

Université de Montréal

Effets d'une supplémentation glucidique ou protéique et glucidique sur l'anabolisme
protéique après un entraînement en musculation

Par

Geneviève St-Martin

Département de nutrition

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès science (M.Sc.) en nutrition

Juin, 2002



©Geneviève St-Martin, 2002

QU
145
U58
2002
V.006



RÉSUMÉ

L'étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de boissons de différentes compositions nutritionnelles sur l'anabolisme protéique chez des sujets sédentaires (n=28) suite à un entraînement en résistance de 6 semaines. Le programme d'entraînement, pratiqué à raison de 3 séances / semaine, était composé de 9 exercices (ex.: *leg press*, *bench press*) principalement axés sur l'hypertrophie musculaire (3 séries – 70 à 74% de la répétition maximale). Les participants ont été aléatoirement répartis en 4 groupes : 1) placebo (PL) (n=8); 2) glucides (CHO) (n=7); 3) glucides et protéines / mélange maison (CHO-PRO) (n=8) et 4) glucides et protéines / mélange commercial (CHO-PROTM) (n=5). Les 3 boissons autres que PL étaient isocaloriques (\pm 330 kcal), les boissons CHO-PRO et CHO-PROTM ayant de plus les mêmes répartitions de glucides (54 g), de protéines (18 g) et de lipides (\pm 5 g). Les sujets des 4 quatre groupes consommaient leur boisson respective dans les 15 minutes suivant chaque séance d'exercice (n=19). À la fin des 6 semaines d'entraînement, on a observé une augmentation significative de masse maigre chez les groupes CHO et CHO-PRO (augmentation non significative pour CHO-PROTM), de même que des augmentations significatives des concentrations hormonales d'insuline, d'hormone de croissance et de testostérone chez ces 3 groupes expérimentaux (CHO, CHO-PRO et CHO-PROTM) ($p < 0,05$). Comme les boissons ont de plus pour effet d'augmenter la disponibilité des acides aminés libres à des fins de synthèse protéique, nous concluons qu'une supplémentation composée de glucides et de protéines dans les minutes suivant un exercice favorise l'anabolisme musculaire comparativement à un placebo.

Mots-clés: anabolisme, supplément, exercice, glucides, protéines, insuline, testostérone, hormone de croissance

ABSTRACT

The effect of different macronutrient composition of postexercise beverages on muscle anabolism was examined in 28 sedentary subjects taking part in a 6-week resistance-training program. Subjects trained 3 times a week, each training sessions consisted of 3 sets of 9 exercises (i.e. leg press, bench press) selected to induce muscle hypertrophy (70 to 74% one-repetition maximum). The subjects were randomly assigned to 4 groups: 1) placebo (PL) (n=8); 2) carbohydrates (CHO) (n=7); 3) carbohydrate / protein mix (homemade drink) (CHO-PRO) and 4) carbohydrate / protein mix (commercially available sports drink) (CHO-PROTM) (n=5). Except for placebo, beverages were isocaloric (\pm 330 kcal), with CHO-PRO and CHO-PROTM having the same macronutrient composition (carbohydrates: 54 g; proteins: 18 g and fats: \pm 5 g). Beverages were provided to all subjects 15 minutes following each exercise session (n=19). After the 6-week resistance-training program, lean body mass (increase, but not significantly for CHO-PROTM), insulin, growth hormone as well as testosterone were significantly increased for the experimental groups (CHO, CHO-PRO et CHO-PROTM) ($p < 0,05$). As CHO-PRO and CHO-PROTM have the potential to increase free amino acids pool for proteins synthesis, we conclude that consumption of carbohydrates and proteins in minutes following an exercise session promote muscle anabolism as compared with a placebo.

Key Words: anabolism, supplement, exercise, carbohydrates, proteins, insulin, testosterone, growth hormone

SOMMAIRE

La prise de suppléments sous forme de boissons énergétiques en post-exercice s'avère une composante importante d'une bonne récupération. Plusieurs études ont démontré les bienfaits d'une supplémentation post-exercice sur les réserves glucidiques, et quelques unes y voient même un avantage pour le gain de masse musculaire.

Le but de cette étude est d'évaluer les effets d'un supplément de glucides et d'une combinaison de glucides et de protéines sur l'anabolisme protéique musculaire lors d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de six semaines. De même, cette étude vise à comparer les effets d'un supplément commercial aux effets d'un supplément maison de composition nutritionnelle semblable sur l'anabolisme protéique musculaire dans le cadre d'un même programme d'entraînement. Notre hypothèse de base est qu'un supplément, commercial ou maison, de glucides ou d'une combinaison de glucides et de protéines ingéré en post-exercice favorise un gain de masse maigre.

L'étude a porté sur 28 sujets masculins âgés entre 18 et 35 ans, non-fumeurs, ne présentant pas d'excès de poids ($IMC < 27$), peu actifs et n'ayant pratiqué aucun entraînement de musculation durant les six derniers mois. Un premier groupe ($n=5$) a reçu la boisson commerciale Boost Sport™ (CHO-PRO™) composée d'un mélange de glucides et de protéines. Un deuxième groupe ($n=8$) a reçu la boisson maison (CHO-PRO) composée de glucides et de protéines fournis par un mélange de jus d'orange et de lait. Un troisième groupe ($n=7$) a reçu la boisson composée de glucides seulement (CHO) fournis par un jus d'orange. Le quatrième groupe ($n=8$) a reçu la boisson placebo non-calorique à base de l'édulcorant aspartame (PL). Les trois boissons autres que PL étaient isocaloriques, les boissons CHO-PRO™ et CHO-PRO ayant de plus les mêmes répartitions de glucides, de protéines et de lipides. Tout au long du programme, les sujets des quatre groupes ont reçu et ont consommé leur boisson respective dans les quinze minutes suivant leurs séances d'exercice. Lors des premiers et derniers entraînements (séances d'entraînement n°1 et n°19), quatre prélèvements sanguins ont été effectués à trois reprises (pré-exercice, post-exercice et 30 minutes post-supplémentation). Ces prélèvements ont permis de mesurer les concentrations de lactate, pyruvate, glucose, créatine kinase, insuline, hormone de croissance, testostérone et cortisol sanguin. Des journaux alimentaires ainsi qu'un rappel de 24 heures ont été complétés à trois reprises par les sujets et compilés à l'aide d'un logiciel d'analyse nutritionnelle afin de quantifier les apports alimentaires.

Malgré la supplémentation, on n'observe aucune différence statistique (ANOVA) entre les groupes sur le plan alimentaire quant aux apports énergétiques et protéiques. Suite aux six semaines d'entraînement, on enregistre un gain de poids significatif

similaire chez tous les groupes en comparaison au groupe PL. Par contre, seuls les groupes CHO et CHO-PRO présentent des gains significatifs de masse maigre (augmentation non significative chez le groupe CHO-PRO™). Les concentrations de lactate et de pyruvate augmentent chez tous les sujets en post-exercice, tout comme les charges maximales d'entraînement à la fin du programme. Suivant une courbe attendue, la glycémie diminue significativement sous l'effet de l'exercice, puis retourne à des niveaux plus près de la normale en post-supplémentation. Toujours sous l'effet de l'exercice, on note une hausse significative mais brève de l'hormone de croissance chez tous les sujets, puisque seulement 30 minutes après la prise de la boisson (en post-supplémentation) les taux observés avoisinent les taux de repos. Fait intéressant, en post-supplémentation, le groupe CHO-PRO™ montre à la fois la plus grande augmentation des concentrations d'insuline et la plus grande diminution des concentrations de testostérone, et ce de manière significativement plus importante par rapport aux autres groupes. Le groupe CHO-PRO affiche également une hausse d'insuline et une diminution de testostérone mais de façon moins marquée que dans le cas du groupe CHO-PRO™.

Les boissons composées de glucides et d'un mélange de glucides et de protéines s'avèrent plus favorables à l'anabolisme en post-exercice que les boissons placebo. Ces boissons limitent également la dégradation musculaire via les taux d'insuline élevés. Dans le cas d'un mélange de glucides et de protéines, en plus d'engendrer de plus grandes concentrations d'insuline, ces boissons augmentent la disponibilité des acides aminés libres à des fins de synthèse protéique. Étant donné les adaptations métaboliques qu'engendrent l'entraînement, le moment où la boisson est consommée s'avère un facteur important dans la phase de récupération puisque la réponse métabolique est présente jusqu'à 24 heures suivant l'exercice. La prise d'un supplément à l'intérieur de ces délais peut favoriser un gain de masse musculaire via une balance protéique positive. Le choix entre la boisson commerciale (CHO-PRO™) et la boisson maison (CHO-PRO) est difficile puisque toutes deux présentent des forces et des faiblesses. L'ajout de maltodextrines à la boisson maison pourrait améliorer la sécrétion d'insuline en post-supplémentation sans accentuer la diminution des concentrations de testostérone après consommation. Le cas échéant, la boisson maison pourrait s'avérer un choix très intéressant.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	iii
Abstract	iv
Sommaire.....	v
Liste des tableaux	x
Liste des figures.....	xii
Liste des abréviations	xiii
Remerciements	xiv
1. INTRODUCTION.....	1
2. REVUE DE LITTÉRATURE SUR L'ANABOLISME PROTÉIQUE MUSCULAIRE ET LES AGENTS STIMULANTS	4
2.1 Métabolisme protéique : Anabolisme et catabolisme musculaire	4
2.2 Effet des hormones sur la masse musculaire.....	5
2.2.1 Caractéristiques et régulation des hormones	5
2.2.2 Hormones anaboliques	6
2.2.3 Hormones cataboliques	9
2.3 Effet de l'exercice sur la masse musculaire	10
2.3.1 Bilan des études réalisées sur l'effet de l'exercice sur la réponse métabolique	11
2.3.2 Réponse du métabolisme protéique en post-exercice: modèle proposé.....	18
2.4 Effet de l'entraînement sur la masse musculaire	20
2.5 Effet de l'alimentation sur la masse musculaire	25
2.5.1 Apport énergétique / statut nutritionnel.....	25
2.5.2 Balance énergétique	27
2.5.3 La composition de la diète.....	28
2.6 Interaction de l'alimentation, de l'exercice et des hormones sur la masse musculaire	30
2.7 Objectifs et hypothèses de l'étude	34
3. MÉTHODOLOGIE	36
3.1 Sujets	36

3.1.1	Caractéristiques	36
3.1.2	Répartition des sujets et des boissons.....	36
3.2	Protocole expérimental.....	37
3.2.1	Déroulement global	37
3.2.2	Déroulement détaillé	38
3.3	Paramètres mesurés	40
3.3.1	Analyses nutritionnelles	40
3.3.2	Mesures anthropométriques	40
3.3.3	Paramètres sanguins	40
3.3.4	Collecte urinaire de 24 heures	41
3.4	Analyses statistiques.....	41
3.4.1	Analyses nutritionnelles	41
3.4.2	Mesures anthropométriques	42
3.4.3	Paramètres sanguins	42
4.	RÉSULTATS	43
4.1	Caractéristiques des sujets.....	43
4.2	Analyse nutritionnelle des journaux alimentaires	44
4.3	Charge de répétition maximale (1 RM).....	47
4.4	Résultats sanguins	47
4.5	Marqueurs de l'exercice.....	48
4.5.1	Pyruvate.....	48
4.5.2	Lactate	48
4.6	Indicateur du catabolisme protéique.....	50
4.6.1	Cortisol.....	50
4.7	Indicateurs de l'anabolisme protéique	50
4.7.1	Testostérone.....	51
4.7.2	Hormone de croissance	52
4.7.3	Glycémie	54
4.7.4	Insuline	54
5.	DISCUSSION	56
5.1	Les apports nutritionnels	56
5.2	L'efficacité du programme d'entraînement.....	57
5.3	Les indicateurs de catabolisme protéique.....	59

5.4 Les indicateurs d'anabolisme protéique.....	59
6. CONCLUSION	68
7. BIBLIOGRAPHIE	70

ANNEXES

Annexe 1 Formulaire de consentement des participants	xv
Annexe 2 Questionnaire relatif à l'état de santé des participants	xviii
Annexe 3 Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP).....	xxv
Annexe 4 Détermination de la charge	xxvi
Annexe 5 Journal alimentaire de trois jours	xxvii
Annexe 6 Exercices effectués lors des séances d'entraînement	xxix
Annexe 7 Le paramètre des répétitions	xxx
Annexe 8 Calcul du pourcentage de gras et de masse maigre.....	xxxi
Annexe 9 Valeurs détaillées des analyses sanguines	xxxii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.

Régulation hormonale du métabolisme protéique du muscle squelettique 6

Tableau II.

Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme) mesuré pendant l'exercice 12

Tableau III.

Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme) mesuré en post-exercice 13

Tableau IV.

Effet de l'entraînement sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme) . 21

Tableau IV.

Effet de l'entraînement sur le métabolisme protéique (indicateurs métaboliques) (suite)..... 22

Tableau V.

Réponse du métabolisme protéique total à l'alimentation (g protéique/kg/jr)..... 26

Tableau VI.

Composition nutritionnelle des boissons..... 37

Tableau VII.

Caractéristiques des sujets en fonction de leur répartition dans les groupes..... 43

Tableau VIII.

Composition corporelle des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement 45

Tableau IX.

Apports moyens en énergie et macronutriments des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement (excluant la supplémentation) 46

Tableau X.

Apports moyens en énergie et macronutriments des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement (incluant la supplémentation) 46

Tableau XI.

Détermination de la charge pour une répétition maximale (1 RM) des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement..... 47

Tableau XII.

Effets de l'entraînement et de l'exercice selon les paramètres biochimiques sanguins... 49

Tableau XIII.

Effets de l'exercice et des boissons sur les paramètres biochimiques sanguins..... 51

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	
Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique.....	33
Figure 2.	
Schéma du déroulement global du protocole et d'une séance de test.....	38
Figure 3.	
Variations des concentrations de testostérone entre t2 et t1.....	53
Figure 4.	
Variations des concentrations de testostérone entre t2 et t0.....	53
Figure 5.	
Variations des taux d'insuline entre t2 et t1.....	55

LISTE DES ABRÉVIATIONS

1 RM:	poids maximum pou 1 répétition
AA:	acides aminés
ADN:	acide désoxyribonucléique
ANR:	apport nutritionnel recommandé
ARN:	adénosine ribonucléique
CHO:	glucides
CPK:	créatine phosphokinase
GH:	growth hormone
IGF-1:	insulin-like growth factor 1
IMC:	indice de masse corporelle
LDH:	lactate déshydrogénase
LH:	luteinizing hormone
NADH:	nicotinamide adénine dinucléotide réduit
PRO:	protéines
PL:	placebo
P/S:	polyinsaturés/saturés
Q-AAP:	questionnaire d'aptitude à l'activité physique
SHBG:	sex hormone binding globuline
VO2 max:	consommation d'oxygène maximale

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord et avant tout remercier Marielle Ledoux ma directrice, pour sa présence, sa grande compréhension, son amitié et pour toutes les autres délicatesses qui font d'elle une personne bien spéciale pour moi.

Un mot pour souligner la patience de mes collègues, Gianni Scalzo et Stéphane Roy. Les quelques séances aux aurores hivernales m'ont parues plus douces en votre compagnie.

Merci aux gens du Département de Kinésiologie, en particulier Arthur Long et Pierre Corriveau pour votre accueil dans vos laboratoires. Je ne voudrais pas oublier Marguerite Desaulniers pour son aide si précieuse dans mes désastres informatiques! Raymonde, Oh Raymonde! Pour tous les petits oublis de dernière minute et les multiples rappels. Mille merci.

Maman Boivin, papa Beauchemin et soeurette adorée, merci, merci, et merci pour votre amour... et la sauce à spaghetti, tous deux si réconfortants!

À toi, mon Jules Jules, ma douce moitié, pour la simple et bonne raison d'être à mes côtés, beau temps, mauvais temps, depuis 7 ans déjà, je te dis un gros merci.

À vous tous, amis, parents, collègues qui m'ont encouragé, soutenu (et parfois secoué!), je vous dis merci!

1. INTRODUCTION

Les suppléments nutritionnels connaissent une popularité croissante auprès des athlètes de pointe, ces derniers étant toujours à la recherche d'un produit pouvant leur permettre d'améliorer leur performance. De même, l'engouement pour les boissons énergétiques augmente de plus en plus auprès de la clientèle sportive, non-athlète, qui s'entraîne sur une base régulière. Ces suppléments, aux différentes compositions nutritionnelles, sont mis en vente sur les tablettes de nos supermarchés sous différentes marques de commercialisation.

Le gain de masse musculaire est un objectif de plus en plus visé par les sportifs, que ce soit dans le but de fournir une meilleure performance ou tout simplement pour des considérations esthétiques. Plusieurs facteurs influencent le gain de masse musculaire via leurs effets sur le métabolisme protéique musculaire c'est-à-dire l'anabolisme et le catabolisme. Il y a d'abord le bagage génétique sur lequel on n'a actuellement aucun contrôle. Il est bien connu toutefois que l'exercice et l'entraînement jouent un rôle considérable sur le métabolisme protéique musculaire qui varie selon la nature, l'intensité et la durée de l'activité. Un autre facteur important est le temps de repos entre les entraînements qui permet une récupération adéquate du tissu musculaire. La présence d'hormones anaboliques telles que l'insuline, l'hormone de croissance et la testostérone est également grandement favorable à l'anabolisme musculaire. Finalement, l'alimentation et les suppléments alimentaires vont influencer positivement ou négativement le gain de masse musculaire selon la quantité, la qualité et le moment d'ingestion des aliments. Ce gain sera d'autant plus grand que tous les facteurs et conditions favorables à l'anabolisme musculaire seront réunis.

On sait que la consommation d'une boisson riche en glucides dans les 15 minutes suivant une session d'exercice entraîne un environnement hormonal favorable à la synthèse de glycogène musculaire (Fahey et coll. 1993; Chandler et coll. 1994). Alors que l'exercice favorise une hausse des taux d'hormone de croissance et de testostérone (Kraemer et coll. 1998a; Häkkinen et Pakarién, 1995), l'apport en glucides exogènes stimule la sécrétion d'insuline, ce qui permet une récupération très efficace au niveau des réserves de glycogène. L'exercice entraîne également une augmentation du métabolisme protéique musculaire. Toutefois, le catabolisme étant augmenté dans des proportions

plus grandes que l'anabolisme, la balance protéique demeure négative, ce qui se traduit par une perte de masse musculaire (Biolo et coll. 1995b; Roy et coll., 1997). Cet état catabolique est observé jusqu'à 48 heures post-exercice (Phillips et coll. 1997). Malgré son effet sur les taux d'insuline circulant, la prise d'un supplément composé uniquement de glucides en post-exercice ne s'avère pas efficace pour augmenter de façon significative l'anabolisme protéique afin de favoriser une balance protéique positive et entraîner un gain de masse musculaire (Roy et coll. 1997). Mais puisqu'on observe une hausse des taux d'insuline, d'hormone de croissance et de testostérone, de même qu'une augmentation des taux du métabolisme protéique, on peut croire qu'une disponibilité accrue d'acides aminés dans un tel environnement pourrait amplifier les taux d'anabolisme protéique et par conséquent entraîner un gain de masse musculaire. L'ajout d'une composante protéique au supplément glucidique pourrait permettre cette plus grande disponibilité des acides aminés et ainsi provoquer une balance protéique positive et par le fait même, un gain de masse musculaire.

Jusqu'à ce jour, les études qui s'intéressent à l'effet de l'entraînement et d'une supplémentation sur l'anabolisme musculaire sont réalisées auprès d'athlètes et les données sont récoltées via une session ponctuelle de tests. Peu d'études ont analysé les effets d'une supplémentation de glucides et de protéines combinée à de l'entraînement sur l'anabolisme musculaire via une collecte de données sur une période d'observation de plus d'une semaine et ce, auprès de sujets sédentaires ou d'athlètes. Les boissons utilisées dans les protocoles sont la plupart du temps des mélanges bien précis de glucides et de protéines concoctés par des compagnies pharmaceutiques ou encore des produits commerciaux. Peu d'études utilisent dans leur protocole des mélanges faits à partir de liquides nutritifs tels le lait ou les jus de fruits. Ces liquides se retrouvent généralement dans nos réfrigérateurs, sont donc plus facilement accessibles et représentent des coûts moindres que les produits commerciaux.

Compte tenu de l'information connue jusqu'à ce jour au sujet de l'anabolisme musculaire et de la supplémentation, il nous apparaît à la fois pertinent et intéressant d'évaluer les effets d'un supplément de glucides et/ou protéines sur l'anabolisme protéique musculaire lors d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de quelques semaines. De plus, l'aspect pratique de la supplémentation nous amène à comparer les effets d'un supplément commercial aux effets d'un supplément maison de

composition nutritionnelle semblable, sur l'anabolisme protéique musculaire lors de ce même programme d'entraînement.

2. REVUE DE LITTÉRATURE SUR L'ANABOLISME PROTÉIQUE MUSCULAIRE ET LES AGENTS STIMULANTS

2.1 Métabolisme protéique : Anabolisme et catabolisme musculaire

Décrit comme étant l'ensemble des réactions chimiques des organismes vivants, l'anabolisme permet la synthèse de molécules complexes à partir de plus petites molécules, ce qui conduit à la construction ou au renouvellement des tissus. En contrepartie, le catabolisme est le processus de dégradation des molécules complexes en molécules plus simples. C'est entre autres parce qu'il y a équilibre entre ces deux réactions métaboliques que l'homéostasie du corps est maintenue.

Le muscle squelettique constitue à lui seul 40 à 45% du poids corporel d'un homme sain (Rooyackers et Nair, 1997). Du point de vue fonctionnel, sa principale caractéristique est son aptitude à transformer une énergie chimique en énergie mécanique dirigée, c'est-à-dire la capacité à exercer une force.

Le muscle est composé de fibres musculaires, elles-mêmes constituées de rangées longitudinales de protéines que l'on nomme myofibrilles. Ces protéines sont continuellement synthétisées et dégradées dans le muscle. On appelle *turnover protéique* le rythme auquel les réactions anaboliques et cataboliques se produisent. Au repos, le *turnover protéique* est d'environ 3 à 4 grammes de protéines par kilogramme de poids par jour. Des changements dans la masse musculaire sont observés lorsqu'un déséquilibre survient entre les taux de dégradation et les taux de synthèse des protéines (gain ou perte de masse musculaire). La balance protéique de l'organisme, qui est en fait la différence entre les taux de synthèse et les taux de dégradation, reflète cet équilibre. Si l'anabolisme est plus important que le catabolisme, on observe une balance protéique positive dont la résultante est un gain musculaire, le phénomène inverse conduisant à la perte de masse musculaire. Pour favoriser une augmentation de la masse musculaire, il faut donc briser l'équilibre et provoquer une balance positive en diminuant la dégradation, en augmentant la synthèse ou par une action combinée des deux.

La synthèse des protéines s'effectue à partir de vingt acides aminés, onze étant synthétisés par l'organisme tandis que les neuf autres sont fournis uniquement par la diète. Ces derniers acides aminés sont dits essentiels. Tous les acides aminés libres, qu'ils proviennent de la diète ou de la dégradation tissulaire, sont regroupés en une même réserve que l'on nomme pool d'acides aminés. C'est à partir de ce pool que sont

reformées les chaînes d'acides aminés, les polypeptides, puis finalement les protéines lorsque la chaîne est complète. La synthèse protéique comprend deux étapes, soit la transcription et la traduction, et requiert la présence d'ADN en tant que porteur des codes qui déterminent la structure des protéines.

Tout d'abord, le processus de transcription implique le transfert d'information portant sur une séquence d'un gène spécifique d'une molécule d'ADN à une molécule d'ARN messenger, le noyau de la cellule étant le siège de cette action. C'est dans le cytoplasme que le processus de traduction a lieu, alors que l'ARN messenger se fixe sur une petite sous-unité ribosomale. L'acide aminé désigné par le code spécifique de l'ARN messenger est alors amené dans le ribosome par l'ARN de transfert. À mesure que les acides aminés sont disposés à l'endroit approprié, ils sont unis par des liaisons peptidiques, et la chaîne polypeptidique s'allonge progressivement pour former la protéine.

Il existe plusieurs agents stimulants du métabolisme musculaire. Certaines hormones, l'ingestion d'aliments ou encore la pratique d'un exercice physique peuvent influencer cet équilibre dynamique. Les mécanismes d'action de ces différents facteurs sur l'anabolisme musculaire seront discutés dans les sections qui suivent.

