Entre autres, à la suite des résultats observés concernant ces deux critères de jugement, nous avons réalisé une synthèse puis une interprétation. Ensuite, nous avons détaillé les limites et les biais observées pour déterminer la pertinence des résultats pour la pratique clinique et la recherche future. Pour finir, nous avons exposé les différentes perspectives qui découlent de cette synthèse.

4.1 Synthèse des résultats et interprétation

La synthèse de cette revue s'articule autour des résultats de nos deux critères de jugement : la force musculaire (critère principal) puis la capacité fonctionnelle (VO₂max, critère secondaire). Les informations détaillées dans cette partie permettent de résumer et d'interpréter les résultats dans le but d'exprimer nos recommandations d'après la HAS.

Concernant la force musculaire, nous observons que les résultats sont mitigés, mais permettent de conclure à un effet protecteur de l'AG selon certaines modalités. En effet, pour l'étude de Caiozzo et al. (2009) nous observons une force isocinétique significativement plus élevée au sein du groupe d'intervention à la fin des 21 jours d'alitement. Entre autres, il s'agit d'une étude dont les résultats suggèrent une efficacité protectrice de l'AG en force isocinétique pour les deux groupes musculaires testés : fléchisseurs/extenseurs du genou et fléchisseurs plantaires/dorsiflecteurs de

cheville. Toutefois, les modalités d'exposition de l'AG diffèrent des 4 autres études. En outre, nous notons que le temps d'exposition pour le groupe d'intervention, correspond à 1h quotidienne, soit la durée appliquée la plus longue avec une force de 2,5G qui est aussi la plus forte. De ce fait, le temps d'exposition à l'AG, ainsi que la force de centrifugation, semblent avoir un impact positif sur les résultats.

Nous remarquons que l'application d'un seuil de force égal à 1G et un temps d'exposition journalier de 30 minutes (fractionné ou non), permettent aussi d'obtenir des différences significatives sur certains groupes musculaires. Les résultats de Kramer et al. (2021), expriment une efficacité mitigée selon le muscle testé et le type de force mesurée. Dans cet essai, nous notons une différence intergroupe avec une augmentation de la force musculaire pour ces modalités : force isocinétique des extenseurs du genou ainsi que des fléchisseurs plantaires et force isométrique des fléchisseurs plantaires. Nous retrouvons donc, comme pour Caiozzo et al. (2009) un effet objectivable pour les muscles du genou et de la cheville. De plus, à l'image de l'étude de Kramer et al. (2021), Rittweger et al. (2015) présente des résultats nuancés concernant l'effet de l'AG sur la force musculaire. Nous observons que les résultats obtenus dans l'étude de Rittweger et al. (2015) indiquent que l'AG permet de prévenir la perte de force musculaire pour les extenseurs et fléchisseurs de genou, ainsi que pour les fléchisseurs plantaires en force isométrique. Cependant, l'étude de Clement et al. (2022), qui présentent les mêmes conditions d'application que ces deux essais, indique que : les diminutions du couple de force de la flexion plantaire isométrique et isocinétique de la cheville, ainsi que de la flexion et de l'extension isométrique du genou chez les sujets contrôle sont comparables à celles des sujets soumis à l'intervention. Étant donné que 2 études sur 3 présentent des résultats positifs nous ne pouvons pas conclure à un effet équivoque de l'AG avec ces modalités.

Enfin, avec une force inférieure à 1G et un temps inférieur à 30min de manière journalière, l'effet de la technique d'AG n'est pas objectivable. D'après les données d'Akima et al. (2005), il n'y a pas de différence significative pour les extenseurs de genou entre l'exposition à l'AG et aucun traitement.

Pour résumer :

- Force musculaire (5 études) :
 - 1 étude (Caiozzo et al. (2009)) met en évidence l'effet protecteur de l'AG concernant la perte de force musculaire liée à l'amyotrophie

- 2 études (Kramer et al. (2021) et Rittweger et al. (2015)) présentent des résultats mitigés selon le groupe musculaire de référence
- 2 études (Akima et al. (2005) et Clement et al. (2022)) ne concluent pas à un effet

Concernant le critère de jugement secondaire, la diminution de la capacité aérobie dans le groupe d'intervention correspond à celle des participants contrôles dans l'étude de Kramer et al. (2021). En d'autres termes, il n'existe pas de différence significative entre l'exposition à l'AG et aucun traitement pour la VO2max. Cette observation rejoint celle de l'étude de Clement et al. (2022). De ce fait, les résultats montrent qu'une exposition quotidienne de 30 minutes à la centrifugation n'a pas d'effet protecteur contre la diminution de la capacité aérobie induite par l'alitement.

Pour résumer :




- Capacités fonctionnelles (2 études) :
 - 2 études (Clement et al. (2022) et Kramer et al. (2021)) ne concluent pas à un effet

4.2 Niveau de preuve et recommandations

Pour évaluer le niveau de preuve des interventions, nous nous sommes basés sur les critères de la HAS. Le tableau IV évoqué précédemment, dans la partie qualité méthodologique, référence les critères d'estimation de ces niveaux de preuve. Plus précisément, pour obtenir un niveau de preuve suffisant, il est nécessaire que l'étude présente un protocole cohérent en lien avec la problématique. Autrement dit, l'étude doit être construite de manière appropriée pour répondre à la question posée et l'analyse statistique doit être rigoureuse et qualitative avec peu de biais. Enfin, pour que l'étude possède une puissance suffisante, le protocole doit être composé d'une quantité de sujets adaptée. Entre autres, il est important que la taille de l'échantillon soit importante. Le détail des niveaux de preuves de la HAS en fonction des interventions de nos études a été référencé sur le tableau XI. Les interventions similaires ont été regroupées au sein de la même ligne. Lorsqu'une intervention n'a pas conclu à un effet, la case correspondant au critère de jugement indique « pas de différence ». Si une technique présente une efficacité supérieure, alors le symbole « > » a été apposé pour désigner la technique la plus efficace.

Tableau XI - Niveau de preuve des interventions selon la HAS

Interventions	Force musculaire	Vo2max
Caiozzo et al. (2009) 1 heure de centrifugation quotidienne (2,5 G) VS Aucun traitement	AG > aucun traitement	
Kramer et al. (2021) + Clement et al. (2022) 30 minutes de centrifugation quotidienne (1G) VS 6X5 minutes de centrifugation quotidienne entrecoupée de pauses de 3 minutes (1G) VS Aucun traitement	Résultats conflictuels : - Kramer et al. (2021) : AG > aucun traitement - Clement et al. (2022) : Pas de différences	Pas de différences
Rittweger et al. (2015) 30 minutes de centrifugation quotidienne (1 G) VS 6X5 minutes de centrifugation quotidienne (1G) VS Aucun traitement	AG > aucun traitement	
Akima et al. (2005) AG un jour sur deux : 2X20 min (0,8G à 1,2G 20min et 0,5G à 0,8G 20min) avec véloergomètre simultanément (60 W) VS Aucun traitement	Pas de différence	

 : Preuves fortes
 : Preuves modérées
 : Preuves faibles
AG = Artificial gravity

Nous observons que les résultats sont partagés mais s'orientent en grande partie vers un effet protecteur de l'AG concernant notre critère de jugement principal qu'est la force musculaire. En somme, nous obtenons des résultats nuancés en fonction du groupe musculaire observé, du temps d'application, et de la durée de la période d'alitement. Toutefois, le niveau de preuve de nos études est globalement faible, ce qui compromet la fiabilité des résultats et la conclusion d'un effet. Par conséquent, sur la base des niveaux de preuve, de la concordance des résultats et selon les recommandations de bonne pratique de la HAS (2013), nous recommandons de manière modérée la gravité artificielle (Grade B) pour limiter la perte de force isocinétique et de force isométrique.

