

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ENTRAÎNEMENT EN RÉSISTANCE, CONSOMMATION DE PROTÉINES ET  
FONCTION MUSCULAIRE CHEZ LES HOMMES ÂGÉS DE 70 ANS ET PLUS

MÉMOIRE PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR  
FRANÇOIS CHARPENTIER LEMIEUX  
SOUS LA DIRECTION DE :

MYLENE AUBERTIN-LEHEUDRE, Ph.D.

GILLES GOUSPILLOU, Ph.D.

MARS 2015

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet n'aurait pas été possible sans l'appui et l'aide considérables de plusieurs personnes et organismes. Je tiens tout d'abord à remercier mes co-directeurs de recherche, les Drs Mylène Aubertin-Leheudre et Gilles Gouspillou, pour leurs précieux conseils ainsi que pour la patience et le dévouement dont ils ont fait preuve tout au long de mon parcours. Je remercie également les organismes subventionnaires CRSH, RQRV et la fondation de l'UQAM qui m'ont permis de me consacrer pleinement à mes études aux cycles supérieurs lors des deux dernières années. Ensuite, je souhaite exprimer toute ma gratitude envers mes collègues étudiants pour leurs précieux conseils et les irremplaçables techniciens du département de kinanthropologie pour leur aide, leur générosité et leur dévouement. Finalement, je remercie du fond du cœur tous les hommes qui ont participé à ce projet de recherche, permettant ultimement l'écriture de cet ouvrage.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
RÉSUMÉ .....	VII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I	
CADRE THÉORIQUE .....	6
1.1. Le vieillissement et la perte de fonction musculaire.....	6
1.1.1. Perte de fonction musculaire : sarcopénie et dynapénie.....	6
1.1.2 Conséquence de la perte de fonction musculaire .....	9
1.1.3. Mécanismes physiologiques impliqués dans la perte de fonction musculaire liée au vieillissement .....	11
1.2. Rôle de l'apport protéique dans la préservation de la fonction musculaire ...	16
1.2.1. Effets sur la fonction musculaire.....	16
1.2.2. Résistance anabolique chez les individus âgés.....	19
1.2.3. Recommandations quotidiennes de l'apport en protéines .....	21
1.2.4. Habitudes alimentaires et stratégies nutritionnelles .....	24
1.3. Le rôle de l'activité physique et de l'entraînement en résistance .....	28
1.3.1. L'activité physique et le vieillissement .....	28
1.3.2. L'entraînement en résistance chez les individus âgés .....	30

1.4. Les effets synergiques de l'entraînement et d'un apport protéique adéquat ..	33
1.4.1. Effets sur la synthèse protéique musculaire .....	33
1.4.2. Effets de l'apport protéique sur les réponses musculaires induites par l'entraînement en résistance chez les hommes âgés.....	35
1.5. Objectifs .....	6
1.6. Hypothèses .....	6

## CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE.....	40
1.1 Visite d'évaluation.....	40
2.2. Recrutement des participants .....	40
2.3. Aspects éthiques .....	43
2.4. Devis expérimental.....	44
2.4.1. Visite d'évaluation pré et post entraînement .....	48
2.4.2. Entraînement en résistance .....	48
2.5. Collecte et analyses des données expérimentales .....	51
2.5.1. Détermination des données anthropométriques .....	51
2.5.2. Mesure de la composition corporelle .....	52
2.5.3. Mesure de la force musculaire maximale.....	52
2.5.4. Calcul de l'index de qualité musculaire .....	54
2.5.5. Puissance musculaire.....	55
2.5.6. Évaluation des capacités fonctionnelles .....	56
2.5.7. Détermination de l'apport protéique et des autres nutriments .....	58
2.5.8. Mesure de l'activité physique et de la dépense énergétique totale.....	59

2.6. Puissance statistique.....	60
2.6. Méthodes d'analyse des résultats.....	60
CHAPITRE III	
RÉSULTATS .....	62
3.1. Caractéristiques physiologiques et nutritionnelles de base des participants...61	
3.2. Effet de l'apport protéique initial sur les gains de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles suite à un entraînement en résistance.....	66
3.3. Effet du changement d'apport protéique lors d'un entraînement en résistance sur les gains de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles suite à celui-ci.....	106
CHAPITRE IV	
DISCUSSION .....	114
CHAPITRE V	
LIMITES ET PERTINENCE.....	122
APPENDICE A	
CERTIFICAT DE L'EPTC 2 .....	120
APPENDICE B	
APPROBATION ÉTHIQUE DU PROJET .....	121
APPENDICE C	
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DE LA PARTICIPANTE .....	122

RÉFÉRENCES.....	142
-----------------	-----

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Processus de recrutement des participants .....	41
2.2 Formation des groupes selon leur changement d'apport protéique lors de l'entraînement .....	42
3.1 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse corporelle chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	70
3.2 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'indice de masse corporelle (imc) chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	72
3.3 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre totale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	74
3.4 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre appendiculaire chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	76
3.5 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre des jambes chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.. ..	78
3.6 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le pourcentage de masse grasse totale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.. ..	80
3.7 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force de préhension chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	82

3.8 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force absolue des membres inférieurs chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	84
3.9 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force des membres inférieurs normalisée à la masse corporelle chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	86
3.10 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de qualité musculaire chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	88
3.11 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de puissance chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.....	90
3.12 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse normale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	92
3.13 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse rapide chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	94
3.14 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « stand up and go » à une vitesse normale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines .....	96
3.15 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « stand up and go » à une vitesse rapide chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	98
3.16 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test de la chaise chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines..	100
3.17 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le nombre de touches réalisées lors du test de l'escalier chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.	102

3.18 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe droite chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.. .....	104
3.19 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe gauche chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgmc/j et ceux consommant plus de 1,2 g/kgmc/j de protéines.. .....	106
3.20 Changement de l'apport protéique chez les participant ayant conservé ou réduit et ceux ayant augmenté leur consommation en protéines lors de l'entraînement en résistance de semaines.....	108

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Échéancier du projet de recherche .....	45
2.2 Résumé des activités au cours des visites et de l'entraînement .....	46
2.3 Resume des exercices realises lors des entrainements.....	49
3.1 Caractéristiques nutritionnelles de base des participants.....	63
3.2 Caractéristiques physiologiques de base des participants.....	65
3.3 Analyse de régression linéaire pas-à-pas.....	67
3.4 Effet de l'intervention * groupe (prot 1,1- et prot 1,2+) sur la fonction musculaire et les capacités fonctionnelles des participants.....	68
3.5 Caractéristiques de base des participants des groupes prot- et prot+.....	109
3.6 Différences de changements (%) induit par l'entraînement entre les groupes prot- et prot+ .....	111
3.7 Effet du l'intervention * groupe (prot- et prot+) sur la fonction musculaire et les capacités fonctionnelles des participants .....	113

## RÉSUMÉ

Les dysfonctions du muscle squelettique et la perte de force liée à l'âge sont largement reconnus comme des facteurs menant à des incapacités physiques. Il est de ce fait crucial de trouver des stratégies non pharmacologiques pour prévenir ce processus physiologique lié au vieillissement normal et contrer la perte d'autonomie et de mobilité des personnes âgées. L'entraînement en résistance est une stratégie efficace pour contrer les pertes de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles. De plus, la consommation de protéines semble aussi jouer au rôle important sur la préservation de la force et la masse musculaires et sur la santé. L'ingestion d'une dose de protéines supérieure à celle présentement recommandée ( $0.8\text{g/kgMasse Corporelle(MC)/j}$ ) est en effet associée à une moindre prévalence de problèmes de santé chez les sujets âgés. Dans le cadre de ce mémoire, nos objectifs étaient 1) d'examiner l'impact de l'apport protéique initial sur la réponse musculaire suite à un entraînement en résistance chez les hommes âgés de 70 ans et plus et 2) d'examiner l'impact de l'évolution de l'apport protéique sur leur réponse musculaire suite à cet entraînement. 21 hommes âgés de 70 ans et plus ont été recrutés et divisés en deux groupes selon leur apport protéique pré-entraînement (déterminé par journaux alimentaires) : un groupe consommant moins de  $1,1\text{g/kgMC/j}$  (PROT 1,1-) et un groupe consommant plus de  $1,2\text{g/kgMC/j}$  (PROT 1,2+). La composition corporelle (DXA), la force de préhension (dynamomètre), la force des membres inférieurs (test d'une répétition maximale), l'activité physique (accéléromètres) et les capacités fonctionnelles (SPPB) ont été évaluées avant et après un entraînement en résistance de 12 semaines. Pour toutes les variables qui ont été étudiées, aucune différence entre les groupes n'a été observée avant l'entraînement. Le groupe PROT 1,2+ a obtenu des gains supérieurs de force musculaire des membres inférieurs et de l'index de qualité musculaire en réponse à l'entraînement par rapport au groupe PROT 1,1-. Aucun effet de l'évolution de l'apport protéique au cours de l'entraînement sur la fonction

musculaire n'a pu être mis en évidence dans notre étude. Nos résultats indiquent donc qu'un apport protéique supérieur à 1,2 g/kgMC/j ne semble pas avoir d'effets bénéfiques sur la fonction musculaire chez des hommes âgés ne participant pas à un programme d'entraînement en résistance. Un tel apport protéique semble toutefois pouvoir potentialiser les gains de fonction musculaire en réponse à un entraînement en résistance chez des hommes âgés.

**Mots-clés :** Fonction musculaire, force musculaire, apport protéique, entraînement en résistance, vieillissement

## ABSTRACT

Aging-related skeletal dysfunction and loss of muscle strength are widely recognized as factors leading to physical disability. Therefore, it is crucial to find non-pharmacological strategies aiming at preventing this physiological process related to normal aging and counteract the loss of autonomy and mobility of our elders. Resistance training is an effective strategy to counter the loss of muscle function and functional capacity. In addition, protein intake also seems to play an important role in the preservation of muscle strength and mass. The ingestion of a larger dose of protein than the current recommendation (0.8 g/kg Body Mass (BM)/d) is associated with less health problems in the elderly. Our objectives are 1) to examine the impact of the initial protein intake on muscle response following resistance training in men aged 70 years and older and 2) to examine the impact of the evolution of protein intake on muscle response following resistance training in this population. 21 men aged 70 years and older were recruited and divided into 2 groups according their pre-training protein intake (determined from food diaries): one consuming less than 1.1 g/kgBM/d (PROT 1.1-) and one consuming more than 1.2 g/kgBM/d (PROT 1.2+). Body composition (DXA), grip strength (dynamometer), leg strength (one repetition maximum test), functional capacities (SPPB), and physical activity (accelerometer) were assessed before and after a 12w resistance training program. No difference was evidenced between groups before training for all the variables that were determined. The gains in muscle strength of the lower limbs and muscle quality index in response to resistance training were greater in the PROT 1,2+ group as compared to the PROT 1,1- group. No effect of the evolution of protein intake during the training program was evidenced in the present study. Our results therefore indicate that a protein intake of 1.2 g/kgBM/d or more is not necessary for older men that are not participating in a resistance training program. However, such protein intake seems to promote greater improvements in muscle function in response to resistance training in elderly men.

**Key words:** Muscle function, muscle strength, protein intake, resistance training, aging

## INTRODUCTION

Selon l'Organisation mondiale de la Santé , la proportion de la population du Canada ayant 60 ans et plus est passée de 16.6% en 2000 à 20.8% en 2012 (United Nations 2013). Au Canada, l'espérance de vie à la naissance est en croissance constante et est passée de 69,3 ans en 1970 à 80,9 ans en 2011 (World Bank 2013). Les personnes âgées représentent en conséquence la catégorie de la population qui croît le plus rapidement, notamment dans les pays développés, comme le Canada. Considérant l'augmentation progressive de l'espérance de vie, cette situation n'est pas sur le point de s'estomper d'elle-même.

De plus, un fossé demeure entre l'espérance de vie et la portion de vie vécue en bonne santé. L'espérance de vie ajustée en fonction de la santé représente le nombre moyen d'années pendant lesquelles une personne peut s'attendre à vivre sans problème de santé (Public Health Agency of Canada 2012). Pour les années 2005-2007, celle-ci a été estimée à 68,9 et 71,2 ans chez les hommes et les femmes, respectivement, alors que l'espérance de vie totale était de 78,3 et 83 ans (Statistique Canada 2010). Il s'agit donc d'un écart important de 9,4 et 11,8 années respectivement chez les hommes et les femmes, pendant lequel leur qualité de vie peut être grandement diminuée alors que les coûts sociétaux augmenteront. En effet, il est estimé que 42% des individus de 65 ans et plus éprouvent des limitations lors de

l'accomplissement d'au moins une de leurs tâches quotidiennes, telles que se déplacer, accomplir des tâches ménagères modérément fatigantes, se lever d'une chaise profonde, transporter les courses, monter des escaliers, etc. (Federal Interagency Forum on Aging-Related Statistics (U.S.) 2006)

La perte de capacités fonctionnelles est donc une caractéristique typique du vieillissement et semble associée à l'inactivité physique (Meisner, Dogra et al. 2010). Il est important de noter que ce déclin lié au vieillissement est un phénomène largement multifactoriel. Cependant, l'accumulation excessive de masse grasse (Jankowski, Gozansky et al. 2008, Bouchard, Choquette et al. 2011) ainsi que les pertes de masse (Clark and Manini 2010) et de force musculaire (Choquette, Bouchard et al. 2010, Barbat-Artigas, Rolland et al. 2012) sont très probablement les facteurs les plus déterminants dans le contexte du vieillissement. Il est en effet reconnu que les pertes de masse et de force musculaires sont tous deux des conditions invalidantes et néfastes chez la personne âgée (von Hachling, Morley et al. 2010). La perte de fonction musculaire (masse, force, qualité et puissance musculaires) contribuera donc grandement à la perte des capacités fonctionnelles, ces dernières étant essentielles pour le maintien de la mobilité et de l'autonomie. De facto, cette situation mène à une diminution de la qualité de vie en plus d'une augmentation des risques pour la santé, tels que les blessures liées aux chutes. En effet, de faibles niveaux de masse et de force musculaires sont associés à des risques accrus de limitations de la mobilité (Ferrucci, Penninx et al. 2002, Ploutz-Snyder, Manini et al.

2002, Visser, Goodpaster et al. 2005, Manini, Visser et al. 2007), de limitations fonctionnelles (Janssen 2006, Reid, Naumova et al. 2008) et de chutes (Stalenhoef, Diederiks et al. 2002, Xue, Walston et al. 2011).

Il existe toutefois plusieurs stratégies pour limiter ou même prévenir cette condition. Du fait de ses effets positifs sur la masse grasse, la masse musculaire et la force musculaire, l'activité physique est une stratégie efficace pour contrecarrer les pertes de capacités fonctionnelles des sujets âgés (Evans 1992, Goodpaster, Chomentowski et al. 2008). En effet, en plus de contribuer au maintien d'un poids santé, la simple pratique d'activités physiques d'intensité modérée (au-delà de 3 METs) de façon régulière (3 à 5 séance de 30 à 60 minutes par semaine) est suffisante pour prévenir la totalité des pertes de force musculaire chez les individus âgés (Goodpaster, Chomentowski et al. 2008). De plus, bien qu'un taux modéré d'activité physique générale soit suffisant pour la préservation de la fonction musculaire, certains types d'intervention spécifique permettent même une amélioration de la masse, et surtout de la force musculaire chez cette même population. À cet effet, l'efficacité de l'entraînement en résistance sur l'augmentation de masse et de force musculaires a été démontrée à maintes reprises chez les individus âgés jusqu'à l'âge de 90 ans (Fiatarone, Marks et al. 1990, Slivka, Raue et al. 2008). Il a été démontré qu'il était possible d'obtenir des gains de force considérables chez les individus âgés après seulement 8 semaines d'entraînements en résistance (Fiatarone, Marks et al. 1990), bien que la plupart des études sur le sujet utilise des périodes de 12 semaines

(Slivka, Raue et al. 2008).

De plus en plus d'études soulignent également le rôle important de l'alimentation, et notamment de la consommation de protéines, sur la préservation de la fonction musculaire en vieillissant (Houston, Nicklas et al. 2008, Scott, Blizzard et al. 2010, Filion, Barbat-Artigas et al. 2012). En effet, plusieurs études transversales ont rapporté une association positive entre l'apport protéique, la force et la masse musculaires des individus âgés (Houston, Nicklas et al. 2008, Scott, Blizzard et al. 2010, Filion, Barbat-Artigas et al. 2012). Les effets positifs d'une haute consommation en protéines sur la fonction musculaire chez les personnes âgées semblent provenir en grande partie de son effet stimulant sur la synthèse protéique musculaire (Wolfe 2002). L'apport protéique est un important stimulateur de la synthèse protéique musculaire, pouvant provoquer des augmentations de 150% par rapport au taux basal (Biolo, Tipton et al. 1997), et est donc susceptible de causer des gains en masse et en force musculaires (Schiaffino, Dyar et al. 2013). Une importante consommation en protéines semble d'autant plus importante chez les aînés puisque plusieurs études récentes suggèrent une association entre le vieillissement et une diminution de la sensibilité aux stimuli provoquant l'augmentation de la synthèse musculaire protéique (Cuthbertson, Smith et al. 2005, Pennings, Groen et al. 2012).

En somme, les pertes de force et de masse musculaires progressives liées au vieillissement sont sans aucun doute parmi les conséquences les plus néfastes sur la

qualité de vie (Clark and Manini 2010). L'entraînement en résistance et un apport protéique adéquat sont donc deux stratégies non pharmacologiques primordiales pour prévenir cette perte de fonction musculaire. Malgré tout, plusieurs mécanismes physiologiques sous-jacents demeurent encore méconnus et plusieurs défis se présentent encore à nous pour le maintien d'une qualité de vie des individus âgés qui représenteront bientôt une très importante partie de la population

## CHAPITRE I

### CADRE THÉORIQUE

#### 1.1. Le vieillissement et la perte de fonction musculaire

##### 1.1.1. Perte de fonction musculaire au cours du vieillissement : sarcopénie et dynapénie

Le vieillissement est associé au déclin de fonctions physiologiques affectant éventuellement la qualité de vie. La perte de fonction musculaire en est un exemple particulièrement important dans le maintien des capacités fonctionnelles et donc de l'autonomie des individus âgés. Clark et Manini définissent la dynapénie comme étant la perte de force musculaires liée au vieillissement (Clark and Manini 2008). Ce terme demeure assez récent puisque le terme *sarcopénie* était utilisé depuis 1991 (Evans 1991) pour définir la perte de masse musculaire associée à l'âge. Cependant, plusieurs études récentes ont démontré que la perte de masse musculaire n'était qu'un facteur parmi d'autres intervenants dans la perte de force musculaire (Clark and Manini 2008, Clark and Manini 2012). En effet, les résultats d'une étude longitudinale d'une durée de 5 ans portant sur 3075 individus âgés de 70 à 79 ans indiquent que la perte de force musculaire liée au vieillissement est beaucoup plus

importante que la perte de masse musculaire (Delmonico, Harris et al. 2009). Ces observations concordent avec d'autres études qui concluent que la diminution de masse musculaire n'expliquerait pas plus de 10% de la perte de force musculaire associée à l'âge (Visser, Goodpaster et al. 2005, Clark, Manini et al. 2006). Considérant l'importance relative de la perte de masse musculaire liée à l'âge par rapport à la perte de force musculaire, Clark et Manini (Clark and Manini 2008) ont donc proposé le terme dynapénie pour définir spécifiquement la perte de force liée au vieillissement, terme qui a été repris par plusieurs auteurs (Janssen 2010, Barbat-Artigas, Dupontgand et al. 2011, Visser 2011, Filion, Barbat-Artigas et al. 2012, Mitchell, Williams et al. 2012). Malgré tout, l'utilisation du terme dynapénie ne fait pas l'unanimité et plusieurs auteurs utilisent encore le terme sarcopénie, mais l'ont adapté pour définir la perte de masse et de force musculaires (Fielding, Vellas et al. 2011, Jackson, Janssen et al. 2012, Bauer, Biolo et al. 2013). Dans le cadre de cet ouvrage, le terme dynapénie sera utilisé pour désigner la perte de force musculaire liée à l'âge, tandis que le terme sarcopénie sera utilisé pour désigner la perte de masse musculaire liée à l'âge.

Lors d'une étude populationnelle, Jansen et collaborateurs ont évalué la prévalence de la sarcopénie (Janssen, Heymsfield et al. 2002). Les participants étaient considérés comme sarcopéniques de type I lorsqu'ils présentaient une masse musculaire squelettique entre une et deux déviations standards en dessous de celles des jeunes adultes. La sarcopénie de type II représentait une masse musculaire inférieure de plus

de deux déviations standards à celle du groupe contrôle. En utilisant cette méthode, 45% des hommes et 59% des femmes de 60 ans et plus ont été classés sarcopéniques de type I. De plus, 7% de ces hommes et 10% de ces femmes ont été classés sarcopéniques de type II (Janssen, Heymsfield et al. 2002). Globalement, l'occurrence de la sarcopénie dépend de la population étudiée et de la définition utilisée, variant ainsi de 5 à 45% de la population âgée (Baumgartner, Koehler et al. 1998, Abellan van Kan 2009).

Dans le but d'obtenir des mesures cliniques de la dynapénie, Barbat-Artigas et collaborateurs ont récemment attribué des critères plus précis à celle-ci (Barbat-Artigas, Filion et al. 2011). La dynapénie a donc été calculée par rapport à des mesures standards de forces musculaires. Les individus ont été classés comme dynapéniques de type I lorsqu'ils avaient une force musculaire entre une et deux déviations standards en dessous d'un groupe de référence composé de jeunes adultes, tandis que la dynapénie de type II représentait une force musculaire de deux déviations standards ou plus sous cette valeur. Puisque le terme demeure récent et sa définition clinique non consensuelle, il ne semble pas, à ce jour, avoir d'étude populationnelle évaluant la prévalence de la dynapénie.

### 1.1.2 Conséquence de la perte de fonction musculaire

La dynapénie et la sarcopénie sont des causes majeures de la perte d'autonomie et de divers problèmes de santé chez les individus âgés (Clark and Manini 2010). Il a été démontré que la faiblesse musculaire liée au vieillissement était associée à des risques accrus de limitations de la mobilité (Ferrucci, Penninx et al. 2002, Ploutz-Snyder, Manini et al. 2002, Visser, Goodpaster et al. 2005, Manini, Visser et al. 2007), de limitations fonctionnelles (Janssen 2006, Reid, Naumova et al. 2008), de chutes (Stalenhoef, Diederiks et al. 2002, Xue, Walston et al. 2011) ou de mortalité (Newman, Kupelian et al. 2006, Xue, Beamer et al. 2010, Artero, Lee et al. 2011). Chez des individus âgé de 70 ans et plus, Baumgartner et collaborateurs indiquent que les individus sarcopéniques ont trois à quatre fois plus de chance de développer des limitations fonctionnelles, comme se lever d'une chaise, monter des escaliers, etc. (Baumgartner, Koehler et al. 1998). Les résultats de Janssen et collaborateurs sur une cohorte de 4504 participant de 60 ans et plus sont similaires : les hommes et les femmes sarcopéniques de type II ont deux à trois fois plus de risques d'éprouver des limitations fonctionnelles et des incapacités (Janssen, Heymsfield et al. 2002).

Les résultats de l'étude « Health ABC » (Newman, Kupelian et al. 2006, Manini, Visser et al. 2007) menée chez une cohorte de plus de 2700 hommes et femmes âgés entre 70 et 79 pendant 5 ans soulignent quant à eux les risques d'une faible force musculaire chez les aînés. Les données issues de cette étude (Newman, Kupelian et

al. 2006) indiquent un risque de mortalité accru de 50% chez les hommes et de 65% les femmes de cette population qui présentent une faible force musculaire. Manini et collaborateurs obtiennent des résultats similaires en divisant la population en dix groupes selon leur force relative du quadriceps. Leurs résultats indiquent que les groupes ayant une faible force musculaire ont jusqu'à 7 fois plus de risque de mobilité restreinte et jusqu'à 1,77 fois plus de risque de mortalité (Manini, Visser et al. 2007).

D'autre part, outre son impact sur la force musculaire, le muscle squelettique a également un rôle métabolique d'une grande importance. Celui-ci représente un vaste réservoir d'acides aminés. Une réserve adéquate d'acides aminés est essentielle pour que le système immunitaire puisse fonctionner de façon optimale lors de combat contre les infections (Calder 2006, Li, Yin et al. 2007). Une réserve suffisante d'acides aminés semble donc être requise pour la synthèse de protéines d'importance majeure impliquées dans le processus immunitaire, tel les immunoglobulines et les cytokines. (Calder 2006, Kim, Mateo et al. 2007). Une faible masse musculaire peut donc mener à un état de vulnérabilité accrue face aux maladies (Li, Yin et al. 2007).

Sur le plan économique, Janssen et collaborateurs ont estimé en 2004 que les coûts annuels associés à la sarcopénie aux États-Unis étaient approximativement de 18,5 milliards de dollars (Janssen, Shepard et al. 2004). Or, ce coût augmentera fortement au cours des prochaines années du fait du vieillissement de la population. A titre de comparaison, ces coûts associés à la sarcopénie sont un peu plus élevés que ceux liés

aux fractures ostéoporotiques dans ce pays (Ray, Chan et al. 1997), ce qui démontre l'importance de la prévenir ou la traiter. Selon les estimations de Janssen et collaborateurs, une réduction modeste de 10% de l'incidence de la sarcopénie résulterait en une économie en coûts direct de 1,1 milliards de dollars par année (Janssen, Shepard et al. 2004).

L'étude des mécanismes physiologiques sous-jacents à la perte de fonction musculaire liée au vieillissement s'avère donc particulièrement pertinente car il s'agit d'un facteur de risque contrôlable qui peut aisément améliorer la qualité de vie de la population âgée tout en ayant le potentiel d'éviter un fardeau économique sociétal. La recherche de stratégies ou d'interventions adaptées et spécifiques pour préserver la fonction musculaire en vieillissant doit donc faire partie des priorités des gouvernements.

### 1.1.3. Mécanismes physiologiques impliqués dans la perte de fonction musculaire liée au vieillissement

Jusqu'à tout récemment, la perte de masse musculaire ou sarcopénie était considérée par les cliniciens comme le facteur principal expliquant la perte de force musculaire liée au vieillissement (Evans 1995). Cependant, de nombreuses études récentes

démontrent l'importance de plusieurs autres facteurs (Harridge, Kryger et al. 1999, Thompson, Durand et al. 2006, Brack and Rando 2007, Klass, Baudry et al. 2008), suggérant ainsi le fait que la diminution de masse musculaire ne soit pas la cause principale de perte de force musculaire chez les individus âgés (Clark and Manini 2008, Clark and Manini 2012). Une revue exhaustive de la littérature a relevé nombres conséquent de facteurs contribuant à la dynapénie. Toutefois, ce mémoire se consacrera principalement aux rôles relatifs de l'apport protéique et de l'activité physique comme stratégies non pharmacologiques pour prévenir les pertes de force et de masse musculaires associées au vieillissement.

Il est généralement admis que la perte de masse musculaire liée à l'âge résulte à la fois de la diminution du nombre (Lexell, Henriksson-Larsen et al. 1983) et de la grosseur des fibres musculaires (Rennie, Wackerhage et al. 2004, Faulkner, Larkin et al. 2007, Marzetti, Calvani et al. 2012, Rowan, Rygiel et al. 2012). Janssen et collaborateurs ont étudié la masse musculaire squelettique de 468 hommes et femmes âgés de 18 à 88 ans (Janssen, Heymsfield et al. 2000). Leurs résultats suggèrent une perte de masse musculaire qui s'amorce dès la troisième décennie. Cependant, cette perte ne devient significative que vers la fin de la cinquième décennie. Une étude longitudinale récente mesurant la masse musculaire squelettique de la cuisse de 3075 individus évalue la perte de masse musculaire à environ 1% et 0,65% par année chez les hommes et les femmes âgés de 70 ans et plus, respectivement. (Delmonico, Harris et al. 2009).

Cependant, comme nous l'avons précédemment mentionné, la perte de masse musculaire ne semble expliquer qu'une partie modeste de la perte de force musculaire associée au vieillissement (Visser, Goodpaster et al. 2005, Clark, Manini et al. 2006). Il semblerait donc que d'autres facteurs physiologiques, indépendamment de la masse du tissu musculaire, aient un rôle important en ce qui concerne la faiblesse musculaire. Néanmoins, la masse musculaire demeure un facteur influençant la force musculaire en général. De plus, les changements de masse et de force musculaires sont, au minimum, des phénomènes concomitants, indépendamment de l'âge (Goodpaster, Park et al. 2006, Delmonico, Harris et al. 2009). La masse musculaire doit donc conséquemment être prise en considération lors d'études sur la dynapénie.

Il demeure que l'importance relative de la perte de masse musculaire par rapport à celle de la force musculaire laisse sous-entendre un phénomène que plusieurs scientifiques et cliniciens qualifient de perte de qualité musculaire (force / masse musculaire) (Newman, Haggerty et al. 2003, Goodpaster, Park et al. 2006, Delmonico, Harris et al. 2009). Cette hypothèse est supportée par plusieurs observations, dont les résultats de l'étude « Health ABC » comptant plus de 1600 ainés. Celle-ci démontre une perte progressive de la force des extenseurs du genou de 2,5% par année en contraste avec une perte de masse musculaire de ces mêmes muscles de seulement 1% (Delmonico, Harris et al. 2009). Bien que la perte de qualité musculaire soit causée par plusieurs facteurs, il semble que cette dernière s'explique

aussi par une perte de qualité neuromusculaire (activation et synchronisation neuromusculaire volontaire) et par une diminution des mécanismes neurologiques associés (diminution du volume du cortex pré-moteur, de la surface myélinisée des neurones et de l'excitabilité des neurones du cortex moteur) (Clark and Manini 2012). La force, la masse et la qualité musculaire sont influencés par plusieurs mécanismes physiologiques. Le turnover protéique est l'un des plus importants (Adegoke, Abdullahi et al. 2012). Le turnover protéique se définit comme la balance entre la synthèse et la dégradation protéique. La différence entre le taux de synthèse protéique et le taux de dégradation indique la balance protéique nette. Un état anabolique (ou balance protéique positive) signifie que le taux de synthèse protéique est plus important que le taux de dégradation et l'inverse indique un état catabolique (ou balance protéique négative). L'activité et l'état de tous les tissus de l'organisme, notamment celui du tissu musculaire, sont donc maintenus par un équilibre entre ces deux états (Ohsumi 2006).