2.2 Effet des hormones sur la masse musculaire

2.2.1 Caractéristiques et régulation des hormones

Également appelée messenger chimique, l'hormone est une substance sécrétée par une glande endocrine dans le liquide interstitiel agissant sur les tissus cibles. Certains tissus, autres que les glandes endocrines, sécrètent des substances dont les effets sont similaires à ceux des hormones. Par exemple, l'hypothalamus sécrète la somatocrinine, le foie sécrète les somatomédines et les reins, l'érythropoétine.

La synthèse et la libération de la plupart des hormones sont régies par rétro-inhibition. Un stimulus interne ou externe en déclenche la sécrétion puis, l'augmentation de sa concentration influence les organes cibles tout en inhibant sa libération par la glande endocrine. Il existe trois principaux types de stimulus: les stimuli hormonaux (ex.: la libération d'hormones adénohypophysaires régie par des hormones hypothalamiques), humoraux (les variations des taux sanguins de certains ions et nutriments entraînent la libération de certaines hormones) et nerveux (ex.: lors d'un stress, le système nerveux sympathique entraîne la libération d'adrénaline).

Selon les modes de stimulation des cellules, les hormones se classent en trois grands groupes: les hormones peptidiques – composées de plusieurs acides aminés – les hormones dérivées d'acides aminés et les hormones stéroïdes. Les deux premières sont hydrosolubles et sont donc transportées en solution via le plasma sanguin. Elles agissent ensuite par le biais de récepteurs situés à la surface des cellules du tissu cible. Synthétisées à partir du cholestérol, les hormones stéroïdes sont quant à elles hydrophobes et doivent se lier à une protéine du plasma afin d'être transportées dans le sang vers un tissu cible. Elles doivent par la suite traverser la membrane cellulaire afin d'interagir avec le noyau. Lorsque les hormones sont enfin liées à un site spécifique de la cellule, elles peuvent affecter la perméabilité de la membrane pour un métabolite ou un ion donné, activer ou désactiver un enzyme ou encore, stimuler la synthèse de protéines ou de molécules régulatrices dans la cellule. Les hormones qui favorisent la synthèse des tissus dans les cellules sont dites anaboliques, les principales étant l'insuline, l'hormone de croissance, les somatomédines (IGF-1) et la testostérone. À l'inverse, les hormones dites cataboliques (ex.: le glucagon, les cathécholamines et les glucocorticoïdes) entraîneront une dégradation accrue des tissus. Dans le contexte d'entraînement où le gain de masse musculaire est recherché, il importe donc de minimiser la présence d'hormones cataboliques tout en maximisant les concentrations d'hormones anaboliques.

2.2.2 Hormones anaboliques

Tableau I. Régulation hormonale du métabolisme protéique du muscle squelettique

Hormone	Synthèse	Dégradation	Balance
Insuline	↔	↓	↑
Hormone de croissance	↑ ou ↔	?	↑
IGF-1	↑	↑ ou ↔	↑
Testostérone	↑	?	↑

Adapté de Rooyackers et Nair, 1997.

A. Insuline

Nécessaire à la croissance et à la réparation des tissus, l'insuline induit le captage des acides aminés nécessaires à la synthèse des protéines dans le tissu musculaire. Le principal stimulus de la sécrétion d'insuline par les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas est l'augmentation de la glycémie. Une hausse des taux plasmatiques d'acides gras et d'acides aminés déclenche également sa libération. L'effet anabolique de l'insuline sur le muscle est bien connu même si son action sur la balance protéique s'explique encore difficilement (Rooyackers et Nair, 1997). On sait qu'il y a augmentation de la balance protéique, possiblement par une diminution du catabolisme musculaire (Tipton et Wolfe, 1998) ou encore une augmentation de la synthèse protéique par le biais d'un captage accru des acides aminés par les cellules (Conley et Stone, 1996). La disponibilité intracellulaire des acides aminés semble l'élément régulateur quant à l'effet de l'insuline sur le métabolisme protéique. Une infusion d'insuline engendre une diminution des concentrations d'acides aminés dans le sang, ce qui diminue par le fait même la quantité d'acides aminés transportés vers le muscle et la disponibilité d'acides aminés pour la synthèse protéique. Dans un état d'hyperinsulinémie, si les concentrations d'acides aminés ne sont pas augmentées par une infusion ou un supplément, la synthèse protéique n'est pas augmentée (Bennet et coll., 1990). Par contre, si un apport exogène d'acides aminés est assuré, il y aura augmentation de la synthèse malgré l'hyperinsulinémie, tant et aussi longtemps que la disponibilité des acides aminés sera maintenue (Bennet et coll., 1990; Tessari et coll., 1987). Le mécanisme d'action de cette hormone demeure à préciser.

B. Hormone de croissance et somatomédines

L'hormone de croissance, aussi appelée somatotrophine, est une hormone protéique produite par les cellules somatotropes. Comme son nom l'indique, cette hormone provoque la croissance et la division de la plupart des cellules de l'organisme, principalement celle des os et du muscle squelettique. L'effet anabolique d'un supplément d'hormone de croissance est bien démontré parmi les populations d'enfants ou d'adultes présentant de faibles concentrations de cette hormone (Cuneo et coll., 1991; Jorgensen et coll., 1994). Rooyackers et Nair (1997) rapportent des études *in vitro* et d'autres réalisées sur des animaux qui observent une augmentation de la masse musculaire ainsi qu'une diminution du tissu adipeux suite à une supplémentation. Chez

des sujets sains, l'administration d'hormone de croissance semble occasionner une augmentation de l'anabolisme protéique total (Yarasheski et coll., 1992; Copeland et Nair, 1994), mais pas nécessairement de l'anabolisme musculaire (Rennie et coll., 1994; Viru et coll., 1996; Peyreigne et coll., 1997). Le potentiel anabolisant de l'hormone de croissance est souvent associé aux somatomédines (IGF-1), protéines sécrétées par le foie dont la production serait stimulée par l'hormone de croissance (Rooyackers et Nair, 1997). Une concentration élevée de somatomédines dans les tissus induirait la croissance cellulaire (Kraemer et coll., 1998a; Fryburg et coll., 1994; Balagopal et coll., 1997). L'action de l'hormone de croissance n'est pas encore clairement établie, entre autres en raison de ses multiples interactions avec des facteurs métaboliques ou hormonaux. Des études additionnelles sont donc requises afin d'expliquer l'interaction et l'action métabolique de l'hormone de croissance et des somatomédines (Rooyackers et Nair, 1997).

C. Testostérone

La testostérone est une hormone synthétisée à partir du cholestérol, qui est par la suite transformée en un autre stéroïde (ex.: dihydrotestostérone, oestrogène) avant de pouvoir exercer son action anabolique. Chez des gens souffrant de dysfonction sécrétoire des gonadocorticoïdes, maladie qui entraîne des concentrations insuffisantes de testotérone, l'administration de cette hormone cause une augmentation de la masse musculaire (Celotti et Cesi, 1992). On suggère que son pouvoir anabolisant ne serait pas étranger à l'augmentation des concentrations de somatomédines (IGF-1) engendrées par l'administration de testostérone (Rooyackers et Nair, 1997). On rapporte également l'effet d'un supplément de testostérone chez des athlètes dans le but d'améliorer le gain de masse musculaire à l'entraînement. Les résultats ne sont pas aussi concluants que dans le cas des patients dont la sécrétion est anormalement diminuée. Chez des sujets sédentaires, des injections de testostérone ont engendré une importante augmentation du volume des muscles de même qu'un gain de force marqué par rapport au groupe placebo (Bhasin et coll., 1996). Toutefois, une autre étude effectuée auprès de sujets sains supplémentés en testostérone n'a noté aucune amélioration quant à la force musculaire malgré un gain de masse musculaire et une augmentation de la synthèse protéique (Griggs et coll., 1986).

2.2.3 Hormones cataboliques

A. Glucagon

Au cours d'une étude observant le métabolisme protéique total chez l'humain, le glucagon a été étudié dans un environnement déficient en insuline afin de mettre en évidence son mécanisme d'action. Une augmentation de la dégradation protéique de même qu'une oxydation accrue de la leucine ont été observées (Nair et coll., 1987). L'insuline, qui semble jouer un rôle dans l'inhibition de la dégradation protéique, annulerait les effets du glucagon sur la dégradation protéique (Biolo et coll., 1999). Lorsque l'on s'intéresse plus précisément au métabolisme protéique musculaire, le glucagon semble n'avoir aucune influence (Rooyackers et Nair, 1997).

B. Glucocorticoïdes et catécholamines

La famille des glucocorticoïdes est composée de la cortisone, de la corticostérone et du cortisol (hydrocortisone), ce dernier étant le seul glucocorticoïde sécrété en quantité notable chez l'humain. Le cortisol est une hormone stéroïde dont la sécrétion est fonction de l'apport alimentaire, du degré d'activité physique et du cycle circadien. Elle atteint des concentrations maximales peu après le lever et diminue à des taux minimum en soirée, avant et après l'endormissement. Le principal effet métabolique du cortisol est la néoglucogénèse via la mobilisation des acides gras et des acides aminés dans le but de maintenir l'homéostasie du glucose sanguin. La sécrétion de cortisol est très sensible à tout stress physique ou émotif. L'effet catabolique des glucocorticoïdes sur le muscle est bien démontré chez les gens atteints du syndrome de Cushing (augmentation de la production de glucocorticoïdes), maladie caractérisée par une perte marquée des protéines musculaires et osseuses (Horber et coll., 1985). Tel que rapporté par Rooyackers et Nair, (1997), plusieurs auteurs ont observé une augmentation de la dégradation protéique totale lors de l'administration de glucocorticoïdes chez des sujets sains. Plus récemment, on a émis l'hypothèse que l'effet catabolique résulterait de l'hypercortisolémie associée à l'inactivité. Une étude effectuée auprès de sujets sains ne note aucune modification des taux de synthèse ou de dégradation en présence d'hypercortisolémie. Cependant, l'action du cortisol chez des sujets alités pour une durée de deux semaines a entraîné une importante augmentation des taux de dégradation, sans modification des taux de synthèse (Ferrando et coll., 1999). De la famille des catécholamines, sécrétées par la médullorénale, l'adrénaline et la noradrénaline sont des

hormones qui favorisent quant à elles l'hyperglycémie en inhibant la sécrétion d'insuline, ce qui intensifie le catabolisme glucidique, lipidique et protéique (Hennen et coll., 1996).

2.3 Effet de l'exercice sur la masse musculaire

L'exercice joue un rôle important dans le métabolisme des protéines et plus précisément dans l'anabolisme musculaire. La nature, la durée et l'intensité de l'exercice sont des caractéristiques qui affecteront différemment le tissu musculaire. Les muscles auront également des réponses variables à l'exercice selon leurs compositions, i.e. en fonction du nombre et de la nature des fibres musculaires dont ils sont constitués.

L'exercice en endurance, effectué sur de longue période de temps et dont l'énergie nécessaire est fournie principalement par voie aérobie (ex.: course à pied, cyclisme, ski de fond), entraîne des augmentations du nombre de capillaires qui entourent les fibres musculaires, du nombre de mitochondries à l'intérieur de ces fibres et de la quantité de myoglobine synthétisée par les fibres musculaires. Ces changements se traduisent par un métabolisme musculaire plus efficace, une capacité d'endurance accrue, une plus grande force et une meilleure résistance. On observe ces changements dans toutes les fibres musculaires du muscle, mais ils sont plus importants dans les fibres à contraction lente.

L'exercice en résistance, qui implique des contractions musculaires opposées à une forte résistance ou à un poids immobile et dont l'énergie est fournie principalement par des processus anaérobies (ex.: haltérophilie, sprint), entraîne l'hypertrophie musculaire, c'est-à-dire une augmentation du volume du muscle par le biais de la dilatation de chacune des fibres musculaires, principalement les fibres blanches à action rapide. L'augmentation peut varier de 27 à 39% du volume musculaire initial. Ce changement se traduit par une amélioration de 30 à 40% de la force musculaire.

On explique encore mal les mécanismes qui sous-tendent l'hypertrophie musculaire qui pourrait être le résultat de l'hypertrophie des cellules (accroissement de la taille), de l'hyperplasie des cellules (accroissement du nombre) ou encore d'une combinaison des deux. Des études réalisées auprès d'animaux rapportent une augmentation du nombre de fibres musculaires allant de 5 à 15% (Gonyea, 1980; Antonio et Gonyea, 1993). Cependant, les études effectuées auprès de sujets humains démontrent que le phénomène

qui donne lieu à l'hypertrophie musculaire est davantage lié à l'hypertrophie cellulaire et non à l'hyperplasie (Gollnick et coll., 1990; McDougall, 1992).

2.3.1 Bilan des études réalisées sur l'effet de l'exercice sur la réponse métabolique

Les résultats d'études s'étant penchées sur le rôle de l'exercice dans le métabolisme des protéines chez des humains ont été résumés dans les deux tableaux qui suivent. D'une part, les observations effectuées pendant l'exercice (tableau II) et, d'autre part, celles observées pendant la période de récupération, c'est-à-dire en post-exercice (tableau III). Pour chaque tableau, des distinctions ont été faites quant à la nature de l'exercice (endurance vs résistance) ainsi qu'à la nature du métabolisme protéique étudié (total vs musculaire).

Tableau II. Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme) mesuré pendant l'exercice

Source	Sujet	Exercice	Mesure	Anabolisme	Catabolisme	Oxydation leucine
Rennie (1981)	n = 1 H	intensité modérée long terme	[AA] plasma, muscle, urine	▼ TST	▲ TDT et ▼ TDM	▲
Wolfe (1982)	H	intensité modérée 105 min (30%Vo2max)	leucine et urée marquée	▼ TST	▲ TDT	▲
Phillips (1993)	H et F	endurance submaximale	balance azotée et leucine marquée	aucun TST	▲ TDT	▲▲ H et ▲ F
Stein (1989)	n = 8 H triathlètes	cyclisme 180 min + tapis roulant 300 min (53% Vo2max)	leucine marquée	▼ TST par déduction	aucun TDT	▲
Carraro (1990a)	n = 13 H	aérobie 240 min (40% Vo2max)	leucine et glycine marquée	aucun TST	aucun TDT aucun TDM	▲
Hagg (1982)	n = 6 obèses	exercice jambes intensité modérée 120 min	leucine marquée	▼ TSM	▼ TDM	▲
Carraro (1994)	n = 5 H	tapis roulant intensité faible 120 min (45% Vo2max)	alanine et lactate marquée	non-étudié	▲ TDT	non-étudiée

Légende: TSM = taux de synthèse musculaire; TST = taux de synthèse totale; TDM = taux de dégradation musculaire; TDT = taux de dégradation totale

▼ : diminution ▲ : augmentation

Tableau III. Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme) mesuré en post-exercice

Source	Sujet	Exercice	Mesure	Temps dosage	Anabolisme	Catabolisme	Oxydation leucine
Devlin (1990)	n= 7 volontaires	endurance	leucine marquée	nm	▼ TSM ▲ TST	▼ TDM aucun TDT	▼
Rennie (1981)	n= 1 H	endurance	[AA] plasma; urinaire, musc.	nm	▲ TST	▲ TDT ▼ TDM	
Carraro (1990b)	n= 6 H volontaires	endurance	leucine marquée; [3 Méthyl-Histidine] urinaire; biopsie musculaire	4 hrs	▲ TSM	▲ TDM aucun TDT	
Tipton (1996)	n= 7 F nageuses collégial	résistance endurance rés. et end.	phénylalanine marquée	60 à 300 min	aucun TSM aucun TSM ▲ TSM deltoïde	aucun TDT aucun TDT aucun TDT	
Phillips (1997)	n=8 (4 H et 4 F) non-entraînés	résistance	biopsie musculaire; [3 Méthyl-Histidine] urinaire; CPK sanguin; [AA] sanguin	3 hrs 24 hrs 48 hrs	▲ TSM ▲ TSM ▲ TSM	▲ TDM ▲ TDM aucun TDM	▲ ▲ ▲
Chesley (1992)	n= 12 entraînés	résistance	biopsie musculaire; leucine marquée	4 hrs 24 hrs	▲ TSM ▲ TSM		
Biolo (1995b)	n= 5 non-entraînés	résistance	biopsie musculaire; dosage artério-veineux	3 hrs	▲ TSM	▲ TDM aucun TDT	▲
Tarnopolsky (1991)	n= 6 H entraînés	résistance	leucine marquée	2 hrs	aucun TST	aucun TDT	aucun
Fielding (1991)	n=10 non-entraînés (5 jeunes et 5 âgés)	résistance	leucine marquée	immédiat 5 jours 10 jours		▲ TDT (âgés) ▲ TDT	▲ ▲ ▲
MacDougall (1995)	n=6 H entraînés	résistance	leucine marquée	24 hrs 36 hrs	▲ TSM, ▼ TSM (normal)		
Biolo (1997)	n= 6 H non-entraînés	résistance	biopsie musculaire; dosage artério-veineux	nm	▲ TSM	aucun TDM	

Légende: TSM = taux de synthèse musculaire; TST = taux de synthèse totale; TDM = taux de dégradation musculaire; TDT = taux de dégradation totale

▼ : diminution ▲ : augmentation

A. Réponse métabolique pendant l'exercice

La plupart des informations concernant la réponse métabolique pendant l'exercice provient d'études qui s'attardent principalement au métabolisme protéique total au cours d'un exercice en endurance. Bien que la nature de l'exercice soit constante, des paramètres comme la durée, l'intensité et le type d'exercice (tapis roulant, bicyclette ergométrique, etc.) varient d'une étude à l'autre. Les études ont fait appel tant à des hommes qu'à des femmes, le nombre de participants variant de un à 13. Plusieurs méthodes de mesure ont été utilisées, certaines estimant le métabolisme protéique musculaire via la mesure du métabolisme protéique total (dosages de l'excrétion du 3-méthylhistidine et de l'urée), d'autres mesurant directement le métabolisme protéique musculaire (biopsies musculaires, isotopes traceurs, dosages artério-veineux). Le taux d'oxydation de la leucine mesuré par le taux d'apparition de la leucine dans le plasma est une méthode qui a également été utilisée afin de quantifier le catabolisme protéique total.

Des diminutions de taux de synthèse protéique totale (Rennie et coll., 1981; Wolfe et coll., 1982; Stein et coll., 1989) ainsi que de taux de synthèse musculaire (Hagg et coll., 1982) sont notées. Certaines études n'observent quant à elles aucune variation des taux de synthèse totale (Phillips et coll., 1993; Carraro et coll., 1990a). Majoritairement, il semble qu'il y ait diminution tant de l'anabolisme musculaire que de l'anabolisme total pendant l'exercice.

La dégradation protéique totale augmente (Rennie et coll., 1981; Wolfe et coll., 1982; Phillips et coll., 1993; Carraro et coll., 1994) ou demeure inchangée (Carraro et coll., 1990a; Stein et coll., 1989). La dégradation musculaire tend à diminuer (Rennie et coll., 1981; Hagg et coll., 1982) ou à demeurer stable (Carraro et coll., 1990a).

Les résultats des études mesurant le catabolisme pendant l'exercice par le biais des isotopes marqués et des dosages d'excrétion de 3-méthylhistidine ou d'urée semblent plutôt divergents. Cependant, à l'exception d'une étude (Carraro et coll., 1994), toutes les études ont également mesuré les taux d'oxydation de la leucine et les augmentations rapportées laissent présager une augmentation du catabolisme protéique total des protéines.

L'augmentation de la dégradation protéique pendant l'exercice pourrait s'expliquer par un besoin accru d'oxydation d'acides aminés afin de fournir de l'énergie aux muscles en

plein travail, ou encore afin d'augmenter les concentrations d'acides aminés libres dans le but de subvenir aux besoins accrus engendrés par l'augmentation des taux de synthèse en post-exercice. Une telle élévation du catabolisme entraîne une augmentation de la concentration d'acides aminés plasmatiques, ce qui devrait normalement entraîner une production accrue d'urée. En effet, l'urée est la forme finale sous laquelle la partie azotée des acides aminés est éliminée de l'organisme. Une infusion d'acides aminés chez des sujets au repos a entraîné une augmentation immédiate de la production d'urée (Wolfe et coll., 1987), alors qu'il n'en est rien lorsqu'une composante exercice est ajoutée au protocole. En effet, malgré une augmentation des concentrations d'acides aminés (Williams et coll., 1998), les études rapportent un maintien de la production d'urée, que se soit pendant (Wolfe et coll., 1982, 1984; Carraro et coll., 1993) ou après l'exercice (Carraro et coll., 1993). Une explication possible à ces observations est que l'azote provenant de la dégradation des protéines est immédiatement recyclée via la phase aigüe de synthèse protéique qui est augmentée pendant et après l'exercice (Carraro et coll., 1990b) plutôt qu'excrétée via l'urée (Wolfe et coll., 1982; Carraro et coll., 1993).

B. Réponse métabolique en post-exercice

Mise à part trois d'entre elles, l'ensemble des études répertoriées s'est intéressée à la fois au catabolisme et à l'anabolisme. Les résultats concernent davantage l'anabolisme protéique musculaire, le quart des études ayant rapportées des résultats sur l'anabolisme protéique total. À l'inverse, le catabolisme protéique total est celui le plus fréquemment étudié (n=7), davantage que les changements au niveau musculaire (n=5). Les études ont été réalisées auprès d'hommes et de femmes et le nombre de sujets par étude varie de un à 12. Les participants sont soit entraînés, soit non entraînés ou tout simplement volontaires sans plus de précision quant au niveau d'activité physique pratiqué. Les temps de dosage pour le métabolisme protéique s'échelonnent de une à 48 heures suivant l'exercice, une étude allant même jusqu'à 10 jours post-exercice pour le dosage du catabolisme protéique total. La majorité des études (n=7) a choisi un contexte d'exercice en résistance alors que trois études ont observé les modifications lors d'un exercice en endurance. Une étude s'est intéressée à la combinaison d'exercices d'endurance et de résistance.

a) Exercice en résistance

Les taux de synthèse protéique totale ou musculaire augmentent en post-exercice pour toutes les études, à l'exception de deux études dont les sujets sont des gens entraînés (Tipton et coll., 1996; Tarnopolsky et coll., 1991). Ces auteurs n'observent aucun changement des taux de synthèse. Toutes les études ayant rapportées une hausse des taux de synthèse en post-exercice ont été effectuées auprès de gens non entraînés, mis à part deux études (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995). Ces résultats, appuyés par la récente étude de Phillips et coll., (1999), mettent en évidence l'effet de l'entraînement soit une diminution de la réponse métabolique à l'exercice. Dans les cas où des augmentations marquées de la synthèse protéique ont été notées alors que les sujets étaient des sujets entraînés (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995), on note que l'intensité des entraînements de ces deux études était très élevée. Il serait tout de même possible de stimuler la synthèse protéique lors d'un exercice en résistance chez des sujets entraînés, à condition de soumettre le sujet à un exercice dont l'intensité est suffisamment élevée pour mettre les muscles à l'épreuve.

Les taux de dégradation protéique totale en post-exercice sont généralement inchangés, une seule étude montrant une augmentation (Fielding et coll., 1991). Les taux de dégradation protéique musculaire sont quant à eux soit augmentés (n=2) ou demeurent inchangés (n=1).

On observe donc une tendance à l'augmentation des taux de synthèse et de dégradation musculaire suite à un exercice en résistance, ces taux pouvant demeurer élevés pendant 24 heures pour des athlètes (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995) et 48 heures pour des sujets sédentaires (Phillips et coll., 1997).

b) Exercice en endurance

La réponse de la synthèse protéique à un exercice en endurance n'est possiblement pas la même qu'à un exercice en résistance. Seulement, peu d'études jusqu'à ce jour ont été effectuées dans un contexte d'exercice en endurance chez des humains. Carraro et coll.(1990b) ont remarqué une augmentation des taux de synthèse musculaire chez des sujets non entraînés à la suite d'un exercice de marche sur tapis roulant. À l'inverse, aucune variation de l'anabolisme musculaire n'a été observé chez des nageuses élites

suite à un entraînement intense en piscine (Tipton et coll., 1996). L'entraînement semble avoir également un effet sur la réponse métabolique lors d'un exercice en endurance. L'intensité de l'exercice de marche des sujets (Carraro et coll., 1990b) plus faible que l'intensité de l'exercice des nageuses suggère que la synthèse protéique musculaire suite à un exercice en endurance est affectée par l'intensité de ce dernier. Appuyant cette hypothèse, de plus grandes diminutions des taux de synthèse sont enregistrées chez des rats courant jusqu'à épuisement en comparaison à des rats effectuant une course d'une heure seulement (Dohm et coll., 1980). Les effets individuels de l'entraînement et de l'intensité de l'exercice ou une combinaison des deux facteurs pourraient possiblement jouer un rôle sur la synthèse protéique musculaire suite à un exercice en endurance.