Pour notre critère de jugement secondaire, nous observons que l'ensemble des résultats conclut que la gravité artificielle n'a pas d'effet protecteur concernant les capacités fonctionnelles. Les niveaux de preuve des deux études concernées font l'état de preuves modérées. Cependant, les résultats ne vont pas dans le sens d'une importance clinique. Ainsi, d'après les recommandations de bonne pratique de la HAS (2013), nous ne recommandons pas la gravité artificielle (Grade C) pour limiter la perte de capacités fonctionnelles survenant lors d'une amyotrophie pendant ou après un alitement.

4.3 Limites des études

Nous avons listé et détaillé les biais des 5 études sélectionnées. Cette étape nous a permis de nuancer les résultats énoncés précédemment selon le type de biais rencontrés et leur importance. Elle reprend plus en détail le tableau du score PEDro de la partie 3.2.3 qui correspond à la qualité méthodologique de chaque article. Dans notre revue, 3 études possèdent une qualité moyenne et 2 ont une bonne qualité méthodologique. Nous avons détaillé les conséquences de chaque item concernant la validité externe et interne des articles de notre revue, ainsi que les biais de celle-ci.

4.3.1 Validité externe

Pour évaluer la validité externe d'une étude, nous devons prendre en compte plusieurs facteurs :

- Les caractéristiques de la population étudiée (= représentativité de l'échantillon)
- Le nombre de sujets inclus : taille de l'échantillon et perdus de vue (= puissance + biais de survie)
- La méthode de sélection des participants (= critères d'inclusion/d'exclusion + biais de sélection)
- Le contexte de l'étude (= contexte généralisable)

L'amyotrophie étant une atteinte présente à la fois chez l'homme et chez la femme, et touchant différentes tranches d'âge, il semble pertinent d'avoir une population d'étude variée. De ce fait, les résultats pourront être généralisés à une population plus large ou lors de situations différentes de l'essai. Or, ce n'est pas le cas pour la majorité des études sélectionnées, ce qui constitue une première limite pour la validité externe. En effet, les essais de Caiozzo et al. (2009), Rittweger et al. (2015) et Akima et al. (2005) comportent des sujets exclusivement masculins. Les résultats présentés dans ces 3 études semblent donc difficilement extrapolables à une population féminine. De plus, aucune étude ne spécifie le calcul de l'échantillon. Il s'agit d'un processus important dans la planification d'une étude scientifique car la taille de l'échantillon a une incidence sur la puissance de l'étude. La puissance correspond à la probabilité de détecter une différence significative entre deux groupes/conditions si une telle différence existe réellement. Autrement dit, plus l'étude présente une forte puissance, plus celle-ci permettra de détecter une différence significative entre le groupe contrôle et le groupe d'intervention. Cette limite se traduit par une faible taille d'échantillon au sein des 5 études. Une petite taille d'échantillon diminue la quantité de données disponibles pour détecter un effet, il en résulte une faible puissance pour chacun des essais. Cette limite impacte aussi la probabilité d'obtenir des résultats faussement négatifs car elle influence la puissance statistique pour détecter des effets significatifs. Les auteurs indiquent qu'en raison du coût élevé et de la nature difficile des études incluant un alitement, le nombre de participants est limité. Les études de Kramer et al. (2021) et l'étude de Rittweger et al. (2015) comportent des perdus de vue, créant des biais de survie qui impactent la validité externe. Toutefois, il convient de préciser qu'ils sont peu : 1 pour Rittweger et al. (2015) et 4 pour Kramer et al. (2021).

La méthode de sélection des participants n'est pas détaillée dans 3 études : Caiozzo et al. (2009), Clement et al. (2022) et Akima et al. (2005). Pour chacun de ces essais, il est impossible de savoir si la population d'étude présente des caractéristiques similaires à celles de la population cible. En outre, nous ne pouvons pas savoir si les sujets sélectionnés sont représentatifs de cette population. De surcroît, nous ne pouvons pas déterminer si les critères d'inclusion et d'exclusion qui ont été appliqués sont pertinents. Qui plus est, la description des critères d'éligibilité est essentielle pour savoir si les biais de sélection des participants ont été pris en compte et minimisés.

Le contexte de l'étude est un élément important pour déterminer si les conditions de recherche sont proches de la réalité pour la population visée. Nous avons relevé que les durées d'alitement entre les études sont très variables et semble influencer les résultats de la force musculaire. La durée d'exposition à l'AG ainsi que sa fréquence d'application semblent être aussi des paramètres qui influencent l'effet de la technique sur la composante musculosquelettique. De surcroît, une possible relation dose-effet est à prendre en compte.

Ainsi, il faut prendre les résultats des études de Caiozzo et al. (2009), et Akima et al. (2005) avec précaution car ils présentent une faible représentativité des résultats et des biais importants concernant leur validité externe. Cependant, la validité externe ne doit pas être considérée de manière isolée pour déterminer la fiabilité des résultats. D'autres aspects, tels que la validité interne (c'est-à-dire la fiabilité des résultats au sein de l'étude elle-même), la cohérence des résultats avec les théories et les preuves antérieures, ainsi que la pertinence clinique, doivent être pris en compte pour évaluer la qualité d'un essai.

4.3.2 Validité interne

La validité interne concerne la qualité de la conception d'une étude, la maîtrise des analyses menées, et la fiabilité des résultats obtenus. Une validité interne présentant peu (ou pas) de biais permet de mettre en lumière une relation causale entre les variables étudiées, et ce sans influence de facteurs externes. Pour l'évaluer, nous avons identifié dans chaque article :

- La présence de mesures fiables (= biais de mesures + biais de réponse + biais d'observation)
- La mise en place d'une randomisation et d'une assignation secrète (= biais de sélection)
- La présence d'un groupe contrôle avec une bonne qualité de l'analyse statistique (= base de comparaison + plan statistique approprié)

Premièrement, l'étape de collecte des données peut être source de biais. Dans notre revue, les biais de mesure des instruments sont limités car ils ont été maîtrisés. Toutes les études utilisent des outils adaptés à la mesure de la force (dynamomètre, ergomètre, marche d'isocinétisme) avec une forte reproductibilité, ce qui ne crée pas de biais de réponse. Les résultats/mesures étant réalisés par des machines, il n'y a pas de biais d'observation. Entre autres, les données mesurées dans chaque étude sont fiables.