Le turnover protéique joue en conséquence un rôle clé dans l'augmentation de la masse et de la force musculaire (Schiaffino, Dyar et al. 2013). Son impact précis sur la fonction musculaire semble toutefois être encore relativement méconnu puisque quelques études rapportent une augmentation de la synthèse avec peu ou même aucune augmentation de force et/ou de masse musculaires, notamment suite à des interventions de supplémentation en protéines sans entraînements (Verhoeven, Vanschoonbeek et al. 2009, Ferrando, Paddon-Jones et al. 2010). Il est possible que

ces résultats s'expliquent par une augmentation similaire des taux de dégradation protéique qui ne demeure que rarement mesurée dans ce type d'études, dû aux méthodes lourdes et invasive requises pour ce genre de mesures (Morais, Gougeon et al. 1997). Les principaux régulateurs du turnover protéique sont maintenant relativement bien répertoriés dans la littérature. Comme il sera discuté ultérieurement, la synthèse protéique est principalement stimulée par la consommation de protéines et la dépense énergétique liée à l'activité physique (Evans 2004), tandis que la dégradation protéique semble être inhibée par l'apport protéique, le tout sous le contrôle de l'insuline qui est la principale hormone anabolisante. (Gelfand, Glickman et al. 1988, Biolo, Tipton et al. 1997).

Une des hypothèses de départ pour expliquer la perte de masse musculaire en vieillissant proposait un état basal du turnover protéique moins « efficace » chez les individus âgés (Welle, Thornton et al. 1993). Les résultats obtenus lors de la dernière décennie n'indiquent cependant aucun phénomène de ce genre (Volpi, Sheffield-Moore et al. 2001, Cuthbertson, Smith et al. 2005, Sandri, Barberi et al. 2013). À ce jour, il est généralement accepté que le vieillissement n'altère pas l'état basal de synthèse ou de dégradation protéique dans le muscle (Sandri, Barberi et al. 2013). Comme il sera discuté en détails dans les sections suivantes, les études récentes proposent plutôt une certaine perte de sensibilité aux stimuli qui stimulent la synthèse ou inhibe la dégradation protéique chez les individus âgés (Paddon-Jones, Sheffield-Moore et al. 2004, Cuthbertson, Smith et al. 2005, Katsanos, Kobayashi et

al. 2006, Drummond, Dreyer et al. 2008, Kumar, Selby et al. 2009, Durham, Casperson et al. 2010).

## 1.2. Rôle de l'apport protéique dans la préservation de la fonction musculaire

### 1.2.1. Effets sur la fonction musculaire

Le rôle d'une consommation adéquate en protéines sur la préservation de la fonction musculaire en vieillissant est reconnu par plusieurs chercheurs et spécialistes du vieillissement (Gersovitz, Motil et al. 1982, Vellas, Hunt et al. 1997, Morais, Chevalier et al. 2006, Houston, Nicklas et al. 2008, Beasley, LaCroix et al. 2010, Omura 2010, Filion, Barbat-Artigas et al. 2012). En analysant la consommation en protéines de plus de 24 000 femmes âgées, Beasley et collaborateurs ont démontré qu'une augmentation de 20% de l'apport protéique, en tant que fraction de l'apport calorique total, était associée à une diminution de 32% du risque de l'incidence du statut de fragilité en vieillissant (Beasley, LaCroix et al. 2010). La fragilité est un syndrome caractérisé par la lenteur de mouvement, la faiblesse, la fatigue, le manque d'activité physique et la perte de poids non intentionnelle (Fried, Tangen et al. 2001). Houston et collaborateurs ont rapporté des résultats similaires en divisant un échantillon de 2066 individus âgés de 70 ans et plus en 5 groupes selon leur consommation en protéines (Houston, Nicklas et al. 2008). Leurs participants dans le groupe ayant la plus importante consommation en protéines ont perdu significativement moins (43%) de masse maigre au cours du suivi de 3 ans que ceux

ayant le plus faible apport protéique. Récemment, les résultats de Filion et collaborateurs ont également montré une association entre une consommation de protéines inférieure à 1,2 grammes par kilogrammes de masse corporelle par jour (g/kgMC/j) et une prévalence plus élevée de la dynapénie chez des femmes âgées (Filion, Barbat-Artigas et al. 2012). La consommation de protéines contribue à la préservation de la force et de la masse musculaires chez la population âgée par des mécanismes physiologiques menant à la stimulation de la synthèse protéique (Wolfe 2012). Les effets anaboliques d'une consommation adéquate de protéines (tel que définit ultérieurement) chez les individus âgés ont en effet été observés par plusieurs auteurs et sont maintenant largement admis (Bennet, Connacher et al. 1989, Wolfe 2002, Bohe, Low et al. 2003, Fujita, Dreyer et al. 2007, Dillon, Sheffield-Moore et al. 2009, Ferrando, Paddon-Jones et al. 2010, Burd, West et al. 2011, Li, Yin et al. 2011, Pennings, Groen et al. 2012, Phillips 2012).

L'ingestion de protéines peut donc augmenter la synthèse protéique d'une façon proportionnelle à la dose jusqu'à l'atteinte d'approximativement 250% de la valeur basale, après quoi une augmentation de la dose devient inefficace (Biolo, Tipton et al. 1997, Wolfe 2002). De plus, il semble que l'ingestion d'acides aminés non-essentiels ne soit pas ou peu nécessaire et que seulement les acides aminés essentiels contribuent à la majeure partie du potentiel anabolique des protéines (Volpi, Kobayashi et al. 2003). Contrairement aux acides aminés non-essentiels qui peuvent être synthétisés par le corps, les acides aminés essentiels doivent provenir de

sources alimentaires. En comparant les réponses anaboliques de participants âgés et en santé recevant une dose de 40 grammes d'acides aminés mixtes à ceux recevant une dose de 18g d'acides aminés essentiels seulement, Volpi et collaborateurs ont noté des augmentations similaires (28% et 30%, respectivement) de la synthèse protéique musculaire (Volpi, Kobayashi et al. 2003). D'autres études analogues ont confirmé ces résultats (Tipton, Ferrando et al. 1999, Wolfe 2002). En fait, qu'ils soient ingérés ou administrés par voie intraveineuse, les acides aminés essentiels seuls stimulent la synthèse protéique des muscles squelettiques de façon significative et importante (Svanberg, Moller-Loswick et al. 1996, Smith, Reynolds et al. 1998, Rasmussen, Wolfe et al. 2002, Volpi, Kobayashi et al. 2003).

Plus spécifiquement, il semblerait que le potentiel anabolique des acides aminés essentiels provienne en grand partie d'un acide aminé appelé leucine. En effet, plusieurs études se sont intéressées au rôle joué par cet acide aminé dans le processus de la synthèse protéique musculaire. Leurs résultats suggèrent que la leucine est l'acide aminé essentiel le plus important pour la stimulation de la synthèse protéique musculaire (Anthony, Reiter et al. 2002, Fujita, Dreyer et al. 2007, Yin, Yao et al. 2010, Li, Yin et al. 2011, Dodd and Tee 2012). Chez le rat en santé ou diabétique, la consommation de dose de 0,5 nM de leucine seule mène à l'augmentation significative (25 à 69%) de la synthèse protéique musculaire (Buse and Reid 1975, Hong and Layman 1984, Anthony, Reiter et al. 2002). Rieu et collaborateurs ont observé les taux de synthèse protéique musculaire de 20 hommes en santé âgés de 70

ans et plus suite à l'ingestion d'un repas standardisé contenant, ou non, une supplémentation en leucine (0,052 g/kgMC) (Rieu, Balage et al. 2006). Leurs résultats indiquent un taux de synthèse protéique musculaire significativement plus élevé chez le groupe recevant la supplémentation de leucine (0,083%) par rapport au groupe contrôle (0,053%). Par les mêmes mécanismes physiologique qu'une supplémentation en protéines, une supplémentation en leucine seule pourrait donc elle-aussi contribuer à une meilleure préservation de la fonction musculaire en vieillissant.

Les conclusions résultantes des recherches sur les acides aminés et sur la leucine ont progressivement mené au concept de protéines de qualité chez la population âgée. En tenant compte de plusieurs facteurs comme la digestibilité, une source de protéine de qualité contiendrait en premier lieu une proportion élevée d'acides aminés essentiels (~40%), et particulièrement de leucine, pour une stimulation optimale de la synthèse protéique musculaire (Phillips 2012).

### 1.2.2. Résistance anabolique chez les individus âgés

Comme il a été mentionné antérieurement, l'hypothèse initiale reliant les pertes de masse et de force musculaires à un métabolisme protéique musculaire basal moins

efficace chez les individus âgés a progressivement été évincée (Welle, Thornton et al. 1993, Volpi, Sheffield-Moore et al. 2001). Les recherches sur le sujet ont plutôt abouti à la découverte d'une certaine résistance aux stimuli anaboliques de l'apport protéique chez les individus âgés. De nombreuses études relatives à la dynapénie ou à la sarcopénie indiquent donc des effets diminués de la consommation d'acides aminés sur le taux de synthèse protéique chez les individus âgés (Cuthbertson, Smith et al. 2005, Rennie 2009, Pennings, Groen et al. 2012, Yang, Breen et al. 2012). Ce phénomène, appelé « résistance anabolique », est potentiellement une des causes majeures qui entrainerait la perte progressive de force et de masse musculaires en vieillissant.

Cuthbertson et collaborateurs ont testé cette hypothèse chez 20 jeunes adultes et 24 hommes âgés. Après l'infusion de 10 grammes d'acides aminés essentiels, les individus âgés ont démontré une faible augmentation de la synthèse musculaire protéique (0,08%) significativement inférieure par rapport à celle observée chez les jeunes adultes (0,13%), alors qu'aucune différence du taux de synthèse basal n'a été observée (Cuthbertson, Smith et al. 2005). Deux études plus récentes (Pennings, Groen et al. 2012, Yang, Breen et al. 2012) ont testé l'effet de différente dose de protéines sur la synthèse protéique d'individus âgés de 70 ans et plus. Yang et collaborateurs ont observé les effets de l'ingestion de breuvages contenant des doses de 10, 20 et 40 grammes de protéines de petit-lait sur la synthèse protéique musculaire de jeunes adultes par rapport à celle d'hommes âgés de 70 ans et plus

(Yang, Breen et al. 2012). Bien qu'une dose de 5 à 10 grammes de protéines ait été suffisante pour induire une augmentation de la synthèse protéique musculaire des jeunes adultes au-delà de l'état basal, 20g ont été nécessaire pour provoquer une augmentation similaire chez les hommes en santé âgés de 70 ans et plus. Une étude similaire a été réalisée par Pennings et collaborateurs dans laquelle ces auteurs ont testés l'effet de l'ingestion de breuvage contenant des doses similaires (10, 20, et 35 g) de protéines de petit-lait sur la synthèse protéique chez des hommes en santé âgés en moyenne de 73 ans (Pennings, Groen et al. 2012). Leurs résultats indiquent également une dose requise de 20 grammes de protéines pour obtenir une stimulation significative de la synthèse protéique dans cette population.

### 1.2.3. Recommandations quotidiennes de l'apport en protéines

La résistance aux stimuli anaboliques provenant des acides aminés essentiels semblant affecter les individus âgés a soulevé plusieurs hypothèses quant à l'apport protéique optimal pour cette population (Pennings, Groen et al. 2012, Yang, Breen et al. 2012). Plusieurs chercheurs et cliniciens (Vellas, Hunt et al. 1997, Morais, Chevalier et al. 2006, Bauer, Biolo et al. 2013) remettent en question la recommandation actuelle de consommation de protéines provenant de l'organisation mondiale de la santé qui est établie à 0,8g/kgMC/j chez les jeunes adultes comme les

plus vieux (WHO 2008). En effets, certains résultats suggèrent que les besoins en protéines sont similaires chez les jeunes adultes et les aînés en santé (Fereday, Gibson et al. 1997, Rand, Pellett et al. 2003, Campbell, Johnson et al. 2008). Toutefois, ces résultats sont basés entièrement sur le bilan azoté de leurs participants et non sur l'apport optimal pour la préservation des fonctions physiologiques, tel la force musculaire. De plus, la recommandation actuelle de consommation en protéines chez les individus âgés de l'organisation mondiale de la santé est fondée principalement sur les résultats de Rand et collaborateurs (Rand, Pellett et al. 2003). Ceux-ci proviennent de données composées du bilan azoté provenant de 235 participants dont 94% étaient âgés de 40 ans et moins. Ces résultats ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs des besoins réels de la population âgée.

Par ailleurs, de nombreuses études démontrent que les individus âgés pourraient bénéficier d'un apport protéique supérieur à celui recommandé aux jeunes adultes (Vellas, Hunt et al. 1997, Katsanos, Kobayashi et al. 2005, Paddon-Jones and Rasmussen 2009, Benton, Wagner et al. 2010, Omura 2010, Lemieux, Filion et al. 2013). Par conséquent, les chercheurs du milieu clinique ont proposé de nouvelles recommandations concernant l'apport optimal en protéines pour les individus âgés.

Morais et collaborateur ont analysé les résultats de multiples études portant sur le bilan azoté d'individus âgés en santé et d'individus âgés frêles (Morais, Chevalier et al. 2006). Ces auteurs concluent qu'un apport protéique se situant entre 1,0 et 1,3 g/kgMC/j serait préférable afin d'atténuer les pertes de force et de masse musculaires

chez cette population. Ce constat est particulièrement vrai chez les individus frêles, qui sont plus susceptibles de souffrir de malnutrition et de sarcopénie. Suite à une étude longitudinale de 10 ans chez 304 individus en santé et âgés de 60 ans et plus, Vellas et collaborateurs proposent une consommation de protéines de 1,2 g/kgMC/j puisque cette dernière est associée à une réduction des problèmes de santé en comparaison avec la recommandation actuelle de 0,8 g/kgMC/j (Vellas, Hunt et al. 1997). Dans article plus récent, Omura avance également une proposition semblable en recommandant entre 1,0 et 1,2 g/kgMC/j de protéines chez les individus en santé âgée de 65 ans et plus (Omura 2010).

Finalement, l'EUGMS (European Union Geriatric Medicine Society), en collaboration avec divers chercheurs du domaine du vieillissement, ont récemment publié une position consensuelle sur la recommandation optimale de l'apport en protéines (Bauer, Biolo et al. 2013). Selon ce groupe, dans un but de maintien et de regain de la fonction musculaire, les individus âgés et en santé devraient consommer 1,2 g/kgMC/j de protéines. Les aînés souffrant de maladies chroniques pourraient eux avoir des besoins allant jusqu'à 1,5 g/kgMC/j, la seule exception à cette règle étant les individus souffrant de maladies rénales sévères.

#### 1.2.4. Habitudes alimentaires et stratégies nutritionnelles

Lors d'une étude épidémiologique récente, Tieland et collaborateurs ont analysé les habitudes alimentaires, en terme de consommation en protéines, chez plus de 700 individus âgés de 65 à 97 ans (Tieland, Borgonjen-Van den Berg et al. 2012). Leurs résultats indiquent un apport protéique moyen de 1,1 g/kgMC/j chez les aînés vivant dans la collectivité et de 0,8 g/kgMC/j chez ceux étant institutionnalisés. 10% des individus vivant en communauté et 35% des individus institutionnalisés avaient une consommation de protéines inférieure à la recommandation actuelle (0,8 g/kgMC/j).

Lors d'une étude similaire réalisée en 2003, Rousset et collaborateurs ont examinés les habitudes alimentaires de 137 personnes âgées de 65 à 75 ans (Rousset, Patureau Mirand et al. 2003). Leurs résultats révèlent une consommation moyenne de 1,2 g/kgMC/j. Parmi ceux-ci, 53% consommaient moins de 1,2 g/kgMC/j et 25% consommaient moins de 1 g/kgMC/j. Bien que ces données indiquent que seulement 10% de la population âgée consomme moins de 0,8 g/kgMC/j de protéines, elles soulignent que plus de la moitié des individus âgés (53%) consomme moins de 1,2 g/kgMC/j de protéines, ce dernier étant pourtant l'apport quotidien présentement recommandé par la communauté scientifique pour le maintien optimal de la fonction musculaire (Vellas, Hunt et al. 1997, Morais, Chevalier et al. 2006, Bauer, Biolo et al. 2013).

Dans une étude récente, Tieland et collaborateurs ont rapporté que les individus vivant en communauté consomment en moyenne 10g de protéines à l'heure du déjeuner, 27g à l'heure du dîner et 30g à l'heure du souper (Tieland, Borgonjen-Van den Berg et al. 2012). Les résultats de cette étude indiquent donc des apports protéiques distribués de façon disproportionnée tout au long de la journée. Bien qu'une grande partie des individus âgés semblent consommer une quantité adéquate de protéines au dîner et au souper, leur apport protéique au déjeuner est largement insuffisant pour une stimulation optimale de la synthèse protéique à ce moment de la journée. Considérant l'inefficacité relative d'une dose de protéines inférieure à 20 grammes sur la stimulation de la synthèse protéique musculaire chez les individus âgés (Yang, Breen et al. 2012), plusieurs chercheurs suggèrent une consommation en protéines plus importante lors du déjeuner (Breen and Phillips 2011, Bauer, Biolo et al. 2013).

Comme Breen et Phillips (Breen and Phillips 2011) le proposent, les individus âgés devraient consommer au minimum 20 g de protéines par repas, et ce trois fois par jour. Ces apports réguliers permettraient une stimulation optimale de leur synthèse protéique musculaire tout au long de la journée et donc de maintenir un état anabolique favorable au maintien de la force et de la masse musculaires (Pennings, Groen et al. 2012). Paddon-Jones et collaborateurs suggèrent quant à eux une consommation s'approchant de 30g de protéines par repas pour un individu de poids moyen (75kg) (Paddon-Jones and Rasmussen 2009).

Bien que les données spécifiques sur la provenance de l'apport protéique des individus âgés soient limitées, les résultats de Rousset et collaborateurs portant sur les données de 137 individus âgés en moyenne de 69 ans suggèrent une diminution de la consommation de viande en vieillissant, alors que la consommation de produit laitier demeurerait semblable (Rousset, Patureau Mirand et al. 2003). Ces deux sources majeures de protéines auraient un rôle primordial pour la synthèse protéique musculaire puisqu'elles contiennent toutes deux une proportion élevée d'acides aminés essentiels. Le lait et le bœuf, malgré un taux d'assimilation et une biodisponibilité des acides aminés différents, contiennent effectivement une proportion importante d'acides aminés essentiels ( $\approx 40\%$ ) par rapport à d'autres produits, tels les aliments ou breuvages à base de soja ( $\approx 20\%$ ).

Plusieurs études récentes se sont intéressées au rôle des aliments riches en acides aminés essentiels, tels que le bœuf et le lait, sur la synthèse protéique musculaire (Hartman, Tang et al. 2007, Wilkinson, Tarnopolsky et al. 2007, Phillips 2012). Les résultats de celles-ci soulignent l'importance de la source de l'apport protéique sur la préservation de la fonction musculaire. Entre autres, les résultats de Wilkinson et collaborateurs indiquent une augmentation plus importante de la synthèse protéique musculaire chez des jeunes adultes en santé consommant une dose de 18g de protéines à base de lait (0,10%) que d'autres consommant une dose égale de protéines à base de soja (0,07%) en réponse à un entraînement en résistance (Wilkinson,

Tarnopolsky et al. 2007). Phillips a présenté des résultats similaires suite à une étude chez des hommes d'âge moyen dans laquelle son laboratoire a comparé l'augmentation de la synthèse protéique musculaire en réponse à la consommation de 113g de bœuf et celle issue d'une consommation d'un produit à base de soja contenant une dose égale de protéines (Phillips 2012). La consommation de la dose de bœuf a entraîné une augmentation de la synthèse protéique musculaire de 0,031% contre une augmentation de 0,025% suite à la consommation du produit à base de soja. Ces résultats sont donc en accord avec les recherches récentes qui indiquent que les acides aminés essentiels sont des régulateurs importants de la stimulation de la synthèse protéique musculaire (Volpi, Kobayashi et al. 2003, Katsanos, Kobayashi et al. 2006).

Dans le but de vérifier si le type d'apport protéique influence la masse musculaire, Aubertin-Leheudre et collaborateurs ont comparé la masse musculaire de 21 omnivores et de 19 végétariennes d'âge moyen (Aubertin-Leheudre and Adlercreutz 2009). Malgré un apport protéique égal chez les deux groupes, leurs résultats indiquent une masse musculaire significativement plus importante chez les omnivores (23 kg) que chez les végétariens (18 kg). Ces données concordent donc avec celles des études mentionnées précédemment qui indiquent une plus importante augmentation de la synthèse protéique musculaire suite à l'ingestion de protéines de sources animales en comparaison à celle de sources végétales (Hartman, Tang et al. 2007, Wilkinson, Tarnopolsky et al. 2007, Phillips 2012).

Une consommation plus importante de protéines, c'est-à-dire au-delà de 1,2 g/kgMC/j, en favorisant plus spécifiquement celles provenant des produits laitiers et des viandes, serait donc une stratégie efficace pour contribuer au maintien de la fonction musculaire en vieillissant. Cette consommation devrait aussi être distribuée de façon proportionnée entre les repas afin d'assurer un taux élevé de synthèse protéique musculaire tout au long de la journée. De plus, la majorité des chercheurs et cliniciens, dont ceux du groupe PROT-AGE et de l'EUGMS (Bauer, Biolo et al. 2013), s'accordent sur le rôle conjoint et essentiel de l'activité physique pour le maintien de la masse et de la force musculaire chez la population âgée.

### 1.3. Le rôle de l'activité physique et de l'entraînement en résistance

#### 1.3.1. L'activité physique et le vieillissement

La pratique d'activités physiques est largement reconnue comme une stratégie efficace pour le maintien d'une multitude de fonctions physiologiques associées à une bonne santé générale (Paterson, Jones et al. 2007, Goodpaster, Chomentowski et al. 2008). En fait, la simple pratique d'activités physiques régulières (3 à 5 fois par semaine, 30 à 60 minutes par séance) d'intensité modérée peut ralentir

considérablement l'apparition de nombreuses conséquences indésirables du vieillissement, tel que la perte de fonction musculaire (Goodpaster, Chomentowski et al. 2008), l'accumulation de masse grasse (Goodpaster, Chomentowski et al. 2008), la diminution des capacités cardiorespiratoires (Paterson, Jones et al. 2007), les maladies chroniques (Paterson, Jones et al. 2007, Demakakos, Hamer et al. 2010) et même la mort (Gulsvik, Thelle et al. 2012).

*L'American College of Sports Medicine* recommandent de 30 à 60 minutes par jour structurée d'activité physique modérée ou de 20 à 30 minutes d'exercices d'intensité élevée par jour chez la population âgée pour le maintien des capacités musculaires, fonctionnelles et cardiovasculaires (Bouchard, Blair et al. 2007). Parmi ces activités, deux séances ou plus d'entraînement en résistance par semaine sont à recommander pour contrer la perte de fonction musculaire et augmenter la force musculaire. Dans une étude récente d'une durée de 12 mois chez des individus âgés de 70 ans et plus, en santé et sédentaires, Goodpaster et collaborateurs (Goodpaster, Chomentowski et al. 2008) ont analysé les effets d'un programme d'activité physique mixte d'intensité modérée, comprenant des exercices aérobiques, de force et de flexibilité sur la force musculaire. Alors que leurs résultats indiquent une perte de force musculaire significative chez les individus sédentaires du groupe contrôle, ils indiquent une préservation totale de la force musculaire chez les participants soumis au programme d'activité physique mixte.

### 1.3.2. L'entraînement en résistance chez les individus âgés

De nombreuses études ont montré l'efficacité de l'entraînement en résistance pour augmenter la force et la masse musculaires chez les individus âgés (Frontera, Meredith et al. 1988, Fiatarone, Marks et al. 1990, Candow, Chilibeck et al. 2006, Slivka, Raue et al. 2008, Candow, Chilibeck et al. 2011). Les recherches menées par Fiatarone et collaborateurs (Fiatarone, Marks et al. 1990) ainsi que celles de Frontera et collaborateurs (Frontera, Meredith et al. 1988) sont parmi les études pionnières sur le sujet. Ces recherches ont toutes deux utilisé un entraînement en résistance supervisé des membres inférieurs exclusivement, à raison de 3 séries de 8 répétitions à une intensité de 80% d'une répétition maximale. Les résultats de Fiatarone et collaborateurs indiquent des gains de force, mesurés par des évaluations d'une répétition maximale, allant jusqu'à 156% suite à seulement 8 semaines d'entraînement en résistance (3 fois par semaine) chez des hommes frêles âgés de 86 à 96 ans (Fiatarone, Marks et al. 1990). Frontera et collaborateurs rapportent des résultats similaires qui indiquent une augmentation de force musculaire des extenseurs de la cuisse de 117% suite à 12 semaines d'entraînement en résistance (3 fois par semaine) chez des hommes en santé âgés entre 60 et 70 ans (Frontera, Meredith et al. 1988). Les résultats plus récents d'une étude semblable chez des hommes en santé de 80 à 82 ans de Slivka et collaborateurs indiquent une augmentation considérable, bien que plus modeste, de force musculaire (+41%),

mesurés par des évaluations d'une répétition maximale, suite à douze semaines d'entraînement en résistance (Slivka, Raue et al. 2008). Slivka et collaborateurs ont eux-aussi utilisé un entraînement en résistance supervisé des membres inférieurs exclusivement, mais cette fois-ci à raison de 3 séries de 10 répétitions à une intensité de 70% d'une répétition maximale. Dans une méta analyse récente portant sur les effets de l'entraînement en résistance chez les aînés, Stewart et collaborateurs rapportent des augmentations de force musculaire variant entre 38,8% et 156%, selon les interventions utilisées, la population d'étude et les méthodes d'évaluation (Stewart, Saunders et al. 2013).

Afin de mieux comprendre le rôle de l'entraînement en résistance sur la préservation de la fonction musculaire au cours du vieillissement, Candow et collaborateurs ont comparé la force et la masse musculaires d'individus âgés à celles de jeunes adultes actifs et en santé avant et après 22 semaines d'entraînement en résistance (Candow, Chilibeck et al. 2011). Avant l'intervention, la masse maigre et la force musculaire des jambes des individus âgés étaient respectivement de 9,2% et de 27,3% moindre comparativement au groupe de référence composé de jeunes adultes. Cet écart fût grandement réduit par l'entraînement en résistance, à la suite duquel les participants âgés ne présentaient plus qu'une différence de masse maigre et de force musculaires de 5,9% et 3,9%, respectivement, en comparaison avec les jeunes adultes en santé. Ces résultats indiquent qu'un entraînement en résistance régulier et soutenu, c'est-à-dire à raison d'au moins 3 fois par semaine, peut augmenter la force et la

masse musculaires des individus âgés à un niveau équivalent à celui de jeunes adultes en santé. L'importants gain de force musculaire par rapport au faible gain de masse musculaire, soulignent également l'importance de la qualité musculaire parmi les variables de la fonction musculaire. Ce mémoire s'intéressera toutefois davantage aux variables musculaires influencées par les stimulateurs de la synthèse protéique musculaire.

L'entraînement en résistance est l'intervention qui semble provoquer l'augmentation de synthèse protéique la plus importante dans les muscles squelettiques (Chesley, MacDougall et al. 1992, Yarasheski, Zachwieja et al. 1993, Phillips, Tipton et al. 1997, Kumar, Selby et al. 2009). Bien qu'il a été suggéré que l'entraînement en résistance pourrait à la fois augmenter les taux de synthèse et de dégradation protéiques (Frontera, Meredith et al. 1988), il est bien établi que cette intervention augmente la masse et la force musculaire, ce qui suggère une augmentation plus importante de la synthèse protéique par rapport à la dégradation. L'effet stimulateur de la synthèse protéique suite à l'entraînement en résistance s'enclenche durant la première heure post-exercice (Chesley, MacDougall et al. 1992, Biolo, Maggi et al. 1995, Dreyer, Fujita et al. 2006), et demeure actif durant 24 à 48 heures selon les individus et l'intensité de l'entraînement (Chesley, MacDougall et al. 1992, MacDougall, Gibala et al. 1995, Phillips, Tipton et al. 1997).

Par exemple, Phillips et collaborateurs ont mesuré les taux de synthèse et de

dégradation protéiques 3h, 24h et 48h suivant 8 séries d'un exercice en résistance aigu à 80% d'une répétition maximale chez de jeunes adultes (Phillips, Tipton et al. 1997). Leurs résultats indiquent un taux synthèse protéique augmenté de 112%, 65% et 34% lors des mesures prises 3h, 24h et 48h post-exercice, respectivement. Bien que le taux de dégradation protéique ait également été plus élevé, l'augmentation de celui-ci était inférieure à l'augmentation du taux de synthèse protéique (i.e. 31% et 18%, 3h et 24h post-exercice, respectivement). Dans l'ensemble, leurs résultats indiquent donc une balance protéique musculaire positive en tout temps pendant ces 48h. Des résultats comparables ont été obtenus par Kumar et collaborateurs chez des individus âgés en moyenne de 70 ans. Chez cette population, le taux de synthèse protéique a approximativement doublé sa valeur basale 2h post-exercice, lorsque l'intensité de l'exercice se situait entre 60 et 90% de la valeur d'une répétition maximale (Kumar, Selby et al. 2009).

#### 1.4. Les effets synergiques de l'entraînement et d'un apport protéique adéquat

##### 1.4.1. Effets sur la synthèse protéique musculaire

En prenant en compte les effets de la consommation d'acides aminés essentiels et de l'entraînement en résistance sur l'augmentation de la synthèse protéique musculaire,

il semble logique de combiner ces deux stimuli pour obtenir un effet optimal. Les recherches combinant ces deux stimulateurs de la synthèse protéique indiquent effectivement un effet synergique provoquant l'augmentation la plus importante de la synthèse protéique musculaire lorsque la consommation d'acide se fait post-exercice (Biolo, Maggi et al. 1995, Tipton, Ferrando et al. 1999, Borsheim, Tipton et al. 2002, Tipton, Elliott et al. 2004, Koopman, Wagenmakers et al. 2005, Elliot, Cree et al. 2006, Tipton, Elliott et al. 2007, Dreyer, Drummond et al. 2008, Breen and Phillips 2011). Tel que discuté antérieurement, les effets individuels de la consommation de protéines et d'une séance d'entraînement en résistance chez les individus âgés peuvent respectivement augmenter la synthèse protéique musculaire d'approximativement 150% et 100%. Les études ayant combiné ces deux stimuli importants de la synthèse protéique musculaire (exercice en résistance aigu suivi d'une ingestion de protéines de petit-lait) indiquent des augmentations variant entre 200% chez les individus âgés et 250% chez les jeunes adultes (Breen and Phillips 2013).