Une seule étude (Devlin et coll., 1990) observe une diminution des taux de synthèse et de dégradation protéique musculaire suite à un exercice en endurance. En regardant de plus près le protocole de cette étude, on remarque que les mesures des taux de synthèse et de dégradation musculaire sont effectuées au niveau des membres supérieurs, alors que les muscles exercés sont les muscles des membres inférieurs. On note d'ailleurs une augmentation des taux de synthèse protéique totale, laissant croire que la synthèse serait possiblement ralentie dans les tissus non exercés, augmentant la disponibilité des acides aminés pour les tissus dont les besoins de synthèse sont plus grands (tissus exercés). Rennie et collaborateurs, (1981) rapportent une augmentation des taux de dégradation protéique totale et une diminution des taux de dégradation musculaire. Ces résultats ont été obtenus via le dosage des concentrations de 3-méthylhistidine plasmatique, musculaire et urinaire, cette étude n'impliquant toutefois la participation que d'un seul sujet. Si on se fie à certains des résultats mentionnés précédemment, l'intensité de l'exercice en endurance influencerait la synthèse protéique musculaire: une trop grande intensité d'exercice inhiberait l'effet stimulateur de l'exercice sur la synthèse.

La dégradation protéique musculaire est quant à elle soit augmentée (Carraro et coll., 1990b), ou diminuée (Devlin et coll., 1990, Rennie et coll., 1981) alors que la dégradation protéique totale demeure inchangée (Carraro et coll., 1990b, Devlin et coll., 1990).

L'absence de consensus dans les résultats des différentes études sur la réponse du métabolisme protéique à l'exercice pourrait s'expliquer par des limites au niveau des différentes méthodologies mises en œuvre. Les techniques utilisées pour déterminer le

métabolisme protéique total sont conçues pour étudier le corps au repos. Elles sont possiblement inadéquates ou insuffisamment sensibles dans un contexte d'exercice ou de récupération (post-exercice). Même si les techniques utilisées permettent une bonne évaluation du métabolisme total à l'exercice, il ne s'agit possiblement pas du reflet des variations du métabolisme musculaire.

Alors que 50% des protéines corporelles proviennent des muscles, la synthèse protéique musculaire ne compte que pour 25% de la synthèse corporelle totale au repos (Nair et coll., 1988; Bennett et coll. 1989). C'est dire qu'une augmentation de 100% de la synthèse musculaire représente une augmentation de 25% de la synthèse protéique totale. C'est ce qui pourrait expliquer qu'à l'intérieur de la même étude (Biolo et coll., 1995a), on observe une légère augmentation non significative de la dégradation protéique totale de même qu'une augmentation de 50% de la dégradation protéique musculaire. De nouvelles techniques de dosage sont proposées afin de mieux quantifier le métabolisme des acides aminés et protéines du muscle (Tipton et Wolfe, 1998).

2.3.2 Réponse du métabolisme protéique en post-exercice: modèle proposé

Il est impossible à ce jour de décrire avec précision la réponse métabolique protéique en post-exercice. En effet, on ne peut définir la séquence exacte des phénomènes d'anabolisme et de catabolisme en réponse à l'exercice. Cependant, certains résultats donnent des pistes intéressantes. Tout d'abord, la disponibilité des acides aminés apparaît comme un facteur limitant de la synthèse protéique en post-exercice. Dans les minutes qui suivent l'exercice, on constate une augmentation des taux d'anabolisme. De cette adaptation découle une utilisation accrue des acides aminés, épuisant ainsi le pool d'acides aminés libres. Sans augmentation de la dégradation protéique, la réserve d'acides aminés libres s'épuise et la synthèse musculaire est alors limitée.

Biolo et collaborateurs (1997) ont mesuré le métabolisme protéique chez six volontaires en post-exercice. Une infusion d'acides aminés a entraîné une augmentation du transport des acides aminés dans la cellule et, par le fait même, une augmentation des concentrations dans la cellule. L'augmentation de l'anabolisme protéique observée suite à l'infusion d'acides aminés était plus importante en post-exercice qu'au repos. De plus, aucune augmentation du catabolisme n'a été enregistrée en post-exercice suite à l'infusion d'acides aminés contrairement aux augmentations de dégradation protéique

observées en post-exercice et sans supplémentation (Biolo et coll., 1997; Phillips et coll., 1997).

Ces observations ont amené les auteurs Tipton et Wolfe (1998) à proposer une hypothèse quant à la séquence du métabolisme protéique en post-exercice. L'anabolisme musculaire, d'abord stimulé par un facteur encore mal connu, engendrerait une diminution des concentrations d'acides aminés libres dans la cellule musculaire. Cette diminution des concentrations de protéines stimulerait alors une augmentation des taux de dégradation et/ou une augmentation de la concentration d'acides aminés acheminés dans la cellule afin d'assurer la disponibilité des acides aminés à des fins de synthèse. Les résultats obtenus par Biolo et collaborateurs (1997) montrent qu'un apport en protéines exogènes à la suite d'un exercice permettrait une augmentation de la synthèse protéique sans entraîner une dégradation protéique accrue vu la nécessité d'augmenter la disponibilité des acides aminés.

Si l'on assume que la synthèse protéique musculaire précède et cause l'élévation de la dégradation protéique musculaire, voici quelques hypothèses entourant ce facteur mal connu responsable de la stimulation de l'anabolisme. Selon Vandeburgh et collaborateurs (1990), les étirements ou un simple travail de nature mécanique pourraient être un facteur important dans l'initiation de la synthèse protéique via l'action des prostaglandines qu'ils stimulent. Lors d'une étude effectuée auprès de poulets domestiques, de simples exercices d'étirement ont entraîné une augmentation marquée des taux de synthèse musculaire observés dans les ailes des poulets, les taux initiaux passant du simple au double (Laurent et coll., 1978). Deux études réalisées chez l'être humain supportent indirectement ces résultats. Ferrando et collaborateurs (1996) rapportent dans une première étude une diminution du taux de synthèse musculaire chez des sujets demeurés immobiles au lit pendant deux semaines. Par la suite, ils montrent que la pratique d'une activité physique très légère chez des sujets alités élimine l'effet à la baisse sur la synthèse, les sujets conservant ainsi des taux de synthèse protéique normaux (Ferrando et coll., 1997).

Une autre hypothèse tient compte de l'élévation du débit sanguin pendant l'exercice. Une augmentation du débit sanguin a pour conséquence une majoration du transport d'acides aminés à l'intérieur du muscle et par le fait même, une plus grande disponibilité des acides aminés intracellulaires (Biolo et coll., 1995b). La synthèse protéique serait

alors stimulée par cette concentration d'acides aminés. Notons que le métabolisme protéique des muscles non exercés est diminué, phénomène possiblement relié à une diminution du débit sanguin dans les muscles non exercés (Devlin et coll., 1990).

Des recherches additionnelles sont donc nécessaires pour bien définir la séquence précise du métabolisme protéique en post-exercice, de même que le facteur responsable de l'initiation de la synthèse ou de la dégradation protéique en post-exercice.

2.4 Effet de l'entraînement sur la masse musculaire

Les résultats d'études s'étant penchées sur le rôle de l'entraînement dans le métabolisme des protéines chez des humains ont été résumés dans le tableau qui suit (tableau IV). Les études observant les effets de l'entraînement sur le métabolisme protéique sont majoritairement réalisées auprès de sujets entraînés (n=6). Seulement quelques études présentaient des protocoles d'une durée de plusieurs semaines afin d'y recueillir des données sur l'effet de l'entraînement chez des sujets sédentaires ou athlètes (Kraemer et coll., 1998b, Winder et coll., 1979, Busso et coll., 1992). La plupart des résultats rapportés sur l'effet de l'entraînement provient donc d'études réalisées auprès de sujets entraînés lors d'un exercice ponctuel. Ces résultats sont ensuite comparés aux résultats obtenus lors de protocoles d'exercice semblables réalisés auprès de sujets sédentaires afin d'y dégager l'effet de l'entraînement.

Tableau IV. Effet de l'entraînement sur le métabolisme protéique (anabolisme et catabolisme)

Source	Sujet	Exercice	Mesure	T. dosage	Anabolisme	Catabolisme
Phillips (1999)	n= 12 (6 H et 6 F) 3 H et 3 F Entraînés 3H et 3F N-Entraînés	résistance: 1 exerc - 10 sets 8 répét.- 120% RM	AA marqués biopsie muscul.	pré + 4 hrs post	N-E: ▲▲ TSM E: ▲ TSM	N-E: ▲ TDM E: tend à ▲ TDM
Yarasheski (1993)	n=12 (6 H et 6 F) 4 F et 2 H jeunes 2 F et 4 H ainés	résistance: 2 sem 5 j/sem - 4-5 exerc. 2-4 sets - 4-10 répét. 60-90 % RM	AA marqués	S 1: pré-exerc. S 2: 3hrs post-exerc.	chez jeunes et ainés: TSM post S 2 > TSM pré S1 pas diff. augm entre groupes	chez jeunes et ainés: aucun TDT post vs pré
Tipton (1996)	n= 7 F nageuses collégial	résistance endurance rés. et end.	phénylalanine marquée	60 à 300 min	aucun TSM aucun TSM ▲ TSM deltoïde	aucun TDT aucun TDT aucun TDT
Chesley (1992)	n= 12 entraînés	résistance	biopsie muscul.; leucine marquée	4 hrs 24 hrs	▲ TSM ▲ TSM	
Tarnopolsky (1991)	n= 6 H entraînés	résistance	leucine marquée	2 hrs	aucun TST	aucun TDT
MacDougall (1995)	n=6 H entraînés	résistance	leucine marquée	24 hrs 36 hrs	▲ TSM, ▼ TSM (retour à la normale)	

Légende: TSM = taux de synthèse musculaire; TST = taux de synthèse totale; TDM = taux de dégradation musculaire; TDT = taux de dégradation totale

▼: diminution

▲: augmentation

* Chez les femmes seulement

Tableau IV. Effet de l'entraînement sur le métabolisme protéique (indicateurs métaboliques) (suite)

Source	Sujet	Exercice	Mesure	T. dosage	Paramètre sanguin	Dosages hormonaux
Busso (1992)	n= 6 H athlètes	résistance: 8 sem Périod I: 4S intensif Périod II:2S modéré 28,5 TU	dos. sanguin	Ch 2 sem: 8:00 à jeun		[testo] ▼ PI et II vs pré-PI [LH] ▲ PI vs pré-PI
Kraemer (1998b)	n= 11 (13 H et 8 F) Non-Entraînés	résistance: 8 sem 2j/sem - 3 exerc. 3 sets - 6-12 répét	dos. sanguin	sem 1-6-8: pré-exerc.+ post-exerc+ 5 min post		exerc. ▲ [testo] sem 6-8 entraî. ▲ [testo] sem 6-8 exerc. ▲ [cort] sem 1-6-8 entraî. ▼ [cort] sem 8 exerc. ▲ [GH] sem 1-6-8 entraî. aucun effet [GH] exerc. ▲ [SHBG] sem 8* entraî. ▲ [SHBG] sem 6-8*
Winder (1979)	n= 6 H Non-Entraînés	Endurance: Entraînement: 9 sem - 6j/sem 6x5 min byc. ergom. ou 40 min course Test: Sem 1-3-6-9 90 min byc. ergom. 58%Vo2max		Pré: 0 min Pend: 30-60-90 min Post: 10-30-60 min		*Chez femmes seul. 0 chang.[ins]pré vs post 0 chang.[gluc]pré vs post exerc. ▲ [glucagon] E.tend à ▼ rép [gluca]sem 3+ exerc. ▲ [catécho] sem 0-9 E. ▼ rép [catécho]sem 3+

Légende: TSM = taux de synthèse musculaire; TST = taux de synthèse totale; TDM = taux de dégradation musculaire; TDT = taux de dégradation totale

▼ : diminution

▲ : augmentation

* Chez les femmes seulement

La diminution marquée de la réponse métabolique des sujets entraînés est rapidement mise en évidence. À moins d'exercice très intenses (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995), aucune augmentation des taux de synthèse et de dégradation n'est observée chez des sujets entraînés suite à un exercice, que ce soit en résistance (Tipton et coll., 1996; Tarnopolsky et coll., 1991) ou en endurance (Tipton et coll., 1996). Phillips et collaborateurs (1999) ont comparé, lors d'une même étude, l'effet d'un exercice en résistance sur le métabolisme protéique de sujets entraînés et non entraînés. On y note des augmentations de la synthèse et de la dégradation protéique significativement plus grandes chez les sujets non entraînés.

Il semble pourtant évident, en regardant les haltérophiles et les culturistes, qu'un entraînement en résistance favorise l'hypertrophie et entraîne un gain de masse musculaire. Comment donc expliquer un gain de masse musculaire si la réponse métabolique à l'exercice est diminuée avec l'effet de l'entraînement ? Tout d'abord, les mouvements composant l'exercice influencent la réponse musculaire au travail. Les études à ce sujet (Gibala et coll., 1995; Sorichter et coll., 1997; Stauber et Smith, 1998) montrent qu'un exercice composé de mouvements concentriques, et plus particulièrement excentriques, entraîne des dommages musculaires dont la récupération complète se calcule en terme de jours (Stauber et Smith, 1998). Les adaptations musculaires qui en découlent, incluant une hausse des taux de synthèse musculaire protéique, sont d'autant plus importantes lorsqu'un mouvement excentrique est effectué (Booth et coll., 1998; Kraemer et coll., 1998a). La planification de mouvements excentriques dans un programme d'entraînement peut donc maximiser la réponse métabolique à l'exercice et ainsi optimiser le gain de masse musculaire (Côté et coll., 1988; Higbie et coll., 1996; Hortobagyi et coll., 1995).

Puis, sans entrer dans les détails de l'effet de l'alimentation sur le métabolisme protéique (qui sera abordé dans la section suivante), les taux de synthèse protéique musculaire et la balance protéique nette sont plus grands lorsqu'un apport d'acides aminés exogènes suit l'exercice (Tipton et coll., 1999) comparativement à un jeûne (Biolo et coll., 1997). Une alimentation adéquate dans les heures suivant l'exercice favoriserait donc une balance protéique positive et, par le fait même, un léger gain de masse musculaire.

Un gain de masse musculaire provient nécessairement d'une balance protéique nette positive. Donc, même si la réponse métabolique est diminuée et que la balance protéique nette est parfois négative à l'exercice, la balance protéique finale, qui résulte de la somme des balances protéiques pendant la période d'entraînement, se doit d'être positive. Quelques hypothèses sont avancées.

Suite à une série d'études, Yarasheski et collaborateurs (1992, 1993, 1995, 1999) concluent que l'hypertrophie musculaire qui résulte de l'entraînement en résistance est causée par une augmentation des taux de synthèse protéique de base. Cependant, lorsqu'on regarde de plus près les protocoles utilisés lors de ces études, des questions sont soulevées. Alors que les études se déroulent sur quelques semaines, on procède à des dosages du métabolisme protéique au repos, avant d'avoir débuté le premier exercice du programme d'entraînement, puis on compare ensuite ces données aux valeurs obtenues à la fin du programme d'entraînement, quelques heures à peine (3 - 24 heures) après la fin du dernier exercice. Alors que l'effet à la hausse d'une session d'exercice sur les taux de synthèse protéique demeurent effectives jusqu'à 48 heures en post-exercice (Phillips et coll., 1997; MacDougall et coll., 1995), il est difficile de départager l'effet de l'entraînement de l'effet ponctuel de la session d'exercice.

Il existe une autre hypothèse pouvant expliquer le gain de masse musculaire suivant un entraînement en résistance. On pense que l'accumulation de tous les petits gains de masse musculaire consécutifs à chaque séance d'exercice de la période d'entraînement aurait pour conséquence un gain total significatif de masse musculaire. Malgré la diminution de la réponse du métabolisme protéique chez les gens entraînés, la réponse métabolique demeure tout de même plus marquée jusqu'à 24 heures en post-exercice (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995). Puis, sans entrer dans les détails de l'effet de l'alimentation sur le métabolisme protéique (qui sera abordé dans la section suivante), les taux de synthèse protéique musculaire ainsi que la balance protéique nette sont plus grands lorsqu'un apport d'acides aminés exogènes suit l'exercice (Tipton et coll., 1999) comparativement à un jeûne (Biolo et coll., 1997). Une alimentation adéquate dans les heures suivant l'exercice favoriserait donc une balance protéique positive et par le fait même, un léger gain de masse musculaire qui s'avère par la suite significatif avec l'accumulation de tous les petits gains au cours de l'entraînement. À la lumière de ces résultats, il apparaît plus probable que l'hypertrophie musculaire résultant

d'un entraînement en résistance soit la conséquence d'une accumulation de légers gains suite à plusieurs séances d'exercice plutôt qu'à une augmentation des taux de synthèse protéique de base.

2.5 Effet de l'alimentation sur la masse musculaire

L'effet de l'alimentation sur le *turnover protéique* dépend entre autres du stade de développement chez l'animal et chez l'homme. Chez le jeune mammifère, le métabolisme des protéines s'effectue à un rythme plus rapide que chez le mammifère adulte. Lors de la prise alimentaire, l'augmentation des taux de synthèse est nettement supérieure à l'augmentation des taux de dégradation, la balance protéique devient positive et il en résulte une importante rétention protéique en bas âge (Waterlow et coll., 1978; Goldspink et coll., 1984). Qu'ils soient observés chez des rats, des cochons ou des agneaux, les résultats arrivent au même modèle quant au métabolisme protéique lors de la prise alimentaire, ce qui suggère que les résultats obtenus s'appliquent à toutes les espèces animales et même aux hommes (Arnal et coll., 1987).

Cette importante rétention protéique en période de croissance est également observée dans les cas de réalimentation, alors que le métabolisme protéique est plus sensible qu'en temps normal à l'apport exogène de protéines. La croissance musculaire est ainsi favorisée par une balance protéique positive causée par une augmentation plus importante des taux de synthèse par rapport aux taux de dégradation (Millward et Waterlow, 1978).

2.5.1 Apport énergétique / statut nutritionnel

Les résultats d'études s'intéressant au métabolisme des protéines lors de la phase post-prandiale et post-absorption ont été résumés dans le tableau qui suit (tableau V). La phase post-prandiale est ici définie comme le moment immédiat suivant le repas, alors que la phase post-absorption est le moment entre les repas ou encore suivant le jeûne nocturne. Ces études sont majoritairement réalisées auprès de sujets humains (n=6), une étude étant réalisée chez des chiens et une autre chez des agneaux. L'infusion de leucine marquée est la méthode de mesure du métabolisme protéique total utilisée par toutes les études répertoriées dans ce tableau.

Tableau V. Réponse du métabolisme protéique total à l'alimentation (g protéine/kg/jr)

Référence	Sujet	Post-prandial		Post-absorption	
		Synthèse	Dégradation	Synthèse	Dégradation
Garlick et coll. (1980a)		2.7	2.1	1.8	2.2
Motil et coll. (1981a)		4.4	3.0	3.7	4.3
Motil et coll. (1981b)	Homme	5.2	3.1	5.2	5.8
Rennie et coll. (1982)		7.1	6.4	4.2	4.9
Clugston et Garlick (1982)		3.4	2.5	2.3	3.0
Hoffer et coll. (1985)		4.1	3.2	1.4	3.8
Patureau-Mirand et coll. (1985)	Agneau	16.4	9.0	7.0	9.0
Nissen et Haymond (1986)	Chien	11.0	9.1	0.4	11.3

Adapté de Arnal et coll. (1987)

A. État post-prandial

Toutes les études, à l'exception d'une (Motil et coll., 1981b), montrent que la synthèse des protéines est augmentée en post-prandial, dans les minutes suivant l'ingestion d'un repas en comparaison aux taux de synthèse notés en post-absorption. Les études montrent également un ralentissement des taux de dégradation, ce qui accentue la rétention protéique tout en diminuant la concentration d'acides aminés provenant de la dégradation protéique (Motil et coll., 1981a,b; Clugston et Garlick, 1982; Hoffer et coll., 1985).

B. État post-absorption

À l'exception d'une étude (Motil et coll., 1981b), les taux de synthèse protéique totale en post-absorption semblent diminuer en deçà des taux de synthèse observés en post-prandial. Les données recueillies en post-absorption montrent des taux de dégradation supérieurs aux taux de synthèse, ce qui implique une balance protéique négative qui se traduit par une résorption protéique de la masse maigre. Certains auteurs ajoutent que la diminution des concentrations d'insuline durant cette période serait possiblement impliquée dans ces changements du métabolisme protéique (Nissen et Haymond, 1986). Il en sera question dans la section 2.6 sur l'interaction entre l'alimentation, l'exercice et les hormones. Une autre variation notée par quelques auteurs lors de la phase post-absorption est un accroissement des concentrations de leucine qui découlerait de l'effet

combiné d'une diminution des taux d'oxydation des acides aminés et d'une diminution de l'utilisation des acides aminés à des fins de synthèse (Garlick et coll., 1980a; Rennie et coll., 1982; Nissen et Haymond, 1986). Vu sa capacité à inhiber la dégradation protéique, la leucine pourrait alors s'avérer utile pour limiter le catabolisme dans de telles conditions (Mitch et Clark, 1984).

Il est intéressant de souligner qu'en post-absorption, la synthèse protéique du muscle diminue de manière plus importante que la synthèse protéique totale, ce qui favorise une plus grande disponibilité des acides aminés pour les tissus dont le *turnover protéique* est plus rapide (ex.: foie, intestin) (Rennie et coll., 1982).

2.5.2 Balance énergétique

Il a été montré à quelques reprises qu'une balance énergétique positive peut engendrer un important effet anabolique. Sans même qu'il y ait ajout d'une composante exercice, un apport énergétique excédant les dépenses entraînerait un accroissement de la masse maigre (Houston, 1999).

Forbes et collaborateurs (1989) sont parmi ceux qui se sont intéressés aux effets d'une suralimentation sur le métabolisme protéique. L'étude, effectuée auprès de femmes, a favorisé des augmentations énergétiques quotidiennes allant jusqu'à 1600 calories de plus que les besoins. Suite aux 21 jours de suralimentation, les auteurs notent une élévation des niveaux d'hormones anaboliques, plus précisément de l'insuline, des somatomédines (IGF-1) et de la testostérone de l'ordre de 48, 21 et 32% respectivement. À la fin de l'étude, les sujets ont obtenu un gain de poids moyen de 7% du poids initial, dont 46% sous forme de masse maigre. Cette proportion représente un gain moyen de masse maigre de 4% en comparaison à la masse maigre initiale. Cependant, l'intervalle de poids des 13 candidates est plutôt grand, les poids variant entre 44 et 80 kg, les indices de masse corporelle (IMC) allant de 17,2 à 28,8. Aucune information n'est fournie quant au niveau d'activité physique habituel des sujets, ni quant à leur état nutritionnel au début de l'étude, mis à part que leur poids est plutôt stable depuis au moins deux ans. Par exemple, la présence d'une carence protéino-énergétique chez un sujet aurait pu entraîner une plus grande rétention protéique lors de la suralimentation, ce qui limiterait les bénéfices associés au surplus énergétique lors de cette étude.

Plus récemment, Jebb et collaborateurs (1996) ont analysé les effets de la sous-alimentation et de la suralimentation via la calorimétrie. Pendant 12 jours, cinq sujets

masculins ont expérimenté les effets d'une diète excédant de 33% la dépense énergétique ou d'une diète entraînant un déficit énergétique de 66% des besoins journaliers. Les apports en protéines étaient alors de 15% (122 g/jour – suralimentation) et de 31% (47 g/jour – sous-alimentation). Chaque jour, les sujets effectuaient 3 séries de 40 minutes d'exercice sur vélo stationnaire à intensité modérée. L'étude, qui s'attardait à la mesure de la dépense énergétique et de l'oxydation des substrats, observe une faible augmentation de l'oxydation des protéines malgré une augmentation considérable des apports. En termes quantitatifs, une hausse de 160% des apports en protéines (de 47 g/jour lors de la sous-alimentation à 122 g/jour lors de la suralimentation) n'a engendré qu'une faible hausse de 12% de la quantité de protéines oxydées (de 83 g/jour lors de la sous-alimentation à 93 g/jour lors de la suralimentation). Cette faible oxydation des protéines a permis une balance positive tout au long de l'étude, que ce soit dans le cas de la sous-alimentation ou de la suralimentation. Le gain de poids obtenu suite à la suralimentation a été de 2,90 kg, soit environ 4% du poids initial des sujets. De ce gain de poids, 50% était sous forme de masse maigre. Malheureusement, aucune donnée quant aux variations du métabolisme protéique n'est disponible dans cette étude, l'oxydation des substrats étant le sujet de cette recherche.