Deuxièmement, la majorité des essais ne spécifie pas leur randomisation. Nous devons alors supposer que les études de : Caiozzo et al. (2009), Clement et al. (2022) et Akima et al. (2005) ne présentent pas de distribution aléatoire des participants car rien n'est indiqué. Leurs sujets n'étant pas répartis au hasard dans les groupes expérimentaux, les résultats de ces études peuvent être biaisés. En d'autres termes, il existe un risque que les groupes ne soient pas équilibrés concernant les caractéristiques étudiées. Pour ces 3 études, il existe des facteurs de confusion qui diminuent la comparabilité des groupes. Toutefois, tous les essais ont des groupes similaires au début de l'étude, permettant de limiter ces biais de sélection et de renforcer la validité des résultats.

Troisièmement, toutes les études disposent d'un groupe contrôle qui n'a subi aucun traitement. Ce critère confère un pouvoir de comparaison important à toutes les études et limite l'effet placebo. Cependant, aucune des études n'a validé les items 5, 6 et 7 du score PEDro dans la partie 3.2.3. Nous notons qu'aucun patient, thérapeute, ou encore examinateur, n'est placé en aveugle. Par conséquent, elles présentent toutes des biais de détection. Ceux-ci étaient inévitables étant donné l'impossibilité de placer les participants et les thérapeutes/examineurs en aveugle en lien avec la technique utilisée. De ce fait, ils n'altèrent pas la fiabilité des données recueillies.

Enfin, chaque étude possède une analyse statistique adaptée au design et au type de données collectés. Qui plus est, nous notons que les 5 études présentent une analyse intergroupe avec des résultats pour plus de 85% des sujets initiaux. Nous disposons donc de nombreuses données, ce qui permet de majorer la puissance et la représentativité des résultats malgré une petite taille d'échantillon.

4.4 Perspectives

Pour faire suite à notre analyse, nous avons évoqué les différentes perspectives qu'apporte notre revue. Pour cela, nous avons détaillé ces perspectives à l'échelle scientifique, puis à l'échelle clinique.

4.4.1 Perspectives scientifiques

Premièrement, aucune des études sélectionnées ne comparent l'AG avec une autre technique, et ce malgré nos larges critères d'inclusion. La création d'une étude qui aurait pour comparaison l'AG avec une technique de kinésithérapie classique, serait intéressante pour évaluer la pertinence de cette nouvelle technique vis-à-vis de la rééducation standard. Par exemple, la confrontation de cette technique avec du renforcement musculaire adaptée en situation d'alitement permettrait de contextualiser ces résultats avec la pratique clinique.

Deuxièmement, la technique d'AG a été utilisée seule dans l'ensemble des articles. Or, nous savons d'après la HAS en 2008 que la combinaison de techniques constitue l'arsenal thérapeutique le plus efficace pour lutter contre l'amyotrophie pendant ou après un alitement. Nous pourrions alors nous demander si l'utilisation combinée de l'AG avec une autre technique de masso-kinésithérapie pourrait optimiser les prises en charge des troubles musculosquelettiques. En d'autres termes, pour mettre davantage en lumière cette corrélation, nous suggérons la mise en place d'études s'intéressant à la comparaison entre : l'AG seule, un traitement de kinésithérapie, et l'AG avec traitement de kinésithérapie.

Troisièmement, les études ont été menées sur très peu de candidats. Aussi, de nouveaux essais incluant plus de sujets avec une plus grande variabilité de caractéristiques permettrait de minimiser les biais. Il serait judicieux d'augmenter les

échantillons pour avoir une meilleure représentativité des résultats. Une méthodologie rigoureuse concernant la validité externe permettrait de maximiser la puissance ; en résulterait un meilleur niveau de preuve pour de futures revues ou méta-analyses. Qui plus est, comme suggéré dans la partie validité externe, il semble exister une relation dose/effet. Il serait donc souhaitable de se pencher sur les variations d'effet que peut provoquer l'AG en fonction de la dose appliquée, et de la durée des interventions. Par ce biais, de futures études pourraient établir un potentiel seuil de significativité.

Pour finir, il serait curieux de réaliser des études avec une population souffrant de fonte musculaire non liée à l'alitement (sarcopénie, maladies neuromusculaires) ou de pathologies supplémentaires (maladies cardio-vasculaires, maladies respiratoires, etc...). Les participants de nos études étant en grande majorité des patients « sains » qui ne présentent qu'une amyotrophie, ils ne reflètent que partiellement la réalité clinique. Par conséquent, nous suggérons d'étudier l'intérêt de cette technique sur une population plus large en étant en adéquation avec la pratique clinique pour accroître la validité des conclusions. De plus, au vu du coût des études menées avec la gravité artificielle, et dans l'optique de conduire des études avec une qualité méthodologique suffisante, cette alternative permettrait de mettre en place des essais plus grands avec plus de candidats.

4.4.2 Perspectives cliniques

Nos implications pratiques suggèrent un dosage minimal de la technique d'AG pour observer un effet. C'est pourquoi, nous recommandons lors de la pratique clinique d'appliquer une force minimale de 1G avec une durée d'exposition quotidienne de 30 minutes ou plus. Le temps suggéré correspond à la durée minimale pour observer un effet d'après notre revue, et coïncide avec le temps recommandé pour une séance de kinésithérapie. Nous précisons qu'une force supérieure ou égale à 1G induit une vitesse de rotation élevée. En outre, elle provoque des effets secondaires sur le système vestibulaire d'après les 5 auteurs de notre revue. Toutefois, ceux-ci peuvent être atténués grâce à une exposition intermittente régulière pour provoquer une adaptation (Brown et al. (2002)). Ainsi, les séances devront être répétées quotidiennement pendant 2 semaines minimum pour limiter les effets indésirables. Malgré une adaptation au fur et à mesure des expositions, la technique de gravité artificielle ne peut pas être mise en place pour tous les patients en fonction de leurs

antécédents et de leur degré de tolérance. Nous suggérons alors de prendre en compte l'état physique et les accoutumances de chacun pour pratiquer la gravité artificielle.

De plus, nous conseillons une association de la gravité artificielle avec une ou plusieurs autres techniques de renforcement standard. Étant donné notre recommandation modérée de la technique seule pour lutter contre l'amyotrophie, nous préconisons de l'associer à d'autres moyens thérapeutiques afin d'optimiser la prise en charge des patients.

Pour finir, nous précisons qu'une machine de centrifugation à bras court nécessite deux pièces dédiées, et beaucoup de matériels de contrôle à destination du patient (saturomètre, ECG, etc...). Cette technique nécessite un contrôle humain permanent pour surveiller les constantes du ou des patients, et ce tout au long de la session. De plus, les auteurs évoquent un coût important du matériel avec peu de fournisseurs. De ce fait, au vu des contraintes financières et matériels qu'implique la gravité artificielle, son usage correspond davantage au fonctionnement hospitalier.