Certains auteurs ont émis l'hypothèse que l'ingestion d'acides aminés essentiels avant un entraînement en résistance pourrait prévenir l'état catabolique temporaire induit par celui-ci et donc améliorer l'effet stimulateur de l'exercice sur le turnover protéique (Fujita, Dreyer et al. 2009). Bien que les résultats de Fujita et collaborateurs indiquent que l'ingestion d'acides aminés et de glucides (respectivement 0,35 et 0,5 g/kg de masse maigre) pré-entraînement prévient en partie l'état catabolique

temporaire de l'exercice chez des jeunes adultes en santé, ils indiquent également une synthèse totale similaire au groupe contrôle après quelques heures (Fujita, Dreyer et al. 2009). Les auteurs concluent qu'un apport protéique adéquat avant un exercice n'augmente davantage pas la synthèse protéique musculaire post-exercices comparativement à un exercice en résistance seul.

De plus, bien qu'une consommation de 20 g de protéines post-entraînement apparaît être optimale pour l'augmentation de la synthèse protéique chez les jeunes adultes, il semble que les individus plus âgés pourraient bénéficier d'une consommation protéiques post-exercice pouvant aller jusqu'à 40g (Yang, Breen et al. 2012). Il semble donc qu'une ingestion de doses d'au moins 20g, mais potentiellement aussi élevée que 40 g de protéines, environ une heure suivant un entraînement de résistance, induise une augmentation optimale de la synthèse protéique musculaire chez les individus âgés.

#### 1.4.2. Effets de l'apport protéique sur les réponses musculaires induites par l'entraînement en résistance chez les hommes âgés

Bien que l'effet synergique de l'entraînement en résistance et de l'apport protéique sur la synthèse protéique musculaire soit maintenant largement reconnu par la

communauté scientifique, les résultats concernant les effets concrets de la combinaison de ces deux interventions sur la fonction musculaire demeurent peu conclusifs. Plusieurs études ont en effet analysé les effets d'un entraînement en résistance combiné à une supplémentation en protéines sur la force et la masse musculaires (Verdijk, Jonkers et al. 2009, Kim, Suzuki et al. 2012, Leenders, Verdijk et al. 2012, Tieland, Dirks et al. 2012, Chale, Cloutier et al. 2013). Parmi ceux-ci, Leenders et collaborateurs ont étudié les effets d'un entraînement en résistance de 24 semaines chez 60 individus âgés recevant, ou non, une supplémentation en protéine de petit-lait de 15 grammes par jour (Leenders, Verdijk et al. 2012). Leurs résultats indiquent que le groupe recevant la supplémentation et le groupe placebo ont eu des augmentations similaires de force (43% et 42% respectivement) et de masse musculaires de la jambe (3% pour les deux groupes). Des résultats comparables ont été obtenus par Chalé et collaborateurs avec une dose plus importante de protéines (Chale, Cloutier et al. 2013). Lors d'une étude interventionnelle récente, Chalé et collaborateurs ont investigué les effets d'un entraînement en résistance de 3 séances par semaine jumelé, ou non, à une supplémentation en protéines de petit-lait de 40g par jours pendant 6 mois chez 80 individus sédentaires âgés de 70 à 85 ans (Chale, Cloutier et al. 2013). Leurs résultats n'indiquent aucune différence significative entre l'augmentation de force et de masse musculaires chez le groupe recevant une supplémentation en protéines (21% et 1,3%) et le groupe de contrôle (17% et 0,6%), respectivement.

Les résultats de certains chercheurs sont toutefois contradictoires avec ceux présentés précédemment et indiquent une différence des bénéfices liés à l'entraînement entre les groupes supplémentés et ceux recevant un placebo, notamment chez des individus ayant déjà un certain déficit musculaire (Kim, Suzuki et al. 2012, Tieland, Dirks et al. 2012). Tieland et collaborateurs ont comparé les augmentations de force musculaire et de masse maigre suite à un entraînement en résistance de 24 semaines (2 séances par semaine) chez 62 individus âgés en moyenne de 78 ans et frêles recevant, ou non, une supplémentation de 15 grammes de protéines de petit-lait deux fois par jours (déjeuner et dîner, soit 30 g/j) (Tieland, Dirks et al. 2012). Bien que leurs résultats n'indiquent aucune différence significative entre les groupes en ce qui concerne l'augmentation de la force musculaire, les augmentations de masse maigre se sont révélées être significativement supérieures chez le groupe recevant une supplémentation en protéines (2,75%) que chez le groupe de contrôle (-0,65%). Des résultats similaires ont été observés par Kim et collaborateurs avec un échantillon de 77 femmes sarcopéniques âgées de 75 ans et plus participant à 2 séances d'entraînement en résistance par semaine et recevant, ou non, une supplémentation de 6 grammes d'acides aminés essentiels enrichie en leucine pendant trois mois (Kim, Suzuki et al. 2012). Leurs résultats indiquent une augmentation supérieure de la force (9,3%) et de la masse musculaire (3,1%) chez les femmes recevant la supplémentation par rapport à celles du groupe de contrôle (4,3% et 2,4%) respectivement.

Une méta-analyse récente des études antérieures sur le sujet suggère qu'une supplémentation en protéines pourrait bel et bien renforcer les effets bénéfiques d'un entraînement en résistance, autant chez les jeunes adultes que chez les individus âgés (Cermak, Res et al. 2012). Celle-ci a intégré des données de 22 études cliniques, incluant 680 participants pour arriver à cette conclusion. Selon les résultats de cette méta-analyse, une supplémentation en protéines lors d'un entraînement en résistance chez les individus âgés de plus de 50 ans pourrait augmenter leurs gains de force et de masse musculaires post-entraînement de l'ordre de 33% et 38%, respectivement.

Malgré les nombreuses études ayant examiné les effets d'une supplémentation en protéines sur les effets d'un entraînement en résistance, le rôle de l'apport protéique initial, issu des habitudes alimentaires quotidiennes des participants ne semblent pas avoir fait l'objet d'études à ce jour. Il est probable qu'une supplémentation en protéines n'ait seulement des effets bénéfiques chez les individus âgés ayant un manque à ce niveau. Les individus âgés consommant déjà une quantité optimale en protéines, c'est-à-dire au-delà de 1,2 gramme par kilogrammes de masse corporelle par jour, ne devraient donc pas bénéficier significativement d'une supplémentation en protéines lors d'un entraînement en résistance, contrairement aux aînés ayant un déficit à cet égard. En ce sens, il apparaît important de comprendre le rôle de l'apport protéique provenant de l'alimentation normale des aînés avant d'émettre des conclusions sur l'effet d'une supplémentation en protéines ou d'autres stratégies interventionnelles similaires.

### 1.5. Objectifs

Les principaux objectifs de ce mémoire sont d'examiner l'impact de 1) l'apport protéique initial et 2) l'évolution de cet apport protéique sur la réponse musculaire (augmentation de force et de masse musculaires) des hommes âgés de 70 ans et plus en réponse à un entraînement en résistance de 12 semaines.

### 1.6. Hypothèses

Nous émettons l'hypothèse générale selon laquelle les participants ayant un apport protéique initial au-delà de 1.2 grammes par kilogrammes de poids corporel par jour (g/kgMC/j) bénéficieront de plus importants gains de force et de masse musculaires que ceux consommant moins de 1.1 g/kgMC/j. Nous émettons également l'hypothèse que les participants qui augmenteront leur apport protéique au cours de l'intervention auront de plus importants gains de force et de masse musculaires suite à l'entraînement que ceux conservant ou diminuant leur consommation habituelle et que ces gains musculaires seront d'autant plus importante chez les participants ayant une faible consommation protéique initiale.

## CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

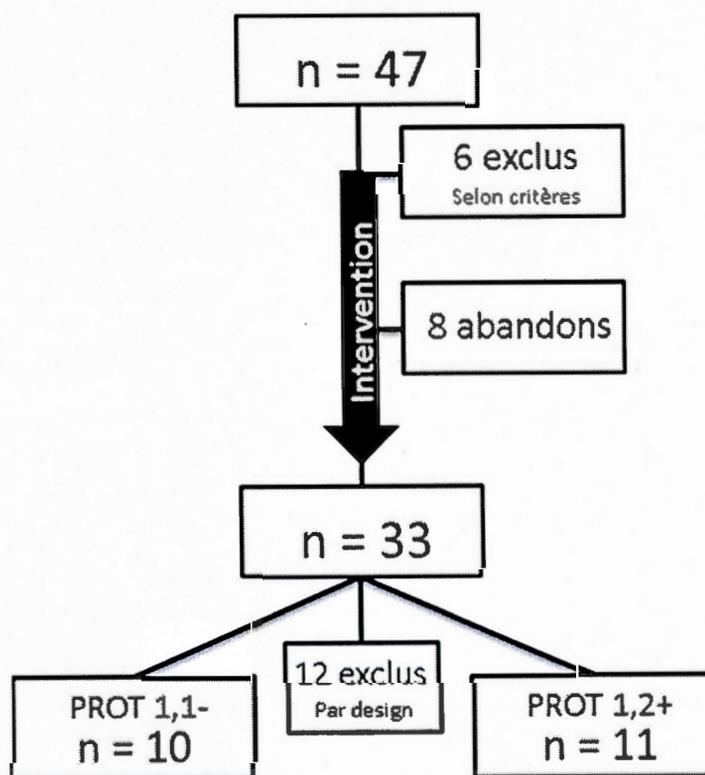
#### 1.1 Vue d'ensemble

Ce projet est une étude « pilote » de type interventionnelle dont le but est d'examiner le rôle de l'apport protéique sur la fonction musculaire des hommes âgés de 70 ans et plus en réponse à un entraînement en résistance de 12 semaines. Celle-ci s'est déroulée en 4 phases : 1) recrutement des participants, 2) prises de mesure pré-intervention, 3) entraînement en résistance de 12 semaines et 4) prises de mesure post-intervention.

#### 2.2. Recrutement des participants

Dans le cadre de ce projet de recherche, 47 hommes âgés de 70 ans et plus issus de la communauté ont volontairement accepté de participer à un entraînement de 12 semaines. Parmi ceux-ci, 6 participants ont été exclus selon les critères d'exclusions présentés ci-dessous et 8 participants n'ont pas complété les 12 semaines d'entraînement. Sur les 33 participants restant, 12 ont été exclus des analyses pour

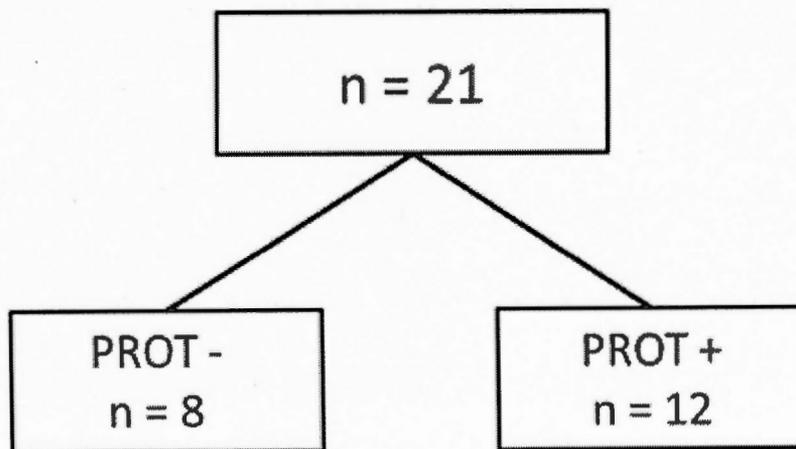
avoir une consommation de protéines se situant entre 1,1 et 1,2 g/kgMC/j, 10 ont été placés dans le groupe consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et 11 ont été placés dans le groupe consommant plus de 1,2 g/kgMC/j (PROT 1,2+). Le processus de recrutement est représenté dans la **figure 2.1**.



**Figure 2.1** Processus de recrutement des participants

Lorsque nous avons voulu répondre à notre seconde hypothèse, nous avons re-divisé les 21 participants de l'étude en 2 groupes. Les participants ayant conservé ou diminué leur consommation de protéines lors de l'entraînement de 12 semaines ont

été placés dans le groupe PROT- alors que ceux l'ayant augmenté ont été placés dans le groupe PROT+ (figure 2.2).



**Figure 2.2 Formation des groupes selon leur changement d'apport protéique au cours de l'entraînement de 12 semaines.**

Les participants ont été recrutés par divers moyens : distribution de pamphlets, disposition d'affiches informatives et promotionnelles dans des maisons de retraite, association pour personnes âgées et centres communautaires. Puisque la participation au projet de recherche nécessitait trois déplacements par semaine au département de kinanthropologie de l'Université du Québec à Montréal, les participants recrutés provenaient de la communauté de la région de Montréal et alentours, Québec Canada. La collecte de données a été réalisée dans le département de kinanthropologie de l'Université du Québec à Montréal

Critères d'inclusion : 1) être âgé de 70 ans et plus, 2) avoir un indice de masse corporelle compris en 18 et 30 kg/m<sup>2</sup>, 3) être disponible pour les différentes visites d'évaluation et pendant les 12 semaines d'entraînement.

Critères d'exclusion : 1) présence de restrictions physiques ou de maladies chroniques pouvant nuire à la complétion d'un entraînement en résistance, 2) participation à un entraînement en résistance ou activités similaires lors des six derniers mois, 3) être fumeur, 4) avoir une consommation excessive d'alcool (plus de 2 consommations par jour, en moyenne), 5) être frêle ou pré-frêle selon les critères de Fried et al. (Fried, Tangen et al. 2001), 6) être atteint d'une déficience cognitive et 7) être sous certaines médications (i.e. prise de statines ou de traitements hormonaux).

### 2.3. Aspects éthiques

Tous les participants ont signé un formulaire de consentement (Appendice C) avant leur participation à l'étude. Cette dernière a été approuvée par le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Montréal (Appendice B)

#### 2.4. Devis expérimental

Lors du premier contact, par téléphone ou par courriel, les participants potentiels étaient informés en détail des modalités de l'étude. Plusieurs questions ont été posées aux candidats afin de vérifier leur éligibilité. Une fois celle-ci confirmée, une première visite d'évaluation pré-entraînement était planifiée avec le participant. Pour cette visite, les participants ont été invités à se présenter au département de kinanthropologie de l'Université du Québec à Montréal. Les évaluateurs et les participants étaient en double aveugle en ce qui concerne l'apport protéique des sujets. Suite à celle-ci, l'entraînement était prévu à raison de 3 séances par semaine pendant 12 semaines. À la suite de cette période, les participants ont été invités à se présenter à une visite post-entraînement identique à la première. Ces étapes ont été répétés à 3 reprises (hiver 2013, automne 2014 et hiver 2014) afin d'obtenir le nombre de participants nécessaire. L'échéancier du projet est décrit dans le tableau 2.1 et les activités lors des visites et la période d'entraînement sont résumées dans le tableau 2.2.

Tableau 2.1 Échéancier du projet de recherche

Automne 2012															
Septembre				Octobre				Novembre				Décembre			
Demande éthique								Recrutement							

Hiver 2013															
janvier		février				mars				avril				Mai	
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Visite 1		Entrainement en résistance (12 semaines)												Visite 2	
Recrutement des participants															

Automne 2013															
Août		Septembre				octobre				novembre				décembre	
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Visite 1		Entrainement en résistance (12 semaines)												Visite 2	
Recrutement des participants															

Hiver 2014															
janvier		février				mars				avril				Mai	
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Visite 1		Entrainement en résistance (12 semaines)												Visite 2	

**Tableau 2.2 Résumé des activités au cours des visites et de l'entraînement**

Semaine 1	
Visite 1	<p>Vérification des critères d'inclusion et d'exclusion</p> <p>Révision du formulaire de consentement et signature</p> <p>Mesures anthropométriques</p> <p>Mesure de la force de préhension</p> <p>Analyse de la composition corporelle par DEXA</p> <p>Instructions pour le port des brassards SenseWear pendant 7 jours</p> <p>Instructions pour la complétion des journaux alimentaires de 3 jours</p>
Semaine 2	
Entraînement	Apprentissage et familiarisation du programme d'entraînement
Semaine 1	Retour des brassards SenseWear et des journaux alimentaires
Semaine 3	
Entraînement	Évaluations d'une répétition maximale des participants
Semaine 2	Ajustement des charges d'entraînement à 70% d'une répétition maximale (1-RM)
Semaines 4 à 6	
Entraînement	Entraînement normal à raison de 3 fois par semaine

Semaine 3 à 5	
Semaine 7	
Entraînement Semaine 6	<p>Évaluations d'une répétition maximale des participants</p> <p>Ajustement des charges d'entraînement à 70% du 1-RM</p> <p>Port des brassards SenseWear pendant 3 jours</p> <p>Complétion des journaux alimentaires de 3 jours</p>
Semaines 8 à 12	
Entraînement Semaine 7 à 11	<p>Entraînement normal à raison de 3 fois par semaine</p> <p>Retour des brassards SenseWear et des journaux alimentaires</p>
Semaine 13	
Entraînement Semaine 12	<p>Évaluations d'une répétition maximale des participants</p> <p>Port des brassards SenseWear pendant 7 jours</p> <p>Complétion des journaux alimentaires de 3 jours</p>
Semaine 14	
Visite 2	<p>Mesures anthropométriques</p> <p>Mesure de la force de préhension</p> <p>Analyse de la composition corporelle par DEXA</p> <p>Retour des brassards SenseWear et des journaux alimentaires</p>

#### 2.4.1. Visites d'évaluation pré et post entraînement

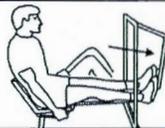
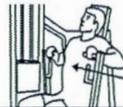
La première visite d'évaluation se déroulait au département de kinanthropologie de l'Université du Québec à Montréal. Dans un premier temps, le formulaire de consentement (Appendice C) était lu et expliqué clairement au participant. Une fois le participant bien informé des modalités de l'étude, le formulaire de consentement était signé par les deux partis. Par la suite, les mesures anthropométriques, de composition corporelle et de force musculaire étaient réalisées. À la fin de cette rencontre, le participant recevait l'équipement et les instructions nécessaires à la réalisation de son journal alimentaire et au port du brassard *SenseWear*. Ces mesures et évaluations étaient réalisées une deuxième fois à la fin de l'entraînement.

#### 2.4.2. Entraînement en résistance

La durée de l'entraînement en résistance était de 12 semaines, à raison de 3 fois par semaine, soit les lundis, mercredis et vendredis. L'efficacité d'une telle charge d'entraînement sur l'augmentation de la force musculaire a été démontrée par plusieurs auteurs chez les individus âgés (Frontera, Meredith et al. 1988, Slivka, Raue et al. 2008). Chaque séance d'entraînement était d'une durée d'une heure trente. Les participants devaient être présents pendant au moins 80% des séances d'entraînement. L'entraînement contenait dix exercices visant à développer principalement la force

musculaire, mais aussi les capacités fonctionnelles des participants. Les exercices réalisés lors des entrainements sont résumés dans le tableau 2.3 :

**Tableau 2.3 Résumé des exercices réalisés lors des entrainements**

1.	Développé assis des membres inférieurs (leg press)	
2.	Développé assis des membres supérieurs (chest press)	
3.	Flexion de la jambe (leg curl)	
4.	Tirage dorsal avant (lateral pull down)	
5.	Flexion du coude (biceps curl)	
6.	Squat adossé sur ballon suisse	
7.	Rotation externe du bras	
8.	Montée de l'escalier avec ou sans poids	
9.	Exercice de posture et d'équilibre sur ballon suisse	
10.	Exercice de posture et d'équilibre au sol	

Pour chaque exercice, les participants devaient accomplir une série d'échauffements, c'est-à-dire 10 répétitions à 55% de leur force maximale, puis deux séries de travail à 70% de leur force maximale. L'efficacité de cette intensité d'entraînement sur l'augmentation de la force musculaire a été démontrée lors d'études antérieures (Slivka, Raue et al. 2008, Candow, Chilibeck et al. 2011). Chaque série était entrecoupée d'une minute de repos. Les participants devaient respecter un tempo d'une seconde lors de la phase concentrique et de 2 secondes lors de la phase excentrique. Ce tempo a été mis en place afin de favoriser les gains en force et en puissance musculaires.

La première semaine d'entraînement était une période de familiarisation au programme d'entraînement en résistance. Lors de celle-ci les participants recevaient les informations techniques pour bien accomplir les exercices sans se soucier de la charge d'entraînement. Lors de la première séance de la deuxième semaine, les évaluations de la force maximale (1RM) étaient réalisées pour les membres inférieurs. Dès les séances subséquentes, les charges étaient ajustées à une valeur équivalente à 70% du résultat obtenu lors des tests de force maximale. Cet ajustement fût réalisé de nouveau suite à une seconde évaluation de la force maximale (1RM) à la sixième semaine. De plus, les charges des participants étaient progressivement augmentées tout au long de l'entraînement selon leurs capacités individuelles. Finalement, une troisième évaluation de la force maximale (1RM) a été réalisée lors de la dernière séance d'entraînement afin de mesurer les gains de force musculaire

des participants.

## 2.5. Collecte et analyses des données expérimentales

### 2.5.1. Détermination des données anthropométriques

Dans un premier temps, des mesures anthropométriques ont été prises pour chaque participant. La taille a été mesurée à l'aide d'un stadiomètre fixé à un mur. Les mesures de taille ont été prises en centimètres et arrondies à 0.5 cm près (SECA 217, Seca inc., United Kingdom). La masse corporelle a ensuite été mesurée en kilogramme par balance électronique (GFK Floor Check Weighing Scale, Adam Equipment Inc., Danbury CT). Ces mesures ont été effectuées selon des méthodes standardisées : les participants étaient pied nus, déchaussés et en tenue légère (Norton and Olds 2000). À l'aide de ces deux mesures, l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé a été calculer comme suit :  $\text{masse corporelle (kg)} / \text{taille (m)}^2$ .

Les circonférences de taille et de cuisses ont été mesurées à l'aide d'un ruban à mesurer standard, alors que le participant était debout selon une procédure standard (Norton and Olds 2000). Ces mesures ont été prises en centimètres et arrondies au 0.5 centimètre près.

### 2.5.2. Mesure de la composition corporelle

La masse maigre et la masse grasse de tous les participants ont été mesurées en pourcentage et en kilogramme par la technique d'imagerie par absorption bi-photonique à rayons X (DEXA) grâce au logiciel Prodigy (enCORE version 12.30, General Electric Corporation Lunaire, Madison WI). Cette méthode a été validée et est considérée comme référence pour la mesure de la composition corporelle (Visser, Fuerst et al. 1999). Les participants étaient allongés sur le dos, pieds nus et vêtus d'une tenue de sport. Ceux-ci devaient rester immobiles tandis qu'un faisceau de rayons X à faible densité balayait son corps pendant 5 à 10 minutes. L'appareil a été calibré quotidiennement à l'aide d'un fantôme correspondant à une quantité de masse grasse étalon et le coefficient de corrélation intra-classe et de test-retest pour la masse grasse et la masse maigre était de 0,99 ( $p < 0,01$ ) chez 18 sujets. Le coefficient de variation dans notre laboratoire était de 1,1 pour la masse grasse et 0,9 pour la masse maigre.

### 2.5.3. Mesure de la force musculaire maximale

Afin de comptabiliser les gains en force suite à l'entraînement, nous avons mesuré les forces maximales de préhension, des membres inférieurs et supérieurs. La force maximale de préhension a été mesurée par un dynamomètre de main à poignée

ajustable (Lafayette Instrument, USA). Cette méthode a été validée pour la mesure de la force de préhension (Mathiowetz, Weber et al. 1984). Pour cette mesure, les participants devaient se tenir debout et tenir l'appareil le long de leur corps pendant qu'ils appliquaient la force sur celui-ci. Afin d'obtenir la donnée représentant la force maximale, nous avons demandé à chaque participants de réaliser trois essais pour chaque main. Nous avons ensuite conservé le score maximal pour chaque main.

Des évaluations d'une répétition maximale (1RM) ont été utilisées afin d'évaluer la force maximale des membres inférieurs et supérieurs. Cette méthode d'évaluation de la force a été validée (Verdijk, van Loon et al. 2009). Ces évaluations ont donc été réalisées sur les exercices de développé assis pour les membres inférieurs (leg press). Des ajustements individuels ont été réalisés pour cet exercice. Ces ajustements ont été réutilisés lors des évaluations post-entraînement. Chaque participant a dû réaliser une série d'échauffement avant d'entamer l'évaluation. Un temps de repos de trois minutes devait être respecté entre l'échauffement et chaque essai à ces tests. Un maximum de cinq essais étaient alloués afin d'éviter la fatigue musculaire. Lorsque la force maximale n'était pas trouvée lors de ces 5 essais, l'évaluation d'une répétition maximale devait être reprise la séance suivante. Les valeurs absolues et relatives (poids soulevés par kilogramme de masse corporelle) ont été utilisées pour les analyses.

La force des extenseurs du genou a été évaluée grâce à un test de force isométrique volontaire maximal. Les participants étaient en position assise et stabilisés à l'aide d'une ceinture sur une chaise conçue à cet effet. Une fois leur jambe droite fixée à une cellule de force et immobilisée à un angle de 60 degrés à partir d'une extension complète, ceux-ci devaient réaliser une contraction volontaire maximale avec une minute entre chaque essai. Le meilleur de 3 essais a été conservé. La fiabilité de cette méthode pour la mesure de la force maximale des extenseurs du genou chez les individus âgés a été démontrée auparavant (Rantanen, Era et al. 1994).

#### 2.5.4. Calcul de l'index de qualité musculaire

Comme il a été mentionné auparavant, plusieurs études ayant investigué les effets d'un entraînement en résistance chez les individus âgés rapportent une augmentation de force musculaire supérieur à l'augmentation de la masse musculaire (Slivka, Raue et al. 2008, Candow, Chilibeck et al. 2011). Les résultats obtenus par ces diverses études suggèrent donc l'influence d'un certain niveau de qualité du tissu musculaire. Afin de mesurer celui-ci, nous avons calculé un index de qualité musculaire en utilisant la force maximale développée lors de l'évaluation d'une répétition maximale pour les membres inférieurs. Comme il a été réalisé antérieurement (Newman, Haggerty et al. 2003, Goodpaster, Park et al. 2006), cette force musculaire, mesurée

en kilogramme, a été divisée par la masse maigre, aussi exprimée en kilogramme, pour chaque participant afin d'obtenir l'index de qualité musculaire comme suit :

Index de qualité = Poids soulevé avec les membres inférieurs (kg) / Masse maigre de la jambe (kg)

#### 2.5.5. Puissance musculaire

Un index de puissance musculaire a été calculé grâce à l'équation de Takai et collaborateurs à l'aide d'un test « sit-to-stand » (Takai, Ohta et al. 2009). Les participants devaient se lever d'une chaise standard puis s'asseoir 10 fois de suite le plus rapidement possible. Les participants devaient être en extension complète du tronc lors de la station debout tandis que leurs fesses devaient appuyer sur la chaise lors de la phase assise. Le temps était enregistré à l'aide d'un chronomètre permettant une précision au dixième de seconde. Ce test débutait lorsque l'examineur disait « Go » et se terminait lorsque le participant se retrouvait debout pour la dixième fois. L'index de puissance musculaire a été calculé selon le temps enregistré pour ce test grâce à l'équation suivante :

$$\text{Puissance} = ((L - 0,4) * \text{masse corporelle} * g * 10) / \text{Temps pour accomplir 10}$$

répétitions

Dans cette équation,  $0,4$ ,  $L$  et  $g$  représente la hauteur de la chaise (m), la longueur de la jambe (m) et l'accélération gravitationnelle ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ), respectivement.

### 2.5.6. Évaluation des capacités fonctionnelles

Afin d'évaluer les capacités fonctionnelles, les participants devaient passer une batterie de tests (test de l'escalier, de la chaise, de la vitesse de marche, de l'équilibre et du « Stand-up and go ») basée sur le Short Physical Performance Battery (Guralnik, Branch et al. 1989). Il s'agit de tests validés ayant démontré leurs intérêts dans le cadre de plusieurs études évaluant la capacité fonctionnelle des personnes âgées (Guralnik, Branch et al. 1989, Newman, Haggerty et al. 2003, Bouchard, Dionne et al. 2009).

- Test de l'escalier

Ce test consiste en un *tapping* alternatif des pieds (seulement toucher la marche et monter dessus) sur une marche de 20 cm de hauteur. Les participants devaient réaliser un maximum de « touches » en 20 secondes.

- Test de la chaise assis-debout

Ce test consiste à se lever et à s'asseoir 10 fois le plus rapidement possible sans s'aider avec les bras (bras croisés sur le torse). Le temps était enregistré à l'aide d'un chronomètre. Tel que mentionné auparavant, le résultat de ce test a également été utilisé pour le calcul d'un index de puissance musculaire.

- Test de vitesse de la marche

Les participants devaient marcher le long d'un court trajet de 4 mètres à son rythme de marche habituel. Le temps était enregistré à l'aide d'un chronomètre et sera exprimé en  $m.s^{-1}$ . Une vitesse de marche inférieure à  $1 m.s^{-1}$  est considérée comme un problème fonctionnel (Cesari, Kritchevsky et al. 2005). Les participants devaient ensuite réaliser ce test une seconde fois avec la marche la plus rapide possible.

- Test du « Stand-up and go »

À partir de la position assise sur une chaise standard, les participants devaient se lever (sans utiliser les bras), marcher une distance de 4 mètres puis revenir s'asseoir sur la

chaise. Ce test était réalisé à 2 reprises : la première à une vitesse de marche habituelle et la seconde à la vitesse de marche la plus rapide possible. Le temps était enregistré à l'aide d'un chronomètre.

- Test d'équilibre sur une jambe

Les participants devaient se tenir sur une jambe (puis l'autre) en équilibre durant un maximum de 60 secondes. Le test prenait fin avant le temps maximal si le sujet bougeait son pied d'appui ou si le pied opposé touchait le sol.

#### 2.5.7. Détermination de l'apport protéique et des autres nutriments

Tous les participants ont reçu une balance alimentaire ainsi que des instructions détaillées pour la complétion d'un journal alimentaire. La diète de chaque participant a donc été enregistrée en détail pendant 3 jours consécutifs, incluant une journée de fin de semaine. Il a été démontré que ce type de journal alimentaire de 3 jours est valide pour estimer les apports alimentaires chez les individus âgés sans déficience cognitive (Luhrmann, Herbert et al. 1999). Les participants ont complété un journal alimentaire à 3 reprises, soit avant, pendant et après les 12 semaines d'entraînement en résistance.

Ces journaux ont ensuite été analysés en utilisant le logiciel Candat System software (version 8.0; Candat, London, Ontario, Canada) pour déterminer la consommation de protéines, l'apport calorique et la consommation de chacun des autres nutriments. Nous avons ensuite utilisé l'apport protéique relatif (apport protéique en gramme divisé par la masse corporelle) pour diviser les participants en deux groupes. Les participants ayant une consommation protéique de 1,2 g par kg de masse corporelle par jours (g/kgMC/j) ou plus ont été classés dans le groupe PROT 1.2+ tandis que ceux ayant une consommation de 1,1 g/kgMC/j ou moins ont été classés dans le groupe PROT 1.1-.