Une autre étude (Reeds et coll., 1980), effectuée cette fois auprès d'animaux en croissance, montre une augmentation de 100% des taux de synthèse alors qu'on les nourrissait avec une diète fournissant 3 fois plus d'énergie que leurs besoins. Le surplus énergétique a entraîné à la fois une augmentation des taux de synthèse et une augmentation des taux de dégradation protéique totale. L'augmentation des taux de synthèse protéique plus marquée engendre une balance protéique positive. La diminution du catabolisme de la leucine observée en post-prandial pourrait s'expliquer par le surplus énergétique qui favoriserait une meilleure utilisation des acides aminés pour la synthèse protéique. On note d'ailleurs que le catabolisme de la leucine est directement proportionnel à l'apport en protéines (Laurent et coll., 1984; Motil et coll., 1981a).

2.5.3 La composition de la diète

Jusqu'à maintenant, on a constaté que la quantité d'aliments ingérés influence le métabolisme des protéines. Un autre aspect à considérer est la qualité de l'alimentation, c'est-à-dire la nature et la proportion des nutriments qui la composent.

Voulant préciser le rôle des protéines dans le métabolisme protéique, des chercheurs ont étudié les effets de différentes compositions de diètes sur les taux de synthèse. Chez de jeunes enfants recevant une diète déficitaire en protéines, les résultats d'une étude suggèrent une légère augmentation du métabolisme protéique en guise d'adaptation à cette restriction (Golden et Waterlow, 1977).auprès de sujets obèses recevant ce même type de diète déficitaire en protéine, on observe une diminution des taux de synthèse protéique. Toutefois, aucune baisse des taux de synthèse n'est observée lorsque les sujets ont reçu une alimentation restreinte en énergie, mais dont l'apport en protéine est adéquat (Garlick et coll., 1980b). Des résultats similaires ont été obtenus lors d'études chez des rats (Arnal et coll., 1972). Une réduction de 50% de l'énergie non-protéique de la diète d'un groupe de rats n'a eu aucun effet sur la synthèse protéique de ces derniers. On montre également que parmi le groupe nourris d'une diète sans protéine, les taux de synthèse protéique ainsi que les taux d'oxydation des acides aminés étaient inférieurs au groupe de rats nourris d'une diète renfermant des protéines. Fait à remarquer, il n'y avait aucune différence dans les taux de dégradation, de synthèse protéique et d'oxydation des acides aminés entre les rats nourris de la diète sans protéine et les rats à jeun (Garlick et coll., 1982). Ces résultats suggèrent l'importance des protéines de l'alimentation sur l'anabolisme protéique alors que la synthèse protéique semble très peu affectée par une carence énergétique tant et aussi longtemps que les apports en protéines sont maintenus à des niveaux couvrant les besoins.

Une autre étude a voulu vérifier l'effet de la réalimentation protéique chez de jeunes adultes. Après avoir reçu une diète composée d'une quantité insuffisante de protéine (0,1 g/kg/jour), les sujets ont reçu une diète leur fournissant une quantité de protéines excédentaire à leurs besoins (1,5 g/kg/jour). Des augmentations des taux de synthèse et de dégradation protéique, de même qu'une oxydation accrue de la leucine ont été notées en post-prandial ainsi qu'en post-absorption (Motil et coll., 1981b).

Dans le cas où les apports en protéines sont plus grands que les besoins, certains auteurs rapportent des augmentations de la dégradation des protéines en post-prandial chez de jeunes adultes (Yang et coll., 1986), ou encore une augmentation de l'oxydation des protéines (Reeds et Fuller, 1983) sans augmentation concomitante de la synthèse des protéines (Laurent et coll., 1984).

Les effets des différents nutriments de la diète sur le catabolisme des protéines ont été étudiés (Reeds et coll., 1981) chez des cochons à qui l'on a donné des diètes de différentes compositions: diète de base équilibrée en glucides, protéines et lipides, cette même diète de base additionnée de protéines, puis additionnée de lipides et finalement, additionnée de glucides. Les résultats montrent des augmentations des taux de synthèse et de dégradation chez les cochons recevant les diètes additionnées de protéines, glucides et lipides par rapport à ceux recevant la diète de base seulement. Dans chacun des cas, les taux de synthèse dépassaient les taux de dégradation, favorisant ainsi une rétention protéique. La diète additionnée de protéines a enregistré la meilleure amélioration des taux métaboliques, suivi de la diète additionnée de glucides puis de lipides.

Plus récemment, Yaman et collaborateurs (2000) ont imposé un court jeûne à 72 poulets avant de les réalimenter avec l'une des huit diètes de différentes compositions: nutriments seuls (glucides ou protéines ou lipides) ou encore une combinaison de deux (protéines et glucides, protéines et lipides, glucides et lipides) ou de trois nutriments (diète équilibrée de protéines, glucides, lipides). L'étude conclut que, plutôt que d'interagir entre eux, les effets des différents nutriments sont additifs. La diète combinée de protéines et de glucides montre une meilleure amélioration des taux de synthèse que la diète composée de protéines seulement. Cependant, les glucides et les lipides seuls n'ont pas d'effet sur le métabolisme des protéines. Ce n'est que combinés avec les protéines que les lipides et les glucides engendrent une augmentation des taux de synthèse protéique.

2.6 Interaction de l'alimentation, de l'exercice et des hormones sur la masse musculaire

L'observation d'un gain de masse maigre est conditionnelle à la présence d'une balance protéique positive dans le tissu musculaire. Celle-ci est possible lorsque l'anabolisme musculaire est plus marqué que le catabolisme. Plusieurs facteurs agissent sur le métabolisme protéique et l'exercice est l'un d'eux. Pendant un exercice, le métabolisme protéique diminue son rythme, mais l'arrêt de l'exercice met un terme à ce ralentissement pour laisser place à une augmentation du métabolisme en post-exercice. Si l'exercice est effectué en résistance, la synthèse protéique musculaire en post-exercice sera d'autant plus augmentée que l'intensité de l'exercice est élevée. Cette règle

s'applique également aux taux de dégradation protéique musculaire. Si l'exercice est effectué en endurance, une trop grande intensité de travail annulera les effets bénéfiques de l'exercice sur les taux de synthèse et accentuera les taux de dégradation protéique en post-exercice. Cet effet de l'exercice sur le métabolisme protéique est observé jusqu'à 24 heures suivant l'exercice chez des sujets entraînés (Chesley et coll., 1992; MacDougall et coll., 1995), et jusqu'à 48 heures chez des sujets sédentaires (Phillips et coll., 1997).

L'exercice en résistance entraîne une augmentation des concentrations d'hormone de croissance, de testostérone et de somatomédines sans toutefois affecter les niveaux d'insuline (Chandler et coll., 1994; Gotshalk et coll., 1997; Häkkinen et Pakarién, 1995; Kraemer et coll., 1998a; Volek et coll., 1997). Pendant un exercice en résistance, les taux d'hormones de croissance et de testostérone sont augmentés, avec une augmentation de testostérone plus importante chez la femme que chez l'homme par rapport aux concentrations initiales (Häkkinen et Pakarién, 1995). Ces hormones anaboliques agissent toutes en faveur d'une balance protéique positive lorsque présentes en quantités suffisantes dans le sang.

Le protocole d'entraînement semble avoir un effet important sur les variations hormonales. On observe effectivement des augmentations des concentrations d'hormones anaboliques plus marquées lorsque le protocole comprend trois séries de chaque exercice plutôt qu'une seule série (Gotshalk et coll., 1997). De même, un plus grand volume, des charges moins importantes (ex.: 3 séries de 10 répétitions) ainsi que de brefs arrêts (1-2 minutes) entre les séries et les exercices ont entraîné de meilleures concentrations hormonales en post-exercice en comparaison à de plus petits volumes utilisant de lourdes charges avec des temps de repos plus longs (3 minutes) (Kraemer et coll., 1998b).

L'alimentation est un autre facteur qui influence le métabolisme protéique. Sans même l'introduction d'une composante exercice, la consommation d'un supplément d'acides aminés au repos entraîne une augmentation des taux de synthèse protéique (Fryburg et coll., 1995). Un supplément de protéines fournit des acides aminés aux muscles à des fins de synthèse tout en stimulant faiblement la sécrétion d'insuline. Consommées seules, les protéines sont de piètres stimulatrices d'insuline: l'ajout de quelques glucides au supplément de protéines engendrent toutefois une augmentation des concentrations d'insuline sécrétée (Zawadzki et coll., 1992; Chandler et coll., 1994).

Certaines hormones sont stimulées par un apport alimentaire, par exemple la testostérone et les somatomédines.

Des études ont observé que la composition de l'alimentation pouvait influencer les niveaux de testostérone (Dorgan et coll., 1996; Kraemer et coll., 1998b). En comparaison à une diète riche en fibres et faible en gras, une diète riche en gras et faible en fibres a permis d'accroître de façon marquée la concentration de testostérone chez des hommes sédentaires (Dorgan et coll., 1996). Une autre étude incluant un exercice en résistance a également souligné l'importance des gras dans la diète afin de maintenir des niveaux d'hormones élevés (Kraemer et coll., 1998b). Puis, tel que rapporté par Forbes et collaborateurs (1989), le processus de régulation de la sécrétion des somatomédines (IGF-1) semble être étroitement relié aux apports nutritionnels. On note une diminution des concentrations de somatomédines de l'ordre de 10 à 20% à la suite d'un jeûne (Clemmons et coll., 1981), pour reprendre rapidement des taux normaux avec la réintroduction de l'alimentation à des niveaux couvrant les besoins (Clemmons et coll., 1985; Isley et coll., 1983, 1984).

L'exercice entraîne une augmentation du métabolisme protéique, cependant, la dégradation étant augmentée dans des proportions plus grandes que la synthèse, la balance protéique demeure négative, ce qui signifie une perte de masse musculaire (Biolo et coll., 1995b; Roy et coll., 1997; Phillips et coll., 1997) (voir figure 1). Si un supplément d'acides aminés est ajouté en post-exercice, on remarque une augmentation significative des taux de synthèse et de la balance protéique, passant ainsi du négatif au positif (Biolo et coll., 1997; Tipton et coll., 1999). L'ajout de glucides au supplément d'acides aminés permet une sécrétion plus importante d'insuline (Bohannon et coll., 1980) tout en fournissant les acides aminés nécessaires pour combler les besoins accrus par les taux accélérés de synthèse protéique en post-exercice.

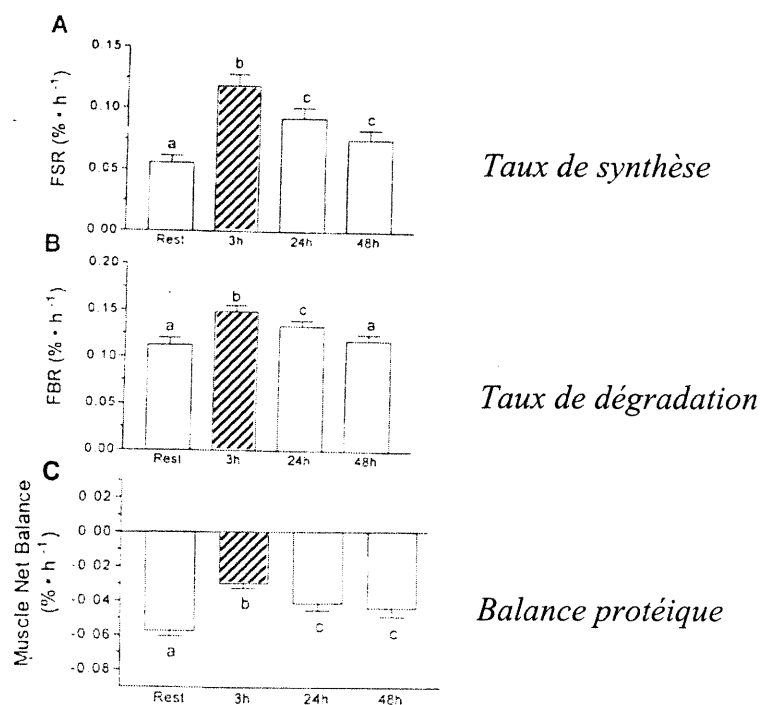


Figure 1. Effet de l'exercice sur le métabolisme protéique (tiré de Phillips et coll. 1997)

Un supplément composé uniquement de glucides et consommé en post-exercice ne s'avère pas efficace pour augmenter de façon significative la synthèse musculaire (Roy et coll., 1997). Les glucides semblent plutôt avoir un effet indirect sur le métabolisme protéique via la sécrétion d'insuline qu'ils stimulent. Une étude avance l'idée que la diminution du taux de catabolisme protéique pourrait être liée à l'augmentation des concentrations d'insuline lors de l'ingestion de nutriments (glucides, protéines et lipides), plutôt qu'à l'unique effet d'un apport en acides aminés exogènes (Nissen et Haymond, 1986). Biolo et collaborateurs (1995a) quant à eux n'ont observé aucune diminution du catabolisme protéique malgré l'hyperinsulinémie. À la suite d'un exercice en résistance, l'hyperinsulinémie n'a aucun effet sur les taux de synthèse musculaire. Cependant, elle limite l'augmentation de la dégradation protéique attendue en post-exercice (Biolo et coll., 1999). Une étude vient appuyer cette théorie alors qu'elle montre une baisse de l'excrétion de 3-méthylhistidine (indice du catabolisme) suite à la prise d'un supplément glucidique en post-exercice favorisant ainsi l'hyperinsulinémie (Roy et coll., 1997). Une série d'études menées par Farrell (1999a, 1999b), Fedele et collaborateurs (2000) a

également permis de conclure que la synthèse protéique ne serait pas stimulée par un exercice en résistance sans une concentration minimale d'insuline.

D'autres études, dont les protocoles incluent un supplément de protéines ou de glucides et de protéines en post-exercice, notent des augmentations des taux de synthèse protéique sans augmentations concomitantes des taux de dégradation, d'où l'observation d'une balance protéique positive (Biolo et coll., 1995b, 1997; Roy et coll., 1997; Okamura et coll., 1997; Rasmussen et coll., 2000).

Il est important de noter que la présence de protéines semble très importante afin de favoriser une balance protéique positive. En effet, la synthèse protéique est très peu affectée par une carence énergétique tant et aussi longtemps que l'apport en protéines est adéquat. Cependant, une alimentation présentant une carence en protéines cause la même chute des taux de synthèse que le jeûne.

Autre fait à noter, chez les sujets entraînés, on remarque une diminution de la réponse métabolique à l'exercice. Les augmentations des taux de synthèse et de dégradation chez des sujets entraînés sont moins importantes que chez des sujets non entraînés. Il est tout de même possible de stimuler des hausses marquées du métabolisme protéique chez les sujets entraînés, à condition que l'exercice réalisé soit d'une bonne intensité. Et puisque les effets de l'exercice sur le métabolisme protéique sont effectifs jusqu'à 24 heures après la fin de l'exercice, l'alimentation au cours des heures suivant l'exercice apparaît donc un élément clé du gain de masse musculaire lors d'un programme d'entraînement.

2.7 Objectifs et hypothèses de l'étude

Les études qui s'intéressent à l'effet de l'entraînement et d'une supplémentation sur l'anabolisme musculaire sont réalisées auprès d'athlètes et les données sont récoltées via une session ponctuelle de tests. Peu d'études ont analysé les effets d'une supplémentation combinée à de l'entraînement sur l'anabolisme musculaire via une collecte de données sur une période d'observation de plus d'une semaine et auprès de sujets sédentaires. Notre étude a donc pour objectifs:

- Évaluer les effets d'un supplément de glucides et d'une combinaison de glucides et de protéines sur l'anabolisme protéique musculaire lors d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de six semaines;

- Comparer les effets d'un supplément commercial aux effets d'un supplément maison, de composition nutritionnelle semblable, sur l'anabolisme protéique musculaire lors d'un programme d'entraînement de six semaines.

Nos hypothèses sont :

- Que les paramètres biochimiques sont influencés différemment par la prise, immédiatement après l'exercice, de suppléments de glucides et d'une combinaison glucides/protéines;
- Qu'un supplément de glucides et/ou d'une combinaison glucides/protéines pris immédiatement après l'exercice favorise un gain de masse maigre;
- Qu'à composition nutritionnelle semblable, une boisson maison est aussi efficace pour favoriser la récupération qu'une boisson commerciale.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Sujets

3.1.1 Caractéristiques

L'étude, menée entre janvier 1998 et mai 1999, portait sur des sujets masculins âgés entre 18 et 35 ans, non-fumeurs, ne présentant pas d'excès de poids ($IMC < 27$), peu actifs et n'ayant pratiqué aucun entraînement de musculation durant les six derniers mois. Ces derniers ne devaient souffrir d'aucune maladie métabolique ou autre indisposition physique chronique, de même qu'aucune allergie liée aux ingrédients des différentes boissons utilisées dans le cadre de l'étude. La diète des sujets se voulait sans particularité (ex.: diabétique, végétarienne, amaigrissante) et ne devait contenir aucun supplément alimentaire.

Lors de la première rencontre avec les participants, chaque sujet recevait par écrit un formulaire explicatif du projet qu'il devait signer à titre de formulaire de consentement (annexe 1). Chaque sujet devait ensuite remplir un questionnaire relatif à son état de santé général (annexe 2), de même qu'un questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) (annexe 3). Une réponse positive à une des questions du Q-AAP entraînait automatiquement un rejet de la candidature.

3.1.2 Répartition des sujets et des boissons

Les 28 sujets recrutés sur le campus de l'Université de Montréal étaient aléatoirement répartis en quatre groupes, 3 expérimentaux et un groupe contrôle. Un premier groupe ($n=5$) recevait la boisson commerciale Boost SportTM (CHO-PROTM) composée d'un mélange de glucides et de protides. Un deuxième groupe ($n=8$) recevait la boisson maison (CHO-PRO) composée de glucides et de protides. Un troisième groupe ($n=7$) recevait la boisson composée de glucides seulement (CHO). Le groupe contrôle ($n=8$) recevait la boisson placebo non calorique à base de l'édulcorant aspartame (PL). Les trois boissons autres que PL étaient isocaloriques, les boissons CHO-PROTM et CHO-PRO ayant de plus les mêmes répartitions de glucides et de protéines (tableau VI).

Tableau VI. Composition nutritionnelle des boissons

Boisson	Glucides (g)	Protides (g)	Lipides (g)	Énergie (kcal/kj)
CHO-PRO	54,0	18,0	5,0	329,0
CHO-PRO™	53,7	18,0	4,2	324,0
CHO	83,0	0	0	332,0
PL	0	0	0	0

3.2 Protocole expérimental

3.2.1 Déroulement global

L'étude s'est échelonnée sur huit semaines. Elle comprenait une période de familiarisation d'une durée d'une semaine, ainsi qu'un programme d'entraînement de six semaines incluant deux séances de tests qui se déroulaient au début et à la fin du programme d'entraînement (semaines 2 et 8). La figure 3.1 illustre le déroulement global de l'étude ainsi que celui des séances de tests. Tout au long de ce programme, les sujets recevaient et consommaient leur boisson respective dans les quinze minutes suivant les séances d'exercice. Aucune alimentation n'était prescrite aux sujets pendant l'étude. Cependant, il était demandé aux sujets de maintenir une alimentation quantitativement et qualitativement similaire pour la durée de l'étude. Le protocole expérimental a été approuvé par le comité d'éthique et de recherche du Centre hospitalier universitaire de Montréal (CHUM), pavillon St-Luc.

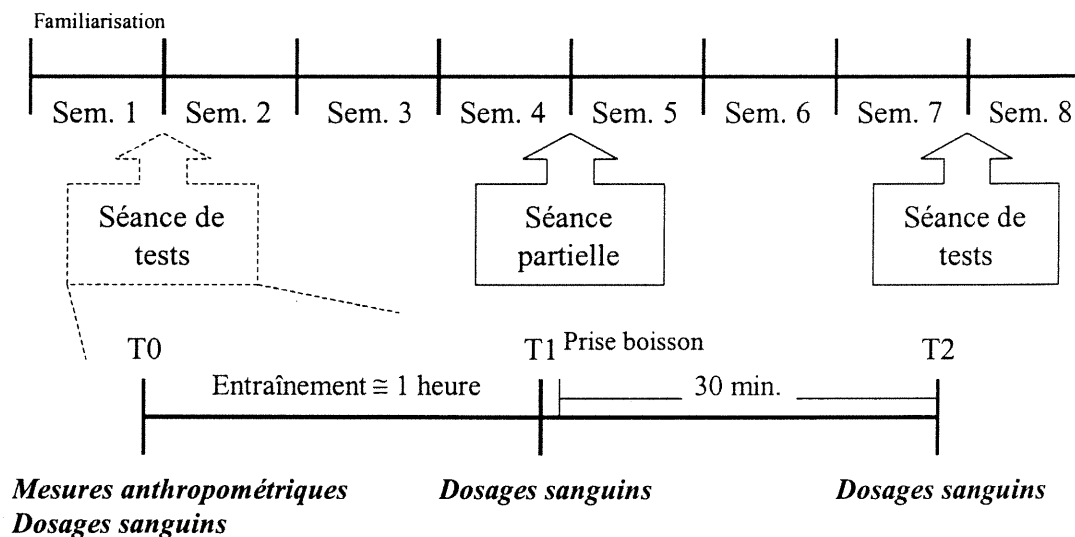


Figure 2. Schéma du déroulement global du protocole et d'une séance de test

3.2.2 Déroulement détaillé

A. Période de familiarisation - Semaine 1

C'est au cours de cette semaine que les sujets, la plupart inexpérimentés, pouvaient se familiariser avec les appareils de musculation, avec les mouvements à exécuter de même qu'à leur routine d'entraînement. Pour chaque sujet et chaque exercice du programme, les charges de répétitions maximales (1RM) ont été déterminées (annexe 4).

B. Séances de tests - Semaines 2 et 8 – Entraînement n°1 et n°19

Le matin de la séance de tests, les mesures anthropométriques étaient prises à l'arrivée des sujets à qui l'on demandait d'être à jeun. Puis, des dosages sanguins étaient effectués par ponction veineuse (avec un garrot) dans la veine antécubitale de l'avant-bras. Quatre prélèvements sanguins étaient recueillis avant le début de la séance d'exercice, en pré-exercice (t0). Au cours de la séance d'entraînement d'une durée d'environ une heure, les neuf exercices devaient être effectués sous la supervision des responsables du projet. Immédiatement après l'exercice, en post-exercice (t1), quatre autres prélèvements sanguins étaient effectués, suivis de la prise de la boisson désignée selon le groupe d'appartenance. Puis, 30 minutes après la prise de la boisson, en post-supplémentation (t2), quatre derniers prélèvements étaient recueillis. Les sujets étaient à jeun pour les dosages sanguins pré et post-exercice, et demeuraient passifs entre les moments post-exercice et post-supplémentation. Un journal alimentaire de trois jours

était complété par les sujets pendant les deux jours pré-test ainsi que la journée même du test (annexe 5). Une collecte urinaire de 24 heures était également effectuée depuis minuit la veille du test jusqu'à minuit le jour du test. Ces analyses d'urine servaient au volet catabolique de l'étude (Roy, 2000). Cette même séance de tests était reprise lors du dernier entraînement n°19, complétant ainsi le programme d'entraînement.

C. Le programme d'entraînement

Le programme d'entraînement (annexe 6) était composé de neuf exercices en résistance par séance, à raison de trois séances par semaine pour une durée de six semaines. Les exercices et le nombre de répétitions étaient déterminés afin de favoriser l'hypertrophie musculaire. Plus précisément, les charges étaient définies à 70,3 % (12 répétitions) et 74,4 % (10 répétitions) de la charge maximale (Poliquin, 1991) (annexe 7). Les principaux groupes musculaires ciblés étaient: les jambes et les fessiers (*leg press* et *leg curl*), les jumeaux (*seated toe raise*), le dos (*front lat pull-down*, *seated row*, hyperextension), les pectoraux (*bench press*), les épaules (*seated military press*) et les abdominaux (redressements assis). Effectués toujours selon le même ordre préétabli, les exercices s'enchaînaient avec un moment de répit d'une minute entre chaque appareil, alors qu'une période de repos de deux minutes était accordée entre les séries. Le nombre de séries et de répétitions variait tout au long des six semaines d'entraînement. Le programme débutait avec 2 séries de 12 répétitions, était poursuivi dès la deuxième semaine avec 3 séries de 12 répétitions pour s'enchaîner avec 3 séries de 10 répétitions. Les charges des différents appareils étaient modifiées au besoin selon les progrès durant les séances d'entraînement qui se déroulaient toujours sous la supervision des responsables du projet. Pour ce qui est des exercices d'hyperextension et de redressements assis, les sujets effectuaient 2 séries de répétitions multiples (jusqu'à épuisement) pour chacun des deux exercices.