4.5 Biais de la revue

Lors de l'élaboration de nos critères de sélection, nous avons fait le choix d'inclure exclusivement les articles gratuits et de ne pas considérer la littérature grise. Par ailleurs, tous les essais rédigés dans un langage différent du français ou de l'anglais ont été automatiquement exclus. L'élimination volontaire de ces articles constitue un biais de sélection, un biais de publication, ainsi qu'un biais de langue.

La qualité méthodologique des articles de notre revue a été définie par un unique examinateur. Cette vérification aurait dû être menée par plusieurs personnes dans le but d'obtenir une analyse critique et objective plus exhaustive. Il existe donc un biais d'évaluation qui altère la qualité de notre analyse.

5. Conclusion

L'amyotrophie est un problème de santé publique qui impacte de manière significative l'autonomie ainsi que la vie quotidienne des patients soumis à l'immobilisation ou à la restriction d'activités. En outre, il est primordial de trouver des techniques efficaces permettant une prise en charge multimodale de l'amyotrophie afin d'optimiser la prise en charge rééducative pendant ou après l'alitement. La finalité de notre revue était d'évaluer l'efficacité de la gravité artificielle pour lutter contre la perte de force causée par l'amyotrophie, pendant ou après l'alitement. L'objectif secondaire était d'évaluer son effet sur l'amélioration de la capacité fonctionnelle représentée par la VO₂max, qui est un marqueur d'endurance et de performance.

Après analyse de nos 5 études, les résultats suggèrent qu'une exposition quotidienne à la gravité artificielle permet de minimiser la perte de force provoquée par l'amyotrophie pour les muscles du genou et de la cheville. Sur la base des preuves disponibles et d'après la gradation établie par la HAS (2023), nous établissons une recommandation de Grade B suggérant une présomption scientifique pour notre objectif principal. De ce fait, nous recommandons de manière modérée la centrifugation à bras court pour limiter la fonte musculaire. Toutefois, elle n'a pas été efficace pour maintenir la capacité d'exercice aérobie (VO₂max), probablement en raison de la faible demande cardiorespiratoire de cette technique. Au vu des données scientifiques, le Grade D a été attribué pour les recommandations de notre objectif secondaire. Par conséquent, nous ne recommandons pas cette technique pour lutter contre le déconditionnement physique et pour minimiser l'altération de la VO₂max.

Cependant, malgré le rôle protecteur de cette technique concernant la fonction musculaire, la gravité artificielle devrait être combinée à des méthodes standards de kinésithérapie avant d'être considérée comme une contre-mesure intégrale pour limiter l'amyotrophie. Ainsi, nous encourageons la réalisation de futures études qui intégreraient la gravité artificielle par centrifugation au sein d'un protocole de rééducation classique. Enfin, au vu des perspectives encourageantes que laisse entrevoir cette technique, nous incitons la poursuite de recherches en incluant un échantillon de patients plus élevé, dans le but de maximiser la représentativité des résultats.

- 10.2 Skeletal Muscle - Anatomy and Physiology | OpenStax.
(s. d.). <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/10-2-skeletal-muscle>
- Aa, F., Ca, S., Brunder, D. G., & Hillman, G. R. (1995). Magnetic resonance imaging quantitation of changes in muscle volume during 7 days of strict bed rest. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 66(10), 976-981.
- Adams, G. P., Caiozzo, V. J., & Baldwin, K. M. (2003). Skeletal muscle unweighting : spaceflight and ground-based models. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2185-2201. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00346.2003>
- Akima, H., Katayama, K., Sato, K., Ishida, K., Masuda, K., Takada, H., Watanabe, Y., & Iwase, S. (2005). Intensive cycle training with artificial gravity maintains muscle size during bed rest. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(10), 923-929.
- ALITEMENT : Définition de ALITEMENT.
(s. d.). <https://www.cnrtl.fr/definition/alitement>
- Arya, M., Paloski, W. H., & Young, L. R. (2007). Centrifugation protocol for the NASA Artificial Gravity-Bed Rest Pilot Study. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), P5-8.
- Bamman, M. M., & Caruso, J. F. (2000). Resistance Exercise Countermeasures for Space Flight : Implications of Training Specificity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 45. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2000\)014](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2000)014)
- Benvenuti, S. M., Bianchin, M., & Angrilli, A. (2011). Effects of simulated microgravity on brain plasticity : A startle reflex habituation study. *Physiology & Behavior*, 104(3), 503-506. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.05.019>
- Bernat, M. (s. d.-a). *Etude d'alitement « Cocktail »* (2017) - Medes. Medes. <http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/exemples-d-etudes/etude-d-alitement-cocktail-2017.html>
- Bernat, M. (s. d.-b). *Etude d'alitement WISE* (2005-2006) - Medes. Medes. <http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/exemples-d-etudes/etude-d-alitement-wise-2005-2006.html>

- Bernat, M. (s. d.-c). *La centrifugeuse - Medes*. Medes. <http://www.medes.fr/fr/clinique-spatiale/les-equipements/la-centrifugeuse.html>
- Brooks, N. E., Cloutier, G. J., Cadena, S. M., Layne, J. E., Nelsen, C. A., Freed, A. M., Roubenoff, R., & Castaneda-Sceppa, C. (2008). Resistance training and timed essential amino acids protect against the loss of muscle mass and strength during 28 days of bed rest and energy deficit. *Journal of Applied Physiology*, 105(1), 241-248. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01346.2007>
- Brosseau, L., Laroche, C., Sutton, A. F., Guitard, P., King, J. A., Poitras, S., Casimiro, L., Tremblay, M., Cardinal, D., Cavallo, S., Laferrière, L., Grisé, I., Marshall, L., Smith, J. A., Lagacé, J., Pharand, D., Galipeau, R., Toupin-April, K., Loew, L., . . . Vaillancourt, V. (2015). Une version franco-canadienne de la *Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale* : L'Échelle PEDro. *Physiotherapy Canada*, 67(3), 232-239. <https://doi.org/10.3138/ptc.2014-37f>
- Brown, E., Hecht, H., & Young, L. R. (2003). Sensorimotor aspects of high-speed artificial gravity : I. Sensory conflict in vestibular adaptation. *Journal of vestibular research*, 12(5-6), 271-282. <https://doi.org/10.3233/ves-2003-125-607>
- Caiozzo, V. J., Haddad, F., Lee, S. H., Baker, M. D., Paloski, W. H., & Baldwin, K. (2009). Artificial gravity as a countermeasure to microgravity : a pilot study examining the effects on knee extensor and plantar flexor muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, 107(1), 39-46. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91130.2008>
- Clément, G., Crucian, B., Downs, M. E., Krieger, S., Laurie, S., Lee, S. M. C., Macias, B. R., Mulder, E., Rivas, E., Roma, P. G., Rosenberg, M. J. F., Sibonga, J. D., Smith, S. T., Spector, E., Whiting, S. E., Wood, S. J., & Zwart, S. R. (2022). International standard measures during the AGBRESA bed rest study. *Acta Astronautica*, 200, 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.08.016>
- Conley, M., Foley, J. M., Ploutz-Snyder, L. L., Meyer, R. A., & Dudley, G. A. (1996). Effect of acute head-down tilt on skeletal muscle cross-sectional area and proton transverse relaxation time. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1572-1577. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1572>