#### 2.5.8. Mesure de l'activité physique et de la dépense énergétique totale

L'activité physique et la dépense énergétique totale ont été mesurées à l'aide du brassard SenseWear. Celui-ci est un appareil portable qui comprend un accéléromètre bi-axial et des senseurs physiologiques mesurant la température corporelle. Ces données sont intégrées en considérant l'âge, le sexe, la taille et le masse corporelle afin de fournir une estimation de la dépense énergétique totale ainsi que de la dépense énergétique liée à l'activité physique du participant. L'appareil a été porté par chaque participant sur l'arrière du triceps, pendant sept jours consécutifs. Les participants devaient porter le brassard en tout temps, jour et nuit, à l'exception des moments

durant lesquels ils étaient en contact avec de l'eau (douche, piscine, etc.) Ceux-ci devaient également tenir un registre des jours pendant lesquels ils ont porté l'appareil ainsi que de l'heure à laquelle ils allaient au lit et se levaient lors de ces jours. Ces instructions ont été données à l'oral et à l'écrit à tous les participants. Le port du brassard SenseWear a été validé comme méthode fiable d'estimation de la dépense énergétique chez les individus âgés en santé (Colbert, Matthews et al. 2011).

## 2.7. Méthodes d'analyse statistique des résultats

Les analyses statistiques ont été réalisées à partir du logiciel SPSS (version 17,0 ; SPSS inc., Chicago, IL USA). En se référant à l'étude de Tieland et al. (Tieland *et al.* 2012) selon l'équation de Cohen (Cohen 2008), le nombre de participants nécessaire afin d'observer des différences significatives de nos variables principales (masse et force musculaire) chez notre population étaient de 4 et de 13, respectivement, pour une puissance de 0,90 et un risque alpha de 0,05. (Des statistiques descriptives (moyenne, déviation standard, minimum et maximum) ont été utilisées afin de présenter les caractéristiques des participants. Des tests-t indépendants ont été utilisés pour évaluer les différences entre les groupes avant l'entraînement de 12 semaines. Afin de vérifier notre première hypothèse, des tests-t appariés ont été utilisés pour évaluer les changements induits par l'entraînement dans chacun des deux groupes

individuellement. Un modèle linéaire généralisé à mesures répétées a ensuite été utilisé pour vérifier l'effet de l'intervention sur le groupe, puis des tests-t indépendants ont été utilisés pour vérifier les différences de changements induits par l'entraînement dans les deux groupes. Nous avons également utilisé un modèle linéaire généralisé à mesures répétées et des tests-t indépendants pour investiguer les différences de changement induits par l'entraînement dans le cadre de notre seconde hypothèse.

## CHAPITRE III

### RÉSULTATS

#### 3.1. Caractéristiques physiologiques et nutritionnelles des participants avant l'entraînement

Afin d'examiner l'impact de l'apport protéique sur la réponse musculaire des hommes âgés en réponse à un entraînement en résistance de 12 semaines, nous avons dans un premier temps déterminé leurs caractéristiques physiologiques et nutritionnelles basales (i.e. pré-entraînement). Les **tableaux 3.1 et 3.2** présentent les résultats que nous avons obtenus avant l'entraînement en résistance de 12 semaines entre le groupe PROT 1,1- et le groupe PROT 1,2+. Par devis expérimental, l'apport protéique ( $1,03 \pm 0,06$  vs  $1,39 \pm 0,15$  g;  $p = < 0,01$ ) et l'apport en acides aminés essentiels ( $0,35 \pm 0,06$  vs  $0,46 \pm 0,05$  g;  $p = < 0,01$ ) des deux groupes étaient significativement différents (**tableau 3.1**). Il est important de noter que le groupe PROT 1,2+ présentait également un apport glucidique ( $242 \pm 56$  vs  $321 \pm 77$  g;  $p = 0,018$ ) et un apport énergétique total ( $2180 \pm 157$  vs  $2695 \pm 578$  g;  $p = 0,015$ ) significativement supérieurs au groupe PROT 1,1-. Malgré des apports protéiques

significativement différents entre les deux groupes, leur apport protéique exprimé en fraction de leur apport total en macronutriments ( $19,2 \pm 3,5$  vs  $19,9 \pm 2,8$  % ;  $p = 0,603$ ) était similaire. De plus, alors que la consommation en protéines lors du déjeuner était significativement différente entre nos deux groupes, ceux-ci ne présentaient aucune différence significative d'apport protéique lors du diner et du souper.

**Tableau 3.1 Caractéristiques nutritionnelles basales des participants**

Variables	PROT 1,1-	PROT 1,2+	Valeur
	n = 10	n = 11	<i>P</i>
Apport protéique (g/kgMC/j)	<b>1,03 ± 0,06</b>	<b>1,39 ± 0,15</b>	<b>&lt; 0,01</b>
Apport protéique (%)	19,2 ± 3,5	19,9 ± 2,8	0,603
Apport en AAE (g/kgMC/j)	<b>0,35 ± 0,06</b>	<b>0,46 ± 0,05</b>	<b>&lt; 0,01</b>
Apport en glucides (g)	<b>242 ± 56</b>	<b>321 ± 77</b>	<b>0,018</b>
Apport énergétique total (kcal)	<b>2180 ± 157</b>	<b>2695 ± 578</b>	<b>0,015</b>
Apport protéique du déjeuner (g)	<b>11,8 ± 7,5</b>	<b>21,3 ± 9,4</b>	<b>0,019</b>
Apport protéique du diner (g)	27,3 ± 14,0	31,9 ± 14,2	0,457
Apport protéique du souper (g)	33,7 ± 15,7	40,6 ± 11,3	0,266

Les valeurs présentées correspondent à la moyenne ± l'écart type. Les items en gras indiquent les différences significatives entre les groupes PROT1,1- et PROT1,2+ ( $p < 0,05$ ).

En ce qui concerne les caractéristiques physiologiques, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes avant l'intervention pour l'âge, la masse corporelle, l'IMC et les variables de la composition corporelle (i.e. masse grasse et masse maigre), de la fonction musculaire ou des capacités fonctionnelles que nous avons investiguées (**tableau 3.2**). Il est également intéressant de noter que, malgré une absence de différence significative, les capacités fonctionnelles du groupe PROT 1,1- semblent être, de façon générale, légèrement plus élevées avant l'intervention par rapport au groupe PROT 1,2+ (**tableau 3.2**).

**Tableau 3.2 Caractéristiques physiologiques de base des participants**

<b>Variabiles</b>	<b>PROT 1,1- n = 10</b>	<b>PROT 1,2+ n = 11</b>	<b>Valeur P</b>
Âge (années)	72,7 ± 3,2	72,9 ± 3,1	0,892
Taille (cm)	173,9 ± 6,5	169,2 ± 6,3	0,107
Masse corporelle (kg)	77,2 ± 12,7	75,3 ± 10,6	0,718
IMC (kg·m <sup>-2</sup> )	25,5 ± 3,6	26,3 ± 3,1	0,598
Masse maigre totale (kg)	54,8 ± 6,9	52,8 ± 4,4	0,432
Masse maigre appendiculaire (kg)	25,6 ± 3,5	25,0 ± 2,0	0,677
Masse maigre des jambes (kg)	19,5 ± 2,7	19,2 ± 1,6	0,739
Index de masse maigre (IMM) (kg/m <sup>2</sup> )	18,09 ± 1,45	18,48 ± 1,65	0,570
IMM appendiculaire (kg/m <sup>2</sup> )	8,43 ± 0,77	8,76 ± 0,72	0,326
Masse grasse totale (%)	24,2 ± 8,0	25,4 ± 7,6	0,729
Force de préhension (kg/kgMC)	0,515 ± 0,08	0,516 ± 0,11	0,989
Force des membres inférieurs (kg/kgMC)	1,683 ± 0,46	1,718 ± 0,41	0,527
Index de qualité musculaire (kg/kgMM)	6,645 ± 2,45	6,686 ± 1,40	0,405
Index de puissance musculaire	161,9 ± 39,6	147,6 ± 27,0	0,373
Test de marche 4m normal (s)	2,88 ± 0,43	2,95 ± 0,61	0,787
Test de marche 4m rapide (s)	1,87 ± 0,36	2,04 ± 0,40	0,323
« Timed-Up-and-Go » normal (s)	10,40 ± 1,73	10,20 ± 1,80	0,794
« Timed-Up-and-Go » rapide (s)	6,69 ± 0,95	7,15 ± 1,05	0,307
Test de la chaise (s)	19,93 ± 2,90	21,71 ± 3,88	0,256
Test de l'escalier (nb touches)	32,9 ± 4,9	29,0 ± 4,8	0,083
Équilibre sur la jambe droite (s)	44,1 ± 19,5	34,0 ± 21,5	0,270
Équilibre sur la jambe gauche (s)	43,8 ± 21,6	38,3 ± 16,1	0,516

Les valeurs présentées correspondent à la moyenne ± écart type. Les items en gras indiquent les différences significatives entre les groupes PROT1,1- et PROT1,2+ (p < 0,05).

Afin de déterminer les principaux prédicteurs de la force musculaire des membres inférieurs et de l'index de qualité musculaire avant l'entraînement, nous avons utilisé une régression linéaire pas à pas chez tous les participants. Pour la force musculaire des membres inférieurs, les variables incluses dans le modèle étaient l'apport protéique et en acides aminés essentiels (g/kgMC/j), la masse maigre totale, la masse maigre des jambes (kg) et la masse grasse total (%) des participants. Selon les études antérieures (Jankowski, Gozansky et al. 2008, Lemieux, Filion et al. 2013, Pisciotto, Pinto et al. 2014), ces variables semblent jouer un rôle important sur la force musculaire. Toutefois, aucune de ces variables ne semblait prédire la force musculaire des membres inférieurs dans ce modèle. En ce qui concerne l'index de qualité musculaire, nous avons inclus les mêmes variables auxquelles nous avons ajouté seulement la force musculaire des membres inférieurs. Nous avons observé une absence d'inter-corrélation entre les résidus ( $DW = 1,65$ ), démontrant que le modèle ne présentait aucune valeur aberrantes ( $h = -0,123$ ;  $d = -0,040$ ), aucun problème de multi-colinéarité entre les variables ( $VIF < 10$ ; tolérance = 1) et que les résidus étaient distribués normalement. Dans ce modèle, la force normalisée des membres inférieurs (73%), le pourcentage de masse grasse total (17%) et l'apport en acides aminés essentiels (3%) étaient des prédicteurs de l'index de qualité musculaire, expliquant 93% de la variance totale ( $r^2$  ajusté = 0,934; coefficients non standardisés:  $\beta = 4,027$ ; coefficients standardisés:  $\beta = 0,862$ ) (**tableau 3.3**).

**Tableau 3.3** Analyse de régression linéaire pas-à-pas

Var. Dép.		Var. Indépendante	R <sup>2</sup> partiel	R <sup>2</sup> cumulatif	Valeur $\beta$ standardisée	Valeur <i>P</i>
Qualité musculaire	1	Force des membres inférieurs (kg/kgMC)	0,728	0,743	0,862	< 0,001
	2	Masse grasse totale (%)	0,174	0,178	0,420	< 0,001
	3	Acides aminés essentiels (g/kgMC/j)	0,028	0,029	-0,171	0,013

Var. Dép. = Variable dépendante; Var. Indépendante = Variable indépendante

Les variables indépendantes insérées dans le modèle sont : force des membres inférieurs (kg/kgMC), apport protéique (g/kgMC/j), apport en acides aminés essentiels (g/kgMC/j), masse maigre totale (kg), masse maigre des jambes (kg) et masse grasse totale (%).

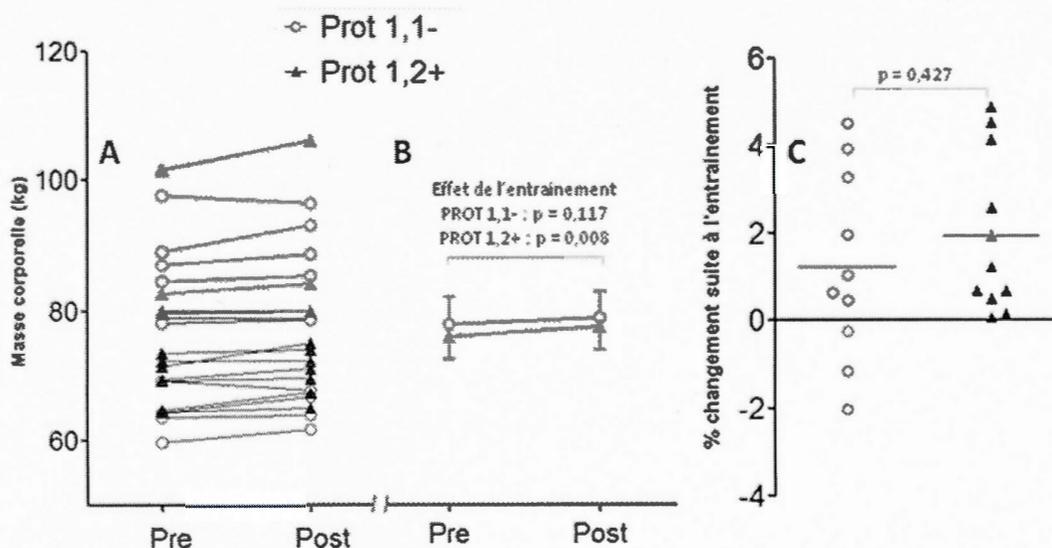
### 3.2. Effets de l'apport protéique initial sur les gains de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles suite à un entraînement en résistance

Les **figures 3.1 à 3.19** présentent les différences avant et après entraînement entre les groupes ainsi que les différences de changements suite à l'entraînement de 12 semaines entre ceux-ci. Un modèle linéaire général à deux facteurs à mesures répétées a été utilisé pour évaluer l'effet du temps (intervention) et du groupe sur les variables primaires. Les résultats de ce modèle sont présentés dans le **tableau 3.4**.

**Tableau 3.4 Effets de l'intervention \* groupe (PROT 1,1- et PROT 1,2+) sur la fonction musculaire et les capacités fonctionnelles des participants**

ntera, 198Sig.	Sig.	F	ddl	Puissance observée
Masse corporelle (kg)	0,406	0,721	1	0,127
IMC (kg·m <sup>-2</sup> )	0,545	0,379	1	0,090
Masse maigre totale (kg)	0,255	1,377	1	0,200
Masse maigre appendiculaire (kg)	0,582	0,314	1	0,083
Masse maigre des jambes (kg)	0,371	0,838	1	0,140
Masse grasse totale (%)	0,341	0,579	1	0,153
Force de préhension (kg/kgMC)	0,679	0,177	1	0,068
Force des membres inférieurs (kg)	0,154	2,223	1	0,291
Force des membres inférieurs (kg/kgMC)	0,098	3,056	1	0,378
Index de qualité musculaire (kg/kgMM)	0,085	3,354	1	0,408
Index de puissance musculaire	0,848	0,038	1	0,540
Test de marche 4m rapide (s)	0,530	1,200	1	0,093
« Timed-Up-and-Go » rapide (s)	0,409	0,039	1	0,126
Test de la chaise (s)	0,781	0,079	1	0,058
Test de l'escalier (nb)	0,650	0,213	1	0,072
Équilibre sur la jambe droite (s)	0,445	0,609	1	0,115
Équilibre sur la jambe gauche (s)	0,099	3,012	1	0,378

La **figure 3.1** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse corporelle dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.1 A et B**). Le groupe PROT 1,2+ était le seul à présenter une augmentation statistiquement significative de masse corporelle suite à l'intervention (**Fig. 3.1 A et B**). Toutefois, aucune différence significative entre les changements relatifs de masse corporelle suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.1 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



**Figure 3.1 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse corporelle chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la masse corporelle pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de masse corporelle par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.**

La **figure 3.2** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur l'IMC dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.2 A et B**). Le groupe PROT 1,2+ était le seul à présenter une augmentation significative de l'IMC suite à l'intervention (**Fig. 3.2 A et B**). Toutefois, aucune différence significative entre les changements relatifs d'IMC suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.2 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

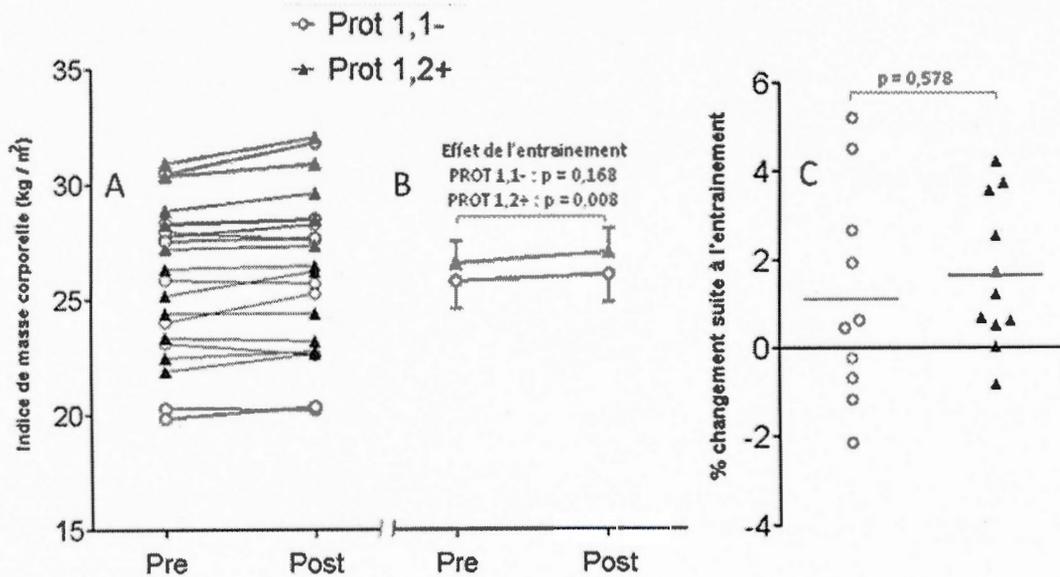


Figure 3.2 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'indice de masse corporelle (IMC) chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur l'IMC pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements d'IMC par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.3** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre totale dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.3 A et B**). Le groupe PROT 1,2+ était le seul à présenter une augmentation significative de masse maigre totale suite à l'intervention (**Fig. 3.3 A et B**). Toutefois, aucune différence significative entre les changements relatifs de masse maigre totale suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.3 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

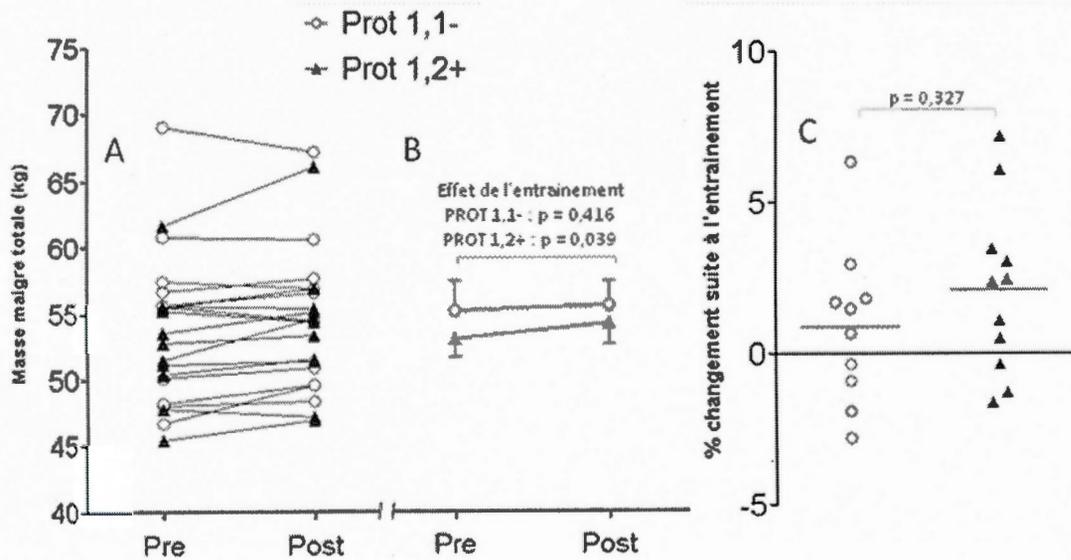


Figure 3.3 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre totale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la masse maigre totale pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de masse maigre totale par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.4** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre appendiculaire dans nos deux groupes d'études. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.4 A et B**). Les deux groupes présente une augmentation significative (ou une très forte tendance statistique vers une augmentation significative) de la masse maigre appendiculaire suite à l'intervention (**Fig. 3.4 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de masse maigre appendiculaire suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.4 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

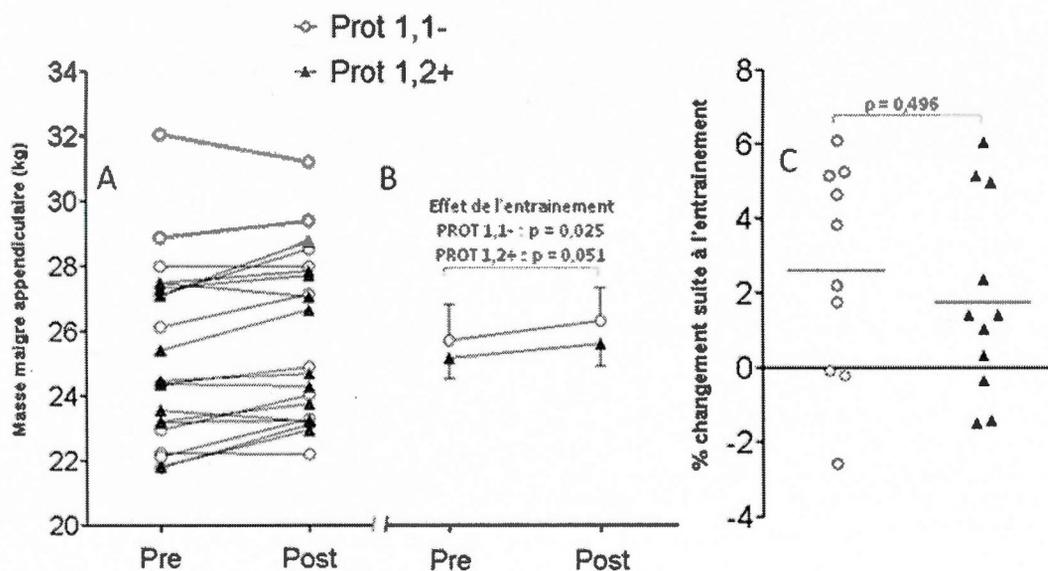


Figure 3.4 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre appendiculaire chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la masse maigre appendiculaire pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de masse maigre appendiculaire par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.5** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre des jambes dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.5 A et B**). Bien que la masse maigre des jambes semble avoir augmenté chez les deux groupes suite à l'entraînement, seul le groupe PROT 1,1- présentait une augmentation statistiquement significative de cette variable (**Fig. 3.5 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de masse maigre des jambes suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.5 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

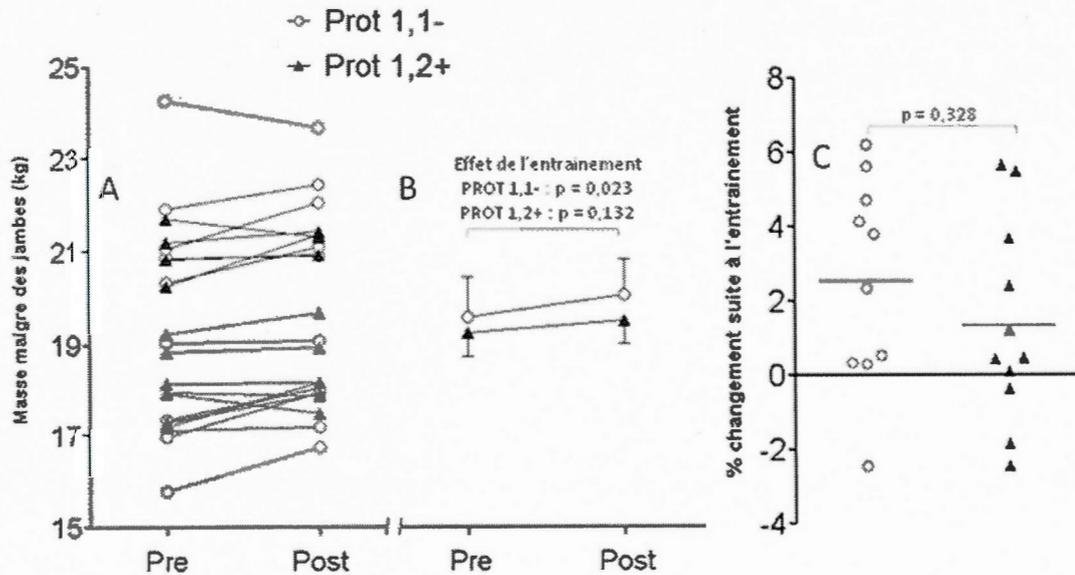


Figure 3.5 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la masse maigre des jambes chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la masse maigre des jambes pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de masse maigre des jambes par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.6** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le pourcentage de masse grasse dans nos deux groupes d'études. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.6 A et B**). Aucun groupe n'a présenté de changement significatif de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.6 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de masse grasse suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.6 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

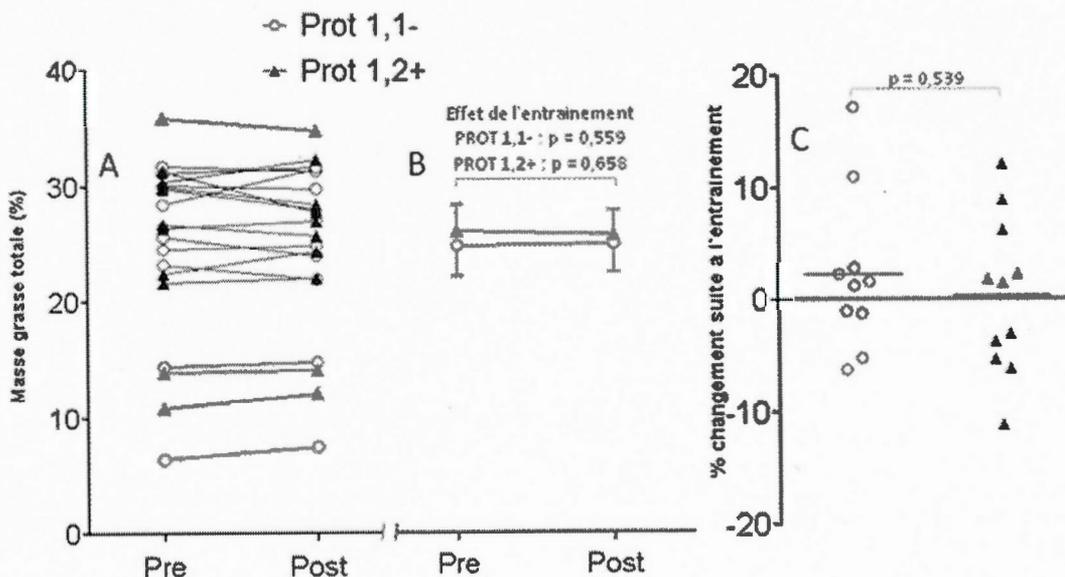
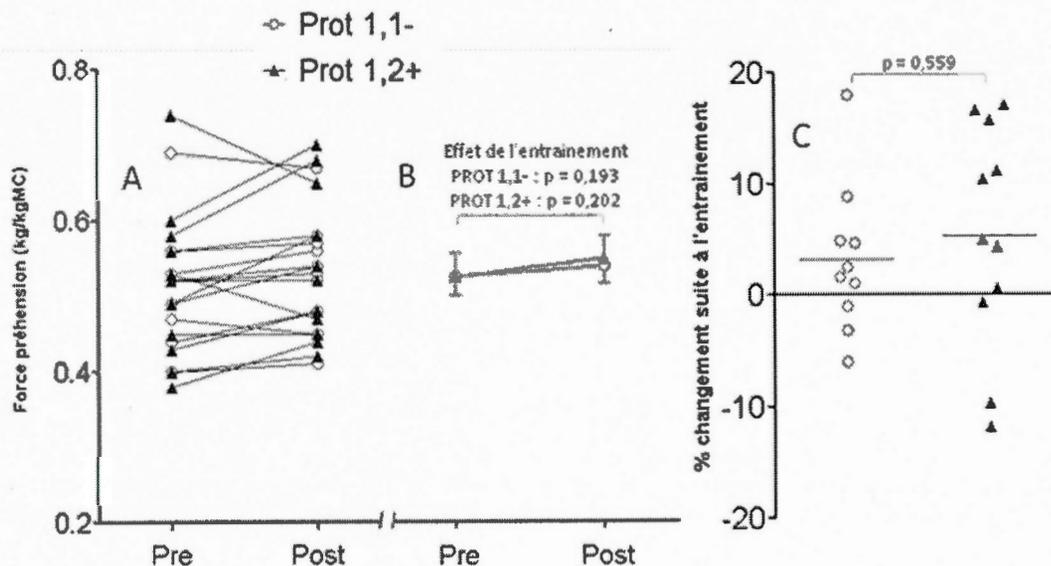


Figure 3.6 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le pourcentage de masse grasse totale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le pourcentage de masse grasse totale pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de pourcentage de masse grasse totale par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.7** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la force de préhension dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.7 A et B**). Bien que la majorité des participants des deux groupes semblent avoir augmenté leur force de préhension, aucun groupe n'a présenté d'augmentation significative de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.7 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de force de préhension suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.7 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



Figures 3.7 Effet de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force de préhension chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la force de préhension pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de force de préhension par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.8** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la force absolue des membres inférieurs dans nos deux groupes d'études. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.8 A et B**). Les deux groupes ont présenté une augmentation significative de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.8 A et B**). De plus, les changements relatifs de la force absolue des membres inférieurs suite à l'entraînement a été significativement supérieure chez le groupe PROT 1,2+ par rapport au groupe PROT 1,1- (**Fig. 3.8 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