Une attention particulière était portée à l'exécution des mouvements de manière à ce que ceux-ci soient réalisés en 2 secondes lors de la phase concentrique et en 3 secondes lors de la phase excentrique. À noter que le plan d'entraînement de la dernière séance était le même qu'à la première séance, c'est-à-dire 2 séries de 12 répétitions utilisant les charges de départ, afin de bien évaluer les effets du programme d'entraînement.

D. Rappel des mesures - semaine 5 - entraînement n°10

Des mesures anthropométriques (voir 3.3.2) de même qu'un rappel de 24 heures de l'alimentation étaient effectués à la mi-étude afin tout d'abord d'entrevoir l'évolution dans l'entraînement des sujets puis de s'assurer d'une certaine constance des apports alimentaires.

3.3 Paramètres mesurés

3.3.1 Analyses nutritionnelles

Les journaux alimentaires de trois jours complétés au début et à la fin du programme d'entraînement (semaines 2 et 8), de même que le rappel de l'alimentation de 24 heures à la mi-étude (semaine 5) étaient compilés et analysés à l'aide d'un logiciel d'analyse nutritionnelle (Nutrient Analysis, version 5.0.13, septembre 1997) qui utilise le fichier canadien, version 1997.

3.3.2 Mesures anthropométriques

Les mesures de la taille, du poids, de la masse maigre et de la masse grasse étaient obtenues à jeun, au début, à la moitié et à la fin du programme d'entraînement (semaines 2, 5 et 8). La composition corporelle était évaluée par la mesure de 10 plis cutanés analysés selon la formule d'Allen et collaborateurs (1956), tel que modifiée par Zwirren et collaborateurs (1973) (annexe 8).

3.3.3 Paramètres sanguins

Lors des entraînements n°1 et n°19 (séances de tests), différents paramètres sanguins étaient mesurés à trois reprises (pré-exercice, post-exercice et post-supplémentation). Pour chaque mesure, quatre prélèvements sanguins étaient effectués.

Du premier prélèvement sanguin, 10 millilitres (mL) de sang était recueilli dans une éprouvette Vacutainer (Becton Dickinson Vacutainer Systems) ne contenant aucun additif. Après 15 minutes à la température de la pièce, l'éprouvette était centrifugée à 4°C pendant 10 à 15 minutes à 3800 tours. Différentes quantités de sérum étaient par la suite transférées dans plusieurs tubes Eppendorf pour l'analyse subséquente de créatine kinase, testostérone, cortisol, hormone de croissance et de l'insuline. L'appareil IMX de Abbott était utilisé afin d'analyser les concentrations d'insuline. Les niveaux de cortisol, d'hormone de croissance et de testostérone étaient mesurés à l'aide de l'appareil Wallac Auto Delfia, tandis que les concentrations de créatine kinase et de glucose étaient

évaluées par l'appareil Beckman/Coulter (modèle Synchron CX-7). Ces tubes étaient par la suite conservés sur glace.

Du deuxième prélèvement, 5 mL de sang était recueilli dans une éprouvette héparinée (Vacutainer). De ce 5 mL, 500 microlitres (uL) de sang était immédiatement transféré dans un tube Eppendorf contenant une solution de Travasol (TCA) 5% pour l'analyse subséquente de pyruvate. Cette manipulation devait être effectuée sur de la glace. Ce tube Eppendorf était ensuite centrifugé à 4°C pendant 10 à 15 minutes à 3800 tours, pour ensuite en analyser le contenu par spectrophotométrie.

Du troisième prélèvement sanguin, 5 mL de sang était recueilli dans une éprouvette contenant un mélange d'oxalate de potassium et de fluorure de sodium (Vacutainer) pour être ensuite centrifugé à 4°C pendant 10 à 15 minutes à 3800 tours. Des quantités de 500 uL de surnageant étaient par la suite transférées dans deux tubes Eppendorf pour l'analyse subséquente de lactate et de glucose. Ces tubes étaient par la suite conservés sur glace.

3.3.4 Collecte urinaire de 24 heures

La première partie de la collecte consistait à recueillir l'urine éliminée à compter de minuit précédant la première séance d'entraînement jusqu'en pré-exercice. Une deuxième collecte ponctuelle s'effectuait en post-exercice. Une dernière collecte comprenait l'urine éliminée le reste de la journée jusqu'à minuit le même jour. Les volumes d'urine étaient par la suite mesurés et conservés à 4°C pour finalement être analysés à des fins de dosage du cortisol, de l'urée ainsi que de la créatinine dans le cadre du volet catabolique du projet (Roy, 2000).

3.4 Analyses statistiques

Les données recueillies pour les différents paramètres étaient traitées à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Science) version 9.0 pour Windows 95. Toute variation ou différence était déclarée significative lorsque $p < 0.05$.

3.4.1 Analyses nutritionnelles

Les différences entre les apports en calories, glucides, protides et lipides pour un même sujet et entre chaque groupe étaient vérifiées statistiquement par le biais de tests de Student (test t pairé), de même que d'analyses de variances (ANOVA) complétées de test de Tuckey pour pointer toute différence significative.

3.4.2 Mesures anthropométriques

Les mesures de poids, taille, masse maigre et masse grasse étaient analysées afin de s'assurer de l'homogénéité des groupes au départ, de même que pour détecter toute variation tout au long de l'étude. Pour ce faire, des tests de Student (test t pairé) ainsi que des ANOVAs étaient effectuées.

3.4.3 Paramètres sanguins

Enfin, des MANOVAs à trois facteurs (exercice - boissons - entraînement) étaient utilisées pour analyser les effets combinés ou individuels (lorsqu'en absence d'interaction) de ces facteurs sur les paramètres biochimiques. Le test de Tuckey était utilisé pour pointer toute différence inter-groupe, alors qu'un test de t pairé précisait les différences intra-groupe.

4. RÉSULTATS

4.1 Caractéristiques des sujets

Les caractéristiques des sujets au début et à la fin du programme d'entraînement de six semaines sont présentées au tableau VII. Les quatre groupes à l'étude ne présentaient aucune différence significative au début du programme d'entraînement sur l'ensemble des paramètres évalués soit l'âge, le poids, la taille, la masse maigre et la masse grasse. Le groupe CHO-PRO enregistre les valeurs moyennes les plus faibles quant au poids (68.4 kg), la masse adipeuse (7.4 kg) et la masse maigre (61 kg). Le groupe CHO-PRO™ affiche quant à lui les valeurs les plus élevées au niveau du poids (73.2 kg) alors que les plus grandes valeurs de masse grasse (11.0 kg) se retrouvent au sein du groupe PL.

Tableau VII. Caractéristiques des sujets en fonction de leur répartition dans les groupes

Groupe	Sujet (n)	Âge (année)	Poids (kg)	Taille (m)	IMC	Masse maigre (kg)	Masse grasse (kg)
CHO-PRO	8	22,8 ± 2,8	68,4 ± 5,9	1,75 ± 0,06	22,3 ± 1,4	61,0 ± 5,7	7,4 ± 1,7
CHO-PRO™	5	22,6 ± 1,7	73,2 ± 9,3	1,80 ± 0,05	22,5 ± 2,2	62,5 ± 4,1	10,7 ± 6,1
CHO	7	22,7 ± 2,1	73,1 ± 8,4	1,80 ± 0,02	22,4 ± 2,6	63,0 ± 5,1	10,1 ± 4,5
PL	8	22,0 ± 1,9	73,1 ± 9,5	1,76 ± 0,05	23,4 ± 2,0	62,3 ± 5,7	11,0 ± 3,9

Le tableau VIII présente la composition corporelle des groupes au début du programme (pré-entraînement) et à la fin du programme (post-entraînement). En post-entraînement, on observe une augmentation significative du poids pour les trois groupes expérimentaux par rapport au poids initial obtenu en pré-entraînement. Le poids moyen du groupe PL a connu une hausse qui s'avère toutefois non significative. Les poids moyens des groupes expérimentaux en post-entraînement ne sont pas significativement différents de même que l'augmentation moyenne de poids des sujets pour les six semaines d'entraînement. Les augmentations de poids constatées sont attribuables à des augmentations significatives de la masse maigre chez les groupes CHO et CHO-PRO et de masse grasse chez le groupe CHO-PRO™. Notons qu'il n'y a aucune différence

significative entre les augmentations moyennes de masse maigre et de masse grasse des différents groupes pendant l'étude.

4.2 Analyse nutritionnelle des journaux alimentaires

Afin de faciliter les comparaisons entre les groupes, les apports en calories, en glucides, en protéines et en lipides sont exprimés en kilocalorie par kilogramme (kcal/kg) de poids ou en gramme par kilogramme (g/kg) de poids en fonction de l'élément considéré. En incluant l'apport énergétique fourni par la boisson, on observe des apports moyens journaliers variant entre 37.8 et 42.8 kcal/kg de poids en pré-entraînement et entre 35.6 et 38.4 kcal/kg de poids en post-entraînement. Au niveau des apports journaliers en protéines, les moyennes se situent entre 1.5 et 1.6 g/kg de poids en pré-entraînement et entre 1.3 et 1.5 g/kg de poids en post-entraînement. Notons que les besoins quotidiens en protéines des sujets sont d'environ 1.5 g/kg de poids, ces besoins étant d'abord établis par les Apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens (Recommandation sur la nutrition, 1990) et ensuite ajustés en fonction de l'activité physique (Position of the ADA, DC and ACSN, 2000).

Les analyses statistiques ne montrent aucune différence significative au niveau des apports, que ce soit énergétiques, protéiques, glucidiques ou lipidiques entre les groupes et ce, tant en pré qu'en post-entraînement. Ces résultats ont été analysés en incluant puis en excluant le supplément des apports totaux (voir tableaux IX et X). Finalement, les analyses montrent qu'il n'y a pas de variation intra-groupe pour les apports en pré et en post-entraînement.

Tableau VIII. Composition corporelle des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement

Composition corporelle (kg)	CHO-PRO™ n=5		CHO-PRO n=8		CHO n=7		PL n=8	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Poids corporel	72,9 ± 9,4	74,9 ± 9,2*	68,4 ± 5,9	69,7 ± 5,8*	73,1 ± 8,4	74,6 ± 7,6*	73,2 ± 9,5	73,4 ± 9,1
Masse maigre	62,5 ± 4,1	63,5 ± 3,8	61 ± 5,7	62,2 ± 5,2*	63,0 ± 5,1	64,7 ± 4,7*	62,3 ± 5,7	62,9 ± 5,4
Masse grasse	10,7 ± 6,1	11,4 ± 6,6*	7,4 ± 1,7	7,4 ± 1,8	10,1 ± 4,5	10,0 ± 4,1	11,0 ± 3,9	10,5 ± 3,8

Valeurs moyennes ± SD. *P < 0,05 de la valeur obtenue lors de T1

Tableau IX. Apports moyens en énergie et macronutriments des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement (excluant la supplémentation)

Apports par kg de poids	CHO-PRO™ n=5		CHO-PRO n=8		CHO n=7		PL n=8	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Énergie (Kcal)	36,6 ± 4,9	36,1 ± 5,7	40,9 ± 5,1	34,9 ± 8,1	39,0 ± 9,3	36,1 ± 10,3	38,8 ± 9,0	35,6 ± 9,8
Glucides (g)	4,8 ± 1,2	4,2 ± 1,0	5,3 ± 1,0	4,5 ± 1,1	5,4 ± 1,6	4,6 ± 1,6	4,4 ± 0,9	4,6 ± 1,0
Protides (g)	1,5 ± 0,3	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,4	1,3 ± 0,3	1,5 ± 0,3	1,3 ± 0,3
Lipides (g)	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,4	1,4 ± 0,5	1,3 ± 0,4	1,2 ± 0,4	1,6 ± 0,5	1,4 ± 0,4

Tableau X. Apports moyens en énergie et macronutriments des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement (incluant la supplémentation)

Apports par kg de poids	CHO-PRO™ n=5		CHO-PRO n=8		CHO n=7		PL n=8	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Énergie (Kcal)	37,8 ± 5,0	37,2 ± 5,5	42,8 ± 5,3	37,1 ± 8,2	40,5 ± 9,9	38,4 ± 10,1	38,8 ± 9,0	35,6 ± 9,8
Glucides (g)	4,9 ± 1,1	4,3 ± 0,9	5,6 ± 1,0	4,8 ± 1,2	5,8 ± 1,7	5,1 ± 1,6	4,4 ± 0,9	4,6 ± 1,0
Protides (g)	1,6 ± 0,3	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,3	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,4	1,5 ± 0,3	1,3 ± 0,3
Lipides (g)	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,4	1,4 ± 0,4	1,3 ± 0,4	1,2 ± 0,4	1,6 ± 0,5	1,4 ± 0,4

4.3 Charge de répétition maximale (1 RM)

Les charges mesurées à différents moments de l'étude sont présentées au tableau XI. Les quatre groupes ont débuté et terminé l'étude avec des charges maximales d'entraînement comparables (aucune différence significative entre les groupes). À la fin du programme d'entraînement, tous les groupes ont significativement augmenté leur charge maximale de travail dans un ordre de grandeur similaire, aucune différence significative n'étant observée pour les augmentations de charge des groupes.

Tableau XI. Détermination de la charge pour une répétition maximale (1 RM) des sujets au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement

Groupes musculaires (lbs)	CHO-PRO™ n=5		CHO-PRO n=8		CHO n=7		PL n=8	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Jambes	275 ± 31	383 ± 64*	328 ± 76	424 ± 96*	295 ± 38	420 ± 68*	348 ± 67	440 ± 60*
Pectoraux	118 ± 18	142 ± 24*	139 ± 31	159 ± 38*	116 ± 16	135 ± 20*	145 ± 30	172 ± 35*
Dos	13 ± 2	15 ± 1*	13 ± 2	15 ± 2*	13 ± 2	15 ± 2*	14 ± 3	17 ± 3*
Épaules	82 ± 9	102 ± 10*	102 ± 20	117 ± 20*	87 ± 13	100 ± 14*	99 ± 12	115 ± 14*

Valeurs moyennes ± SD. *P< 0,05 de la valeur obtenue lors de T1

4.4 Résultats sanguins

Les valeurs détaillées obtenues lors des analyses sanguines pour les trois marqueurs de l'exercice et pour les cinq indicateurs de l'anabolisme sont présentées à l'annexe 9. Suite aux résultats enregistrés lors des analyses multivariées effectuées, un tableau a été fait pour chaque paramètre sanguin afin de présenter les résultats en tenant compte des interactions entre les facteurs considérés dans nos analyses soit l'effet de l'entraînement, de l'exercice et/ou des boissons ingérées. En absence d'interaction, des regroupements pertinents ont été effectués pour augmenter le nombre de sujets. Des analyses ont aussi été effectuées pour évaluer le catabolisme via le dosage de la créatine kinase, mais nous n'avons pas été en mesure de considérer ce paramètre. D'importantes variations interindividuelles quant à l'ordre de grandeur des valeurs, les données de repos fluctuant entre 77 et 10588 U/L, nous ont obligé à éliminer certaines données nettement supérieures à la normale qui se situe entre 32 et 232 U/L (Laboratoire de biochimie de

l'hôpital Ste-Justine). Entre 1 et 2 sujets par groupe ayant été éliminés, aucune analyse statistique n'était possible.

4.5 Marqueurs de l'exercice

Les deux paramètres mesurés pour évaluer l'effet de l'exercice sont présentés au tableau XII. Seul l'effet de l'exercice est ici considéré puisque nos analyses confirment l'absence d'interaction avec l'entraînement et les boissons. Même si l'effet de l'entraînement ne s'est pas avéré significatif, nous présentons tout de même les résultats en fonction de l'entraînement puisque les valeurs tendent généralement à augmenter de façon non négligeable. Les résultats spécifiques à chacun des paramètres sont présentés séparément dans les sections qui suivent.

4.5.1 Pyruvate

L'exercice a eu un effet significatif sur les valeurs de pyruvate mesurées. On observe en effet une augmentation significative des concentrations moyennes de pyruvate de tous les sujets en post-exercice comparativement aux valeurs en pré-exercice. En post-supplémentation, le taux moyen de pyruvate chute significativement en dessous des valeurs obtenues en post-exercice, mais demeure tout de même plus élevé que la valeur de départ. Notons que les valeurs moyennes de pyruvate tendent à être plus élevées lors de la deuxième séance d'exercice.

4.5.2 Lactate

On remarque que l'entraînement et principalement l'exercice ont un effet marqué sur les concentrations de lactate. Les concentrations moyennes augmentent de façon significative en post-exercice et ce, lors des 2 séances d'exercice. Ces concentrations demeurent significativement élevées en post-supplémentation comparativement aux concentrations de départ, mais diminuent tout de même de manière significative lorsque comparées aux concentrations obtenues en post-exercice. On remarque encore une fois que les concentrations moyennes de lactate tendent à être plus élevées lors de la deuxième séance de test, tout comme l'ont été les concentrations de pyruvate.

Tableau XII. Effets de l'entraînement et de l'exercice selon les paramètres biochimiques sanguins

Paramètres biochimiques	Entraînement					
	Pré (T1)		Post (T2)		Exercice (pré et post) ^a	
	t0	t1	t2	t0	t1	t2
Cortisol (nmol/L)	415,4 ± 119,3	415,9 ± 106,5	398,5 ± 102,2	404,0 ± 110,7	382,0 ± 105,0	358,9 ± 123,3
<i>Moyenne t0-t1-t2</i>	409,9 ± 108,6			381,6 ± 113,4		
Pyruvate (ug/L)	56,9 ± 19,3	112,6 ± 53,9*	72,0 ± 36,4	76,3 ± 25,5	166,1 ± 96,1*	107,8 ± 54,4
<i>Moyenne t0-t1-t2</i>	81,4 ± 44,8			116,7 ± 74,6		
Lactate (mmol/L)	0,90 ± 0,40	6,61 ± 2,45*	2,29 ± 0,71*‡	0,86 ± 0,34	8,37 ± 2,60*	2,40 ± 0,91*‡
<i>Moyenne t0-t1-t2</i>	3,27 ± 2,86			3,88 ± 3,63		
				409,7 ± 114,2	399,0 ± 106,2	378,7 ± 114,0
				68,0 ± 24,0	139,3 ± 81,7*	89,9 ± 49,3
				0,88 ± 0,36	7,49 ± 2,66*	2,34 ± 0,81*‡

t0: avant la séance d'exercice t1: immédiatement après la séance d'exercice t2: 30 min. après la prise de la boisson

^a Moyennes des t0, t1 et t2 en pré et en post entraînement

Valeurs moyennes ± SD.

*P < 0.05 de la valeur obtenue lors de t0

‡P < 0.05 de la valeur obtenue lors de t1

4.6 Indicateur du catabolisme protéique

4.6.1 Cortisol

L'analyse des données moyennes concernant le cortisol ne révèle aucune différence significative, que ce soit entre les boissons, pendant la séance d'exercice ou encore entre le début et la fin du programme d'entraînement (voir tableau XII).

4.7 Indicateurs de l'anabolisme protéique

Les résultats relatifs aux indicateurs de l'anabolisme sont présentés au tableau XIII. Pour ces marqueurs, l'effet de l'entraînement n'est pas ressorti des analyses et les valeurs sont donc présentées en fonction des quatre boissons et de l'exercice. Nous traitons des quatre paramètres individuellement dans les sections suivantes.

Tableau XIII. Effets de l'exercice et des boissons sur les paramètres biochimiques sanguins

Paramètres biochimiques	Boissons	Exercice (pré et post) ^a		
		t0	t1	t2
Glucose (mmol/L)	CHO-PRO	5,0 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,9
	CHO-PRO TM	5,4 ± 0,3	4,9 ± 0,6	5,3 ± 1,7
	CHO	5,1 ± 0,3	4,5 ± 0,4	5,2 ± 1,2
	PL	5,5 ± 0,5	5,1 ± 0,6	5,0 ± 0,5
	<i>Moyenne</i>		5,3 ± 0,4	4,8 ± 0,5*
Insuline (pmol/L)	CHO-PRO	47,2 ± 34,0	44,5 ± 13,9	253,4 ± 127,3*¥§
	CHO-PRO TM	49,9 ± 19,3	51,3 ± 13,1	395,5 ± 165,9*¥§
	CHO	51,4 ± 21,0	52,5 ± 19,7	241,8 ± 153,7*¥§
	PL	61,9 ± 23,0	65,0 ± 25,0	48,1 ± 21,4
	<i>Moyenne</i>		52,9 ± 25,7	53,6 ± 20,1
Testostérone (nmol/L)	CHO-PRO	25,80 ± 4,48	25,98 ± 4,18	21,53 ± 4,27
	CHO-PRO TM	27,48 ± 3,11§	29,25 ± 3,04§	20,72 ± 2,75*¥
	CHO	22,61 ± 3,47	21,91 ± 3,81	17,30 ± 4,45
	PL	20,62 ± 5,30	21,53 ± 4,58	19,34 ± 5,00
	<i>Moyenne</i>		23,82 ± 4,95	24,27 ± 4,94
Hormone de croissance (ug/L)	CHO-PRO	0,16 ± 0,14	5,17 ± 4,69	0,75 ± 0,77
	CHO-PRO TM	0,10 ± 0,07	3,36 ± 5,06	0,44 ± 0,57
	CHO	0,34 ± 0,61	3,97 ± 4,04	0,57 ± 0,57
	PL	0,20 ± 0,33	2,46 ± 4,96	0,82 ± 1,80
	<i>Moyenne</i>		0,21 ± 0,36	3,77 ± 4,67*

t0: avant la séance d'exercice t1: immédiatement après la séance d'exercice

t2: 30 min. après la prise de la boisson

^a Moyennes des t0, t1 et t2 en pré et en post entraînement

Valeurs moyennes ± SD. :

* P < 0.05 de la valeur obtenue lors de t0

¥ P < 0.05 de la valeur obtenue lors de t1

§ P < 0.05 de la valeur obtenue au même temps de PL

4.7.1 Testostérone

Une interaction entre les boissons et l'exercice est mise en évidence par les analyses. Mise à part le groupe CHO, les concentrations moyennes de testostérone tendent à augmenter en post-exercice. En post-supplémentation, les valeurs de testostérone tendent à diminuer sous les valeurs de départ pour les groupes CHO-PROTM, CHO-PRO et PL, cette diminution étant significative seulement pour le groupe CHO-PROTM. Les taux de testostérone du groupe CHO diminuent tout au long de la séance, mais de façon

non significative. La valeur obtenue en post-exercice pour le groupe CHO est significativement plus basse que celle du groupe CHO-PRO™. Le groupe CHO-PRO™ présente également un taux significativement plus élevé que le groupe PL à ce même moment, de même que pour la valeur en pré-exercice (au repos).

Les variations des concentrations de testostérone suite à la prise de la boisson, c'est-à-dire la différence entre la valeur en post-supplémentation et la valeur en post-exercice, ont été comparées (figure 2). Le groupe CHO-PRO™ affiche une baisse significative des taux de testostérone par rapport aux diminutions de concentration observées chez les trois autres groupes. Nous avons aussi comparé la diminution des concentrations de testostérone en post-supplémentation, mais cette fois-ci par rapport à la valeur de départ (pré-exercice) (figure 3). Le groupe PL montre une diminution des concentrations de testostérone significativement moins importante en comparaison de celles observées dans les groupes CHO-PRO™ et CHO. Notons qu'aucune différence n'est apparue entre les groupes CHO-PRO et PL.

4.7.2 Hormone de croissance

Seul l'exercice a eu un effet sur ce paramètre. L'exercice entraîne une hausse significative du taux d'hormone de croissance. La concentration d'hormone de croissance diminue significativement en post-supplémentation comparativement aux valeurs obtenues à la fin de l'exercice et demeure légèrement plus élevée que la valeur de départ.