- Connaissances sur le muscle - Institut de Myologie. (2022, 22 novembre). Institut de Myologie. <https://www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/>
- Connolly, B., Salisbury, L., O'Neill, B., Geneen, L. J., Douiri, A., Grocott, M. P., Hart, N., Walsh, T. R., & Blackwood, B. (2015). Exercise rehabilitation following intensive care unit discharge for recovery from critical illness. *The Cochrane library*, 2018(12). <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008632.pub2>
- Crandall, C. G., Engelke, K. A., Convertino, V. A., & Raven, P. H. (1994). Aortic baroreflex control of heart rate after 15 days of simulated microgravity exposure. *Journal of Applied Physiology*, 77(5), 2134-2139. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.5.2134>
- Crandall, C. G., Shibasaki, M., Wilson, T. E., Cui, J., & Levine, B. D. (2003). Prolonged head-down tilt exposure reduces maximal cutaneous vasodilator and sweating capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2330-2336. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00790.2002>
- Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou - Recommandations.* (s. d.). https://www.has-sante.fr/jcms/c_640664/fr/criteres-de-suivi-en-reeducation-et-d-orientation-en-ambulatoire-ou-en-ssr-apres-ligamentoplastie-du-croise-anterieur-du-genou-recommandations
- Custaud, M., De ChantemèleÉ Belin De Chantemèle, É. B., Blanc, S., Gauquelin-Koch, G., & Gharib, C. (2005). Régulation de la volémie au cours d'une simulation d'impesanteur de longue durée. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 83(12), 1147-1153. <https://doi.org/10.1139/y05-105>
- Custaud, M., Millet, C., Frutoso, J., Maillet, A., Gauquelin, G., Gharib, C., & Fortrat, J. (2000). No effect of venoconstrictive thigh cuffs on orthostatic hypotension induced by head-down bed rest. *Acta Physiologica Scandinavica*, 170(2), 77-85. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2000.00763.x>
- De Prato, C., Bastin, M., & Preiser, J. (2009). Sarcopénie en réanimation. *Réanimation*. <https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2009.06.017>

- Deane, C. S., Willis, C. K. R., Phillips, B. E., Atherton, P. J., Harries, L. W., Ames, R. M., Szewczyk, N. J., & Etheridge, T. (2021). Transcriptomic meta-analysis of disuse muscle atrophy vs. resistance exercise-induced hypertrophy in young and older humans. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 12(3), 629-645. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12706>
- Debevec, T., Bali, T. C., Simpson, E. M., Macdonald, I. A., Eiken, O., & Mekjavic, I. B. (2014). Separate and combined effects of 21-day bed rest and hypoxic confinement on body composition. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2411-2425. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2963-1>
- Debevec, T., McDonnell, A. C., Macdonald, I. A., Eiken, O., & Mekjavic, I. B. (2014). Whole body and regional body composition changes following 10-day hypoxic confinement and unloading–inactivity. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0278>
- Denq, J. C., Opfer-Gehrking, T. L., Giuliani, M., Felten, J., Convertino, V. A., & Low, P. A. (1997). Efficacy of compression of different capacitance beds in the amelioration of orthostatic hypotension. *Clinical Autonomic Research*, 7(6), 321-326. <https://doi.org/10.1007/bf02267725>
- Dorfman, T., Levine, B. D., Tillery, T., Peshock, R. M., Hastings, J. L., Schneider, S. M., Macias, B. R., Biolo, G., & Hargens, A. R. (2007). Cardiac atrophy in women following bed rest. *Journal of Applied Physiology*, 103(1), 8-16. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01162.2006>
- Feuerecker, M., Van Oosterhout, W. P. J., Feuerecker, B., Matzel, S., Schelling, G., Rehm, M., Vein, A. A., & Choukèr, A. (2016). Headache under simulated microgravity is related to endocrine, fluid distribution, and tight junction changes. *Pain*, 157(5), 1072-1078. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000481>
- Ganse, B., Bosutti, A., Drey, M., & Degens, H. (2021). Sixty days of head-down tilt bed rest with or without artificial gravity do not affect the neuromuscular secretome. *Experimental Cell Research*, 399(2), 112463. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2020.112463>

- Gao, Y., Goswami, N., Grasser, E. K., Rössler, A., Stöger, E., Schwaberg, G., & Hinghofer-Szalkay, H. (2008). Radix Astragali and Orthostatic Response : A Double-Masked Crossover Study. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 79(2), 94-98. <https://doi.org/10.3357/ase.2193.2008>
- Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*, 15(157), 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.004>
- Germain, P., Güell, A., & Marini, J. (1995). Muscle strength during bedrest with and without muscle exercise as a countermeasure. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 71(4), 342-348. <https://doi.org/10.1007/bf00240415>
- Ghafouri-Fard, S., Abak, A., Khademi, S., Shoorei, H., Bahroudi, Z., Taheri, M., & Dilmaghani, N. A. (2021). Functional roles of non-coding RNAs in atrophy. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 141, 111820. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111820>
- Gordon Betts, J., Kelly A. Young, James A. Wise, Eddie Johnson, Brandon Poe, Dean H. Kruse, Oksana Korol, Jody E. Johnson, Mark Womble, Peter DeSaix. (2013, 25 avril). 10.2 Skeletal Muscle - Anatomy and Physiology. Openstax. <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/10-2-skeletal-muscle>
- Güell, A., Braak, L., Traon, A. P. L., & Gharib, C. (1991). Cardiovascular adaptation during simulated microgravity : lower body negative pressure to counter orthostatic hypotension. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 62(4), 331-335.
- Guo, Y., Guo, N., Liu, C., Wang, D., Wang, J., Sun, X., Fan, S., Wang, C., Yang, C., Zhang, Y., Lu, D., & Yao, Y. (2013). Effect of artificial gravity with exercise training on lung function during head-down bed rest in humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(1), 24-29. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.2012.01155.x>