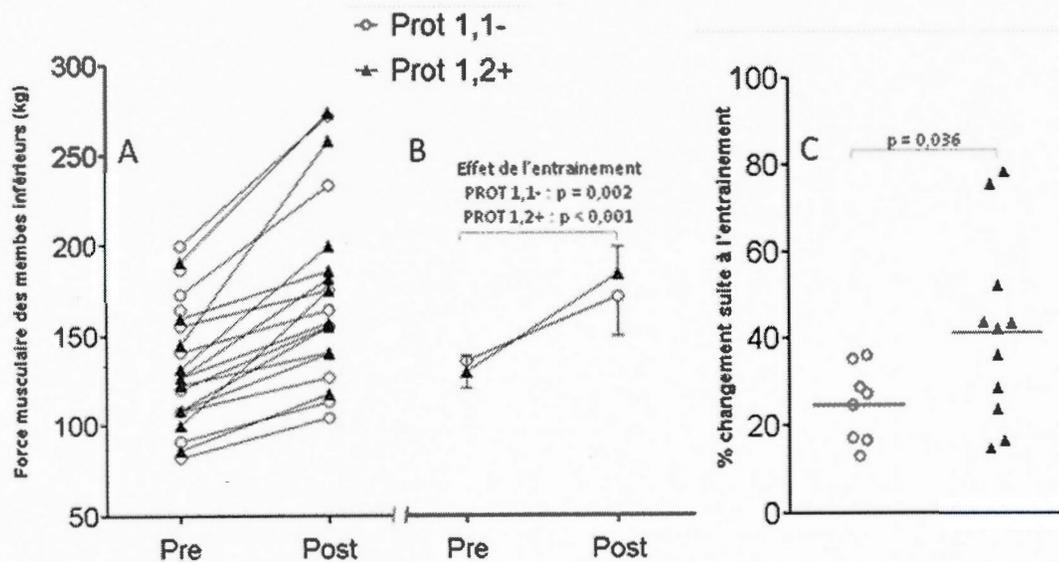
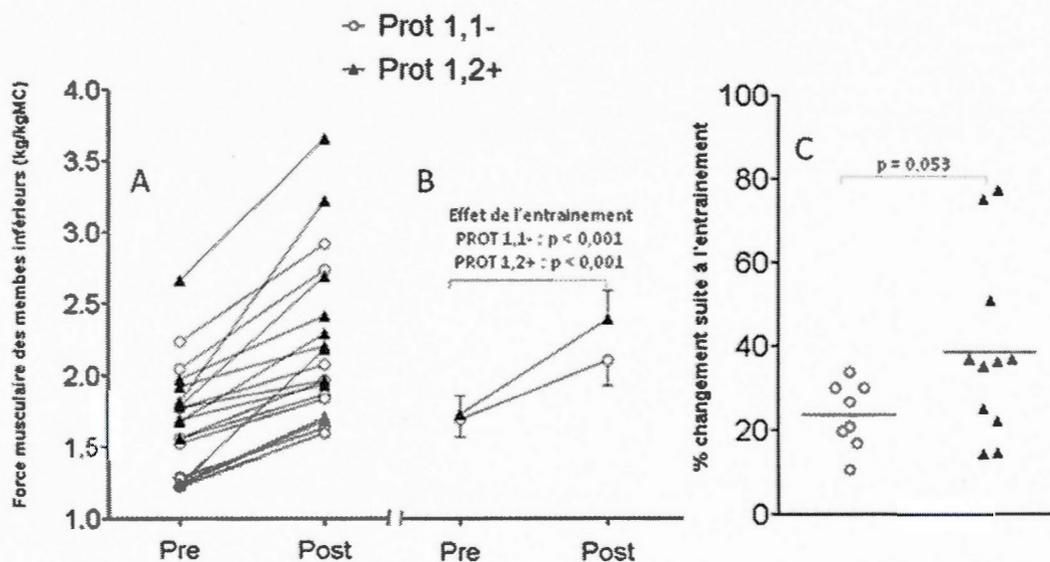


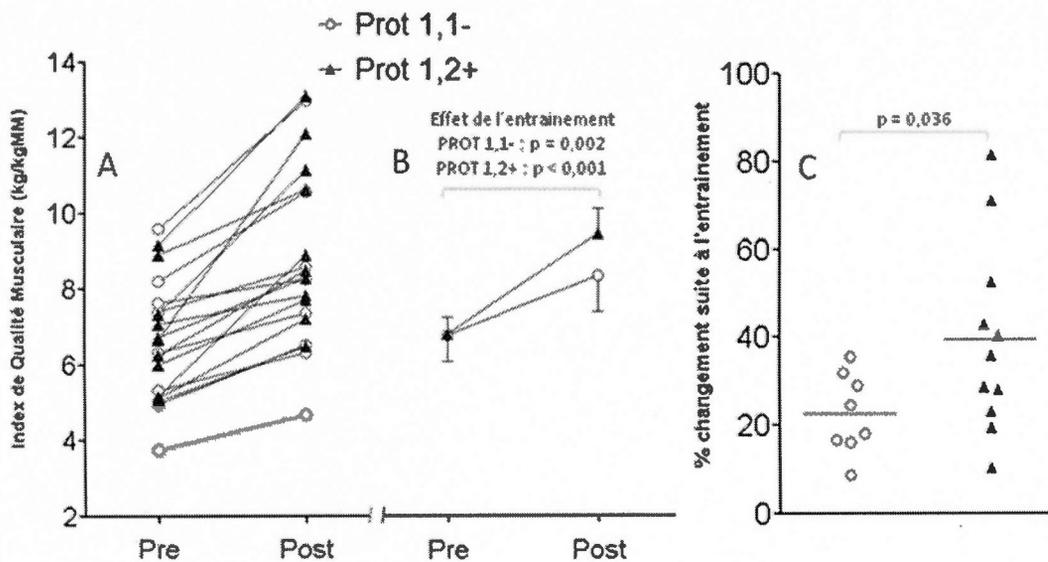
Figure 3.8 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force absolue des membres inférieurs chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la force absolue des membres inférieurs pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements relatifs de force absolue des membres inférieurs par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.9** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur la force des membres inférieurs normalisée par la masse corporelle dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.9 A et B**). Les deux groupes ont présenté une augmentation significative de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.9 A et B**). De plus, il y avait une forte tendance ( $p = 0,053$ ) vers une augmentation supérieure de la force des membres inférieurs normalisée par la masse corporelle dans le groupe PROT 1,2+ par rapport au groupe PROT 1,1- suite à l'entraînement (**Fig. 3.9 C**). Une tendance statistique vers un effet significatif de l'intervention et du groupe a été observée pour cette variable ( $p = 0,098$ , puissance statistique observée = 0,378) (**Tableau 3.4**)



**Figure 3.9 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur la force des membres inférieurs normalisée à la masse corporelle chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur la force des membres inférieurs normalisée par la masse corporelle pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de force des membres inférieurs normalisée par la masse corporelle par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.**

La **figure 3.10** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de qualité musculaire dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.10 A et B**). Les deux groupes ont présenté une augmentation significative de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.10 A et B**). De plus, l'augmentation relative de l'index de qualité musculaire suite à l'entraînement a été significativement supérieure chez le groupe PROT 1,2+ par rapport au groupe PROT 1,1- (**Fig. 3.10 C**). Une tendance statistique vers un effet significatif de l'intervention et du groupe a été observée pour cette variable ( $p = 0,085$ , puissance statistique observée = 0,408) (**Tableau 3.4**)



**Figure 3.10** Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de qualité musculaire chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur l'index de qualité musculaire pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements de l'index de qualité musculaire par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.11** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de puissance dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre nos deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.11 A et B**). Bien que les deux groupes semblent avoir augmenté leur index de puissance musculaire, aucun changement statistiquement significatif n'a été observé pour cette variable suite à l'entraînement en résistance (**Fig. 3.11 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de l'index de puissance musculaire suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.11 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

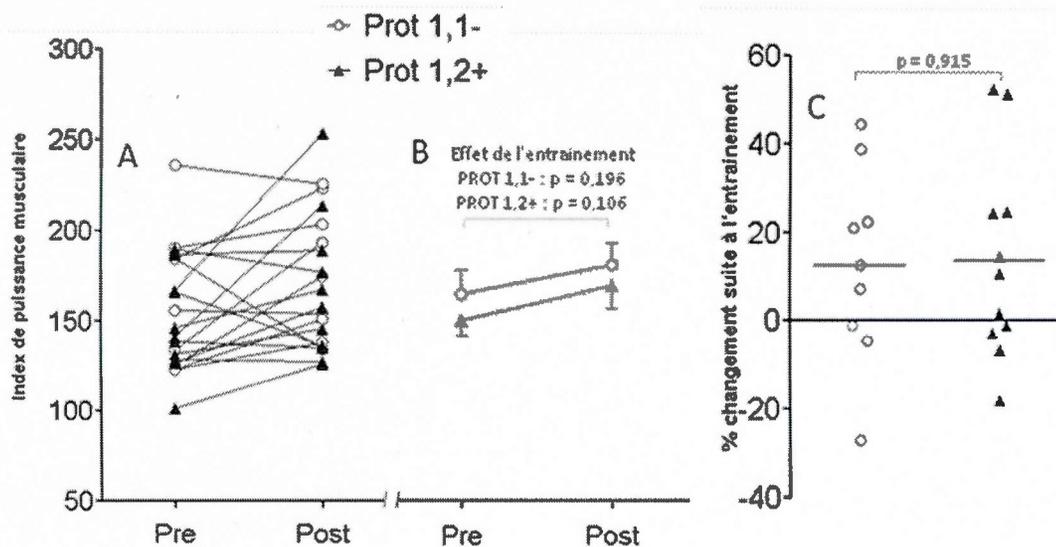
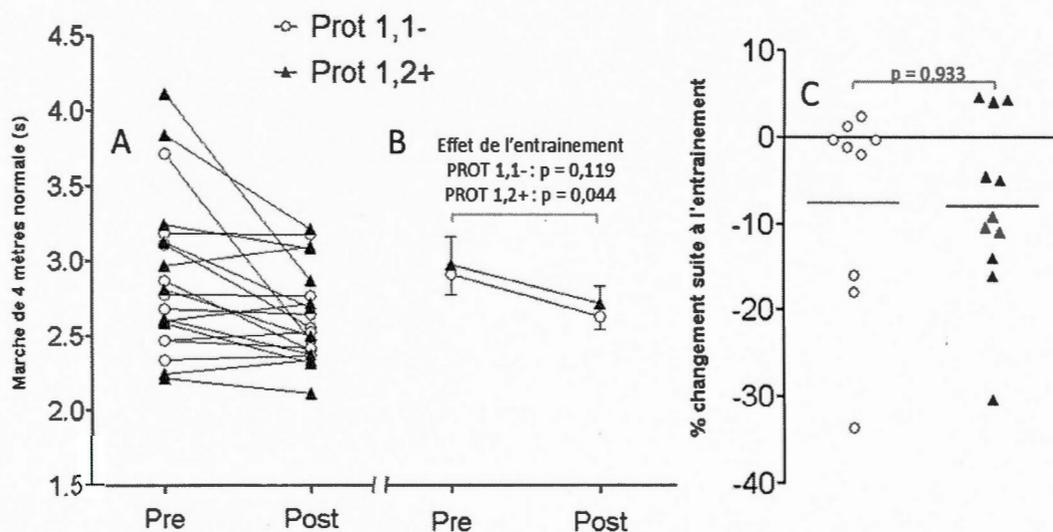


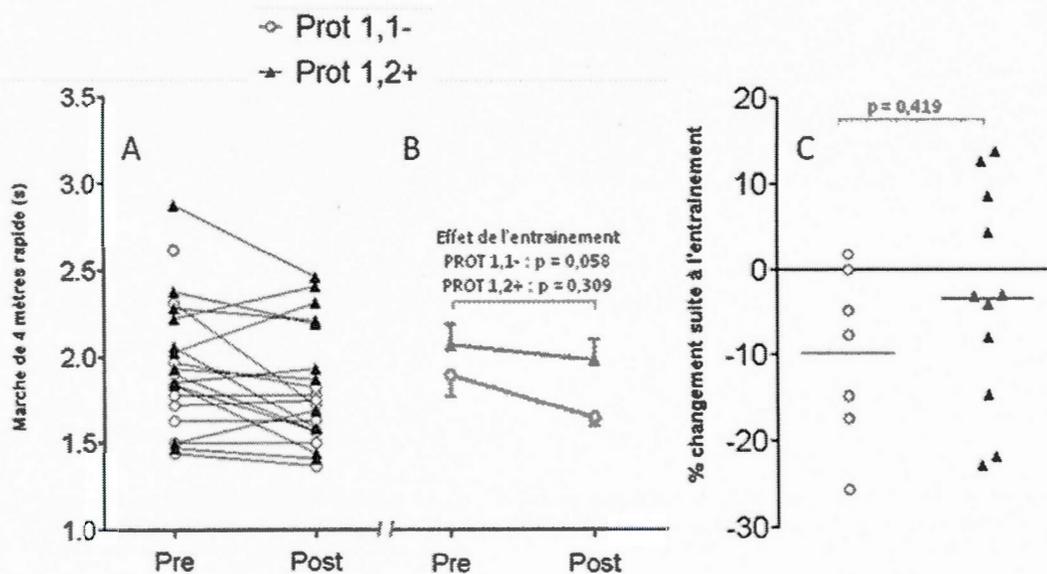
Figure 3.11 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur l'index de puissance chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur l'index de puissance pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements l'index de puissance par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.12** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse normale dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.12 A et B**). Bien qu'une diminution du temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse normale est observée chez le groupe PROT 1,2+, aucun changement statistiquement significatif n'a été observé chez le groupe PROT 1,1- suite à l'intervention (**Fig. 3.12 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.12 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



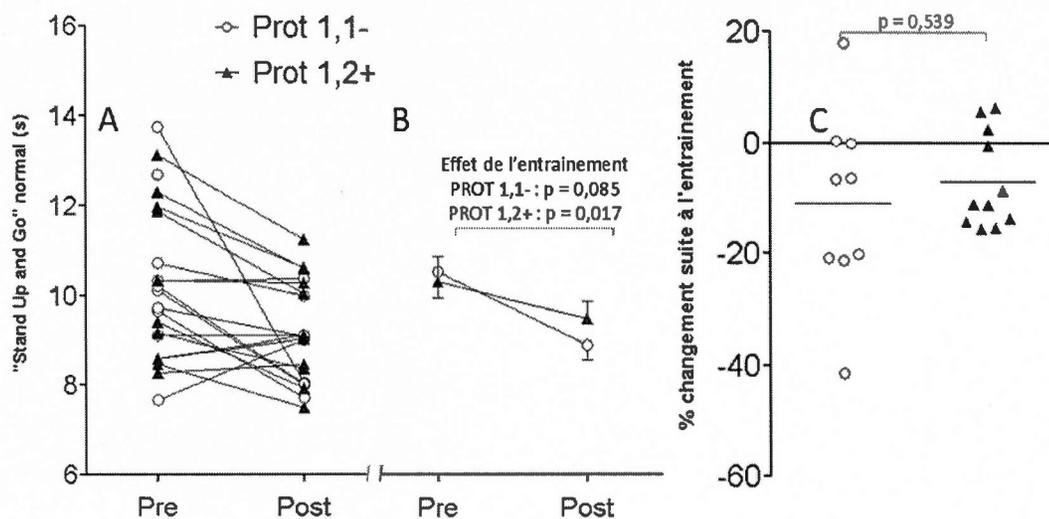
**Figure 3.12** Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse normale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps mit pour parcourir 4 mètres pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps mit pour parcourir 4 mètres par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.13** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse rapide dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.13 A et B**). Alors qu'une tendance vers une diminution du temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse rapide est observée chez le groupe PROT 1,1-, aucun changement significatif n'a été observé chez le groupe PROT 1,2+ suite à l'intervention (**Fig. 3.13 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.13 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



**Figure 3.13 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour parcourir 4 mètres à une vitesse rapide chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps mit pour parcourir 4 mètres pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps mit pour parcourir 4 mètres par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.**

La **figure 3.14** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse normale dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.14 A et B**). Le groupe PROT 1,2+ a présenté une diminution significative du temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse normale suite à l'intervention, tandis que le groupe PROT 1,1- a présenté une tendance à cet égard (**Fig. 3.14 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.14 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



**Figure 3.14 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse normale chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps mit pour ce test par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.**

La **figure 3.15** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse rapide dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.15 A et B**). Seul le groupe PROT 1,1- a présenté une diminution statistiquement significative du temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse rapide suite à l'intervention (**Fig. 3.15 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.15 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

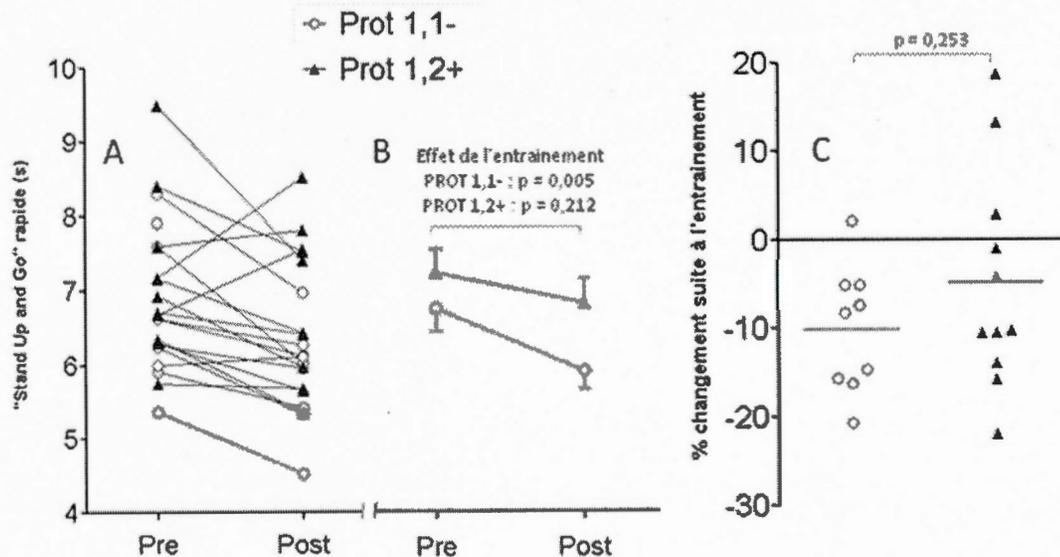
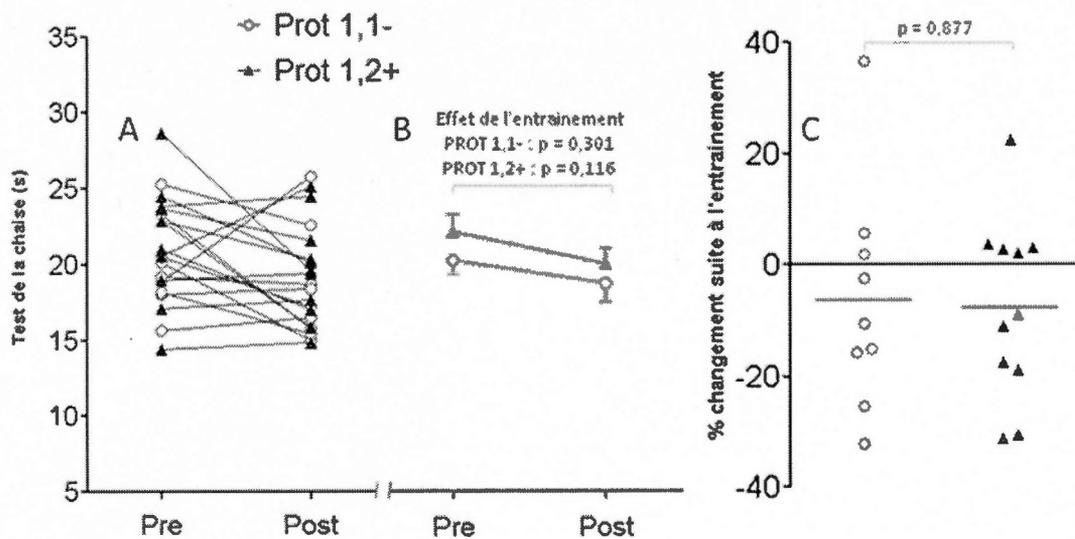


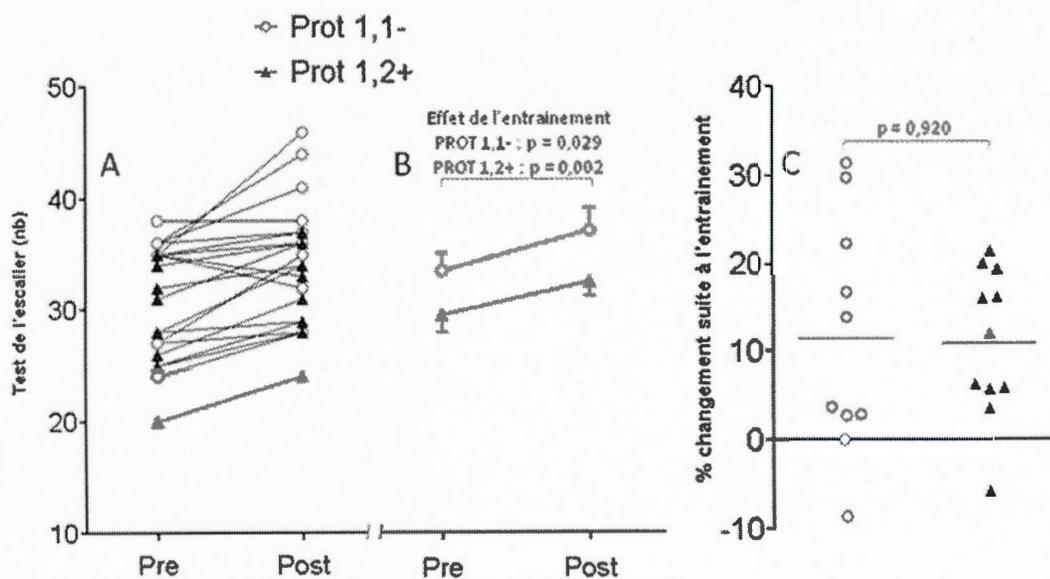
Figure 3.15 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » à une vitesse rapide chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps mit pour accomplir le test « Stand Up and Go » pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps mit pour ce test par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.16** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test de la chaise dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.16 A et B**). Bien que la majorité des participants des deux groupes semblent avoir amélioré leur performance, aucun changement statistiquement significatif de cette variable n'a été observé suite à l'intervention (**Fig. 3.16 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.16 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



**Figure 3.16** Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps mit pour accomplir le test de la chaise chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps mit pour accomplir le test de la chaise pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps mit pour accomplir le test de la chaise par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.17** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le nombre de touches réalisées lors du test de l'escalier dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.17 A et B**). Les deux groupes ont présenté une augmentation significative de cette variable suite à l'intervention (**Fig. 3.17 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs du nombre de touches réalisées suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.17 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).



**Figure 3.17 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le nombre de touches réalisées lors du test de l'escalier chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le nombre de touches réalisées lors du test de l'escalier pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du nombre de touches réalisées par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.**

La **figure 3.18** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe droite dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.18 A et B**). Aucune augmentation significative de cette variable n'a été observée suite à l'intervention (**Fig. 3.18 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de temps en équilibre sur la jambe droite suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.18 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

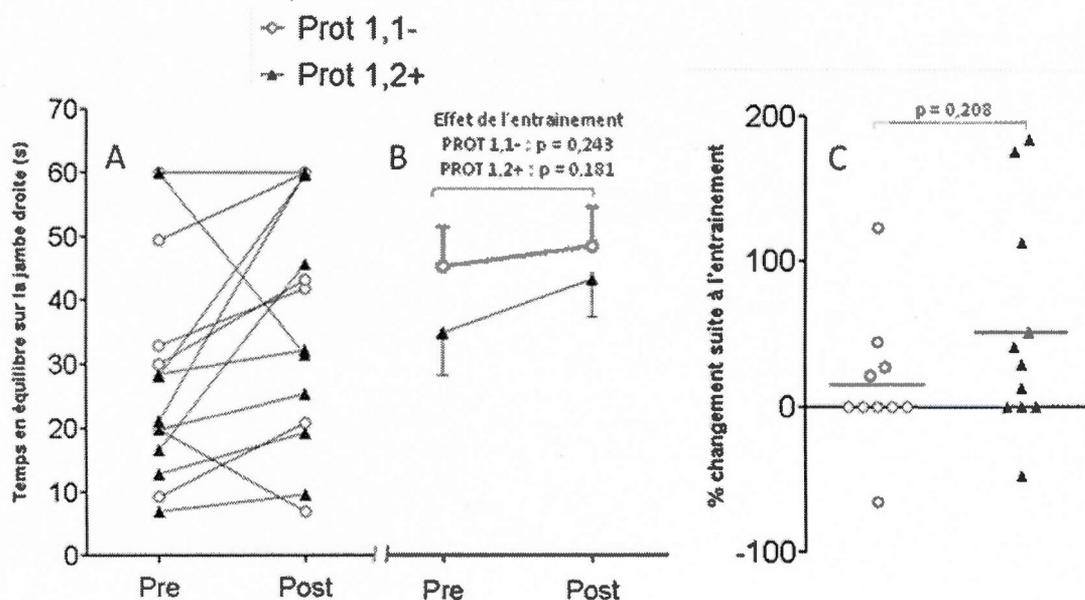
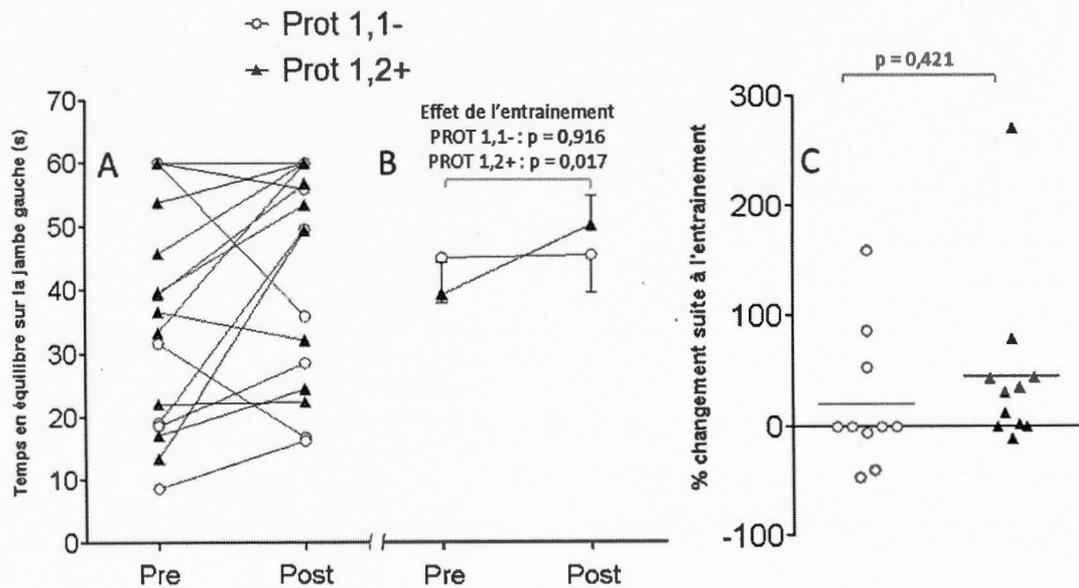


Figure 3.18 Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe droite chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps en équilibre sur la jambe droite pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps en équilibre sur la jambe droite par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

La **figure 3.19** présente les effets d'un entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe gauche dans nos deux groupes d'étude. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes avant l'entraînement (**Fig. 3.19 A et B**). Seul le groupe PROT 1,2 a présenté une augmentation significative du temps en équilibre sur la jambe gauche suite à l'entraînement de 12 semaines (**Fig. 3.19 A et B**). Aucune différence significative entre les changements relatifs de cette variable suite à l'entraînement n'a été observée entre les groupes (**Fig. 3.19 C**). Aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été noté pour cette variable (**Tableau 3.4**).

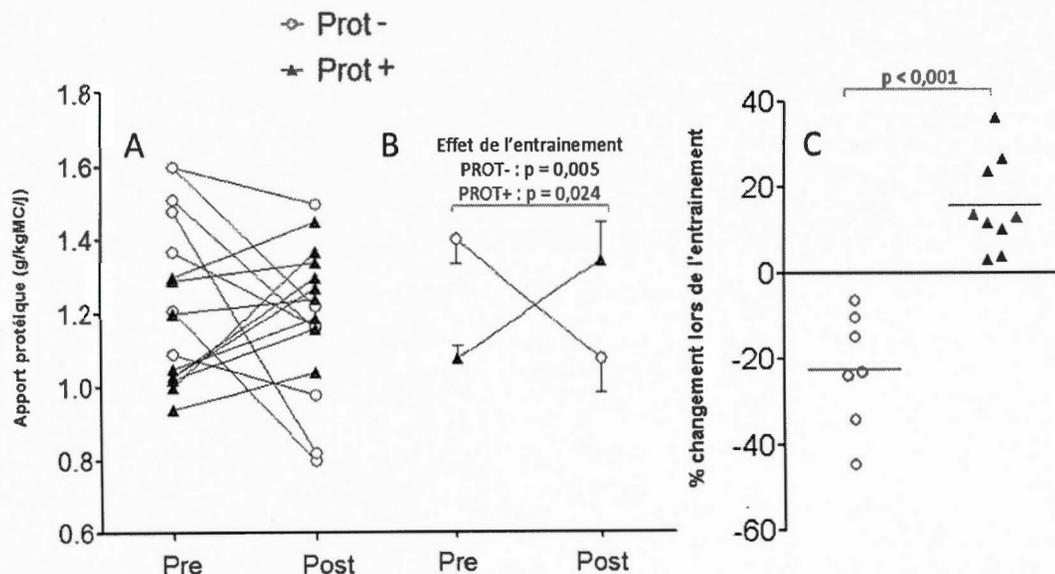


**Figure 3.19** Effets de l'entraînement en résistance de 12 semaines sur le temps en équilibre sur la jambe gauche chez les participants consommant moins de 1,1 g/kgMC/j (PROT 1,1-) et ceux consommant plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines (PROT 1,2+). Le panneau (A) présente l'effet de l'entraînement sur le temps en équilibre sur la jambe gauche pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements du temps en équilibre sur la jambe gauche par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

### 3.3. Entraînement en résistance et adaptations de la fonction musculaire et des capacités fonctionnelles : effets du changement de l'apport protéique lors de la période d'entraînement

Notre deuxième hypothèse était que les participants qui augmenteraient leur apport protéique au cours de l'intervention auraient des gains de force et de masse musculaires plus importants en réponse à l'entraînement que ceux conservant ou diminuant leur consommation habituelle. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons redivisé les 21 participants selon leur changement de consommation en protéines lors de l'intervention (PROT- s'ils l'ont conservé ou diminué et PROT+ s'ils l'ont augmenté). La consommation en protéines de ces deux groupes est présentée dans le **graphique 3.20**.