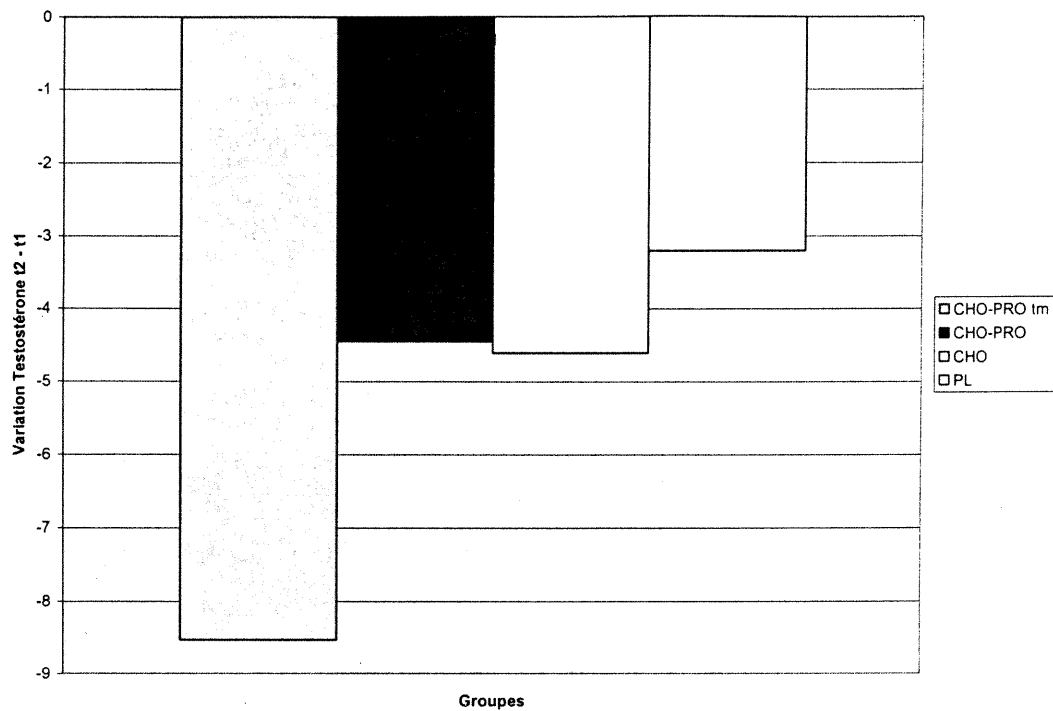


Figure 3. Variations des concentrations de testostérone entre t2 et t1

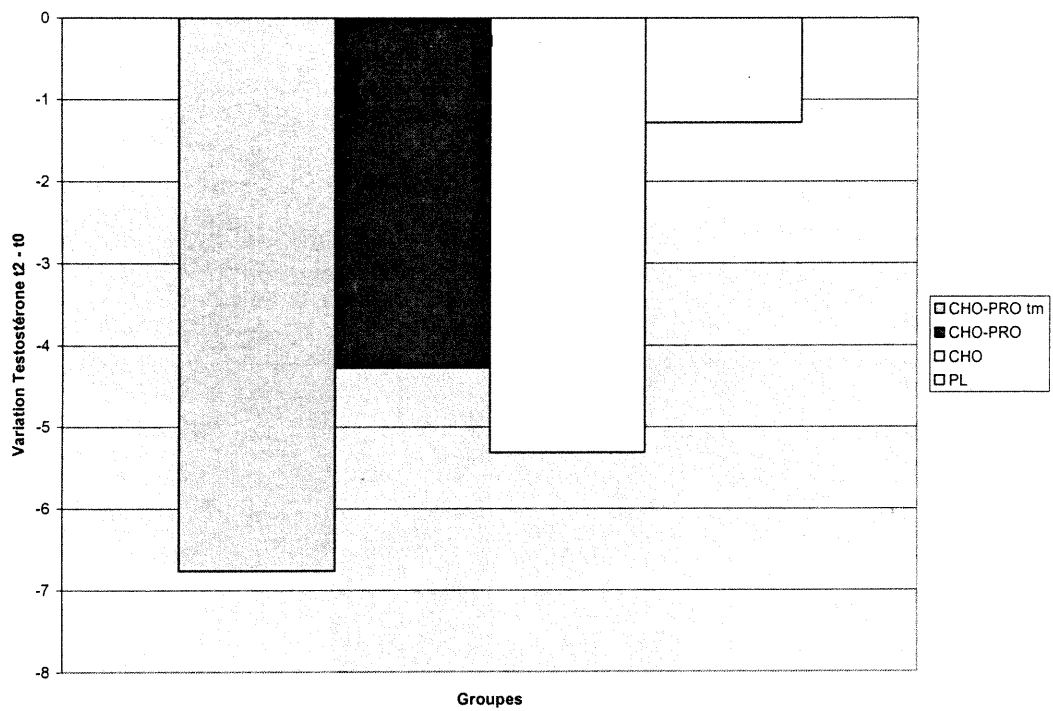


Figure 4. Variations des concentrations de testostérone entre t2 et t0

4.7.3 Glycémie

Tout comme l'hormone de croissance, seul l'exercice a eu un effet sur la glycémie. On enregistre une glycémie significativement inférieure en post-exercice par rapport à la glycémie au repos. Par la suite, elle tend à augmenter en post-supplémentation, cette dernière concentration demeurant cependant inférieure à la glycémie de départ.

4.7.4 Insuline

Une interaction entre les boissons et l'exercice est mise en évidence par les analyses. Les sujets de tous les groupes à l'exception du groupe PL montrent une hausse significative des concentrations d'insuline suite à la prise de la boisson et ce, tant par rapport aux valeurs observées en pré qu'en post-exercice. Les concentrations en post-supplémentation sont, pour les 3 groupes expérimentaux, significativement plus grandes que les concentrations obtenues à ce même moment pour le groupe PL.

De façon similaire à ce que nous avons fait pour la testostérone, nous avons comparé les variations des taux d'insuline suite à la prise de la boisson, c'est-à-dire la différence entre la valeur en post-supplémentation et la valeur obtenue en post-exercice (figure 4). Les groupes CHO-PRO™, CHO-PRO et CHO affichent des augmentations significativement plus grandes que les augmentations observées chez le groupe PL. L'augmentation d'insuline du groupe CHO-PRO™ est également significativement plus importante que celle des groupes CHO-PRO et CHO.

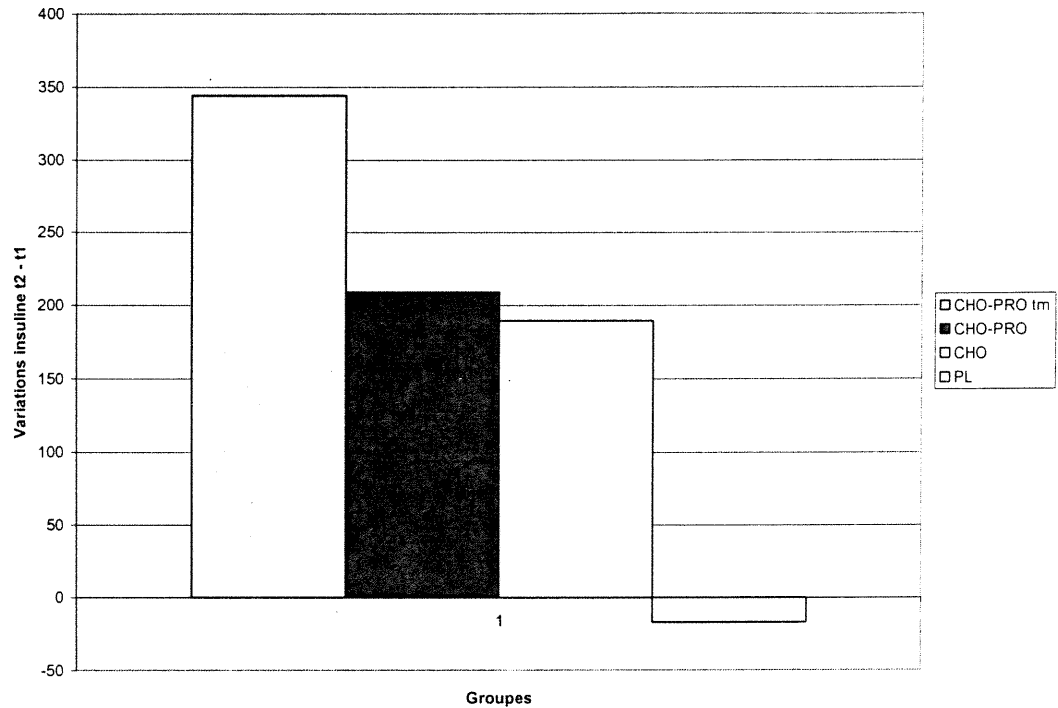


Figure 5. Variations des taux d'insuline entre t2 et t1

En résumé, malgré la supplémentation, on n'observe aucune différence entre les groupes sur le plan alimentaire quant aux apports énergétiques et protéiques. Suite au programme d'entraînement, on enregistre un gain de poids significatif similaire chez tous les groupes sauf pour PL. Les concentrations de lactate et de pyruvate augmentent chez tous les sujets en post-exercice, tout comme les charges maximales d'entraînement à la fin du programme. Suivant une courbe attendue, la glycémie diminue significativement sous l'effet de l'exercice, puis retourne à des niveaux plus près de la normale en post-supplémentation. Toujours sous l'effet de l'exercice, on note une hausse significative mais brève de l'hormone de croissance chez tous les sujets, puisque seulement 30 minutes après la prise de la boisson (en post-supplémentation) les taux observés avoisinent les taux de repos. Fait intéressant en post-supplémentation, le groupe CHO-PRO™ montre à la fois la plus grande augmentation des concentrations d'insuline et la plus grande diminution des concentrations de testostérone et ce, de manière significativement plus importante par rapport aux autres groupes.

5. DISCUSSION

L'objectif de cette recherche était d'évaluer les effets d'une supplémentation en glucides et d'une supplémentation en protéines et en glucides sur l'anabolisme musculaire et ce, au début et à la fin d'un programme d'entraînement. Afin d'évaluer les effets des séances d'exercice, les taux de lactate, de pyruvate et de cortisol ont été analysés, tout comme la mesure de la charge maximale de travail et la composition corporelle des sujets. Les concentrations d'insuline, d'hormone de croissance et de testostérone ont été mesurées afin d'estimer les effets de la supplémentation, de l'exercice de même que de l'entraînement sur l'anabolisme musculaire, sachant qu'une hausse des concentrations de ces hormones sous-tend des conditions favorables à ce phénomène.

5.1 Les apports nutritionnels

Aucune variation individuelle (intra-groupe) n'a été notée entre les apports nutritionnels de la première et de la dernière semaine étudiées. Ce premier résultat suggère que les sujets ont respecté la consigne de départ à savoir de ne pas modifier leurs habitudes alimentaires en cours d'étude et d'être le plus constant possible dans leurs apports. Les analyses statistiques montrent également qu'il n'y a pas de différence entre les quatre groupes quant aux apports énergétiques et aux ratios glucides/protides/lipides au début et à la fin du programme. Les boissons énergétiques ne constituaient donc pas un apport additionnel d'énergie. Il semble que les sujets supplémentés ajustaient inconsciemment, selon leur appétit, leur consommation habituelle à la baisse les jours où la boisson était consommée.

Ces résultats nous permettent de ne pas tenir compte de l'aspect quantitatif des apports énergétiques pour expliquer une variation entre les groupes au niveau des différents paramètres mesurés. Cependant, hormis la prise de la boisson, aucune surveillance de l'aspect qualitatif de l'alimentation ni des moments d'ingestion n'a été exercée. On ne peut donc pas éliminer complètement l'effet de la diète. La distribution de repas aux sujets aurait permis de contrôler ces aspects de l'alimentation non sans une logistique beaucoup plus complexe et coûteuse.

5.2 L'efficacité du programme d'entraînement

Le programme d'entraînement, d'une durée de six semaines et composé de neuf exercices en résistance, s'est avéré efficace puisqu'une augmentation significative des charges maximales d'entraînement a été observée chez tous les groupes à la fin du programme. Comme cette augmentation est équivalente entre les groupes, elle serait attribuable à l'entraînement. En effet, en post-exercice, des augmentations significatives des indicateurs retenus sont notées chez tous les sujets lors des deux séances de tests, c'est-à-dire en pré et en post-entraînement. Le pyruvate sanguin, qui augmente suite à une diminution de la disponibilité de l'oxygène (inhibition de la pyruvate déshydrogénase) engendré par la pratique d'un exercice à une intensité élevée (Stallknecht et coll., 1998), est par la suite réduit en lactate à l'aide du complexe de nicotinamide adénine dinucléotide réduit (NADH). Cette dernière réaction est catalysée par la lactate déshydrogénase. En post-exercice, des concentrations sanguines de lactate supérieures à celles de pyruvate sont attendues (Cappon et coll., 1993) et ont en effet été obtenues. Les variations observées entre les moments pré-exercice et post-supplémentation suivent donc l'évolution normale pour ces paramètres à l'exercice (Suminski et coll., 1997; Chandler et coll., 1994; Kraemer et coll., 1998a.) et indiquent que les exercices proposés constituaient un effort d'une bonne intensité.

Aucune différence n'est apparue entre les groupes au niveau des taux de lactate et de pyruvate en pré et post-exercice ainsi qu'en post-supplémentation, ce qui signifie que le stress physique causé par l'exercice était semblable parmi les quatre groupes. Cade et coll. (1991) ont étudié les effets d'un supplément en lien avec les dommages musculaires en dosant entre autres la lactate déshydrogénase (LDH). Les auteurs ont noté que la prise d'un supplément de protéines et de glucides immédiatement après l'exercice entraînait une meilleure récupération en favorisant une diminution plus rapide des concentrations de LDH. Selon eux, ce phénomène s'explique par le fait qu'un apport de glucides et de protéines après l'exercice permet non seulement la réplétion des réserves de glycogène, mais aussi une plus grande disponibilité des acides aminés pour la réparation du tissu musculaire (l'anabolisme). Cette recherche a été effectuée auprès d'athlètes d'élite, lors d'un sport d'endurance et la cueillette de données s'est poursuivie jusqu'à 22 heures après la fin de l'exercice. Notre étude a été réalisée auprès de sujets sédentaires, lors d'un sport

de résistance et dont les derniers dosages s'effectuaient 30 minutes après la fin de l'exercice, ce qui pourrait expliquer que nous n'ayons pas observé de tels résultats. D'autres études, dont les protocoles étaient plus similaires au nôtre, n'ont vu aucune différence entre les groupes supplémentés ou non en ce qui a trait aux taux de lactate avant et après l'exercice ainsi que pendant la période de récupération (Chandler et coll., 1994; Suminski et coll., 1997).

Pour poursuivre avec les concentrations de lactate et de pyruvate, notons qu'elles tendent à être plus élevées en post-exercice à la fin du programme d'entraînement si on les compare au début. Théoriquement, un tel résultat est difficile à expliquer puisque l'entraînement devrait avoir pour effet de permettre, pour un même exercice, une plus grande intensité de travail avant l'accumulation des taux de lactate. Ainsi, lorsque l'exercice effectué en pré et en post-entraînement est de même charge et de même intensité, les concentrations de lactate ont tendance à diminuer en post-entraînement puisque l'effort fourni est inférieur, résultat du processus d'entraînement (Harmer et coll., 2000; Winder et coll., 1979). Cependant, lorsque l'exercice réalisé en post-entraînement exige une plus grande charge et une plus grande intensité comparativement à celui effectué en pré-entraînement, les taux de lactate sont semblables aux taux en pré-entraînement (Kraemer et coll., 1998b; McKenna et coll., 1997) ou même supérieurs (Harmer et coll., 2000; Guezennec et coll., 1986). Nos résultats pourraient s'expliquer par un effort moindre de la part de nos sujets lors de la toute première séance de tests en pré-entraînement si on le compare à celui effectué lors de la dernière séance de tests en post-entraînement. Bien que le plan d'exercices effectué à la fin du programme d'entraînement était de charge identique au plan de la première séance, les sujets possédaient à ce moment une meilleure connaissance des exercices à réaliser et les efforts déployés ont possiblement été nettement supérieurs à ceux observés en pré-entraînement, engendrant ainsi la formation de plus grandes concentrations de lactate et de pyruvate.

Il est bien démontré que l'activité physique a un effet sur le système endocrinien qui se reflète par une augmentation des concentrations d'hormones anaboliques telles que la testostérone, l'hormone de croissance et les somatomédines, alors que les taux d'insuline demeurent plutôt stables (Häkkinen et Pakarinen, 1995; Kraemer et coll., 1998a; Chandler et coll., 1994; Volek et coll., 1997; Gotshalk et coll., 1997). Le volume d'entraînement jouerait également un rôle important sur les variations hormonales

(Gotshalk et coll., 1997; Kraemer et coll., 1998b). Chacun des neuf exercices de la séance d'entraînement a été effectué en trois séries de 10 ou 12 répétitions, ce qui a pu entraîner de plus grandes variations des concentrations d'hormones anaboliques que si le volume n'avait été que d'une série de 10 ou 12 répétitions (Gotshalk et coll., 1997). Nous nous sommes donc assurés du respect de ce protocole tout au long du programme en ajustant les charges d'entraînement selon la progression des sujets, de manière à toujours favoriser l'hypertrophie. Le niveau d'exercice et d'effort était donc bien contrôlé pendant les séances d'entraînement. Cependant, ce contrôle se limitait aux séances d'exercice puisqu'à l'extérieur du programme d'entraînement, nous ne pouvions que demander aux sujets de maintenir leur niveau d'activité le plus bas possible, c'est-à-dire tel qu'il était au moment de leur adhésion au projet de recherche en tant que personne sédentaire. Un contrôle accru du niveau d'activité aurait exigé de garder les sujets sous surveillance entre les séances d'entraînement, ce qui était quasi impossible étant donné la durée du projet.

5.3 Les indicateurs de catabolisme protéique

La libération de cortisol est non seulement sensible aux variations de la glycémie qui se produisent suite à l'exercice, mais également à tout stress physique ou émotif. C'est ce qui pourrait expliquer la non cohérence des données que nous avons obtenues lors des deux séances d'exercice. En effet, il apparaît difficile de dégager des tendances ou de tirer quelque interprétation que ce soit de nos données tellement elles présentent d'importantes variations interindividuelles et intraindividuelles.

5.4 Les indicateurs d'anabolisme protéique

Tel que mentionné précédemment, les analyses démontrent que ni l'exercice, ni l'entraînement n'ont eu d'effet sur les taux d'insuline. Des études (Guezennec et coll., 1986; Chandler et coll., 1994) ne rapportent aucune variation des taux d'insuline en fonction de l'exercice dans le cadre d'études effectuées avec des sujets entraînés en résistance, supplémentés en glucides et/ou en protéines en post-exercice. Quant à l'effet de l'entraînement, Winder et coll. (1979) ne notent aucune différence significative entre les variations d'insuline de sujets non entraînés et non supplémentés enregistrées au début et à la fin de neuf semaines d'entraînement en endurance. En théorie, on décrit l'effet d'un entraînement en endurance sur l'insuline par une diminution de la réponse hormonale. Les sujets entraînés en endurance auraient une meilleure sensibilité à

l'insuline ce qui permettrait à l'organisme de sécréter une quantité moindre d'hormone pour obtenir les mêmes effets (Conley et coll., 1996). Toujours pour un entraînement en endurance, on soutient que les taux de glucose sanguin des sujets entraînés pendant l'exercice se maintiendraient à des niveaux plus normaux, c'est-à-dire légèrement plus élevés que chez les sujets non entraînés, limitant ainsi la baisse d'insuline pendant l'exercice (Gyntelberg et coll., 1977).

Ni les concentrations d'insuline, ni les valeurs de glycémie obtenues dans le cadre de notre étude n'ont démontré d'adaptation quelconque à l'entraînement, ce qui confirme que ces adaptations sont effectives lors d'un entraînement en endurance.

Tel qu'anticipé, une hausse significative des taux d'insuline en post-supplémentation a été notée chez les groupes supplémentés en comparaison aux concentrations pré et post-exercice. Il est bien connu qu'un apport exogène de glucides entraîne une élévation des taux d'insuline 30 minutes après son ingestion (Zawadzki et coll., 1992; Svanberg et coll., 1998). La consommation de protéines aurait également un effet positif sur la sécrétion d'insuline, mais à un degré moindre (Chandler et coll., 1994; Pallota et Kennedy, 1968). Un autre résultat prévisible a trait à la concentration d'insuline post-supplémentation du groupe PL qui s'est avérée significativement inférieure aux concentrations d'insuline des trois autres groupes supplémentés. Fait intéressant, le groupe CHO-PRO™ montre des augmentation des taux d'insuline en post-supplémentation significativement supérieurs à la fois aux taux du groupe PL et des groupes CHO-PRO et CHO. Il est démontré qu'un mélange de glucides et de protéines s'avère encore plus efficace pour entraîner une augmentation des niveaux d'insuline que l'apport en glucides seulement (Zawadzki et coll., 1992; Bloomer et coll 2000), ce qui explique bien la différence significative entre les groupes CHO-PRO™ et CHO. Toutefois, lorsqu'on compare les apports et les ratios de glucides/protéines/lipides des boissons CHO-PRO™ et CHO-PRO, on ne peut expliquer la différence significative entre les augmentations d'insuline de ces deux boissons. Cette différence pourrait plutôt être attribuable à la nature des sucres retrouvés dans les boissons.

Tout d'abord, la boisson PL, constituée d'un mélange d'eau et de concentré de boisson aux fruits dont l'agent sucrant est l'aspartame, ne cause naturellement aucun effet sur la sécrétion d'insuline. Les glucides qui composent la boisson CHO-PRO™ proviennent du sucrose et d'extraits secs de sirop de maïs. Afin d'être absorbées, ces deux sources de glucides se décomposent en monosaccharides, le glucose et le fructose dans le cas du

sucrose et le glucose dans le cas du sirop de maïs. La boisson CHO-PRO est composée de jus d'orange et de lait, dont les produits de dégradation des glucides sont le glucose et le galactose provenant du lait, mais principalement le fructose et le glucose provenant du jus d'orange. Quant à la boisson CHO, l'unique source de glucides est le jus d'orange, ce qui implique une quantité importante de fructose soit environ 50 % des glucides de la boisson. Ces monosaccharides ne sont pas tous absorbés selon le même mécanisme, ce qui explique les disparités des vitesses d'absorption et par le fait même, leurs différents effets sur la sécrétion d'insuline. Le glucose et le galactose sont absorbés par un transport actif au niveau de la membrane des érythrocytes impliquant les ions sodium et potassium (Dobbing, 1989). Quant au fructose, il est transporté de la lumière intestinale aux capillaires sanguins par diffusion facilitée, c'est-à-dire qu'il est également activement transporté contre un gradient de concentration, mais par un transporteur différent des autres monosaccharides. Ce mécanisme d'action permet au fructose d'être absorbé relativement rapidement, compte tenu du caractère hydrosoluble et de la taille de cette molécule. L'absorption du glucose et du galactose demeure tout de même considérablement plus rapide que celle du fructose, expliquant ainsi les plus grands taux d'insuline observés suite à la prise de la boisson CHO-PRO™ constituée majoritairement de glucose.

Zawadzki et ses collaborateurs (1992) ont comparé les concentrations d'insuline de deux groupes recevant des boissons à base de maltodextrine, un glucide complexe partiellement hydrolysé en petits polymères de glucose. L'absorption de ce polysaccharide est donc très rapide, la courte chaîne de glucose étant complètement hydrolysée au niveau de l'intestin avant d'être absorbée par transport actif. De cette étude, un premier groupe était supplémenté par une boisson uniquement glucidique alors qu'un deuxième groupe recevait la même quantité de glucides avec un ajout de protéines. Les plus grands taux d'insuline ont été observés chez le groupe recevant la boisson composée de glucides et de protéines. Ce qui nous laisse croire que l'ajout de maltodextrines dans la boisson CHO-PRO améliorerait la vitesse d'absorption, entraînant la sécrétion de plus grandes concentrations d'insuline et rendant ainsi la boisson maison CHO-PRO aussi efficace pour favoriser la sécrétion d'insuline que la boisson CHO-PRO™.