- Hauger, A. V., Reiman, M. P., Bjordal, J. M., Sheets, C. A., Ledbetter, L., & Goode, A. P. (2018). Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26(2), 399-410. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4669-5>
- Hearon, C. M., Dias, K. A., Babu, G., Marshall, J., Leidner, J., Peters, K., Silva, E., Macnamara, J. P., Campain, J., & Levine, B. D. (2021). Effect of Nightly Lower Body Negative Pressure on Choroid Engorgement in a Model of Spaceflight-Associated Neuro-ocular Syndrome. *JAMA Ophthalmology*, 140(1), 59. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.5200>
- Henkelmann, R., Palke, L., Schneider, S., Müller, D. J., Karich, B., Mende, M., Josten, C., & Böhme, J. (2021). Impact of anti-gravity treadmill rehabilitation therapy on the clinical outcomes after fixation of lower limb fractures : A randomized clinical trial. *Clinical Rehabilitation*, 35(3), 356-366. <https://doi.org/10.1177/0269215520966857>
- Henkelmann, R., Schneider, S., Müller, D. J., Gahr, R. H., Josten, C., & Böhme, J. (2017). Outcome of patients after lower limb fracture with partial weight bearing postoperatively treated with or without anti-gravity treadmill (alter G®) during six weeks of rehabilitation – a protocol of a prospective randomized trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1461-0>
- Hides, J. A., Lambrecht, G., Ramdharry, G., Cusack, R., Bloomberg, J. J., & Arden, N. K. (2017). Parallels between astronauts and terrestrial patients – Taking physiotherapy rehabilitation “To infinity and beyond”. *Musculoskeletal science and practice*, 27, S32-S37. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2016.12.008>
- Holt, J. A., Macias, B. R., Schneider, S. M., Watenpaugh, D. E., Lee, S. M. C., Chang, D. G., & Hargens, A. R. (2016). WISE 2005 : Aerobic and resistive countermeasures prevent paraspinal muscle deconditioning during 60-day bed rest in women. *Journal of Applied Physiology*, 120(10), 1215-1222. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00532.2015>

- Idkaidek, N., & Arafat, T. (2011). Effect of Microgravity on the Pharmacokinetics of Ibuprofen in Humans. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 51(12), 1685-1689. <https://doi.org/10.1177/0091270010388652>
- Inauguration de la centrifugeuse humaine de MEDES.* (2007). https://www.esa.int/Space_in_Member_States/France/Inauguration_de_la_centrifugeuse_humaine_de_MEDES
- Iwasaki, K., Shiozawa, T., Kamiya, A., Michikami, D., Hirayanagi, K., Yajima, K., Iwase, S., & Mano, T. (2005). Hypergravity exercise against bed rest induced changes in cardiac autonomic control. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 285-291. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1308-x>
- Janik, R., & Dick, W. F. (1992). [Post spinal headache. Its incidence following the median and paramedian techniques]. *Anaesthetist*, 41(3), 137-141.
- Je, D., Ke, H., & DeJong, G. K. (1997). Effects of exercise during head-down bed rest on postural control. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68(5), 392-395.
- Jollet, M., Nay, K., Chopard, A., Bareille, M., Beck, A., Ollendorff, V., Vernus, B., Bonnieu, A., Mariadassou, M., Rué, O., Derbré, F., Goustard, B., & Koechlin-Ramonatxo, C. (2021). Does Physical Inactivity Induce Significant Changes in Human Gut Microbiota ? New Answers Using the Dry Immersion Hypoactivity Model. *Nutrients*, 13(11), 3865. <https://doi.org/10.3390/nu13113865>
- Jones, S., Hill, R. B., Krasney, P. A., O'Conner, B., Peirce, N., & Greenhaff, P. L. (2004). Disuse atrophy and exercise rehabilitation in humans profoundly affects the expression of genes associated with the regulation of skeletal muscle mass. *The FASEB Journal*, 18(9), 1025-1027. <https://doi.org/10.1096/fj.03-1228fje>
- Karemaker, J. M., Gisolf, J., Stok, W. J., & Van Montfrans, G. A. (2007). 24-hr blood pressure in HDT-bed rest and short-lasting space flight. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), P49-50.

- Kelsen, J., Sandahl, T. D., Storm, L., Frings-Meuthen, P., Dahlerup, J. F., & Thiel, S. (2014). Changes in the Levels of Mannan-Binding Lectin and Ficolins During Head-Down Tilted Bed Rest. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(8), 805-811. <https://doi.org/10.3357/ase.3915.2014>
- Kim, H., Iwasaki, K., Miyake, T., Shiozawa, T., Nozaki, S., & Yajima, K. (2003). Changes in bone turnover markers during 14-day 6° head-down bed rest. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 21(5), 311-315. <https://doi.org/10.1007/s00774-003-0426-6>
- Kos, O., Hughson, R. L., Hart, D. N., Clément, G., Frings-Meuthen, P., Linnarsson, D., Paloski, W. H., Rittweger, J., Wuyts, F. L., Zange, J., & Gorczynski, R. M. (2014). Elevated serum soluble CD200 and CD200R as surrogate markers of bone loss under bed rest conditions. *Bone*, 60, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.12.004>
- Krainski, F., Hastings, J. L., Heinicke, K., Romain, N., Pacini, E., Snell, P. G., Wyrick, P., Palmer, M., Haller, R. G., & Levine, B. D. (2014). The effect of rowing ergometry and resistive exercise on skeletal muscle structure and function during bed rest. *Journal of Applied Physiology*, 116(12), 1569-1581. <https://doi.org/10.1152/jap.00803.2013>
- Kramer, A. H., Venegas-Carro, M., Zange, J., Sies, W., Maffiuletti, N. A., Gruber, M., Degens, H., Moreno-Villanueva, M., & Mulder, E. (2021). Daily 30-min exposure to artificial gravity during 60 days of bed rest does not maintain aerobic exercise capacity but mitigates some deteriorations of muscle function : results from the AGBRESA RCT. *European Journal of Applied Physiology*, 121(7), 2015-2026. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04673-w>
- Laurence, E. (s. d.). *Mortalité en Unité de Soins Intensifs du Centre Hospitalier Universitaire (. . .) - Société de l'Anesthésie Réanimation d'Afrique Francophone*. <https://web-saraf.net/?Mortalite-en-Unite-de-Soins>
- Lee, S. M. C., Schneider, S. M., Boda, W. L., Watenpaugh, D. E., Macias, B. R., Meyer, R. A., & Hargens, A. R. (2007). Supine LBNP Exercise Maintains Exercise Capacity in Male Twins during 30-d Bed Rest. *Medicine and Science in Sports*

and

Exercise, 39(8),

1315-1326. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806463d9>

Les différents types de muscles - Institut de Myologie. (2020, 31 mars). Institut de Myologie. <https://www.institut-myologie.org/enseignement/connaissances-sur-le-muscle/les-differents-types-de-muscles/>

Lim, R. P., Anderson, H. J., Walters, M. C., Kaye, G. C., Norell, M., & Caplin, J. (1997). Femoral Complications and Bed Rest Duration After Coronary Arteriography. *American Journal of Cardiology*, 80(2), 222-223. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(97\)00326-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(97)00326-3)