Les caractéristiques physiologiques de base des participants des groupes PROT+ et PROT- sont présentées dans le **tableau 3.5**. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes pour les variables de la composition corporelle ou de la fonction musculaire. Nous avons toutefois observé une performance significativement supérieure au test de marche de 4 mètres à vitesse rapide ainsi que des tendances vers des performances supérieures pour les tests de marche de 4 mètres à vitesse normale, du « Timed-Up-and-Go » rapide, et d'équilibre sur la jambe droite dans le groupe PROT+ par rapport au groupe PROT-.



**Figure 3.20** Changement de l'apport protéique chez les participant ayant conservé ou réduit (PROT-) et ceux ayant augmenté (PROT+) leur consommation en protéines lors de l'entraînement en résistance de 12 semaines. Le panneau (A) présente les changements d'apport protéique pour chacun des sujets étudiés, alors que le panneau (B) présente les résultats moyens des deux groupes. Le panneau (C) présente les changements d'apport protéique par rapport à l'état basal suite à l'entraînement.  $P < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

Tableau 3.5 Caractéristiques de base des participants des groupes PROT<sup>-</sup> et PROT<sup>+</sup>

Variables	PROT- n = 8	PROT+ n = 12	Valeur <i>P</i>
Âge (années)	73,38 ± 3,42	71,98 ± 2,52	0,343
Masse corporelle (kg)	75,7 ± 7,8	77,2 ± 13,8	0,763
IMC (kg·m <sup>-2</sup> )	26,9 ± 2,7	25,6 ± 3,7	0,379
Masse maigre totale (kg)	52,4 ± 3,6	55,2 ± 4,4	0,232
Masse maigre appendiculaire (kg)	25,6 ± 3,5	25,0 ± 2,0	0,195
Masse maigre des jambes (kg)	18,9 ± 1,5	19,8 ± 2,5	0,365
Masse grasse totale (%)	26,5 ± 5,9	23,6 ± 8,9	0,393
Force de préhension (kg/kgMC)	0,48 ± 0,06	0,54 ± 0,11	0,174
Force des membres inférieurs (kg/kgMC)	1,67 ± 0,29	1,86 ± 0,51	0,298
Index de qualité musculaire (kg/kgMM)	6,69 ± 1,29	7,35 ± 2,38	0,436
Index de puissance musculaire	140,5 ± 25,6	165,7 ± 35,9	0,091
Test de marche 4m normal (s)	3,21 ± 0,54	2,72 ± 0,44	0,053
Test de marche 4m rapide (s)	<b>2,19 ± 0,33</b>	<b>1,81 ± 0,36</b>	<b>0,029</b>
« Timed-Up-and-Go » normal (s)	10,89 ± 1,65	9,91 ± 1,81	0,229
« Timed-Up-and-Go » rapide (s)	7,49 ± 1,01	6,61 ± 0,91	0,068
Test de la chaise (s)	22,0 ± 2,0	19,9 ± 4,2	0,160
Test de l'escalier (nb)	29,5 ± 5,7	31,4 ± 45,0	0,449
Équilibre sur la jambe droite (s)	29,3 ± 20,3	45,7 ± 19,9	0,094
Équilibre sur la jambe gauche (s)	37,4 ± 19,0	41,7 ± 19,0	0,632

Les valeurs présentées correspondent à la moyenne ± écart type. Les items en gras indiquent les différences significatives entre les groupes PROT<sup>-</sup> et PROT<sup>+</sup> ( $p < 0,05$ ).

Des tests-t indépendants ont été utilisés pour vérifier les différences entre les changements exprimé en pourcentage dans les deux groupes. Les résultats de ces tests sont présentés dans le **tableau 3.6**. Aucune différence significative n'a été relevée entre les changements de fonction musculaire ou de capacités fonctionnelles chez le groupe ayant augmenté et celui ayant diminué sa consommation en protéines lors de l'intervention.

Tableau 3.6 Différences de changements (%) induit par l'entraînement entre les groupes PROT- et PROT+

Variables	PROT-	PROT+	Valeur
	n = 8	n = 12	P
Δ Masse corporelle (%)	1,22 ± 0,86	2,17 ± 2,22	0,199
Δ IMC (%)	1,06 ± 1,05	1,92 ± 2,28	0,273
Δ Masse maigre totale (%)	1,68 ± 2,38	1,50 ± 3,14	0,886
Δ Masse maigre appendiculaire (%)	1,51 ± 2,76	2,82 ± 2,69	0,312
Δ Masse maigre des jambes (%)	0,98 ± 2,78	2,68 ± 2,71	0,197
Δ Masse grasse totale (%)	0,03 ± 6,50	2,64 ± 7,19	0,411
Δ Force de préhension (%)	4,73 ± 8,28	3,94 ± 9,35	0,846
Δ Force des membres inférieur (%)	38,9 ± 26,2	28,4 ± 8,4	0,308
Δ Index de qualité musculaire (%)	39,3 ± 26,2	28,6 ± 10,9	0,307
Δ Index de puissance musculaire (%)	9,24 ± 15,2	13,3 ± 25,3	0,667
Δ Test de marche 4m normal (%)	-8,40 ± 11,9	-6,55 ± 11,1	0,735
Δ Test de marche 4m rapide (%)	-1,21 ± 9,4	-7,45 ± 12,4	0,230
Δ « Timed-Up-and-Go » normal (%)	-8,05 ± 7,6	-8,26 ± 16,1	0,970
Δ « Timed-Up-and-Go » rapide (%)	-2,45 ± 13,4	-10,87 ± 7,0	0,137
Δ Test de la chaise (%)	-5,65 ± 14,1	-5,95 ± 19,8	0,969
Δ Test de l'escalier (%)	9,39 ± 8,6	14,05 ± 10,9	0,302
Δ Équilibre sur la jambe droite (%)	66,03 ± 83,6	12,68 ± 43,3	0,129
Δ Équilibre sur la jambe gauche (%)	55,34 ± 91,3	22,93 ± 57,4	0,391

Les % de changement ont été calculés selon l'équation suivante :  $((T2*100)/T1) - 100$ . Les valeurs sont présentées comme étant la moyenne ± écart type. Les items en gras représentent les différences significatives entre les groupes PROT- et PROT+ ( $p < 0,05$ ).

Nous avons ensuite utilisé un modèle linéaire général à deux facteurs pour évaluer l'effet du temps (intervention) \* groupe sur les variables primaires (**tableau 3.7**). Nous n'avons observé aucun effet significatif du temps (intervention) et du groupe pour nos variables. Il est toutefois important de noter que cette absence d'effet peut être due à un manque de puissance statistique observée, celle-ci variant entre 0,050 et 0,294.

Tableau 3.7 Effet de l'intervention \* groupe (PROT<sup>-</sup> et PROT<sup>+</sup>) sur la fonction musculaire et les capacités fonctionnelles des participants

<b>Variabiles</b>	<b>Sig.</b>	<b>F</b>	<b>ddl</b>	<b>Puissance observée</b>
Masse corporelle (kg)	0,308	1,102	1	0,169
IMC (kg·m <sup>-2</sup> )	0,411	0,708	1	0,125
Masse maigre totale (kg)	0,921	0,010	1	0,051
Masse maigre appendiculaire (kg)	0,325	1,024	1	0,160
Masse maigre des jambes (kg)	0,209	1,699	1	0,235
Masse grasse totale (%)	0,663	0,197	1	0,070
Force de préhension (kg/kgMC)	0,951	0,004	1	0,050
Force des membres inférieurs (kg/kgMC)	0,439	0,631	1	0,116
Index de qualité musculaire (kg/kgMM)	0,389	0,784	1	0,133
Index de puissance musculaire	0,725	0,128	1	0,063
Test de marche 4m rapide (s)	0,152	2,252	1	0,294
« Timed-Up-and-Go » rapide (s)	0,861	0,031	1	0,053
Test de la chaise (s)	0,865	0,030	1	0,053
Test de l'escalier (nb)	0,228	1,554	1	0,219
Équilibre sur la jambe droite (s)	0,241	1,472	1	0,210
Équilibre sur la jambe gauche (s)	0,212	1,673	1	0,232

## CHAPITRE IV

### DISCUSSION

Dans le cadre de ce projet de recherche, nos objectifs étaient d'examiner l'impact de l'apport protéique initial ainsi que de l'évolution de cet apport protéique sur la réponse musculaire (augmentation de force et de masse musculaires) des hommes âgés de 70 ans et plus en réponse à un entraînement en résistance de 12 semaines.

En premier lieu, nous avons vérifié s'il y avait des différences de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles entre les groupes PROT 1,1- et PROT 1,2+ avant l'entraînement de 12 semaines. Bien qu'aucune différence statistiquement significative n'ait été observée, il semble que les capacités fonctionnelles du groupe PROT 1,1- tendent à être légèrement plus élevées que celles du groupe PROT 1,2+ avant l'entraînement. À première vue, ces observations semblent contredire les résultats de plusieurs études récentes qui associent une consommation supérieure de protéines à une meilleure fonction musculaire (Houston, Nicklas et al. 2008, Beasley, LaCroix et al. 2010, Lemieux, Filion et al. 2013). Il faut toutefois noter que le groupe PROT 1,1- avait un apport protéique déjà élevé ( $1,03 \pm 0,06$  g/kgMC/j). Cet apport déjà élevé pourrait en partie expliquer cette situation. En effet, bien que plusieurs études remettent en question la recommandation actuelle de 0,8 g/kgMC/j de

protéines, la plupart de celles-ci proposent une recommandation optimale variant entre 1,0 et 1,2 g/kgMC/j (Morais, Chevalier et al. 2006, Bauer, Biolo et al. 2013). L'apport protéique moyen du groupe PROT 1,1- ( $1,03 \pm 0,06$  g/kgMC/j) se retrouve donc parmi les valeurs recommandées par ces études. De plus, il est important de noter que l'apport protéique supérieur du groupe PROT 1,2+ s'accompagne également d'un apport énergétique total significativement supérieur par rapport au groupe PROT 1,1- (2695 et 2180 kcal, respectivement :  $p = 0,015$ ). Puisque les deux groupes ont une dépense énergétique semblable ( $2356 \pm 358$  vs  $2159 \pm 311$  kcal;  $p = 0,221$ ) il en résulte un bilan calorique supérieur pour le groupe PROT 1,2+. Cette différence de bilan calorique ( $-187 \pm 441$  vs  $429 \pm 578$  :  $p = 0,018$ ) pourrait expliquer la masse grasse totale et l'IMC qui semble légèrement plus élevés dans le groupe PROT 1,2+ par rapport au groupe PROT 1,1- (bien que ces différences de masse grasse et d'IMC ne soient pas statistiquement significatives :  $p = 0,729$  et  $p = 0,598$ ). Puisqu'une masse grasse plus élevée est généralement associée à une diminution des capacités fonctionnelles (Bouchard, Beliaeff et al. 2007, Jankowski, Gozansky et al. 2008), la tendance à des capacités fonctionnelles légèrement supérieures chez le groupe PROT 1,1- par rapport au groupe PROT 1,2+ pourrait en partie être expliquée par leur plus faible pourcentage de masse grasse. En se basant sur l'absence de différence statistiquement significative de capacités fonctionnelles entre les groupes PROT 1,1- et PROT 1,2+, nos résultats suggèrent donc qu'il n'y aurait aucun effet bénéfique à consommer au-delà de 1,0 g/kgMC/j de protéines chez les personnes âgées et en santé ne participant pas à un programme d'entraînement en résistance.

Ceci est d'autant plus renforcé par le fait qu'une consommation excessive en protéines peut également générer un apport énergétique excessif. Or, un apport énergétique excessif pourrait, sur le long terme, exercer des effets délétères sur les capacités fonctionnelles, entre autres via une accumulation de masse grasse (Bouchard, Beliaeff et al. 2007, Jankowski, Gozansky et al. 2008). Il est donc important de prendre en considération les nombreux phénomènes physiologiques modulant la fonction musculaire lors de l'élaboration de stratégies interventionnelles chez les individus âgés.

À la suite de cette première analyse transversale, nous nous sommes donc intéressés au rôle de l'apport protéique dans la réponse musculaire suite à un entraînement de résistance. Notre hypothèse de départ était que les participants ayant un apport protéique initial au-delà de 1.2 g/kgMC/j bénéficieraient de plus importants gains de force et de masse musculaires que ceux consommant moins de 1.1 g/kgMC/j. Afin de vérifier la validité de cette hypothèse, nous avons en premier lieu évalué les changements de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles suite à l'entraînement en résistance de 12 semaines dans les deux groupes d'étude. Nos analyses ont révélé des augmentations significatives de la masse maigre appendiculaire, de la force musculaire des membres inférieurs, de l'index de qualité musculaire et de la performance aux tests de capacités fonctionnelles chez les deux groupes suite à l'entraînement en résistance de 12 semaines. Nous pouvons donc affirmer que l'intervention fût efficace pour l'augmentation de la fonction musculaire

et des capacités fonctionnelles chez nos participants en santé âgés de 70 ans et plus. Ces mêmes analyses ont également révélé des augmentations significatives de la masse corporelle et de l'indice de masse corporelle pour le groupe PROT 1,2+, alors que ces mêmes variables sont demeurées inchangées pour le groupe PROT 1,1- suite à l'intervention. Il est à noter que les augmentations de masse corporelle et d'IMC n'ont pas résulté d'un changement de pourcentage de masse grasse dans le groupe PROT 1,2+ (25,4% avant et 25,2% après l'intervention). Ces données pourraient donc suggérer que la plus forte consommation en protéines des participants du groupe PROT 1,2+ leur a permis d'obtenir de meilleurs gains de masse maigre que le groupe PROT 1,1- suite à l'entraînement en résistance de 12 semaines. Nous avons ensuite voulu approfondir ces analyses grâce à un modèle linéaire à deux facteurs afin de vérifier l'effet de l'intervention \* groupe pour chacune des variables de la fonction musculaire et des capacités fonctionnelles. Bien que nous n'ayons observé aucun effet statistiquement significatif de l'intervention \* groupe pour nos variables primaires, nous avons relevé des tendances statistiques dans le groupe PROT 1,2+ indiquant des gains de force musculaire des membres inférieurs ( $p = 0,098$ ) et de l'index de qualité musculaire ( $p = 0,085$ ) plus important en réponse à l'entraînement. Il est important de noter que cette absence d'effet significatif peut être expliquée par le manque de puissance statistique observée (petit échantillon de comparaison  $n = 10$  et  $11$ ) pour ces deux variables ( $0,378$  et  $0,408$ , respectivement). En effet, ces deux valeurs inférieures à  $0,75$  révèlent un manque de puissance statistique. Nos résultats pourraient donc suggérer qu'un apport protéique au-delà de  $1,2$  g/kgMC/j permettrait

l'obtention de plus importants gains de force et de qualité musculaires qu'une consommation de moins de 1,1 g/kgMC/j suite à un entraînement en résistance chez des hommes en santé âgés de 70 ans et plus. Ces gains supérieurs en force musculaire semblent en partie s'expliquer par une augmentation supérieure de la masse maigre, elle-même potentiellement causée par une synthèse protéique musculaire plus importante résultant d'apports protéiques supérieurs (Wolfe 2002). Les gains plus importants de qualité musculaire présentée par le groupe PROT 1,2+ et l'absence de différences significatives de masse maigre entre les groupes suggèrent toutefois que cette augmentation supérieure en force musculaire chez le groupe PROT 1,2+ n'est pas entièrement causée par l'augmentation de masse maigre. Ces observations concordent d'ailleurs avec celles réalisées antérieurement par notre laboratoire sur une cohorte de femmes âgées. En effet, lorsque nous avons comparé un groupe de femmes âgées consommant entre 0,8 et 1,19 g/kgMC/j de protéines à un groupe en consommant plus de 1,2 g/kgMC/j, nous avons noté une force musculaire et un index de qualité musculaire supérieurs chez le groupe consommant une plus grande quantité de protéines (Lemieux, Filion et al. 2013). À ce jour, il semble que peu ou pas d'études se soient directement intéressées à ce phénomène ou aux mécanismes physiologiques associées. Parmi les explications potentielles, il est possible que l'augmentation de la synthèse protéique causée par la présence abondante d'acides aminés contribue à un renouvellement plus efficace des protéines myocellulaires, notamment des protéines endommagées. Il en résulterait donc théoriquement d'une cellule musculaire dont les composantes seraient en meilleure état et mieux adaptées

pour accomplir un travail. Il est alors concevable que ce renouvellement permette d'augmenter l'efficacité de la fibre musculaire et donc de la force musculaire en absence d'hypertrophie.

Il est intéressant de noter que l'apport protéique supérieur du groupe PROT 1,2+ par rapport au groupe PROT 1,1- semble principalement provenir d'une consommation en protéines plus importante lors du déjeuner. En effet, alors que l'apport protéique du dîner et du souper ne semble pas différer entre les groupes, le groupe PROT 1,1- consomme significativement moins de protéines lors du déjeuner ( $11,8 \pm 7,5$  g) que le groupe PROT 1,2+ ( $21,3 \pm 9,4$  g). Comme il en a été discuté dans le cadre théorique, il semble qu'une dose de 20g de protéines soit nécessaire pour obtenir une stimulation significative de la synthèse protéique chez les individus âgés (Pennings, Groen et al. 2012). Comme le proposent plusieurs auteurs (Paddon-Jones and Rasmussen 2009, Breen and Phillips 2011), une consommation de protéines d'au minimum 20g par repas pourrait s'avérer être une stratégie efficace pour favoriser le maintien de la fonction musculaire, particulièrement lorsque cette stratégie est jumelée à un programme d'entraînement en résistance. Par conséquent, il serait intéressant, lors d'études ultérieures, d'investiguer l'effet d'apports protéiques adéquats lors des 3 repas de la journée sur la fonction musculaire des individus âgés avant et après un entraînement en résistance.

Notre seconde hypothèse était que les participants qui augmenteraient leur apport

protéique au cours de l'intervention auraient de plus importants gains de force et de masse musculaires suite à l'entraînement que ceux conservant ou diminuant leur consommation habituelle. Nous avons donc re-divisé nos 21 participants selon leur changement d'apport protéique lors des 12 semaines d'intervention avaient diminué (PROT-) ou augmenté (PROT+) leur apport protéique lors des 12 semaines d'intervention.

Lorsque nous avons comparé les gains de fonction musculaire et de capacités fonctionnelles suite à l'entraînement entre les deux groupes, aucune différence significative n'a été observée. Cette absence de différence pourrait en partie s'expliquer par un apport protéique déjà élevé chez les deux groupes, et ce, même au moment où leur consommation en protéines était la plus faible. En effet, l'apport protéique moyen des deux groupes n'est jamais descendu sous 1,09 g/kg/MC/j. Lorsque nous avons réalisé un modèle linéaire à deux facteurs, aucun effet de l'intervention et du groupe n'a été observé. Il faut toutefois noter le manque important de puissance statistique observé, qui pourrait contribuer à l'absence d'effet significatif. En tenant compte des limites de notre analyse, nos résultats pourraient suggérer que les changements d'apport protéique lors d'un entraînement, lorsque ce dernier se situe déjà dans la recommandation optimale variant entre 1,0 et 1,2 g/kgMC/j (Morais, Chevalier et al. 2006, Bauer, Biolo et al. 2013), n'ont qu'une importance limitée sur les résultats de l'entraînement en résistance. Ceci devra toutefois être confirmé par d'autres études.

En conclusion, nos résultats suggèrent qu'un apport protéique supérieur à 1,2 g/kgMC/j n'offre aucun effet bénéfique par rapport à un apport de 1,0 g/kgMC/j sur la fonction musculaire ou les capacités fonctionnelles chez les hommes âgés de 70 ans et plus ne participant pas à un programme d'entraînement en résistance. Par contre, nos résultats indiquent que les hommes âgés et en santé pourraient obtenir de meilleurs gains de fonction musculaire lors d'un entraînement en résistance lorsqu'ils consomment plus de 1,2 g/kgMC/j de protéines. Nos résultats suggèrent donc qu'un apport protéique élevé seul en absence d'effort physique n'ait qu'un effet limité sur la préservation de la fonction musculaire en vieillissant. Un entraînement en résistance jumelé à un apport protéique supérieur à 1,2 g/kgMC/j pourrait toutefois être une stratégie optimale pour maintenir ou même améliorer la fonction musculaire des personnes âgées. De futures études seront nécessaires pour confirmer nos résultats et pour investiguer l'apport protéique optimal pour les gains de fonction musculaire lors d'un entraînement en résistance.

## CHAPITRE VI

### LIMITES ET PERTINENCE

Cette étude comporte plusieurs limites. Tout d'abord, notre échantillon de participants était composé uniquement d'hommes de 70 ans et plus et en santé. Nos résultats sont donc limités à cette population. De futures études devront confirmer nos résultats chez des populations possiblement plus à risque, telles les femmes post-ménopausées et les individus pré-frêles et frêles. Ensuite, alors que le devis expérimental de l'étude a été construit principalement pour la vérification de notre première hypothèse, celui-ci ne s'est avéré que peu adapté pour la vérification de notre seconde hypothèse. En effet, notre petit nombre de participants et la grande variabilité de leur changement d'apport protéique ont probablement contribué à un manque de puissance statistique et ont potentiellement masqué certaines différences significatives. En effet, en utilisant l'équation de Cohen (Cohen, 1988) selon nos résultats, un nombre se situant entre 9 et 54 participants aurait été nécessaire pour percevoir des différences significatives pour nos variables principales. En conséquence, la présente étude doit être considérée comme une étude préliminaire dans le domaine. Cependant, puisque nos résultats suggèrent un rôle non négligeable de l'apport protéique initial sur réponse à entraînement, nous espérons qu'ils serviront de base et stimuleront l'intérêt dans ce domaine et contribueront ultimement à aboutir

à l'élaboration d'interventions efficaces pour lutter contre la perte de fonction musculaire chez les individus âgés.

## APPENDICE A

## CERTIFICAT DE L'EPTC 2

**Groupe en éthique  
de la recherche**  
Piloter l'éthique de la recherche humaine

**EPTC 2: FER**



*Certificat d'accomplissement*

*Ce document certifie que*

**François Charpentier Lemieux**

*a complété le cours : l'Énoncé de politique des trois Conseils :  
Éthique de la recherche avec des êtres humains :  
Formation en éthique de la recherche (EPTC 2 : FER)*

9 novembre, 2012

## APPENDICE B

## APPROBATION ÉTHIQUE DU PROJET



Université du Québec à Montréal

No du certificat : A-120006

**CIEREH**

Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains

## CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM, a examiné le protocole de recherche suivant et jugé conforme aux pratiques habituelles et répond aux normes établies par le Cadre normatif pour l'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM (juin 2012).

Protocole de recherche
------------------------

**Chercheur(e) principal(e) :** Mylène Aubertin-Leheudre  
**Unité de rattachement :** Département de kinanthropologie  
**Co-chercheur(s) :** Gilles Gouspillou et Marc Bélanger (département de kinanthropologie); Stéphanie Chevalier, Russel T. Hepple, Josée A. Morais, Dilson Rassier et Tanja Taivassalo (Université McGill).  
**Stagiaire postdoctoral(e) :** s/o  
**Étudiant(s) réalisant leurs projets de mémoire ou de thèse (incluant les thèses d'honneur) dans le cadre du présent protocole de recherche :** Charlotte Pion (doctorat en biologie); François Lemieux (maîtrise en kinanthropologie); Caroline Brulé (stagiaire en recherche - maîtrise); Marie-Ève Filion (doctorat en kinésjologie).  
**Titre du protocole de recherche :** Effet d'un entraînement en musculation (résistance et exercices fonctionnels) combiné ou non à une supplémentation en protéine sur les caractéristiques physiologiques et capacités fonctionnelles chez des hommes âgés pré-frères et non-frères.  
**Organisme de financement :** s/o

Modalités d'application
-------------------------

Les modifications importantes pouvant être apportées au protocole de recherche en cours de réalisation doivent être communiquées au comité.

Tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité ou l'éthicité de la recherche doit être communiqué au comité.

Toute suspension ou cessation du protocole (temporaire ou définitive) doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat d'éthique est valide jusqu'au 16 octobre 2013. Selon les normes de l'Université en vigueur, un suivi annuel est minimalement exigé pour maintenir la validité de la présente approbation éthique. Le rapport d'avancement de projet (renouvellement annuel ou fin de projet) est requis pour le : 16 septembre 2013 : <http://www.recherche.uqam.ca/ethique/humains/comites-reunions-formulaires-eth-humains/cier-comite-institutionnel-ethique-de-la-recherche-avec-des-etres-humains.html>

Christa Japel, Ph.D.  
 Professeure  
 Présidente par intérim

16 octobre 2012

Date d'émission initiale du certificat

## APPENDICE C

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DU PARTICIPANT



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (participant majeur)

**«Effets d'un entraînement en musculation (résistance et exercices fonctionnels) combiné ou non à une supplémentation en protéine sur les caractéristiques physiologiques et capacités fonctionnelles chez des hommes âgés pré-frêles et non frêles.»**

**IDENTIFICATION**

Responsable du projet : Mylène Aubertin-Leheudre, Professeure

Département, centre ou institut : Département de Kinanthropologie, Université du Québec à Montréal

Adresse postale : Département de Kinanthropologie, Université du Québec à Montréal, SB-4615, 141 Avenue du Président-Kennedy, Montréal (Québec) Canada, H2X 1Y4

Adresse courriel : aubertin-leheudre.mylene@uqam.ca

Membres de l'équipe : Marc Bélanger (Professeur), Tanja Taivassalo (Professeur), Russell T. Hepple (Professeur), Gilles Gouspillou (Professeur), José A. Morais (Professeur), Stéphanie Chevalier (Professeur), Dilson Rassier (Professeur), Imen Ben Hmida, Charlotte Pion, Sébastien Barbat (Candidats au doctorat en Biologie), François Lemieux (Candidat à la maîtrise en Kinanthropologie), Jean-Philippe Leduc-Gaudet (étudiants stagiaires de 1<sup>ière</sup> et de 2<sup>ème</sup> année en kinésologie, UQAM)

## BUT GÉNÉRAL DU PROJET

Ce projet a pour objectif d'établir l'effet d'un entraînement en musculation (résistance et fonctionnel) et d'une supplémentation ou non en protéines sur les caractéristiques physiologiques musculaires et la capacité fonctionnelle chez des hommes âgés sains ou pré-frêles. Ce projet est réalisé sous la direction du Dre Aubertin-Leheudre, professeure au département de Kinanthropologie de l'UQAM. Elle peut être jointe au 514 987 3000 poste 5018 ou par courriel à l'adresse suivante: aubertin-leheudre.mylene@uqam.ca.

## NATURE DU PROTOCOLE

L'étude est divisée en deux parties et en deux groupes :

1. L'évaluation de la composition corporelle, de la capacité fonctionnelle, des fonctions neuromusculaires et des habitudes alimentaires
2. Un programme d'entraînement d'une durée de 12 semaines (incluant une évaluation de la capacité musculaire et cardiovasculaire)

### Résumé des visites au cours de l'étude

Visite	Calendrier	Description	Durée
1 UQAM – Dept. Kin.	Semaine 1	Formulaire de consentement, poids, taille, DEXA-scan, CT-scan, mesure de la capacité fonctionnelle (SSPB), électrostimulation, ultrason et remise des questionnaires, du journal alimentaire et du brassard (armband)	2h40
–	Semaine 2	–	–
2 Hôpital Royal-Vic.	Semaine 3	Déjeuner standard, IRM, prise de sang, biopsie et retour des questionnaires, du journal alimentaire et brassard (armband)	2h00
–	Semaine 4	–	–
3-4-5 UQAM – Salle d'ent.	Semaine 5	Entraînement – Familiarisation et apprentissage des exercices	1h15

6-7-8 UQAM – Salle d'ent.	Semaine 6	Entraînement – Évaluation de la force musculaire (Développés des jambes et des bras, NIRS, dynamomètre) et de la capacité cardiovasculaire	1h30
7 à 36 UQAM – Salle d'ent.	Semaine 7 à 15	Entraînement – Évolution progressive des séries, répétitions et charge pour chaque exercices	1h00
37-38-39	Semaine 16	Entraînement – Évaluation de la force musculaire (Développés des jambes et des bras, NIRS, dynamomètre et et de la capacité cardiovasculaire	2h15
40 Hôpital Royal-Vic.	Semaine 17	Déjeuner standard, IRM, prise de sang, biopsie et remise des questionnaires, du journal alimentaire et du brassard (armband)	–
41 UQAM – Dept. Kin.	Semaine 18	Poids, DEXA-scan, CT-scan, mesure de la capacité fonctionnelle (SSPB), électrostimulation, ultrason et retour des questionnaires, du journal alimentaire et du brassard (armband) –	2h40

### PROCÉDURE(S)

Votre évaluation consiste en deux séances d'évaluation (pré-intervention) suivi de 12 semaines d'entraînement et se terminant par deux séances d'évaluation (post-intervention). Au cours de la 1<sup>ière</sup> séance d'évaluation nous mesurerons votre composition corporelle, capacité fonctionnelle (SSPB) et fonction neuromusculaire. Nous vous remettons également un questionnaire et un journal alimentaire à compléter d'ici la visite suivante ainsi qu'un brassard (armband) à porter durant 7 jours. La 2<sup>ième</sup> séance d'évaluation se déroulera à l'hôpital Royal-Victoria. Au cours de cette visite une prise de sang sera réalisée puis vous prendrez un déjeuner standard, passerez une imagerie par résonance magnétique (Conboy, Conboy et al.), et une biopsie de tissu musculaire. Ensuite, vous suivrez un programme de 12 semaines d'entraînement en musculation au cours desquelles nous évaluerons votre force, puissance et oxygénation musculaire ainsi que votre capacité aérobie sous-maximale (2<sup>ième</sup> et 16<sup>ième</sup> semaine d'entraînement). Finalement, à la 3<sup>ième</sup> séance d'évaluation une prise de sang sera

réalisée de nouveau et vous prendrez un déjeuner standard, passerez une imagerie par résonance magnétique (Conboy, Conboy et al.), et une biopsie de tissu musculaire. Nous vous remettrons également le questionnaire et le journal alimentaire à compléter d'ici la visite suivante ainsi qu'un brassard (armband) à porter durant 7 jours. À la 4<sup>ième</sup> séance d'évaluation nous réévaluerons votre composition corporelle, capacité fonctionnelle (SSPB) et fonction neuromusculaire et récupérerons le questionnaire, le journal alimentaire et le brassard (armband).

#### **DEXA-scan (10 min)**

Vous passerez un scanner d'absorptiométrie biphotonique à rayons X (*dual energy X-ray absorptiometry* - DEXA) afin de déterminer votre composition corporelle (densité osseuse, quantité de muscle et de gras). Vous devrez demeurer couché sur une table d'examen tandis qu'un rayon X à faible densité balayera votre corps pendant 10 minutes.