Malgré les différentes sources de glucides utilisées, la courbe de glycémie est similaire pour tous les groupes. Une baisse significative des concentrations de glucides

est notée en post-exercice, alors que les taux d'insuline se maintiennent puis tendent à diminuer jusqu'à des taux normaux en post-supplémentation. Malgré l'absence de supplément pour le groupe PL, la glycémie n'est pas différente des autres groupes en post-supplémentation. Cette hausse de la glycémie pour le groupe PL en post-supplémentation est possiblement associée à la baisse des taux d'insuline combinée à une hausse des concentrations de glucagon, causant ainsi une activation de la néoglucogénèse et conséquemment une augmentation des concentrations de glucose sanguin (Galbo et coll., 1979).

Les résultats montrent une tendance à l'augmentation des concentrations de testostérone en post-exercice pour tous les groupes à l'exception du CHO, tendance appuyée par plusieurs études (Häkkinen et Pakarinen, 1995; Kraemer et coll., 1998a; Chandler et coll., 1994; Volek et coll., 1997; Gotshalk et coll., 1997). Les concentrations de testostérone en post-supplémentation diminuent cependant de façon marquée chez tous les groupes pour afficher des valeurs inférieures aux taux enregistrés en pré-exercice.

Quelques études se sont intéressées à l'effet d'une supplémentation sur les variations hormonales. Plusieurs auteurs rapportent que les taux de testostérone chutent plus rapidement et en plus grande concentration lorsqu'un supplément est consommé en post-exercice, que ce soit des glucides, des protéines ou un mélange des deux (Chandler et coll., 1994; Kraemer et coll., 1998a; Bloomer et coll., 2000). Ces résultats correspondent à ceux observés dans la présente étude alors que le groupe PL montre la plus faible baisse des taux de testostérone en post-supplémentation.

Malgré le manque d'information pour expliquer l'effet de l'alimentation sur les concentrations de testostérone, quelques théories sont avancées. Il semble y avoir une corrélation positive entre l'apport en matières grasses de l'alimentation et les concentrations de testostérone (Volek et coll., 1997; Dorgan et coll., 1996; Kraemer et coll., 1998a). Volek et ses collaborateurs (1997) rapportent plusieurs recherches qui démontrent une diminution des taux de testostérone chez des individus consommant une diète faible en matières grasses en comparaison à une diète riche en matières grasses.

De manière plus spécifique, tel que décrit par Volek et ses collaborateurs (1997), certaines études notent une corrélation négative entre le ratio d'acides gras polyinsaturés/acides gras saturés (P/S) et les taux de testostérone. Cette hypothèse est corroborée par les résultats d'études réalisées auprès de la population végétarienne chez

qui l'on note de faibles taux de testostérone en comparaison au régime omnivore. Le ratio P/S des régimes végétariens est généralement élevé étant donné l'apport en gras saturés plutôt faible et l'apport considérable en acides gras polyinsaturés (Raben et coll., 1992; Dorgan et coll., 1996). Des études réalisées auprès de rats (Sebokova et coll., 1988, 1990) apportent une explication qui implique une altération au niveau de la membrane plasmique des testicules. Une alimentation riche en acides gras polyinsaturés a diminué les concentrations de cholestérol et de phospholipides de la membrane plasmique des testicules ainsi que modifié la composition en phospholipides de cette même membrane. Ces changements au niveau de la membrane ont entraîné une diminution du ratio cholestérol/phospholipides et, par le fait même, une diminution de la capacité de liaison des récepteurs de l'hormone lutéinisante (LH) et de la gonadotropine chorionique (hCG) humaine. Cette diminution de l'activité des récepteurs de LH et de hCG était directement liée à une diminution de la production de testostérone par les cellules de Leydig, ce qui expliquerait qu'une alimentation riche en acides gras polyinsaturés est associée à de faibles concentrations de testostérone.

Une autre corrélation négative est établie par Volek et ses collaborateurs (1997) entre les apports en protéines et les concentrations de testostérone. Les résultats de deux autres études (Anderson et coll., 1987; Langfort et coll., 2001) appuient ces données alors que de plus faibles taux de testostérone sont enregistrés chez les groupes dont l'apport en protéines est le plus grand. Les auteurs expliquent leurs résultats par une différence entre les ratios protéines/glucides entre les groupes alors qu'un ratio plus grand entraînerait de plus faibles concentrations de testostérone.

Raben et ses collaborateurs (1992) ont étudié les effets de deux régimes équilibrés isocaloriques, mais de sources protéiques différentes, sur la réponse hormonale chez des athlètes. Dans le premier cas, les protéines étaient principalement d'origine végétale alors que dans le deuxième cas, des protéines de source animale constituaient l'apport protéique de la diète. Dans le groupe d'athlètes consommant le régime de protéines végétales, les plus faibles taux de testostérone au repos de même que les plus petites augmentations de concentration en post-exercice ont été observées en comparaison au régime de protéines animales.

Comme nous l'avons mentionné auparavant dans la section des apports nutritionnels, peu importe le supplément consommé, il n'existe aucune différence dans l'apport énergétique quotidien des sujets qui pourrait expliquer les variations de

testostérone. Cependant, lorsque l'on compare les compositions nutritionnelles des différentes boissons, on constate des faits intéressants.

Les boissons CHO-PRO™ et CHO-PRO, qui se voulaient isocaloriques et de ratios glucides/protéines/lipides semblables, sont tout de même différentes en deux points: la composition glucidique (% fructose / % glucose) et le profil d'acides gras. Le gras contenu dans la boisson CHO-PRO est d'origine animale puisqu'il provient du lait. Le profil d'acides gras de cette boisson est majoritairement composé d'acides gras saturés, quelques acides monoinsaturés et des traces de polyinsaturés. Le gras fournit par la boisson CHO-PRO™ est d'origine végétale et provient des huiles de canola, de tournesol, de maïs et de soja qu'elle renferme. Le profil d'acides gras de cette boisson est plutôt constitué d'une bonne quantité d'acides gras polyinsaturés, puis de traces d'acides gras saturés. Les ratios polyinsaturés/saturés des boissons CHO-PRO™ et CHO-PRO sont respectivement de 26.33 et 0.058. Rappelons que le groupe CHO-PRO™ est le seul groupe dont les concentrations en post-supplémentation sont significativement inférieures aux concentrations notées en pré et en post-exercice. Il est à la fois le groupe qui présente la plus grande diminution de testostérone en post-supplémentation et celui dont la boisson affiche le plus grand ratio P/S.

De plus, si l'on compare les ratios protéines/glucides de nos trois boissons énergétiques, les boissons CHO-PRO et CHO-PRO™ affichent les mêmes ratios alors que la boisson CHO a un ratio bien inférieur à ces deux dernières boissons. Ceci pourrait expliquer la diminution significativement plus petite des concentrations de testostérone en post-supplémentation chez le groupe CHO en comparaison au groupe CHO-PRO™.

Alors que le ratio protéines/glucides de la boisson CHO est également inférieur au ratio de la boisson CHO-PRO, la diminution des taux de testostérone en post-supplémentation tend à être plus petite chez le groupe CHO-PRO que chez le groupe CHO. Il est possible que l'apport en gras animal de la boisson CHO-PRO, fournissant un faible ratio P/S, ait contribué à favoriser les concentrations de testostérone, résultant en une diminution des concentrations légèrement inférieures par rapport au groupe CHO et ce, malgré un ratio protéines/glucides plus grand que le groupe CHO.

Vasankari et ses collaborateurs (1991) ont étudié les effets d'un supplément de glucides consommé pendant et après un exercice en endurance. Les auteurs rapportent des augmentations des concentrations de testostérone plus importantes en post-exercice chez le groupe placebo que chez le groupe qui a reçu le supplément de glucides. Dans la

présente étude, le supplément de glucides était ingéré en post-exercice et c'est en post-supplémentation que l'on peut observer une diminution significativement plus petite des concentrations de testostérone chez le groupe PL en comparaison au groupe CHO. Toujours selon ces auteurs, les plus grandes concentrations de testostérone chez le groupe placebo peuvent s'expliquer par le fait que des concentrations de cortisol plus élevées étaient enregistrées chez le groupe supplémenté en glucides puisqu'il est noté que l'hypercortisolémie cause une importante suppression de la sécrétion de testostérone (Cumming et coll., 1983). Le manque de cohérence de nos données concernant le cortisol nous empêche de vérifier cette hypothèse dans le cadre de notre recherche.

Un autre point intéressant à souligner concerne le fait qu'il existerait une relation inverse entre les variations d'insuline et celles de testostérone. Dans la présente étude, on observe que lorsque les concentrations de testostérone sont à leurs plus hauts taux, les concentrations d'insuline sont à leurs plus faibles concentrations, et lorsque les taux d'insuline atteignent des sommets, les taux de testostérone sont à leurs plus bas niveaux. Cette relation inverse entre ces deux hormones est également notée par plusieurs auteurs (Chandler et coll., 1994; Kraemer et coll., 1998a; Bloomer et coll., 2000). D'autres études s'intéressant à l'interaction entre l'insuline et la testostérone appuient (Pasquali et coll., 1991) ou contredisent (Pasquali et coll., 1997) cette corrélation négative.

L'alimentation semble bel et bien avoir un effet sur les concentrations de testostérone, que ce soit les apports énergétiques totaux ou seulement la supplémentation pré, pendant ou post-exercice. En plus des explications proposées précédemment pour expliquer les variations de testostérone, on suggère un plus grand retrait des taux circulants de testostérone ou encore une diminution de la sécrétion après l'exercice ou la supplémentation. Des recherches additionnelles sont requises afin de préciser les mécanismes qui sous-tendent ces variations.

Aucune différence n'apparaissant entre les groupes, ni entre le début et la fin du programme d'entraînement, on perçoit bien l'effet de l'exercice sur l'hormone de croissance, les concentrations atteignant un sommet en post-exercice. L'étude de Luger et collaborateurs (1992) met en évidence un effet de stimulation du lactate et des ions H⁺ sur la sécrétion de l'hormone de croissance à l'exercice. Plus les concentrations de lactate sont grandes, plus les concentrations d'hormone de croissance s'élèvent. Les résultats présents appuient cette hypothèse alors que les courbes de variations en pré et post-entraînement de l'hormone de croissance et du lactate sont superposables, les

concentrations maximales survenant en post-exercice. D'autres études (Fry et coll., 1993; Kraemer et coll., 1998a; Kraemer et coll., 1998b) présentent des résultats qui abondent en ce sens.

Une autre interaction avec l'hormone de croissance est soulignée, reliée cette fois à la glycémie. Des taux de glucose sanguin élevés inhiberaient la sécrétion d'hormone de croissance induite par l'exercice (Galbo et coll., 1981). Encore une fois, nos résultats sont en accord avec cette hypothèse puisque des augmentations marquées des taux d'hormone ont été enregistrées au moment où la glycémie était à la baisse.

La courbe des concentrations d'hormone de croissance obtenue dans notre étude suggère que le meilleur moment d'ingestion d'un supplément serait immédiatement après l'exercice puisqu'en post-supplémentation, les niveaux d'hormone de croissance sont rapidement retournés à des taux avoisinant ceux observés en pré-exercice. Ivy et ses collaborateurs (1988) rapportent une meilleure récupération des réserves de glycogène en post-exercice lorsque le supplément de glucides est consommé immédiatement après l'exercice. Peu de recherche ont étudié l'effet de différents moments d'ingestion de protéines sur la récupération. Entre autres, Okamura et ses collaborateurs (1997) concluent suite à leur étude que la synthèse protéique en post-exercice est plus importante lorsque le supplément de glucides et de protéines est ingéré immédiatement après l'exercice. Cette étude, dont les résultats s'apparentent aux nôtres, a cependant été réalisée chez des chiens. Toutefois, plusieurs études observent une meilleure récupération à la fois au niveau des réserves de glycogène et de la masse musculaire avec un supplément de glucides et/ou protéines immédiatement après l'exercice (Zawadzki et coll., 1992; Roy et coll., 1997; Biolo et coll., 1997; Tarnopolski et coll., 1997; Ivy et coll., 1998). Selon un récent article qui compare l'effet de différents moments d'ingestion d'un supplément sur l'anabolisme protéique (Tipton et coll., 2001), la prise d'un supplément composé de glucides et de protéines immédiatement avant un exercice en résistance entraîne une réponse anabolique beaucoup plus importante que lorsque la boisson est consommée immédiatement après l'exercice. Les auteurs expliquent ces résultats par le débit sanguin élevé qu'on observe pendant l'exercice, qui permet le transport d'une grande proportion d'acides aminés vers le muscle et favorise ainsi un captage accru d'acides aminés par le muscle.

Dans la présente étude, les suppléments composés de glucides et d'un mélange de glucides et de protéines ont semblé favoriser la récupération en post-exercice en

favorisant l'anabolisme musculaire. Tout d'abord, un gain de poids significatif a bel et bien été enregistré chez les trois groupes supplémentés. Ces gains de poids s'expliquent par un gain significatif de masse maigre dans le cas des groupes CHO-PRO et CHO, alors que le gain de poids du groupe CHO-PRO™ est associé à un gain significatif de masse grasse, bien que la masse maigre tend à augmenter. Il faut toutefois interpréter ces gains de poids avec prudence car aucune différence significative au niveau des poids n'est enregistrée entre les groupes. De plus, tous les groupes montrent une augmentation significative de leur force en post-entraînement. Quelques limites sont également à considérer dans l'interprétation de ces résultats, entre autres, le faible nombre de sujets, la variabilité interindividuelle quant à la réponse physique suite à un entraînement en musculation ainsi que le degré d'exactitude des mesures anthropométriques. La marge d'erreur de 5 % associée à la mesure des plis cutanés tient compte des habiletés du technicien, de la qualité de l'adipomètre, des caractéristiques des sujets (ex.: épaisseur de la peau) de même que de l'équation de prédiction utilisée.

En ce qui a trait aux hormones anabolisantes, l'hormone de croissance et la testostérone affichent de belles hausses de leurs concentrations chez tous les sujets en post-exercice, ce qui prédispose à la synthèse musculaire. Pour ce qui est de l'insuline, la boisson CHO-PRO™ engendre la meilleure augmentation des concentrations. Toutefois, cette différence d'augmentation entre la boisson CHO-PRO™ et la boisson CHO-PRO se justifie assez bien par le ratio glucose/fructose beaucoup plus faible de la boisson CHO-PRO. Alors que la consommation de la boisson CHO-PRO™ apparaît la plus recommandable en post-exercice, une diminution considérable des taux de testostérone en post-supplémentation la rend moins intéressante. Tel que démontré par Volek et ses collaborateurs (1997), le profil d'acides gras de la boisson CHO-PRO™ peut être le responsable de cette chute des concentrations qui est beaucoup moins marquée pour le groupe CHO-PRO.

Les boissons composées d'un mélange de glucides et de protéines s'avèrent plus favorable à l'anabolisme en post-exercice que les boissons glucidiques et placebo. En plus d'engendrer de plus grandes concentrations d'insulines, elles augmentent la disponibilité des acides aminés libres à des fins de synthèse protéique. Ces boissons limitent également la dégradation musculaire via les taux d'insuline élevés. Comme l'entraînement modifie la réponse métabolique, le moment où la boisson est consommé s'avère un facteur important dans la phase de récupération puisque la réponse

métabolique est présente jusqu'à 48 heures suivant l'exercice. La prise d'un supplément à l'intérieur de ces délais peut favoriser un gain de masse musculaire via une balance protéique positive.

6. CONCLUSION

Un entraînement en musculation suivi d'un supplément composé de glucides et de protéines en post-exercice chez des hommes peu actifs semble favoriser l'anabolisme protéique dans les heures suivant l'entraînement. Alors que la supplémentation favorise la sécrétion d'insuline, l'entraînement engendre la stimulation d'hormone de croissance et de testostérone, créant ainsi un contexte anabolique. Les gains de masse maigre, de poids et de force enregistrés à la fin du programme d'entraînement renforcent l'idée que la supplémentation en glucides et protéines en post-exercice améliore la balance protéique nette, favorisant par le fait même un meilleur gain de masse musculaire.

Les différents paramètres biochimiques (concentrations sanguines d'hormones anaboliques, glycémie) et physiques (mesures anthropométriques) ont servi de mesure indirecte de l'anabolisme des protéines. La mise en place de méthodes de mesures plus sophistiquées telles l'utilisation d'un traceur marqué ou encore la mesure indirecte de l'élévation du métabolisme basal à l'aide d'un moniteur métabolique Deltatrac (López et coll., 2000), nous aurait permis de quantifier de façon plus précise les taux d'anabolisme protéique, tout en établissant la relation avec les indicateurs biochimiques et physiques. Cependant, les coûts élevés de ces technologies ont toutefois empêché leur application.

Malgré leur composition nutritionnelle semblable (isocalorique: ratios glucides, protides, lipides égaux), la boisson maison et la boisson commerciale présentent de légères différences quant aux sources de glucides qui les composent, ce qui expliquerait les différences enregistrées entre les deux boissons quant aux variations biochimiques de l'hormone insuline et possiblement de la testostérone.

Afin de bien mettre en évidence les effets de la supplémentation, une étude où chaque participant serait son propre témoin limiterait les effets liés à la variabilité interindividuelle. De même, la parité dans la composition nutritionnelle des boissons commerciales et maison devrait être assurée tant au niveau quantitatif que qualitatif. La période pré-exercice devrait être prise en considération dans la recherche du moment

d'ingestion le plus favorable à l'anabolisme musculaire, compte tenu des résultats des toutes dernières études à ce sujet.

Le choix entre la boisson commerciale (CHO-PRO™) et la boisson maison (CHO-PRO) est difficile puisque toutes deux présentent des forces et des faiblesses. Cependant, il serait intéressant de vérifier si l'ajout de maltodextrines à la boisson maison pourrait améliorer la sécrétion d'insuline en post-supplémentation, sans accentuer la diminution des concentrations de testostérone après consommation. Le cas échéant, la boisson maison pourrait s'avérer un choix très intéressant. De nouvelles avenues semblent s'ouvrir quant au moment d'ingestion le plus favorable à l'anabolisme: reste à voir la meilleure combinaison pour maximiser à la fois la récupération et le gain de masse musculaire.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Allen T.H., Peng M.T., Chen K.P., Huang T.F., Chang C., Fang H.S. (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity, *Metabolism*, **5**: 346-352.
- Anderson K.E., Rosner M.S., Khan M.S., New M.I., Pang S., Wissel P.S., Kappas A. (1987). Diet-hormone interactions: protein/carbohydrate ratio alters reciprocally the plasma levels of T and cortisol and their respective binding globulins in man, *Life Sci*, **40**: 1761-1768.
- Antonio J.A., Gonyea W.J. (1993). Skeletal muscle fiber hyperplasia, *Med Sci Sports Exerc*, **25**(12):1333-1345.
- Arnal M., Obled C., Attaix D., Patureau-Mirand P., Bonin D. (1987). Dietary control of protein turnover, *Diabète et Métabolisme*, **13**: 630-642.
- Arnal M., Fauconneau G., Pech R. (1972). Synthèse protéique in vivo dans divers tissus du rat en croissance soumis à une réduction de l'apport énergétique de la ration, *Ann Biol anim Bioch Biophys*, **12**: 91-108.
- Balagopal P., Rooyackers O.E., Adey D.B., Ades P.A., Nair K.S. (1997). Effects of aging on in vivo synthesis of skeletal muscle myosin heavy-chain and sarcoplasmic protein in humans, *Am J Physiol*, **273**: E790-E800.
- Bennett W.M., Connacher A.A., Scrimgeour C.M., Jung R.T., Rennie M.J. (1990). Euglycemic hyperinsulinemia augments amino acid uptake by human leg tissues during hyperaminoacidemia, *Am J Physiol*, **259**:E185-E194.
- Bennett W.M., Connacher A.A., Scrimgeour C.M., Smith K., Rennie M.J. (1989). Increase in anterior tibialis muscle protein synthesis in healthy men during mixed

amino acid infusion: studies of incorporation of [1-13C] leucine, *Clin Sci*, **76**: 447-454.

Bhasin S., Storer T.W., Berman N., Callegari C., Clevenger B., Phillips J., Bunnell T.J., Tricker R., Shirazi A., Casburi R. (1996). The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men, *N Engl J Med*, **335**:1-7.

Biolo G., Williams B.D., Fleming R.Y., Wolfe R.R. (1999). Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise, *Diabetes*, **48**: 949-957.

Biolo G., Tipton K.D., Klein S., Wolfe R.R. (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein, *Am J Physiol*, **273**: E122-E129.

Biolo G., Fleming R.Y.D., Wolfe R.R. (1995a). Physiologic hyperinsulinemia stimulates protein synthesis and enhances transport of selected amino acids in human skeletal muscle, *J Clin Invest*, **95**: 811-819.

Biolo G., Maggi S.P., Williams B.D., Tipton K., Wolfe R.R. (1995b). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport following resistance exercise in humans, *Am J Physiol*, **268**: E514-E520.

Bloomer R.J., Sforzo G.A., Keller B.A. (2000). Effects of meal form and composition on plasma testosterone, cortisol, and insulin following exercise, *Int J Sport Nut Exerc Metab*, **10**: 415-424.

Booth F.W., Tseng B.S., Flück M., Carson J.A. (1998). Molecular and cellular adaptation of muscle in response to physical training, *Acta Physiol Scand*, **162**:343-350.

Bohannon N.V., Karam J.H., Forham P.H. (1980). Endocrine response to sugar ingestion in man, *J Am Diet Ass*, **76**: 555-560.

- Busso T., Häkkinen K., Pakarién A., Kauhanen H., Komi P.V., Lacour J.R. (1992). Hormonal adaptations and modelled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training, *Eur J Appl Physiol*, **64**: 381-386.
- Cade J.R., Reese R.H., Privette R.M., Hommen N.M., Rogers J.L., Fregly M.J. (1991). Dietary intervention and training in swimmers, *Eur J Appl Physiol*, **63**: 210-215.
- Cappón J.P., Ipp E., Brassel J.A., Cooper M.D. (1993). Acute effects of high fat and high glucose meals on the growth hormone response to exercise, *J Clin Endocrinol Metab*, **76**: 1418-1422.
- Carraro F., Naldini A., Weber J.M., Wolfe R.R. (1994). Alanine kinetics in human during low-intensity exercise, *Med Sci Sports Exerc*, **26**: 348-353.
- Carraro F., Kimbrough T.D., Wolfe R.R. (1993). Urea kinetics in humans at two levels of exercise intensity, *J Appl Physiol*, **75**: 1180-1185.
- Carraro F., Hard W., Stuart C., Layman D.K., Wolfe R.R. (1990a). Whole body and plasma protein synthesis in exercise recovery in human subjects, *Am J Physiol*, **258**: E821-E831.
- Carraro F., Stuart C.A., Hartl W.H., Rosenblatt J., Wolfe R.R. (1990b). Effect of exercise and recovery on muscle protein synthesis in human subjects, *Am J Physiol*, **259**: E470-E476.
- Celotti F., Cesi P.N. (1992). Anabolic steroids: a review of their effects on the muscles, of their possible mechanism of action and of their use in athletics, *J Steroid Biochem Molec Biol*, **43**: 469-477.
- Chandler R.M., Byrne H.K., Patterson J.G., Ivy J.L. (1994). Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise, *J Appl Physiol*, **76**(2): 839-845.

- Chesley A., MacDougall J.D., Tarnopolsky M.A., Atkinson S.A., Smith K. (1992). Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise, *J Appl Physiol*, **73**: 1383-1388.
- Clemmons D.R., Underwood L.E., Dickerson R.N. (1985). Use of somatomedin-C/insulin-like Growth Factor I measurements to monitor nutritional repletion in malnourished patients, *Am J Clin Nutr*, **41**: 191-198.
- Clemmons D.R., Klibanski A., Underwood L.E. (1981). Reduction of immunoreactive somatomedin-C during fasting in humans, *J Clin Endocrinol Metab*, **53**: 1247-1250.
- Clugston G.A., Garlick P.J. (1982). The response of protein and energy metabolism to food intake in lean and obese man, *Hum. Nutr.: Clin Nutr*, **360**: 57-70.
- Conley M.S., Stone M.H. (1996). Carbohydrate ingestion / supplementation for resistance exercise and training, *Sports Med*, **21**(1):7-17.
- Copeland K.C., Nair K.S. (1994). Acute growth hormone effects on amino acid and lipid metabolism, *J Clin Endocrinol Metab*, **78**: 1040-1047.
- Côté C., Simoneau J., Lagasse P., Boulay M., Thibault M., Marcotte M., Bouchard C. (1998). Isokinetic strength training protocols: Do they induce skeletal muscle fiber hypertrophy? *Arch Phys Med Rehabil*, **69**: 281-285.
- Cumming D.C., Quigley M.E., Yen S.S.C. (1983). Acute suppression of circulating testosterone levels by cortisol in men, *J Clin Endocrinol Metab*, **57**: 671-673.
- Cuneo R.S., Salomon F., Wiles C.M., Hesp R., Sönksen P.H. (1991). Growth hormone treatment in growth hormone-deficient adults. I. Effects on muscle mass and strength, *J Appl Physiol*, **70**: 688-694.