Linnarsson, D., Hughson, R. L., Fraser, K. S., Clément, G., Karlsson, L., Mulder, E., Paloski, W. H., Rittweger, J., Wuyts, F. L., & Zange, J. (2015). Effects of an artificial gravity countermeasure on orthostatic tolerance, blood volumes and aerobic power after short-term bed rest (BR-AG1). *Journal of Applied Physiology*, 118(1), 29-35. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00061.2014>

Loehr, J. A., Lee, S. M. C., English, K. L., Sibonga, J. D., Smith, S. T., Spiering, B. A., & Hagan, R. D. (2011). Musculoskeletal Adaptations to Training with the Advanced Resistive Exercise Device. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 146-156. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181e4f161>

Loi HPST (hôpital, patients, santé, territoires) – Ministère de la Santé et de la Prévention. (2017, 29 novembre). Ministère de la Santé et de la Prévention. <https://solidarites-sante.gouv.fr/professionnels/gerer-un-etablissement-de-sante-medico-social/financement/financement-des-etablissements-de-sante-10795/financement-des-etablissements-de-sante-glossaire/article/loi-hpst-hopital-patients-sante-territoires>

Louisy, F., Berry, P., Marini, J., Güell, A., & Guezennec, C. (1995). Characteristics of the venous hemodynamics of the leg under simulated weightlessness : effects of physical exercise as countermeasure. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 66(6), 542-549.

Maffulli, N., Tallon, C., Wong, J. W. H., Lim, K. C., & Bleakney, R. (2003). Early Weightbearing and Ankle Mobilization after Open Repair of Acute Midsubstance

- Tears of the Achilles Tendon. *American Journal of Sports Medicine*, 31(5), 692-700. <https://doi.org/10.1177/03635465030310051001>
- Marshall-Goebel, K., Mulder, E., Donoviel, D. B., Strangman, G. E., Stienen, M. N., Rao, C. P. V., Frings-Meuthen, P., Limper, U., Rittweger, J., & Bershad, E. M. (2017). An international collaboration studying the physiological and anatomical cerebral effects of carbon dioxide during head-down tilt bed rest : the SPACECOT study. *Journal of Applied Physiology*, 122(6), 1398-1405. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00885.2016>
- Martin, G. S., Mannino, D. M., Eaton, S., & Moss, M. (2003). The Epidemiology of Sepsis in the United States from 1979 through 2000. *The New England Journal of Medicine*, 348(16), 1546-1554. <https://doi.org/10.1056/nejmoa022139>
- Masson, E. (s. d.). *Effets de l'alitement sur le métabolisme musculaire*. EM-Consulte. <https://www.em-consulte.com/article/257138/effets-de-lalitement-sur-le-metabolisme-musculaire>
- McCall, G. E., Goulet, C., Roy, R. R., Grindeland, R. E., Boorman, G. I., Bigbee, A. J., Hodgson, J. G., Greenisen, M. C., & Edgerton, V. R. (1999). Spaceflight suppresses exercise-induced release of bioassayable growth hormone. *Journal of Applied Physiology*, 87(3), 1207-1212. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1207>
- Mehta, S. K., Crucian, B., Pierson, D. L., Sams, C., & Stowe, R. P. (2007). Monitoring immune system function and reactivation of latent viruses in the Artificial Gravity Pilot Study. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), P21-5.
- Montes, J., Goodwin, A. M., McDermott, M. W., Uher, D., Hernandez, F. M., Coutts, K., Cocchi, J., Hauschildt, M., Cornett, K. M., Rao, A., Monani, U. R., Garber, C. E., & De Vivo, D. C. (2021). Diminished muscle oxygen uptake and fatigue in spinal muscular atrophy. *Annals of clinical and translational neurology*, 8(5), 1086-1095. <https://doi.org/10.1002/acn3.51353>
- Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux.* (s. d.). Haute Autorité de Santé. <https://www.has->

sante.fr/jcms/c_1600564/fr/niveau-de-preuve-et-gradation-des-recommandations-de-bonne-pratique-etat-des-lieux

- Pagenstert, G., Wolf, N. I., Bachmann, M. F., Gravius, S., Barg, A., Hintermann, B., Wirtz, D. C., Valderrabano, V., & Leumann, A. (2012). Open Lateral Patellar Retinacular Lengthening Versus Open Retinacular Release in Lateral Patellar Hypercompression Syndrome : A Prospective Double-Blinded Comparative Study on Complications and Outcome. *Arthroscopy*, 28(6), 788-797. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.11.004>
- Palke, L., Schneider, S., Karich, B., Mende, M., Josten, C., Böhme, J., & Henkelmann, R. (2022). Anti-gravity treadmill rehabilitation improves gait and muscle atrophy in patients with surgically treated ankle and tibial plateau fractures after one year : A randomised clinical trial. *Clinical Rehabilitation*, 36(1), 87-98. <https://doi.org/10.1177/02692155211037148>
- Palombo, C., Morizzo, C., Baluci, M., Lucini, D., Ricci, S., Biolo, G., Tortoli, P., & Kozakova, M. (2015). Large Artery Remodeling and Dynamics following Simulated Microgravity by Prolonged Head-Down Tilt Bed Rest in Humans. *BioMed Research International*, 2015, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/342565>
- Petermann-Rocha, F., Balntzi, V., Gray, S. R., Lara, J., Ho, F. K., Pell, J. P., & Celis-Morales, C. (2021). Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia : a systematic review and meta-analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(1), 86-99. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12783>
- Pozzo, M., Alkner, B., Norrbrand, L., Farina, D., & Tesch, P. A. (2006). Muscle-fiber conduction velocity during concentric and eccentric actions on a flywheel exercise device. *Muscle & Nerve*. <https://doi.org/10.1002/mus.20574>
- Putcha, L., Cintron, N. M., Vanderploeg, J. M., Chen, Y., Habis, J., & Adler, J. (1988). Effect of antiorthostatic bed rest on hepatic blood flow in man. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 59(4), 306-308.
- Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Ferretti, G., & Narici, M. (2005). Influence of 90-day simulated microgravity on human tendon mechanical properties and the effect