#### **CT-scan portable (10 min)**

La masse grasse et la masse musculaire de votre jambe droite seront évaluées par CT-scan portable (tomodensitométrie). Cet appareil utilise de faibles niveaux de rayons X et mesure leur taux d'absorption par les tissus pour créer des images numériques de la structure anatomique voulue. Lors de cette procédure, vous devrez demeurer assis et immobile sur un siège ajusté pendant 10 minutes. Par mesure de précaution, vous porterez également une veste de plomb.

#### **Capacité fonctionnelle (10-15 min)**

Vos capacités fonctionnelles seront mesurées à l'aide d'une batterie de tests validés et issus du *Short Physical Performance Battery* (SSPB), soit le test de la chaise, de l'escalier, de l'équilibre, de la marche normale et rapide sur 4 mètres, de se lever et marcher (*stand-up and go*) à vitesse normale et à vitesse rapide.

#### **Électrostimulation (95-110 min) et ultrason (5 min)**

Cette évaluation se décompose en 12 étapes (pour plus de détails, vous pouvez consulter la section « Annexe » ou vous renseigner auprès de votre évaluateur);

Au cours de l'étape suivante, vous serez assis sur une chaise dans la salle de biomécanique.

1. *Estimation de l'aire et du volume musculaire par technique d'ultrason (5 min).*

Une image de votre muscle de la cuisse (Vastus Lateralis; VL) sera prise avec une sonde ultrason.

Au cours des étapes suivantes, le sujet est assis sur une chaise

2. *Installation EMG des muscles de la cuisse Vastus Lateralis (VL) et Biceps fémoral (BF) (5 min).*

L'électromyographie (EMG) permet d'enregistrer l'activité électrique d'un muscle. Pour ce faire, des électrodes seront apposées sur la peau nettoyée au-dessus des muscles VL et BF de votre cuisse droite.

3. *Mesure du réflexe myotatique (Réflexe de Hoffmann - H) (15 min)*

Le réflexe H au niveau du muscle soléaire sera induit par la stimulation du nerf tibial au niveau du creux poplité avec une impulsion de 1 ms. L'intensité de stimulation sera augmentée progressivement jusqu'à l'obtention de la réponse motrice (M) maximale (Mmax). L'intensité de stimulation sera ensuite diminuée et réglée pour maintenir une onde M constante à  $10\% \pm 1\%$  de Mmax. Dix bons essais présentés de façon aléatoire seront collectés.

4. *Contraction volontaire maximale (CVM) du VL et du BF (10 min).*

Ce test permet de déterminer la capacité du système à produire volontairement une force maximale. Pour ce faire, tout en demeurant assis sur votre chaise, vous serez invité à effectuer une contraction maximale volontaire du VL, suivie d'une minute de repos. Ensuite, vous serez invité à produire une contraction maximale du BF.

5. *Test fonctionnel (lever/debout à partir d'une chaise) (1 min).*

Une fois l'EMG installé, un goniomètre sera installé sur votre jambe gauche afin de mesurer l'angle formé par votre genou lorsque vous vous levez et que vous vous rassiez sur votre chaise.

6. *Secousse musculaire par stimulation du muscle (SMSM) (15 min).*

Cette évaluation permet d'obtenir une contraction maximale du muscle par stimulation électrique du muscle. Pour effectuer cette stimulation, 2 électrodes seront apposées sur votre cuisse droite de chaque côté de la région centrale du VL.

7. *Secousse musculaire par stimulation du nerf (SMSN) (15 min).*

La secousse musculaire consiste en une contraction maximale du muscle provoquée par une stimulation électrique du nerf. Pour effectuer cette stimulation, 2 électrodes seront placées sur la peau nettoyée au-dessus du nerf fémoral qui innerve le muscle VL.

8. *CVM du VL et superposition de SMSM (5 min).*

Cet essai nous permet de déterminer la différence de force (une réserve) entre la CVM et la contraction obtenue lors d'une SMSM. Pour ce faire, nous faisons une SMSM alors que vous êtes en train d'effectuer une CVM.

9. *CVM du VL et superposition de SMSN (5 min).*

Cet essai nous permet de déterminer la différence de force entre la CVM et la contraction obtenue lors d'une SMSN. Pour ce faire, nous faisons une SMSN alors que vous êtes en train d'effectuer une CVM.

10. *Test de fatigue (5 min)*

Ce test permet de déterminer les capacités de l'individu à produire une force maximale et de maintenir celle-ci pendant un période de temps. Vous devez contracter maximalelement le muscle VL pendant 2 secondes et suivre la contraction d'une période de repos de 1 seconde pour une durée totale de près de 4 min. A chaque demi minute, une stimulation du muscle (SMSM) sera effectuée lors de contractions maximales volontaires.

11. *Répétition des étapes 6 et 7suivi de l'étape 5 (20 min).*

La répétition de ces étapes va nous permettre d'observer l'effet de la fatigue musculaire sur les fonctions mesurées lors de ces étapes.

12. *Période de récupération (temps variable).*

Après désinstallation du matériel, nous nous assurons que vous êtes apte à vous déplacer de façon autonome, sans gêne et sans contrainte musculaire. Vous êtes libre de prendre le temps que vous jugerez nécessaire pour vous déplacer en toute sécurité.

**Questionnaires (5 min)**

Vous devrez répondre à un questionnaire portant sur votre santé générale et fonctionnelle, votre niveau d'activité physique et facteurs psychosociaux. Les questions posées chercheront à évaluer: votre niveau de stress, votre qualité de vie, votre capacité fonctionnelle, votre perception de la santé ainsi que votre niveau d'activité physique et d'autres données démographiques. Notez que vous avez le droit de ne pas répondre aux questions qui vous rendent inconfortable.

**Journal alimentaire (10 min)**

Pendant 3 jours (deux jours durant la semaine et un jour durant la fin de semaine), vous devrez noter dans un carnet fourni à cette fin, tous les aliments et les boissons consommés (description détaillée: quantité, nature, garniture, etc.).

**Brassard (Senswear armband)**

Vous devrez porter pendant 7 jours un brassard. Cet appareil pèse 85 grammes. Il enregistrera l'information de votre dépense énergétique journalière et votre dépense énergétique lors d'activité physique. Les données comme le poids corporel, la taille et la main dominante seront

utilisées pour calculer la dépense énergétique. Le brassard sera installé à l'aide d'un velcro sur la partie supérieure du bras dominant et vous devrez le porter en permanence sauf pour toutes activités aquatiques (bain, douche, piscine, etc.). Vous ne devrez cependant pas l'enlever, si possible, pendant plus de 30 minutes par jour.

#### **Imagerie par résonance magnétique (15 min)**

Une Imagerie par Résonance Magnétique (Conboy, Conboy et al.) de vos jambes sera obtenue dans le but d'estimer la composition notamment en masse grasse et masse musculaire. Il n'y a pas de radiation ni de danger à passer une IRM. Cependant, pour ce test vous devrez rester immobile pendant la prise d'images. Si vous ne vous sentez pas à l'aise dans un espace restreint, vous pourrez en aviser le technicien en charge de votre examen ou la personne responsable qui vous accompagne lors de votre évaluation.

#### **Prise de sang (10 min)**

Une prise de sang sera effectuée par le médecin en charge de la biopsie musculaire afin d'obtenir la mesure de votre profil protéique (e.g. hormone de croissance, IGF-1). Lors de ce prélèvement, moins de 40 ml de sang seront prélevés.

#### **Biopsie musculaire (30 min)**

La biopsie musculaire, une évaluation qui permet de déterminer le type et la taille de fibres musculaires, sera effectuée sur votre cuisse droite par le Dr. José Morais. La peau et les tissus sous-jacents seront anesthésiés avant que le médecin procède à une incision sur votre peau de 0,7 cm (environ la largeur d'un crayon). Une aiguille à biopsie (un cylindre creux d'un diamètre de 6 mm) sera insérée dans le muscle pour prélever rapidement un échantillon d'environ 0,1g de muscle. L'incision de la peau sera ensuite recouverte d'un bandage adhésif stérile et d'un pansement protecteur. Une pression ferme sera appliquée et maintenue pendant 10 minutes sur le site de la biopsie pour éviter l'enflure au niveau de votre muscle. Étant donné l'anesthésie locale, la douleur restera sous contrôle du médecin. Notez que vous êtes libre d'accepter ou de refuser de passer cet examen.

Les tissus biologiques (sang et muscle) seront dépersonnalisés et codés comme toutes les autres données (code de participants conservé dans un classeur fermé à clé dans le bureau de la responsable du projet). Les tissus sanguins seront analysés dans un laboratoire de McGill

situé à l'hôpital Royal-Victoria et les tissus musculaires seront analysés dans un laboratoire du département de kinanthropologie de l'UQAM. Aucune mesure génétique ou autre ne sera effectuée à partir de ces échantillons. Par après, les tissus seront gelés à -80°C et transférés pour entreposage dans un congélateur du laboratoire d'échantillons biologiques (SB-4450) à l'UQAM. Les tissus seront conservés pour une période minimale de 10 ans pour assurer la valeur scientifique. L'accès aux échantillons est contrôlé par la responsable du projet.

### **Test de force (30 min)**

- 1) Mesurée par dynamomètre : La force maximale développée par chaque main sera mesurée par dynamomètre. Le dynamomètre utilisé est un appareil en métal ayant une poignée. Pour effectuer ce test, d'une durée d'environ 5 minutes, vous devrez, en position debout le bras à 10 degrés du corps, serrer l'appareil le plus fort possible avec la main. Le test sera effectué à trois reprises pour chaque main. Votre force maximale (isométrique) et votre puissance (concentrique/excentrique) de la jambe droite, en mouvement d'extension du genou, seront également mesurées à l'aide d'un dynamomètre – BTE). Un temps de récupération sera accordé entre chaque test afin d'optimiser les résultats.
  
- 2) Mesurée par appareils d'entraînement : La force musculaire sera évaluée à l'aide de deux appareils d'entraînement, soit le développé des jambes pour le bas du corps (*leg press*) et le développé des bras (*chest press*) pour le haut du corps. La force musculaire sera mesurée en utilisant la technique de la répétition maximale (1-RM). Vous commencerez la séance d'évaluation par une légère marche d'une durée de 10 minutes sur un tapis roulant. Pour chaque appareil, un entraîneur vous conseillera en ce qui concerne la position du corps sur l'appareil et les ajustements à apporter. Pour les 2 exercices, la première série sera utilisée comme un réchauffement de 10 répétitions avec une charge légère déterminée par l'entraîneur. Par la suite, la charge sera augmentée jusqu'à ce que l'effort maximal soit atteint. La répétition maximale sera déterminée à l'intérieur de 5 essais avec une pause de 4 minutes entre chaque essai. Un échec sera défini comme étant une extension incomplète de la charge soulevée. La durée totale de ce test sera environ 30 minutes.

**Puissance musculaire (5 min)**

La puissance de vos membres inférieurs sera mesurée par le Leg Extensor Power Rig. Cet appareil est conçu pour effectuer des mesures de puissance explosive des membres inférieurs de façon sécuritaire chez les adultes de tout âge et tout état de capacité physique. La mesure est effectuée en position assise en utilisant une seule jambe à la fois. Vous devrez pousser une pédale plusieurs fois avec le plus de force et de vitesse possible.

**Oxygénation musculaire (15 min)**

L'oxygénation des muscles de votre jambe, au repos et à l'exercice, sera mesurée par spectroscopie proche infrarouge (*Near InfraRed Spectroscopy* - NIRS). Le NIRS est un appareil permettant de mesurer la quantité et le contenu en oxygène de l'hémoglobine de façon non-invasive. Le NIRS émet une onde lumineuse infrarouge qui passe à travers les tissus et qui est captée par un capteur. Les changements d'intensité entre la source et le capteur ont été corrélés à différents niveaux d'oxygénation du tissu. Cette procédure sera réalisée avant et pendant l'évaluation de la force musculaire par BTE. Vous serez en position assise et l'appareil sera installé sur votre cuisse. Lors de cette procédure, le débit cardiaque sera mesuré par moniteur hémodynamique (PhysioFlow) dont les capteurs sensoriels seront installés sur votre poitrine.

**Capacité aérobie et paramètres de marche (15 min)**

Votre capacité aérobie sous maximale sera évaluée par calorimétrie indirecte (K4b<sup>2</sup>) lors d'un test de marche de 6 minutes sur circuit continu avec passage sur une piste de marche électronique Gaitrite. Le Gaitrite est un tapis de marche électronique de 8 mètres (similaire aux tapis placés à l'entrée des pavillons durant la période hivernale) qui permet d'obtenir une analyse approfondie des paramètres spatio-temporels de votre marche. Avant le début du test, un cardiofréquencemètre et un analyseur de gaz (K4b<sup>2</sup>) seront mis en place dans un harnais portable que vous porterez. Les lanières seront ajustées et attachées afin de ne pas vous gêner lors de votre effort.

### **Entraînement**

Le programme d'entraînement sera divisé en 2 parties:

- 1) Exercices avec une charge : 3 séries de 6 à 12 répétitions à 80% du 1RM pour la première séance. Ensuite nous augmenterons progressivement la charge afin que vous soyez en mesure de faire entre 6 et 12 répétitions durant les 3 séries à chaque exercice; pour chaque groupe musculaire important (développé des jambes, développé des bras assis, tirage à la poulie haute, flexion des jambes assis)
- 2) Exercices fonctionnels : 3 séries de 8 répétitions à tempo 2-1-2 pour la posture et l'équilibre avec ou sans résistance (accroupissement [*squat*] avec ballon suisse, contrôle postural assis sur ballon suisse, *bird-dog*, rotation externe de l'épaule, monter les escaliers, la presse militaire).

Quatre plages horaires d'une heure et quart vous sont proposées pour l'entraînement : entre 7h30 et 8h45, 8h45 et 10h00, 10h00 et 11h15 et 11h15 et 12h30. Un kinésologue sera présent pour superviser chaque session d'entraînement (3x/semaine durant 12 semaines).

### **AVANTAGES et RISQUES**

#### Avantages

Vous aurez accès à un bilan de votre fonction musculaire (architecture du muscle étudié, force maximale développée, électromyographie, ostéodensitométrie, niveau de réflexe myotatique). Vous aurez également un bilan de vos capacités fonctionnelles, de votre composition corporelle et de vos habitudes d'activité physique (sur 1 semaine) par des appareils de mesures de haute qualité. Pour des explications sur vos bilans personnels, vous pouvez vous référer à la responsable du projet. De plus, l'intervention en activité physique (entraînement en résistance) de 3 mois est un avantage direct de votre participation à l'étude. En effet, vous bénéficierez d'un accès gratuit à une salle d'entraînement et un encadrement de 3 mois par des professionnels de l'activité physique. Vous acquerrez également des connaissances spécifiques sur l'entraînement en salle et le type d'exercices qui vous convient. Ainsi vous profiterez des bienfaits associés à l'entraînement. Finalement, au niveau des bénéfices indirects, votre participation à cette étude et les résultats qui en découleront, permettront de développer des entraînements plus spécifiques et mieux adaptés pour différentes populations vieillissantes.

## Risques

- 1- Le protocole de l'étude comprend un test de fatigue musculaire (contractions maximales répétées) qui s'accompagne de risque d'incidents cardio-vasculaires. Cela est également susceptible d'engendrer un inconfort ou une douleur musculaire dans les heures suivant le test qui s'accompagne d'un risque de déséquilibre. C'est pourquoi vous devez recevoir un accord médical avant de prendre part à ces évaluations. De plus, les tests seront administrés par un kinésiologue et un défibrillateur sera toujours présent dans la pièce en cas d'évènement majeur. Des collations seront aussi offertes au cas où vous ressentiriez une faiblesse musculaire ou des étourdissements. Vous pourrez également vous assoir ou allonger pour vous reposer et reprendre des forces avant de repartir du laboratoire. Ainsi, le risque d'incidents cardio-vasculaires ou de déséquilibre seront grandement minimisés.
- 2- L'étude consistant en une stimulation musculaire répétitive et maximale, des risques de fractures sont présents (dus à la tension exercée par le muscle sur l'os). Néanmoins, afin de limiter au maximum les risques de fractures, vous devez passer un test d'ostéodensitométrie. Les individus ayant une faible densité osseuse (ostéopéniques ou ostéoporotiques) seront exclus de l'étude.
- 3- Le DEXA-scan et le CT-scan comportent de faibles doses d'exposition aux rayons X. Cette exposition se chiffre à 0,3  $\mu\text{Sv}$  pour le DEXA, ce qui est inférieur à l'exposition ambiante naturelle pour une journée. Selon les analyses de Braun *et al.* en 1998 l'exposition aux rayons X pour le CT-scan portable (Stratec XCT 3000) au niveau de la cuisse est négligeable, soit 1,4  $\mu\text{Sv}$ , ce qui est inférieur à 7% de la dose de radiation d'un CT-scan conventionnel. La dose de radiations est également inférieure à celle du DEXA. À titre de comparaison, un vol d'avion à 12000m d'altitude donne une dose de radiation comprise entre 3 et 9  $\mu\text{Sv}$ /heure et une radiologie dentaire se trouve à environ 10  $\mu\text{Sv}$ . Selon Santé Canada ([www.sc-hc.gc.ca](http://www.sc-hc.gc.ca)), la dose annuelle normale de rayonnement naturel au Canada est de 2 000 à 3 000  $\mu\text{Sv}$  par année (5.5-8.2  $\mu\text{Sv}$ /jour). Selon le National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP-USA), une dose acceptable de radiation est < 500 $\mu\text{Sv}$ /mois. Donc, la dose de radiation de l'appareil CT-scan portable est inférieure au rayonnement naturel de la vie quotidienne au Canada. De plus, les participants porteront une veste de plomb pour les protéger davantage des risques d'exposition.

- 4- L'électrostimulation implique des risques de chocs électriques. Néanmoins, ces risques sont limités par l'utilisation d'outils standardisés et approuvés reliés à un UPS (système permettant d'assurer une alimentation continue et régulière, et qui permet d'éliminer les surcharges transitoires indésirables). Le système comprend également une boîte d'isolation permettant d'isoler le participant au cours de l'expérimentation. L'amplitude de la stimulation est toujours mise à zéro entre les périodes de stimulation.
- 5- Le principal risque associé à la spectroscopie proche infrarouge (NIRS) est lié à la chaleur résultante de l'absorption de la lumière par la peau. Si des précautions ne sont pas prises, cette chaleur peut causer de légères abrasions sur la peau. Toutefois, ce risque devient pratiquement nul lorsque les paramètres d'amplitude sont bien ajustés aux caractéristiques du participant et lorsqu'une couche isolante est utilisée comme cela va être fait lors de cette évaluation.
- 6- Des risques d'essoufflement, souffle court, fatigue ou inconfort musculaire local peuvent être associés au test d'évaluation de la capacité aérobie sous maximale. Toutefois, ces risques demeurent très faibles, comparables à une marche rapide dans la vie quotidienne des participants.
- 7- Les risques de la biopsie musculaire sont considérés minimes, par contre une cicatrice (due à l'incision; de 5 à 7mm) pourrait ne pas disparaître complètement. Un risque de douleur musculaire est également possible au niveau du site de la biopsie. Et plus rarement, des risques de complications tel qu'infection, dénervation et saignement sont présents. Par contre, ce type de manœuvre est couramment pratiqué par le Dr. Morais. Ce dernier s'entretiendra avec vous avant de procéder à la biopsie afin de vous expliquer toute la procédure et la douleur suivant la biopsie pourra être contrôlé avec de l'acétaminophène (Tylenol®) qui vous sera fourni.
- 8- L'intervention pourrait entraîner un risque supplémentaire de blessures musculo-squelettiques. Néanmoins, l'entraînement sera supervisé par un kinésiologue. Ainsi, la première semaine d'entraînement sera consacrée à l'apprentissage des techniques adéquates pour chaque exercice du programme d'entraînement et permettra d'éviter de mauvaises postures. De plus, chaque séance d'entraînement débutera par une période d'échauffement et se terminera par une période d'étirements obligatoires pour les participants. De cette façon, nous minimisons les risques de blessures durant les séances avec l'échauffement et à long terme avec les étirements.

## **CONFIDENTIALITÉ**

Les informations recueillies à votre propos lors de cette étude de recherche seront contenues dans un dossier de recherche confidentiel qui ne sera pas identifié avec votre nom, mais par un code confidentiel lié à votre nom. Les dossiers anonymes ainsi que la clé des codes de participants pour cette étude de recherche seront conservés sous clé dans le laboratoire de la responsable du projet à l'UQAM. L'accès aux dossiers anonymes de cette étude sera restreint aux membres de l'équipe impliqués dans cette recherche et seulement pour des fins d'analyse de cette étude. L'accès à la clé des codes de participants pour cette étude sera strictement limité à la personne de l'équipe responsable de cette clé (Dre Aubertin-Leheudre). À votre demande, les renseignements vous concernant seront détruits. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, conférences et communications scientifiques) et à des fins pédagogiques, les renseignements personnels recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

## **PARTICIPATION VOLONTAIRE**

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs, vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche. Dans ce cas les renseignements vous concernant seront détruits.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que le responsable du projet puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

Il est entendu que votre participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait volontaire et que vous êtes, à tout moment, libre de mettre fin à votre participation sans avoir à motiver votre décision, ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit.

Par ailleurs, si durant l'étude, vous deviez prendre une médication, vous seriez alors contraint d'en aviser le chercheur et seriez possiblement retiré de l'étude. De plus, l'équipe de recherche peut, à tout moment, prendre la décision de retirer un participant de l'étude dans le cas où celui-ci ne correspond plus aux critères d'admissibilités ou s'il nuit au bon développement de la recherche.

### **AUTORISATION DE TRANSMETTRE LES RESULTATS**

Vous autorisez les personnes responsables du projet à transmettre les résultats de votre évaluation à votre médecin traitant si cela s'avère pertinent, par exemple, dans le cas où l'évaluation permet de suspecter une anomalie

Oui →  Non →

Nom et adresse du médecin traitant :

---

---

---

### **ÉTUDE ULTÉRIEURE**

Il se peut que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude donnent lieu à une autre recherche. Dans cette éventualité, vous autorisez les personnes responsables de ce projet à vous contacter et à vous demander si vous êtes intéressé à participer à cette recherche.

Oui →  Non →

### **COMPENSATION FINANCIÈRE**

Une compensation financière de 10\$ par séance d'évaluation vous sera octroyée afin de rembourser les frais liés aux déplacements et aux stationnements. Un total de 40\$ vous sera donc remis entièrement lors de la dernière séance d'évaluation.

**DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?**

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Mylène Aubertin-Leheudre, Professeure

Numéro de téléphone : (514) 987-3000 poste 5018

Adresse courriel : aubertin\_leheudre.mylène@uqam.ca

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM (CIÉR) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter le président du CIÉR, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à [CIEREH@UQAM.CA](mailto:CIEREH@UQAM.CA)

**REMERCIEMENTS**

**Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.**

---

---

---

---

---

**DECLARATION DU PARTICIPANT**

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que l'interviewer a répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il me suffit d'en informer la responsable du projet.

**Signature du participant :**

**Date :**

**Nom (lettres moulées):**

**DECLARATION DU RESPONSABLE**

Je soussigné(e) \_\_\_\_\_, certifie avoir expliqué au signataire intéressé les termes du présent formulaire, avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard ; lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus.

Signature du responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_

Jour / Mois / Année

*Veillez conserver le premier exemplaire de ce formulaire de consentement pour communication éventuelle avec l'équipe de recherche et remettre le second à l'interviewer.*

## RÉFÉRENCES

- Abellan van Kan, G. (2009). "Epidemiology and consequences of sarcopenia." J Nutr Health Aging **13**(8): 708-712.
- Adegoke, O. A., A. Abdullahi and P. Tavajohi-Fini (2012). "mTORC1 and the regulation of skeletal muscle anabolism and mass." Appl Physiol Nutr Metab **37**(3): 395-406.
- Anthony, J. C., A. K. Reiter, T. G. Anthony, S. J. Crozier, C. H. Lang, D. A. MacLean, S. R. Kimball and L. S. Jefferson (2002). "Orally administered leucine enhances protein synthesis in skeletal muscle of diabetic rats in the absence of increases in 4E-BP1 or S6K1 phosphorylation." Diabetes **51**(4): 928-936.
- Artero, E. G., D. C. Lee, J. R. Ruiz, X. Sui, F. B. Ortega, T. S. Church, C. J. Lavie, M. J. Castillo and S. N. Blair (2011). "A prospective study of muscular strength and all-cause mortality in men with hypertension." J Am Coll Cardiol **57**(18): 1831-1837.
- Aubertin-Leheudre, M. and H. Adlercreutz (2009). "Relationship between animal protein intake and muscle mass index in healthy women." Br J Nutr **102**(12): 1803-1810.
- Barbat-Artigas, S., S. Dupontgand, A. Fex, A. D. Karelis and M. Aubertin-Leheudre (2011). "Relationship between dynapenia and cardiorespiratory functions in healthy postmenopausal women: novel clinical criteria." Menopause **18**(4): 400-405.
- Barbat-Artigas, S., M. E. Filion, S. Dupontgand, A. D. Karelis and M. Aubertin-Leheudre (2011). "Effects of tai chi training in dynapenic and nondynapenic postmenopausal women." Menopause **18**(9): 974-979.
- Barbat-Artigas, S., Y. Rolland, M. Cesari, G. Abellan van Kan, B. Vellas and M. Aubertin-Leheudre (2012). "Clinical Relevance of Different Muscle Strength Indexes and Functional Impairment in Women Aged 75 Years and Older." J Gerontol A Biol Sci Med Sci.

- Bauer, J., G. Biolo, T. Cederholm, M. Cesari, A. J. Cruz-Jentoft, J. E. Morley, S. Phillips, C. Sieber, P. Stehle, D. Teta, R. Visvanathan, E. Volpi and Y. Boirie (2013). "Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: a position paper from the PROT-AGE Study Group." J Am Med Dir Assoc **14**(8): 542-559.
- Baumgartner, R. N., K. M. Koehler, D. Gallagher, L. Romero, S. B. Heymsfield, R. R. Ross, P. J. Garry and R. D. Lindeman (1998). "Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico." Am J Epidemiol **147**(8): 755-763.
- Beasley, J. M., A. Z. LaCroix, M. L. Neuhouser, Y. Huang, L. Tinker, N. Woods, Y. Michael, J. D. Curb and R. L. Prentice (2010). "Protein intake and incident frailty in the Women's Health Initiative observational study." J Am Geriatr Soc **58**(6): 1063-1071.
- Bennet, W. M., A. A. Connacher, C. M. Scrimgeour, K. Smith and M. J. Rennie (1989). "Increase in anterior tibialis muscle protein synthesis in healthy man during mixed amino acid infusion: studies of incorporation of [1-13C]leucine." Clin Sci (Lond) **76**(4): 447-454.
- Benton, M. J., C. L. Wagner and J. L. Alexander (2010). "Relationship between body mass index, nutrition, strength, and function in elderly individuals with chronic obstructive pulmonary disease." J Cardiopulm Rehabil Prev **30**(4): 260-263.
- Biolo, G., S. P. Maggi, B. D. Williams, K. D. Tipton and R. R. Wolfe (1995). "Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans." Am J Physiol **268**(3 Pt 1): E514-520.
- Biolo, G., K. D. Tipton, S. Klein and R. R. Wolfe (1997). "An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein." Am J Physiol **273**(1 Pt 1): E122-129.
- Bohe, J., A. Low, R. R. Wolfe and M. J. Rennie (2003). "Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study." J Physiol **552**(Pt 1): 315-324.
- Borsheim, E., K. D. Tipton, S. E. Wolf and R. R. Wolfe (2002). "Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise." Am J Physiol Endocrinol Metab **283**(4):

E648-657.

Bouchard, C., S. N. Blair and W. L. Haskell (2007). Physical Activity and Health, Human Kinetics.

Bouchard, D. R., S. Beliaeff, I. J. Dionne and M. Brochu (2007). "Fat mass but not fat-free mass is related to physical capacity in well-functioning older individuals: nutrition as a determinant of successful aging (NuAge)--the Quebec Longitudinal Study." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **62**(12): 1382-1388.

Bouchard, D. R., S. Choquette, I. J. Dionne and M. Brochu (2011). "Is fat mass distribution related to impaired mobility in older men and women? Nutrition as a determinant of successful aging: the Quebec longitudinal study." Exp Aging Res **37**(3): 346-357.

Bouchard, D. R., I. J. Dionne and M. Brochu (2009). "Sarcopenic/obesity and physical capacity in older men and women: data from the Nutrition as a Determinant of Successful Aging (NuAge)-the Quebec longitudinal Study." Obesity (Silver Spring) **17**(11): 2082-2088.

Brack, A. S. and T. A. Rando (2007). "Intrinsic changes and extrinsic influences of myogenic stem cell function during aging." Stem Cell Rev **3**(3): 226-237.

Breen, L. and S. M. Phillips (2011). "Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: Interventions to counteract the 'anabolic resistance' of ageing." Nutr Metab (Lond) **8**: 68.

Breen, L. and S. M. Phillips (2013). "Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during ageing." Br J Clin Pharmacol **75**(3): 708-715.

Burd, N. A., D. W. West, T. Reresich, T. Prior, S. K. Baker and S. M. Phillips (2011). "Validation of a single biopsy approach and bolus protein feeding to determine myofibrillar protein synthesis in stable isotope tracer studies in humans." Nutr Metab (Lond) **8**: 15.

Buse, M. G. and S. S. Reid (1975). "Leucine. A possible regulator of protein turnover in muscle." J Clin Invest **56**(5): 1250-1261.

Calder, P. C. (2006). "Branched-chain amino acids and immunity." J Nutr **136**(1 Suppl): 288S-293S.

Campbell, W. W., C. A. Johnson, G. P. McCabe and N. S. Carnell (2008). "Dietary protein requirements of younger and older adults." Am J Clin Nutr **88**(5): 1322-1329.

Candow, D. G., P. D. Chilibeck, S. Abeysekara and G. A. Zello (2011). "Short-term heavy resistance training eliminates age-related deficits in muscle mass and strength in healthy older males." J Strength Cond Res **25**(2): 326-333.

Candow, D. G., P. D. Chilibeck, M. Facci, S. Abeysekara and G. A. Zello (2006). "Protein supplementation before and after resistance training in older men." Eur J Appl Physiol **97**(5): 548-556.

Cermak, N. M., P. T. Res, L. C. de Groot, W. H. Saris and L. J. van Loon (2012). "Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis." Am J Clin Nutr **96**(6): 1454-1464.

Cesari, M., S. B. Kritchevsky, B. W. Penninx, B. J. Nicklas, E. M. Simonsick, A. B. Newman, F. A. Tylavsky, J. S. Brach, S. Satterfield, D. C. Bauer, M. Visser, S. M. Rubin, T. B. Harris and M. Pahor (2005). "Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people--results from the Health, Aging and Body Composition Study." J Am Geriatr Soc **53**(10): 1675-1680.