- of resistive countermeasures. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 2278-2286. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01266.2004>
- Reinertson, R. C., Nelson, V. A., Aunon, S. M., Schlegel, T. T., Lindgren, K. N., Kerstman, E., Arya, M., & Paloski, W. H. (2007). Medical monitoring during the NASA Artificial Gravity-Bed Rest Pilot Study. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), 9-13.
- Rittweger, J., Bareille, M., Clément, G., Linnarsson, D., Paloski, W. H., Wuyts, F. L., Zange, J., & Angerer, O. (2015). Short-arm centrifugation as a partially effective musculoskeletal countermeasure during 5-day head-down tilt bed rest—results from the BRAG1 study. *European Journal of Applied Physiology*, 115(6), 1233-1244. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3120-1>
- Rucci, N., Capulli, M., Piperni, S. G., Cappariello, A., Lau, P. W., Frings-Meuthen, P., Heer, M., & Teti, A. (2015). Lipocalin 2 : A New Mechanoresponding Gene Regulating Bone Homeostasis. *Journal of Bone and Mineral Research*, 30(2), 357-368. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2341>
- Sakata, S., Shinohara, J., Hori, T., & Sugimoto, S. (1995). Enhancement of Randomness by Flotation Rest (Restricted Environmental Stimulation Technique). *Perceptual and Motor Skills*. <https://doi.org/10.2466/pms.1995.80.3.999>
- Salvadego, D., Keramidias, M. E., Kölegård, R., Brocca, L., Lazzer, S., Mavelli, I., Rittweger, J., Eiken, O., Mekjavic, I. B., & Grassi, B. (2018). PlanHab * : hypoxia does not worsen the impairment of skeletal muscle oxidative function induced by bed rest alone. *The Journal of Physiology*, 596(15), 3341-3355. <https://doi.org/10.1113/jp275605>
- Seaton, K. A., Slack, K. J., Sipes, W., & Bowie, K. E. (2007). Artificial gravity as a multi-system countermeasure : effects on cognitive function. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), P27-30.
- Simpson, E. M., Debevec, T., Eiken, O., Mekjavic, I. B., & Macdonald, I. A. (2016). PlanHab : the combined and separate effects of 16 days of bed rest and

- normobaric hypoxic confinement on circulating lipids and indices of insulin sensitivity in healthy men. *Journal of Applied Physiology*, 120(8), 947-955. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00897.2015>
- Smith, S. M., Lovejoy, J. C., Bray, G. A., Rood, J., Most, M. M., & Ryan, D. H. (2008). Triiodothyronine increases calcium loss in a bed rest antigravity model for space flight. *Metabolism-clinical and Experimental*, 57(12), 1696-1703. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2008.07.026>
- Smith, S. T., Davis-Street, J. E., Feserman, J. V., Calkins, D., Bawa, M., Macias, B. R., Meyer, R. A., & Hargens, A. R. (2003). Evaluation of Treadmill Exercise in a Lower Body Negative Pressure Chamber as a Countermeasure for Weightlessness-Induced Bone Loss : A Bed Rest Study With Identical Twins. *Journal of Bone and Mineral Research*, 18(12), 2223-2230. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2003.18.12.2223>
- Smith, S. T., Heer, M., Wang, Z., Huntoon, C. L., & Zwart, S. R. (2012). Long-Duration Space Flight and Bed Rest Effects on Testosterone and Other Steroids. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 97(1), 270-278. <https://doi.org/10.1210/jc.2011-2233>
- Stavrou, N. A., McDonnell, A. C., Eiken, O., & Mekjavic, I. B. (2015). Psychological strain : examining the effect of hypoxic bedrest and confinement. *Physiology & Behavior*, 139, 497-504. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.12.015>
- Stevens, R., Dowdy, D. W., Michaels, R. J., Mendez-Tellez, P. A., Pronovost, P. J., & Needham, D. M. (2007). Neuromuscular dysfunction acquired in critical illness : a systematic review. *Intensive Care Medicine*, 33(11), 1876-1891. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0772-2>
- Strewe, C., Zeller, R., Feuerecker, M., Hoerl, M., Matzel, S., Kumprej, I., Crispin, A., Johannes, B., Debevec, T., Mekjavic, I. B., Eiken, O., Thiel, M., Schelling, G., & Choukèr, A. (2018). PlanHab Study : Consequences of combined normobaric hypoxia and bed rest on adenosine kinetics. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20045-5>

- Tesch, P. A., Berg, H. E., Bring, D. K., Evans, H. J., & LeBlanc, A. (2005). Effects of 17-day spaceflight on knee extensor muscle function and size. *European Journal of Applied Physiology*, 93(4), 463-468. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1236-9>
- Van Oosterhout, W., Terwindt, G. M., Vein, A. A., & Ferrari. (2015). Space headache on Earth : Head-down-tilted bed rest studies simulating outer-space microgravity. *Cephalalgia*, 35(4), 335-343. <https://doi.org/10.1177/0333102414536058>
- Warren, L., Reinertson, R. C., Camacho, M. T., & Paloski, W. H. (2007). Implementation of the NASA Artificial Gravity Bed Rest Pilot Study. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*.
- Watenpaugh, D. E., Ballard, R., Schneider, S. M., Lee, S. M. C., Ertl, A. C., William, J., Boda, W. L., Hutchinson, K., & Hargens, A. R. (2000). Supine lower body negative pressure exercise during bed rest maintains upright exercise capacity. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 218-227. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.218>
- Weber, T., Ducos, M., Mulder, E., Herrera, F., Brüggemann, G., Bloch, W., & Rittweger, J. (2013). The specific role of gravitational accelerations for arterial adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 114(3), 387-393. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01117.2012>
- Widrick, J. J., Knuth, S. T., Norenberg, K. M., Romatowski, J., Bain, J. R., Riley, D. A., Karhanek, M., Trappe, S., Trappe, T. A., Costill, D. L., & Fitts, R. H. (1999). Effect of a 17 day spaceflight on contractile properties of human soleus muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 516(3), 915-930. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1999.0915u.x>
- Yang, C. Y., Wang, Y., Gao, Y., Geng, J., Wu, Y., Zhang, Y., Shi, F., & Sun, X. (2011). Artificial gravity with ergometric exercise preserves the cardiac, but not cerebrovascular, functions during 4days of head-down bed rest. *Cytokine*, 56(3), 648-655. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2011.09.004>

- Yao, Y., Zhu, Y., Yang, C. Y., Zhou, X., & Sun, X. (2012). Artificial gravity with ergometric exercise can prevent enhancement of popliteal vein compliance due to 4-day head-down bed rest. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2083-0>
- Yoshimitsu, K., Shiba, N., Matsuse, H., Takano, Y., Matsugaki, T., Inada, T., Tagawa, Y., & Nagata, K. (2010). Development of a Training Method for Weightless Environment Using Both Electrical Stimulation and Voluntary Muscle Contraction. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 220(1), 83-93. <https://doi.org/10.1620/tjem.220.83>
- Young, L. R., & Paloski, W. H. (2007). Short radius intermittent centrifugation as a countermeasure to bed-rest and 0-G deconditioning : IMAG pilot study summary and recommendations for research. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*, 14(1), P31-3.
- Zerwekh, J. E., Odvina, C. V., Wuermser, L. A., & Pak, C. Y. (2007). Reduction of Renal Stone Risk by Potassium-Magnesium Citrate During 5 Weeks of Bed Rest. *The Journal of Urology*, 177(6), 2179-2184. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2007.01.156>
- Zwart, S. R., Hargens, A. R., & Smith, S. T. (2004). The ratio of animal protein intake to potassium intake is a predictor of bone resorption in space flight analogues and in ambulatory subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(4), 1058-1065. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.4.1058>

Annexes

Annexes

Annexe I : Traduction française de l'échelle PEDro.....	1
---	---

Annexe I : Traduction française de l'échelle PEDro (2010)

Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