Chale, A., G. J. Cloutier, C. Hau, E. M. Phillips, G. E. Dallal and R. A. Fielding (2013). "Efficacy of whey protein supplementation on resistance exercise-induced changes in lean mass, muscle strength, and physical function in mobility-limited older adults." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **68**(6): 682-690.

Chesley, A., J. D. MacDougall, M. A. Tarnopolsky, S. A. Atkinson and K. Smith (1992). "Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise." J Appl Physiol **73**(4): 1383-1388.

Choquette, S., D. R. Bouchard, C. Y. Doyon, M. Senechal, M. Brochu and I. J. Dionne (2010). "Relative strength as a determinant of mobility in elders 67-84 years of age. a nuage study: nutrition as a determinant of successful aging." J Nutr Health Aging **14**(3): 190-195.

Clark, B. C. and T. M. Manini (2008). "Sarcopenia  $\neq$  dynapenia." J Gerontol A Biol Sci

Med Sci 63(8): 829-834.

Clark, B. C. and T. M. Manini (2010). "Functional consequences of sarcopenia and dynapenia in the elderly." Curr Opin Clin Nutr Metab Care 13(3): 271-276.

Clark, B. C. and T. M. Manini (2012). "What is dynapenia?" Nutrition 28(5): 495-503.

Clark, B. C., T. M. Manini, S. J. Bolanowski and L. L. Ploutz-Snyder (2006). "Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting: II. Neurological properties and motor imagery efficacy." J Appl Physiol 101(1): 264-272.

Cohen (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (second ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Colbert, L. H., C. E. Matthews, T. C. Havighurst, K. Kim and D. A. Schoeller (2011). "Comparative validity of physical activity measures in older adults." Med Sci Sports Exerc 43(5): 867-876.

Conboy, I. M., M. J. Conboy, A. J. Wagers, E. R. Girma, I. L. Weissman and T. A. Rando (2005). "Rejuvenation of aged progenitor cells by exposure to a young systemic environment." Nature 433(7027): 760-764.

Cuthbertson, D., K. Smith, J. Babraj, G. Leese, T. Waddell, P. Atherton, H. Wackerhage, P. M. Taylor and M. J. Rennie (2005). "Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle." FASEB J 19(3): 422-424.

Delmonico, M. J., T. B. Harris, M. Visser, S. W. Park, M. B. Conroy, P. Velasquez-Mieyer, R. Boudreau, T. M. Manini, M. Nevitt, A. B. Newman and B. H. Goodpaster (2009). "Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration." Am J Clin Nutr 90(6): 1579-1585.

Demakakos, P., M. Hamer, E. Stamatakis and A. Steptoe (2010). "Low-intensity physical activity is associated with reduced risk of incident type 2 diabetes in older adults: evidence from the English Longitudinal Study of Ageing." Diabetologia 53(9): 1877-1885.

Dillon, E. L., M. Sheffield-Moore, D. Paddon-Jones, C. Gilkison, A. P. Sanford, S. L.

- Casperson, J. Jiang, D. L. Chinkes and R. J. Urban (2009). "Amino acid supplementation increases lean body mass, basal muscle protein synthesis, and insulin-like growth factor-I expression in older women." J Clin Endocrinol Metab **94**(5): 1630-1637.
- Dodd, K. M. and A. R. Tee (2012). "Leucine and mTORC1: a complex relationship." Am J Physiol Endocrinol Metab **302**(11): E1329-1342.
- Dreyer, H. C., M. J. Drummond, B. Pennings, S. Fujita, E. L. Glynn, D. L. Chinkes, S. Dhanani, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2008). "Leucine-enriched essential amino acid and carbohydrate ingestion following resistance exercise enhances mTOR signaling and protein synthesis in human muscle." Am J Physiol Endocrinol Metab **294**(2): E392-400.
- Dreyer, H. C., S. Fujita, J. G. Cadenas, D. L. Chinkes, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2006). "Resistance exercise increases AMPK activity and reduces 4E-BP1 phosphorylation and protein synthesis in human skeletal muscle." J Physiol **576**(Pt 2): 613-624.
- Drummond, M. J., H. C. Dreyer, B. Pennings, C. S. Fry, S. Dhanani, E. L. Dillon, M. Sheffield-Moore, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2008). "Skeletal muscle protein anabolic response to resistance exercise and essential amino acids is delayed with aging." J Appl Physiol (1985) **104**(5): 1452-1461.
- Durham, W. J., S. L. Casperson, E. L. Dillon, M. A. Keske, D. Paddon-Jones, A. P. Sanford, R. C. Hickner, J. J. Grady and M. Sheffield-Moore (2010). "Age-related anabolic resistance after endurance-type exercise in healthy humans." FASEB J **24**(10): 4117-4127.
- Elliot, T. A., M. G. Cree, A. P. Sanford, R. R. Wolfe and K. D. Tipton (2006). "Milk ingestion stimulates net muscle protein synthesis following resistance exercise." Med Sci Sports Exerc **38**(4): 667-674.
- Evans, W. J. (1992). "Exercise, nutrition and aging." J Nutr **122**(3 Suppl): 796-801.
- Evans, W. J. (1995). "What is sarcopenia?" J Gerontol A Biol Sci Med Sci **50 Spec No**: 5-8.
- Evans, W. J. (2004). "Protein nutrition, exercise and aging." J Am Coll Nutr **23**(6 Suppl): 601S-609S.

Evans, W. J. R., I.R. (1991). Biomarkers: The Ten Determinants of Aging You Can Control. New York, Simon & Schuster.

Faulkner, J. A., L. M. Larkin, D. R. Claflin and S. V. Brooks (2007). "Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles." Clin Exp Pharmacol Physiol **34**(11): 1091-1096.

Federal Interagency Forum on Aging-Related Statistics (U.S.) (2006). Older Americans update 2006 : key indicators of well-being. Washington, DC, Federal Interagency Forum on Aging Related Statistics.

Fereday, A., N. R. Gibson, M. Cox, P. J. Pacy and D. J. Millward (1997). "Protein requirements and ageing: metabolic demand and efficiency of utilization." Br J Nutr **77**(5): 685-702.

Ferrando, A. A., D. Paddon-Jones, N. P. Hays, P. Kortebein, O. Ronsen, R. H. Williams, A. McComb, T. B. Symons, R. R. Wolfe and W. Evans (2010). "EAA supplementation to increase nitrogen intake improves muscle function during bed rest in the elderly." Clin Nutr **29**(1): 18-23.

Ferrucci, L., B. W. Penninx, S. Volpato, T. B. Harris, K. Bandeen-Roche, J. Balfour, S. G. Leveille, L. P. Fried and J. M. Md (2002). "Change in muscle strength explains accelerated decline of physical function in older women with high interleukin-6 serum levels." J Am Geriatr Soc **50**(12): 1947-1954.

Fiatarone, M. A., E. C. Marks, N. D. Ryan, C. N. Meredith, L. A. Lipsitz and W. J. Evans (1990). "High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle." JAMA **263**(22): 3029-3034.

Fielding, R. A., B. Vellas, W. J. Evans, S. Bhasin, J. E. Morley, A. B. Newman, G. Abellan van Kan, S. Andrieu, J. Bauer, D. Breuille, T. Cederholm, J. Chandler, C. De Meynard, L. Donini, T. Harris, A. Kannt, F. Keime Guibert, G. Onder, D. Papanicolaou, Y. Rolland, D. Rooks, C. Sieber, E. Souhami, S. Verlaan and M. Zamboni (2011). "Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia." J Am Med Dir Assoc **12**(4):

249-256.

Filion, M. E., S. Barbat-Artigas, S. Dupontgand, A. Fex, A. D. Karelis and M. Aubertin-Leheudre (2012). "Relationship between protein intake and dynapenia in postmenopausal women." *J Nutr Health Aging* **16**(7): 616-619.

Fried, L. P., C. M. Tangen, J. Walston, A. B. Newman, C. Hirsch, J. Gottdiener, T. Seeman, R. Tracy, W. J. Kop, G. Burke and M. A. McBurnie (2001). "Frailty in older adults: evidence for a phenotype." *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **56**(3): M146-156.

Frontera, W. R., C. N. Meredith, K. P. O'Reilly, H. G. Knuttgen and W. J. Evans (1988). "Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function." *J Appl Physiol* **64**(3): 1038-1044.

Fujita, S., H. C. Dreyer, M. J. Drummond, E. L. Glynn, J. G. Cadenas, F. Yoshizawa, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2007). "Nutrient signalling in the regulation of human muscle protein synthesis." *J Physiol* **582**(Pt 2): 813-823.

Fujita, S., H. C. Dreyer, M. J. Drummond, E. L. Glynn, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2009). "Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis." *J Appl Physiol* **106**(5): 1730-1739.

Gelfand, R. A., M. G. Glickman, P. Castellino, R. J. Louard and R. A. DeFronzo (1988). "Measurement of L-[1-14C]leucine kinetics in splanchnic and leg tissues in humans. Effect of amino acid infusion." *Diabetes* **37**(10): 1365-1372.

Gersovitz, M., K. Motil, H. N. Munro, N. S. Scrimshaw and V. R. Young (1982). "Human protein requirements: assessment of the adequacy of the current Recommended Dietary Allowance for dietary protein in elderly men and women." *Am J Clin Nutr* **35**(1): 6-14.

Goodpaster, B. H., P. Chomentowski, B. K. Ward, A. Rossi, N. W. Glynn, M. J. Delmonico, S. B. Kritchevsky, M. Pahor and A. B. Newman (2008). "Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: a randomized controlled trial." *J Appl Physiol* **105**(5): 1498-1503.

Goodpaster, B. H., S. W. Park, T. B. Harris, S. B. Kritchevsky, M. Nevitt, A. V. Schwartz, E. M. Simonsick, F. A. Tylavsky, M. Visser and A. B. Newman (2006). "The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **61**(10): 1059-1064.

Gulsvik, A. K., D. S. Thelle, S. O. Samuelsen, M. Myrstad, M. Mowe and T. B. Wyller (2012). "Ageing, physical activity and mortality--a 42-year follow-up study." Int J Epidemiol **41**(2): 521-530.

Guralnik, J. M., L. G. Branch, S. R. Cummings and J. D. Curb (1989). "Physical performance measures in aging research." J Gerontol **44**(5): M141-146.

Harridge, S. D., A. Kryger and A. Stensgaard (1999). "Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training." Muscle Nerve **22**(7): 831-839.

Hartman, J. W., J. E. Tang, S. B. Wilkinson, M. A. Tarnopolsky, R. L. Lawrence, A. V. Fullerton and S. M. Phillips (2007). "Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters." Am J Clin Nutr **86**(2): 373-381.

Hong, S. O. and D. K. Layman (1984). "Effects of leucine on in vitro protein synthesis and degradation in rat skeletal muscles." J Nutr **114**(7): 1204-1212.

Houston, D. K., B. J. Nicklas, J. Ding, T. B. Harris, F. A. Tylavsky, A. B. Newman, J. S. Lee, N. R. Sahyoun, M. Visser and S. B. Kritchevsky (2008). "Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study." Am J Clin Nutr **87**(1): 150-155.

Jackson, A. S., I. Janssen, X. Sui, T. S. Church and S. N. Blair (2012). "Longitudinal changes in body composition associated with healthy ageing: men, aged 20-96 years." Br J Nutr **107**(7): 1085-1091.

Jankowski, C. M., W. S. Gozansky, R. E. Van Pelt, M. L. Schenkman, P. Wolfe, R. S. Schwartz and W. M. Kohrt (2008). "Relative contributions of adiposity and muscularity to physical function in community-dwelling older adults." Obesity (Silver Spring) **16**(5):

1039-1044.

Janssen, I. (2006). "Influence of sarcopenia on the development of physical disability: the Cardiovascular Health Study." J Am Geriatr Soc **54**(1): 56-62.

Janssen, I. (2010). "Evolution of sarcopenia research." Appl Physiol Nutr Metab **35**(5): 707-712.

Janssen, I., S. B. Heymsfield and R. Ross (2002). "Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability." J Am Geriatr Soc **50**(5): 889-896.

Janssen, I., S. B. Heymsfield, Z. M. Wang and R. Ross (2000). "Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr." J Appl Physiol (1985) **89**(1): 81-88.

Janssen, I., D. S. Shepard, P. T. Katzmarzyk and R. Roubenoff (2004). "The healthcare costs of sarcopenia in the United States." J Am Geriatr Soc **52**(1): 80-85.

Katsanos, C. S., H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, A. Aarsland and R. R. Wolfe (2005). "Aging is associated with diminished accretion of muscle proteins after the ingestion of a small bolus of essential amino acids." Am J Clin Nutr **82**(5): 1065-1073.

Katsanos, C. S., H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, A. Aarsland and R. R. Wolfe (2006). "A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly." Am J Physiol Endocrinol Metab **291**(2): E381-387.

Kim, H. K., T. Suzuki, K. Saito, H. Yoshida, H. Kobayashi, H. Kato and M. Katayama (2012). "Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial." J Am Geriatr Soc **60**(1): 16-23.

Kim, S. W., R. D. Mateo, Y. Yin and G. Wu (2007). "Functional amino acids and fatty acids for enhancing production performance of sows and piglets." ASIAN AUSTRALASIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES **20**(2): 295.

- Klass, M., S. Baudry and J. Duchateau (2008). "Age-related decline in rate of torque development is accompanied by lower maximal motor unit discharge frequency during fast contractions." J Appl Physiol **104**(3): 739-746.
- Koopman, R., A. J. Wagenmakers, R. J. Manders, A. H. Zorenc, J. M. Senden, M. Gorselink, H. A. Keizer and L. J. van Loon (2005). "Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects." Am J Physiol Endocrinol Metab **288**(4): E645-653.
- Kumar, V., A. Selby, D. Rankin, R. Patel, P. Atherton, W. Hildebrandt, J. Williams, K. Smith, O. Seynnes, N. Hiscock and M. J. Rennie (2009). "Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men." J Physiol **587**(Pt 1): 211-217.
- Leenders, M., L. B. Verdijk, L. V. Hoeven, J. V. Kranenburg, R. Nilwik, W. K. Wodzig, J. M. Senden, H. A. Keizer and L. J. Loon (2012). "Protein Supplementation During Resistance-Type Exercise Training in the Elderly." Med Sci Sports Exerc.
- Lemieux, F. C., M. E. Filion, S. Barbat-Artigas, A. D. Karelis and M. Aubertin-Leheudre (2013). "Relationship between different protein intake recommendations with muscle mass and muscle strength." Climacteric.
- Lexell, J., K. Henriksson-Larsen, B. Winblad and M. Sjostrom (1983). "Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections." Muscle Nerve **6**(8): 588-595.
- Li, F., Y. Yin, B. Tan, X. Kong and G. Wu (2011). "Leucine nutrition in animals and humans: mTOR signaling and beyond." Amino Acids **41**(5): 1185-1193.
- Li, P., Y. L. Yin, D. Li, S. W. Kim and G. Wu (2007). "Amino acids and immune function." Br J Nutr **98**(2): 237-252.
- Luhrmann, P. M., B. M. Herbert, C. Gaster and M. Neuhauser-Berthold (1999). "Validation of a self-administered 3-day estimated dietary record for use in the elderly." Eur J Nutr **38**(5): 235-240.

MacDougall, J. D., M. J. Gibala, M. A. Tarnopolsky, J. R. MacDonald, S. A. Interisano and K. E. Yarasheski (1995). "The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise." Can J Appl Physiol **20**(4): 480-486.

Manini, T. M., M. Visser, S. Won-Park, K. V. Patel, E. S. Strotmeyer, H. Chen, B. Goodpaster, N. De Rekeneire, A. B. Newman, E. M. Simonsick, S. B. Kritchevsky, K. Ryder, A. V. Schwartz and T. B. Harris (2007). "Knee extension strength cutpoints for maintaining mobility." J Am Geriatr Soc **55**(3): 451-457.

Marzetti, E., R. Calvani, R. Bernabei and C. Leeuwenburgh (2012). "Apoptosis in skeletal myocytes: a potential target for interventions against sarcopenia and physical frailty - a mini-review." Gerontology **58**(2): 99-106.

Mathiowetz, V., K. Weber, G. Volland and N. Kashman (1984). "Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations." J Hand Surg Am **9**(2): 222-226.

Meisner, B. A., S. Dogra, A. J. Logan, J. Baker and P. L. Weir (2010). "Do or decline?: comparing the effects of physical inactivity on biopsychosocial components of successful aging." J Health Psychol **15**(5): 688-696.

Mitchell, W. K., J. Williams, P. Atherton, M. Larvin, J. Lund and M. Narici (2012). "Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review." Front Physiol **3**: 260.

Morais, J. A., S. Chevalier and R. Gougeon (2006). "Protein turnover and requirements in the healthy and frail elderly." J Nutr Health Aging **10**(4): 272-283.

Morais, J. A., R. Gougeon, P. B. Pencharz, P. J. Jones, R. Ross and E. B. Marliss (1997). "Whole-body protein turnover in the healthy elderly." Am J Clin Nutr **66**(4): 880-889.

Newman, A. B., C. L. Haggerty, B. Goodpaster, T. Harris, S. Kritchevsky, M. Nevitt, T. P. Miles and M. Visser (2003). "Strength and muscle quality in a well-functioning cohort of older adults: the Health, Aging and Body Composition Study." J Am Geriatr Soc **51**(3): 323-330.

- Newman, A. B., V. Kupelian, M. Visser, E. M. Simonsick, B. H. Goodpaster, S. B. Kritchevsky, F. A. Tylavsky, S. M. Rubin and T. B. Harris (2006). "Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **61**(1): 72-77.
- Norton, K. and T. Olds (2000). Antropometrica, Argentina: Biosystem.
- Ohsumi, Y. (2006). "Protein turnover." IUBMB Life **58**(5-6): 363-369.
- Omura, K. (2010). "[Points in nutritional management of the elderly]." Nihon Geka Gakkai Zasshi **111**(6): 353-357.
- Paddon-Jones, D. and B. B. Rasmussen (2009). "Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia." Curr Opin Clin Nutr Metab Care **12**(1): 86-90.
- Paddon-Jones, D., M. Sheffield-Moore, X. J. Zhang, E. Volpi, S. E. Wolf, A. Aarsland, A. A. Ferrando and R. R. Wolfe (2004). "Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly." Am J Physiol Endocrinol Metab **286**(3): E321-328.
- Paterson, D. H., G. R. Jones and C. L. Rice (2007). "Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults." Can J Public Health **98** Suppl 2: S69-108.
- Pennings, B., B. Groen, A. de Lange, A. P. Gijsen, A. H. Zorenc, J. M. Senden and L. J. van Loon (2012). "Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men." Am J Physiol Endocrinol Metab **302**(8): E992-999.
- Phillips, S. M. (2012). "Nutrient-rich meat proteins in offsetting age-related muscle loss." Meat Sci **92**(3): 174-178.
- Phillips, S. M., K. D. Tipton, A. Aarsland, S. E. Wolf and R. R. Wolfe (1997). "Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans." Am J Physiol **273**(1 Pt 1): E99-107.
- Pisciottano, M. V., S. S. Pinto, V. L. Szejnfeld and C. H. Castro (2014). "The Relationship

between Lean Mass, Muscle Strength and Physical Ability in Independent Healthy Elderly Women from the Community." J Nutr Health Aging **18**(5): 554-558.

Ploutz-Snyder, L. L., T. Manini, R. J. Ploutz-Snyder and D. A. Wolf (2002). "Functionally relevant thresholds of quadriceps femoris strength." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **57**(4): B144-152.

Public Health Agency of Canada (2012). Health-Adjusted Life Expectancy in Canada.

Rand, W. M., P. L. Pellett and V. R. Young (2003). "Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults." Am J Clin Nutr **77**(1): 109-127.

Rantanen, T., P. Era and E. Heikkinen (1994). "Maximal isometric strength and mobility among 75-year-old men and women." Age Ageing **23**(2): 132-137.

Rasmussen, B. B., R. R. Wolfe and E. Volpi (2002). "Oral and intravenously administered amino acids produce similar effects on muscle protein synthesis in the elderly." J Nutr Health Aging **6**(6): 358-362.

Ray, N. F., J. K. Chan, M. Thamer and L. J. Melton, 3rd (1997). "Medical expenditures for the treatment of osteoporotic fractures in the United States in 1995: report from the National Osteoporosis Foundation." J Bone Miner Res **12**(1): 24-35.

Reid, K. F., E. N. Naumova, R. J. Carabello, E. M. Phillips and R. A. Fielding (2008). "Lower extremity muscle mass predicts functional performance in mobility-limited elders." J Nutr Health Aging **12**(7): 493-498.

Rennie, M. J. (2009). "Anabolic resistance: the effects of aging, sexual dimorphism, and immobilization on human muscle protein turnover." Appl Physiol Nutr Metab **34**(3): 377-381.

Rennie, M. J., H. Wackerhage, E. E. Spangenburg and F. W. Booth (2004). "Control of the size of the human muscle mass." Annu Rev Physiol **66**: 799-828.

Rieu, I., M. Balage, C. Sornet, C. Giraudet, E. Pujos, J. Grizard, L. Mosoni and D. Dardevet (2006). "Leucine supplementation improves muscle protein synthesis in elderly men

independently of hyperaminoacidaemia." *J Physiol* **575**(Pt 1): 305-315.

Rousset, S., P. Patureau Mirand, M. Brandolini, J. F. Martin and Y. Boirie (2003). "Daily protein intakes and eating patterns in young and elderly French." *Br J Nutr* **90**(6): 1107-1115.

Rowan, S. L., K. Rygiel, F. M. Purves-Smith, N. M. Solbak, D. M. Turnbull and R. T. Hepple (2012). "Denervation causes fiber atrophy and myosin heavy chain co-expression in senescent skeletal muscle." *PLoS One* **7**(1): e29082.

Sandri, M., L. Barberi, A. Y. Bijlsma, B. Blaauw, K. A. Dyar, G. Milan, C. Mammucari, C. G. Meskers, G. Pallafacchina, A. Paoli, D. Pion, M. Roceri, V. Romanello, A. L. Serrano, L. Toniolo, L. Larsson, A. B. Maier, P. Munoz-Canoves, A. Musaro, M. Pende, C. Reggiani, R. Rizzuto and S. Schiaffino (2013). "Signalling pathways regulating muscle mass in ageing skeletal muscle: the role of the IGF1-Akt-mTOR-FoxO pathway." *Biogerontology* **14**(3): 303-323.

Schiaffino, S., K. A. Dyar, S. Ciciliot, B. Blaauw and M. Sandri (2013). "Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy." *FEBS J* **280**(17): 4294-4314.

Scott, D., L. Blizzard, J. Fell, G. Giles and G. Jones (2010). "Associations between dietary nutrient intake and muscle mass and strength in community-dwelling older adults: the Tasmanian Older Adult Cohort Study." *J Am Geriatr Soc* **58**(11): 2129-2134.

Slivka, D., U. Raue, C. Hollon, K. Minchev and S. Trappe (2008). "Single muscle fiber adaptations to resistance training in old (>80 yr) men: evidence for limited skeletal muscle plasticity." *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **295**(1): R273-280.

Smith, K., N. Reynolds, S. Downie, A. Patel and M. J. Rennie (1998). "Effects of flooding amino acids on incorporation of labeled amino acids into human muscle protein." *Am J Physiol* **275**(1 Pt 1): E73-78.

Stalenhoef, P. A., J. P. Diederiks, J. A. Knottnerus, A. D. Kester and H. F. Crebolder (2002). "A risk model for the prediction of recurrent falls in community-dwelling elderly: a prospective cohort study." *J Clin Epidemiol* **55**(11): 1088-1094.

Statistique Canada, O. s. n. d. C. (2010). "Population projections for Canada, provinces and territories. 2009–2036." Retrieved August 22, 2010, from [www.statcan.gc.ca/pub/91-520-x/91-520-x2010001-eng.pdf](http://www.statcan.gc.ca/pub/91-520-x/91-520-x2010001-eng.pdf).

Stewart, V. H., D. H. Saunders and C. A. Greig (2013). "Responsiveness of muscle size and strength to physical training in very elderly people: A systematic review." Scand J Med Sci Sports.

Svanberg, E., A. C. Moller-Loswick, D. E. Matthews, U. Korner, M. Andersson and K. Lundholm (1996). "Effects of amino acids on synthesis and degradation of skeletal muscle proteins in humans." Am J Physiol 271(4 Pt 1): E718-724.

Takai, Y., M. Ohta, R. Akagi, H. Kanehisa, Y. Kawakami and T. Fukunaga (2009). "Sit-to-stand test to evaluate knee extensor muscle size and strength in the elderly: a novel approach." J Physiol Anthropol 28(3): 123-128.

Thompson, L. V., D. Durand, N. A. Fugere and D. A. Ferrington (2006). "Myosin and actin expression and oxidation in aging muscle." J Appl Physiol 101(6): 1581-1587.

Tieland, M., K. J. Borgonjen-Van den Berg, L. J. van Loon and L. C. de Groot (2012). "Dietary protein intake in community-dwelling, frail, and institutionalized elderly people: scope for improvement." Eur J Nutr 51(2): 173-179.

Tieland, M., M. L. Dirks, N. van der Zwaluw, L. B. Verdijk, O. van de Rest, L. C. de Groot and L. J. van Loon (2012). "Protein supplementation increases muscle mass gain during prolonged resistance-type exercise training in frail elderly people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial." J Am Med Dir Assoc 13(8): 713-719.

Tipton, K. D., T. A. Elliott, M. G. Cree, A. A. Aarsland, A. P. Sanford and R. R. Wolfe (2007). "Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise." Am J Physiol Endocrinol Metab 292(1): E71-76.

Tipton, K. D., T. A. Elliott, M. G. Cree, S. E. Wolf, A. P. Sanford and R. R. Wolfe (2004). "Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise." Med Sci Sports Exerc 36(12): 2073-2081.

Tipton, K. D., A. A. Ferrando, S. M. Phillips, D. Doyle, Jr. and R. R. Wolfe (1999). "Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids." Am J Physiol **276**(4 Pt 1): E628-634.

United Nations, D. o. E. a. S. A., Population Division (2013). World Population Prospects: The 2012 Revision.

Vellas, B. J., W. C. Hunt, L. J. Romero, K. M. Koehler, R. N. Baumgartner and P. J. Garry (1997). "Changes in nutritional status and patterns of morbidity among free-living elderly persons: a 10-year longitudinal study." Nutrition **13**(6): 515-519.

Verdijk, L. B., R. A. Jonkers, B. G. Gleeson, M. Beelen, K. Meijer, H. H. Savelberg, W. K. Wodzig, P. Dendale and L. J. van Loon (2009). "Protein supplementation before and after exercise does not further augment skeletal muscle hypertrophy after resistance training in elderly men." Am J Clin Nutr **89**(2): 608-616.

Verdijk, L. B., L. van Loon, K. Meijer and H. H. Savelberg (2009). "One-repetition maximum strength test represents a valid means to assess leg strength in vivo in humans." J Sports Sci **27**(1): 59-68.

Verhoeven, S., K. Vanschoonbeek, L. B. Verdijk, R. Koopman, W. K. Wodzig, P. Dendale and L. J. van Loon (2009). "Long-term leucine supplementation does not increase muscle mass or strength in healthy elderly men." Am J Clin Nutr **89**(5): 1468-1475.

Visser, M. (2011). "Obesity, sarcopenia and their functional consequences in old age." Proc Nutr Soc **70**(1): 114-118.

Visser, M., T. Fuerst, T. Lang, L. Salamone and T. B. Harris (1999). "Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. Health, Aging, and Body Composition Study--Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Body Composition Working Group." J Appl Physiol (1985) **87**(4): 1513-1520.

Visser, M., B. H. Goodpaster, S. B. Kritchevsky, A. B. Newman, M. Nevitt, S. M. Rubin, E. M. Simonsick and T. B. Harris (2005). "Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons." J

Gerontol A Biol Sci Med Sci **60**(3): 324-333.

Volpi, E., H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, B. Mittendorfer and R. R. Wolfe (2003). "Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults." Am J Clin Nutr **78**(2): 250-258.

Volpi, E., M. Sheffield-Moore, B. B. Rasmussen and R. R. Wolfe (2001). "Basal muscle amino acid kinetics and protein synthesis in healthy young and older men." JAMA **286**(10): 1206-1212.

von Haehling, S., J. E. Morley and S. D. Anker (2010). "An overview of sarcopenia: facts and numbers on prevalence and clinical impact." J Cachexia Sarcopenia Muscle **1**(2): 129-133.

Welle, S., C. Thornton, R. Jozefowicz and M. Statt (1993). "Myofibrillar protein synthesis in young and old men." Am J Physiol **264**(5 Pt 1): E693-698.

WHO. (2008). from <http://www.who.int/topics/ageing>.

Wilkinson, S. B., M. A. Tarnopolsky, M. J. Macdonald, J. R. Macdonald, D. Armstrong and S. M. Phillips (2007). "Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage." Am J Clin Nutr **85**(4): 1031-1040.

Wolfe, R. R. (2002). "Regulation of muscle protein by amino acids." J Nutr **132**(10): 3219S-3224S.

Wolfe, R. R. (2012). "The role of dietary protein in optimizing muscle mass, function and health outcomes in older individuals." Br J Nutr **108 Suppl 2**: S88-93.

World Bank. (2013). "Life expectancy at birth, total (years)." Retrieved 27 october, 2013, from <http://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN>.

Xue, Q. L., B. A. Beamer, P. H. Chaves, J. M. Guralnik and L. P. Fried (2010). "Heterogeneity in rate of decline in grip, hip, and knee strength and the risk of all-cause mortality: the Women's Health and Aging Study II." J Am Geriatr Soc **58**(11): 2076-2084.

Xue, Q. L., J. D. Walston, L. P. Fried and B. A. Beamer (2011). "Prediction of risk of falling, physical disability, and frailty by rate of decline in grip strength: the women's health and aging study." Arch Intern Med 171(12): 1119-1121.

Yang, Y., L. Breen, N. A. Burd, A. J. Hector, T. A. Churchward-Venne, A. R. Josse, M. A. Tarnopolsky and S. M. Phillips (2012). "Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men." Br J Nutr: 1-9.

Yarasheski, K. E., J. J. Zachwieja and D. M. Bier (1993). "Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women." Am J Physiol 265(2 Pt 1): E210-214.

Yin, Y., K. Yao, Z. Liu, M. Gong, Z. Ruan, D. Deng, B. Tan and G. Wu (2010). "Supplementing L-leucine to a low-protein diet increases tissue protein synthesis in weanling pigs." Amino Acids 39(5): 1477-1486.