- Devlin J.T., Brodsky I., Scrimgeour A., Fuller S., Bier D.M. (1990). Amino acid metabolism after intense exercise, *Am J Physiol*, **21**: E249-E255.
- Dobbing, J. (1989). *Dietary Starches and Sugars in Man: A Comparison*. Human Nutrition Reviews, Series Editor: Ian Macdonald, Great Britain, 256 p.
- Dohm G.L., Kasperek G.J., Tapscott E.B., Beecher G.R. (1980). Effect of exercise on synthesis and degradation of muscle protein, *Biochem J*, **188**: 255-262.
- Dorgan J.F., Judd J.T., Longcope C., Brown C., Schatzkin A., Clevidence B.A., Campbell W.S., Nair P.P., Franz C., Kahle L., Taylor P.R. (1996). Effects of dietary fat and fiber on plasma and urine androgens and oestrogens in men: a controlled feeding study, *Am J Clin Nutr*, **64**: 850-855.
- Fahey T.D., Hoffman K., Colvin W., Lauten G. (1993). The effects of intermittent liquid meal feeding on selected hormones and substrates during intense weight training, *Int J Sport Nutr*, **3**: 67-75.
- Farrell P.A., Fedele M.J., Hernandez J., Fluckey J.D., Miller J.L., Lang C.H., Vary T.C., Kimball S.R., Jefferson S. (1999a). Hypertrophy of skeletal muscle in diabetic rats in response to chronic resistance exercise, *J Appl Physiol*, **87**: 1075-1082.
- Farrell P.A., Fedele M.J., Vary T.C., Kimball S.R., Lang C.H., Jefferson S. (1999b). Regulation of protein synthesis after acute resistance in diabetics rats, *Am J Physiol*, **276**: E721-E727.
- Fedele M.J., Hernandez J.M., Lang C.H., Vary T.C., Kimball S.R., Jefferson L.S., Farrell P.A. (2000). Severe diabetes prohibits elevations in muscle protein synthesis after acute resistance exercise in rats, *J Appl Physiol*, **88**: 102-108.
- Ferrando A.A., Stuart C.A., Sheffield-Moore M., Wolfe R.R. (1999). Inactivity amplifies the catabolic response of skeletal muscle to cortisol, *J Clin Endocrinol Metab*, **84**:3515-3521.

- Ferrando A.A., Tipton K.D., Bamman M.M., Wolfe R.R. (1997). Resistance exercise maintains skeletal muscle protein synthesis during bed rest, *J Appl Physiol*, **82**: 807-810.
- Ferrando A.A., Lane H.W., Stuart C.A., Davis-Street J., Wolfe R.R. (1996). Prolonged bed rest decreases skeletal muscle and whole body protein synthesis, *Am J Physiol*, **270**: E627-E633.
- Fielding R.A., Meredith C.N., O'Reilly K.P., Frontera W.R., Cannon J.G., Evans W.J. (1991). Enhanced protein breakdown after eccentric exercise in young and old men, *J Appl Physiol*, **71**: 674-679.
- Forbes G.B., Brown M.R., Welle S.L., Underwood L.E. (1989). Hormonal response to overfeeding, *Am J Clin Nutr*, **49**: 608-611.
- Fryburg D.A., Gelfand L.A., Oliveras D.M., Sherwin R.S., Sacca L., Barrett E.J. (1995). Effects of epinephrine on human muscle glucose and protein metabolism, *Am J Physiol*, **268**: E820-E824.
- Fryburg D.A. (1994). Insulin-like growth factor I exerts growth hormone- and insulin-like actions on human muscle protein metabolism, *Am J Physiol*, **267**: E331-E336.
- Fry A.C., Kraemer W.J., Stone M.H., Warren B.J., Kearney J.T., Maresh C.M., Waseman C.A., Fleck S.J. (1993). Endocrine and performance responses to high volume training and amino acid supplementation in elite junior weight lifters, *Int J Sport Nutr*, **3**: 306-322.
- Galbo H. (1981). Endocrinology and metabolism in exercise, *Int J Sports Med*, **2**: 203-211.
- Galbo H., Holst J.J., Christiansen N.J. (1979). The effect of different diets and of insulin on the hormonal response to prolonged exercise, *Acta Physiol Scand*, **107**: 19-32.

- Garlick P.J., Clugston G.A., McNurlan M.A., Preedy V.R., Fern E.B. (1982). Nutrition and protein turnover, *Biochem Soc Trans*, **10**: 290-291.
- Garlick P.J., Clugston G.A., Swick R.W., Waterlow J.C. (1980a). Diurnal pattern of protein and energy metabolism in man, *Am J Clin Nutr*, **33**: 1983-1986.
- Garlick P.J., Clugston G.A., Waterlow J.C. (1980b). Influence of low-energy diets on whole-body protein turnover in obese subjects, *Am J Physiol*, **238**: E235-E244.
- Gibala M.J., MacDougall J.D., Tarnopolsky M.A., Stauber W.T., Elorriaga A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise protocols, *Can J Appl Physiol*, **22**: 244-255.
- Golden M.H.N., Waterlow J.C., Picou D. (1977). The relationship between dietary intake, weight change, nitrogen balance and protein turnover in man, *Am J Clin Nutr*, **30**: 1345-1348.
- Goldspink D.F., Kelley F.J. (1984). Protein turnover and growth in the whole-body, liver and kidney of the rat from the foetus to senility, *Biochem J*, **217**: 507-516.
- Gollnick P.D., Bertorci L.A., Kelso T.B., Witt E.H., Hodgson D.R. (1990). The effect of high intensity exercise on the respiratory capacity of skeletal muscle, *Pflugers Arch*, **415** (4): 407-13.
- Gonyea W.J. (1980). Role of exercise in inducing increases in skeletal muscle fiber number, *J Appl Physiol*, **48**: 421-426.
- Gotshalk L.A., Loebel C.C., Nindl B.C., Putukian M., Sebastianelli W.J., Häkkinen K., Kraemer W.J. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols, *Can J Appl Physiol*, **22**: 244-255.
- Griggs R.C., Halliday D., Kingston W., Moxley R.T. (1986). Effect of testosterone on muscle protein synthesis in myotonic dystrophy, *Ann Neurol*, **20**: 590-596.

- Gyntelberg F., Rennie M.J., Hickson R.C., Holloszy J.O. (1977). Effect of training on the response of plasma glucagon to exercise, *J Appl Physiol*, **43**: 302-305.
- Guezennec Y., Léger L., Lhoste F., Aymonod M., Pesquies P.C. (1986). Hormone and metabolite response to weight-lifting training sessions, *Int J Sports Med*, **7** (2):100-105.
- Hagg S.A., Moore E.L., Siamak A.A. (1982). Effect of exercise on rates of oxidation, turnover, and plasma clearance of leucine in human subjects, *Am J Physiol*, **242**: E407-E410.
- Häkkinen K., Pakarinen A. (1995). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages, *Int J Sports Med*, **16**: 507-513.
- Harmer A.R., McKenna M.J., Sutton J.R., Snow R.J., Ruell P.A., Booth J., Thompson M.W., Mackay N.A., Stathis C.G., Cramer R.M., Carey M.F., Eager D.M. (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans, *J Appl Physiol*, **89** (5): 1793-1803.
- Hennen G. (1996). *Biochimie Humaine, Introduction Biochimique à la Médecine Interne*. Paris, DeBoeck Université, 784p.
- Higbie E.J., Cureton K.J., Warren III G.L., Prior B.M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation, *J Appl Physiol*, **81**: 2173-2181.
- Hoffer L.J., Yang R.D., Matthews D.E., Bistrian B.R., Bier D.M., Young R.V. (1985). Effects of meal consumption on whole-body leucine and alanine kinetics in young adults men. *Br J Nutr*, **53**: 31-38.
- Horber F.F., Scheidegger J.R., Grünig B.E., Frey F.J. (1985). Thigh muscle mass and function in patients treated with glucocorticoids. *Eur J Clin Invest*, **15**: 302-307.

- Hortobágyi T., Hill J.P., Houmard J.A., Fraser D.D., Lambert N.J., Israel R.G. (1995). Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans, *J Appl Physiol*, **80**: 765-772.
- Houston M.E. (1999). Gaining weight: The scientific basis of increasing skeletal muscle mass, *Can J Appl Physiol*, **24**(4): 305-316.
- Isley W.L., Underwood L.E., Clemmons D.R. (1984). Changes in plasma somatomedin-C in response to ingestion of diets with variable protein and energy content, *J Parental Enteral Nutr*, **8**: 407-411.
- Isley W.L., Underwood L.E., Clemmons D.R. (1983). Dietary components that regulate serum somatomedin-C concentrations in humans, *J Clin Invest*, **71**: 175-182.
- Ivy J.L., Katz A.L., Cutler C.L., Sherman W.M., Coyle E.F. (1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion, *J Appl Physiol*, **64**:1480-1485.
- Ivy J.L. (1998). Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake, *Int J Sports Med*, **19**: S142-S145.
- Jebb S.A., Prentice A.M., Goldberg G.R., Murgatroyd P.R., Black A.E., Coward W.A. (1996). Changes in macronutrient balance during over- and underfeeding assessed by 12-d continuous whole-body calorimetry, *Am J Clin Nutr*, **64**: 259-266.
- Jorgensen J.O., Thesen L., Müller J., Ovesen P., Skakkebaek N.E., Christiansen J.S. (1994). Three years of growth hormone treatment in growth hormone-deficient adults: near normalization of body composition and physical performance, *Eur J Endocrinol*, **130**: 224-228.

- Kraemer W.J., Volek J.S., Bush J.A., Putukian M., Sebastianelli W.J. (1998a). Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation, *J Appl Physiol*, **85**(4): 1544-1555.
- Kraemer W.J., Staron R.S., Hagerman F.C., Hikida R.S., Fry A.C., Gordon S.E., Nindl B.C., Gotshalk L.A., Volek J.S., Marx J.O., Newton R.U., Häkkinen K. (1998b). The effect of short-term resistance training on endocrine function in men and women, *Eur J Appl Physiol*, **78**: 69-76.
- Langfort J., Zarzeczny R., Nazar K., Kaciuba-Uscilko H. (2001). The effect of low-carbohydrate diet on the pattern of hormonal changes during incremental, graded exercise in young men, *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, **11**: 248-257.
- Laurent B.C., Moldawer L.L., Young V.R., Bistran B.R., Blackburn G.L. (1984). Whole-body leucine and muscle protein kinetics in rats fed varying protein intakes, *Am J Physiol*, **246**: E444-E451.
- Laurent G.J., Sparrow M.P., Millward D.J. (1978). Turnover of muscle protein in the fowl. Changes in rates of protein synthesis and breakdown during hypertrophy of the anterior and posterior latissimus dorsi muscles, *Biochem J*, **146**: 407-417.
- Lopez P., Ledoux M., Garrel D.R. (2000). Increased thermogenic response to food and fat oxidation in female athletes: relationship with Vo₂ max, *Am J Physiol Endocrinol Metab*, **279**: E601-E607.
- Luger A., Watschinger B., Deuster P., Svoboda T., Clodi M., Chrousos G.P. (1992). Plasma growth hormone and prolactin responses to graded levels of acute exercise and to a lactate infusion, *Neuroendocrinology*, **52**: 112-117.
- MacDougall J., Gibala M., Tarnopolsky M., MacDougall J., Interisano S., Yarasheski K. (1995). The time course elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise, *Can J Appl Physiol*, **20**: 480-486.

- MacDougall J.D. (1992). *Hypertrophy or hyperplasia*. In: Strength and Power in Sport, edited by P.V. Komi. Boston, MA: Blackwell, p. 230-238.
- McKenna M.J., Heigenhauser G.J., McKelvie R.S., Obminski G., MacDougall J.D., Jones N.L. (1997). Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men, *J Physiol*, **15**;501 (Pt 3): 703-716.
- Millward D.J., Waterlow J.C. (1978). Effect of nutrition on protein turnover in skeletal muscle, *Fed Proc*, 2283-2290.
- Mitch W.E., Clarck A.S. (1984). Specificity of the effects of leucine and metabolites on protein degradation in skeletal muscle, *Biochem J*, **222**: 579-586.
- Motil K.J., Bier D.M., Matthews D.E., Burke J.F., Young V.R. (1981a). Whole-body leucine and lysine metabolism studied with [1-¹³C] leucine and [15N] lysine: response in healthy young men given excess energy intake, *Metabolism*, **30**: 783-791.
- Motil K.J., Matthews D.E., Bier D.M., Burke J.F., Munro H.N., Young V.R. (1981b). Whole-body leucine and lysine metabolism: response to dietary protein intake in young men, *Am J Physiol*, **240**: E712-E721.
- Nair K.S., Halliday D., Griggs R.C. (1988). Leucine incorporation into mixed skeletal muscle in humans, *Am J Physiol*, **254**: E208-E213.
- Nair K.S., Halliday D., Matthews D.E., Wellw S.L. (1987). Hyperglugagonemia during insulin deficiency accelerates protein catabolism, *Am J Physiol*, **253**: E208-E213.
- Nissen S., Haymond M.W. (1986). Change in leucine kinetics during meal absorption: effects of dietary leucine availability, *Am J Physiol*, **250**: E695-E701.

- Okamura K., Tatsuya D., Koichiro H., Masao S., Keitaro M., Kiyoko I., Yasuyuki Y., Seiichi S., Masachige S. (1997). Effect of amino acid and glucose administration during postexercise recovery on protein kinetics in dogs, *Am J Physiol*, **272**: E1023-E1030.
- Pallotta J.A., Kennedy P.J. (1968). Response of plasma insulin and growth hormone to carbohydrate and protein feeding, *Metab Clin Exp*, **19**:901-908.
- Pasquali R., Casimirri F., Cantobelli S., Melchionda N., Marselli Labate A.M., Fabbri R., Capelli M., Bortoluzzi L. (1991). Effect of obesity and body fat distribution on sex hormones and insulin in men, *Metabolism*, **40**: 101-104.
- Pasquali R., Macor C., Vicennati V., Novo F., De Lasio R., Mesini P., Boschi S., Casimirri F., Vetter R. (1997). Effects of acute hyperinsulinemia on testosterone serum concentrations in adult obese and normal-weight men, *Metab*, **46**: 526-529.
- Patureau-Mirand P., Bernard O., Prugnaud J., Arnal M. (1985). Métabolisme protéique de l'agneau nouveau-né. II. Influence de l'alimentation sur les flux et le taux de renouvellement des protéines, *Reprod Nutr Dévelop*, **25**: 1061-1073.
- Peyreigne C., Brun J.F., Monnier J.F., Abecassis M., Fédou C., Raynaud E., Bouix O., Orsetti A. (1997). Interactions entre la fonction somatope et l'activité musculaire, *Science et Sports*, **12**: 4-18.
- Phillips S.M., Tipton K.D., Ferrando A.A., Wolfe R.R. (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover, *Am J Physiol*, **276** (Endocrinol Metab 39): E118-E124.
- Phillips S.M., Tipton K.D., Aarsland A.A., Cortiella J.C., Wolf S.P., Wolfe R.R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans, *Am J Physiol*, **273**: E99-E107.

- Phillips S.M., Atkinson S.A., Tarnopolsky M.A., MacDougall J.D. (1993). Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes, *J Appl Physiol*, **75**: 2134-2141.
- Poliquin C. (1991). Paramètres de surcharge pour le développement de la force musculaire.
- Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance (2000), *J Am Diet Ass*, **100**(12): 1543-1556.
- Raben A., Kiens B., Richter E.A., Rasmussen L.B., Svenstrup B., Micic S., Bennett P. (1992). Serum sex hormones and endurance performance after a lacto-ovo vegetarian and a mixed diet, *Med Sci Sports Exerc*, **24**: 1290-1297.
- Rasmussen B.B., Tipton K.D., Miller S.L., Wolf S.E., Wolfe R.R. (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise, *J Appl Physiol*, **88**: 386-392.
- Santé et bien-être social Canada. Recommandations sur la nutrition. Pud. # H-49-42/1990, Ottawa, Canada 1990.
- Reeds P.J., Fuller M.F. (1983). Nutrient intake and protein turnover, *Proc Nutr Soc*, **43**: 463-471.
- Reeds P.J., Fuller M.F., Cadenhead A., Lobley G.E., McDonald J.D. (1981). Effects of changes in the intakes of protein and non-protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs, *Br J Nutr*, **45**: 539-546.
- Reeds P.J., Cadenhead A., Fuller M.F., Lobley G.E., McDonald J.D. (1980). Protein turnover in growing pigs. Effects of age and food intake, *Br J Nutr*, **43**: 445-455.

- Rennie M.J., Bowtell J.L., Millward D.J. (1994). Physical activity and protein metabolism. In: Bouchard C., Shepard R.J., Stephens T. Physical activity, fitness, and health. *International proceeding and consensus statement*. Human Kinetics Publishers, Inc. p. 432-450.
- Rennie M.J., Edwards R.H.T., Halliday D., Matthews D.E., Wolman S.L., Millward D.J. (1982). Muscle protein synthesis measured by stable isotope techniques in man: the effects of feeding and fasting, *Clin Sci*, **63**: 519-523.
- Rennie M.J., Edwards R.H.T., Krywawych S., Davies C.T.M., Halliday D., Warelow J.C., Millward D.J. (1981). Effect of exercise on protein turnover in man, *Clin Sci (Lond)*, **61**: 627-639.
- Rooyackers O.E., Nair K.S. (1997). Hormonal regulation of human muscle protein metabolism, *Annu Rev Nutr*, **17**: 457-485.
- Roy B.D., Tarnopolsky M.A., MacDougall J.D., Fowles J., Yarasheski K.E. (1997). Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training, *J Appl Physiol*, **82**(6): 1882-1888.
- Roy S. (2000). *Effets d'une supplémentation glucidique ou protéique et glucidique sur le catabolisme protéique après un entraînement en musculation*. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal, Québec, 123p.
- Sebokova E., Garg M.L., Wierzbicki A., Thompson A.B., Clandinin M.T. (1990). Alteration of the lipid composition of rat testicular plasma membranes by dietary (n-3) fatty acids changes the responsiveness of Leydig cells and testosterone synthesis, *J Nutr*, **120**(6): 610-618.
- Sebokova E., Garg M.L., Clandinin M.T. (1988). Modulation of receptor-mediated gonadotropin action in rat testes by dietary fat, *Am J Physiol*, **254**: E708-712.

- Sorichter S., Mair J., Koller A. et al. (1997). Muscular adaptation and strength during the early phase of eccentric training: Influence of the training frequency, *Med Sci Sports Exerc*, **29**: 1646-1652.
- Stalknecht B., Vissing J., Galbo H. (1998). Lactate production and clearance in exercise. Effects of training, *Scand J Med Sci Sports*, **8**: 127-131.
- Stauber W.T., Smith C.A. (1998). Cellular responses in exertion-induced skeletal muscle injury, *Mol Cell Biochem*, **179**: 189-196.
- Stein T.P., Hoyt R.W., O'Toole M., Leskiw M.J., Schluter M.D., Wolfe R.R., Hiller W.D.B. (1989). Protein and energy metabolism during prolonged exercise in trained athletes, *Int J Sports Med*, **10**: 311-316.
- Suminski R.R., Robertson R.J., Goss F.L., Arslanian S., Kang J., DaSilva S., Utter A.C., Metz K.F. (1997). Acute effect of amino acid ingestion and resistance exercise on plasma growth hormone concentration in young men, *Int J Sport Nutr*, **7**: 48-60.
- Svanberg E. (1998). Amino acids may be intrinsic regulators of protein synthesis in response to feeding, *Clin Nutr*, **17**: 77-79.
- Tarnopolsky M.A., Bosman M., MacDougall J.R., Vandeputte D., Martin J., Roy B.D. (1997). Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women, *J Appl Physiol*, **83**(6): 1877-1883.
- Tarnopolsky M.A., Atkinson S.A., MacDougall J.D., Lemon P.W.R., Schwarcz H. (1991). Whole body leucine metabolism during and after resistance exercise in fed humans, *Med Sci Sports Exerc*, **23**: 326-333.
- Tessari P., Inchiostro S., Biolo G., Trevisan R., Fantin G., Marescotti M.C., Iori E., Tiengo A., Crepaldi G. (1987). Differential effects of hyperinsulinemia and hyperaminoacidemia on leucine-carbon metabolism in vivo. Evidence for distinct

mechanisms in regulation of net amino acid deposition, *J Clin Invest*, **79**: 1062-1069.

Tipton K.D., Rasmussen B.B., Miller S.L., Wolf S.E., Owens-Stovall S.K., Petrini B.E., Wolfe R.R. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise, *Am J Physiol Endocrinol Metab*, **281**(2): E197-206.

Tipton K.D., Gurkin B.E., Martin S., Wolfe R.R. (1999). Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers, *J Nutr Biochem*, **10**: 89-95.

Tipton K.D., Wolfe R.R. (1998). Exercise-induced changes in protein metabolism, *Acta Physiol Scand*, **162**:377-387.

Tipton K.D., Ferrando A.A., Williams B.D., Wolfe R.R. (1996). Muscle protein metabolism in female swimmers after a combination of resistance and endurance exercise, *J Appl Physiol*, **81**: 2034-2038.

Vandenburg H.H., Hatfaludy S., Sohar I., Shansky J. (1990). Stech-induced prostaglandins and protein turnover in cultured skeletal muscle, *Am J Physiol*, **259**: C232-C240.

Vasankari T.J., Kujala U.M., Viljanen T.T., Huhtaniemi I.T. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged running exercise results in an increase of serum cortisol and decrease of gonadotrophins, *Acta Physiol Scand*, **141**: 373-378.

Viru A. (1996). Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism, *Scand J Med Sci Sports*, **6**:2-14.

Volek J.S., Kraemer W.J., Bush J.A., Incledon T., Boetes M. (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise, *J Appl Physiol*, **82**: 49-54.

- Waterlow J.C., Garlick P.J., Millward D.J. (1978). *Protein turnover in mammalian tissues and in the whole-body*. Elsevier North Holland, Amsterdam.
- Williams B.D., Chinkes D.L., Wolfe R.R. (1998). Alanine and glutamine at rest and during exercise in humans, *Med Sci Sports Exerc*, **30** (7): 1053-58.
- Winder W.W., Hickson R.C., Hagberg J.M., Ehsani A.A., McLane J.A. (1979). Training-induced changes in hormonal and metabolic responses to submaximal exercise, *J Appl Physiol*, **46**(4): 766-771.
- Wolfe R.R., Jahoor F., Shaw J.H.F. (1987). Effect of alanine infusion on glucose and urea production in man, *J Parent Ent Nutr*, **11**: 109-111.
- Wolfe R.R., Wolfe M.H., Nadel E.R., Shaw J.H.F. (1984). Isotopic determination of amino acid-urea interactions in exercise in humans, *J Appl Physiol*, **56**: 221-229.
- Wolfe R.R., Goodenough R.D., Wolfe M.H., Royle G.T., Nadel E.R. (1982). Isotopic analysis of leucine and urea metabolism in exercising humans, *J Appl Physiol*, **52**: 458-466.
- Yaman M.A., Kita K., Okumura J.I. (2000). Various macronutrient intakes additively stimulate protein synthesis in liver and muscle of food-deprived chicks, *J Nutr*, **130**: 70-76.
- Yang R.D., Matthews D.E., Bier D.M., Wen Z.M., Young V.R. (1986). Response of alanine metabolism in humans to manipulation of dietary protein and energy intakes, *Am J Physiol*, **250**: E39-E46.
- Yarasheski K.E., Pak-Loduca J., Hasten D.L., Obert K.A., Brown M.B., Sinacore D.R. (1999). Resistance exercise training increases mixed muscle protein synthesis rate in frail women and men ≥ 76 yr old, *Am J Physiol*, **277**: E118-E125.

- Yarasheski K.E., Zachwieja J.J., Campbell J.A., Bier D.M. (1995). Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth and strength in older men, *Am J Physiol*, **268**: E268-E276.
- Yarasheski K.E., Zachwieja J.J., Bier D.M. (1993). Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women, *Am J Physiol*, **265**: E210-E214.
- Yarasheski K.E., Campbell J.A., Smith K., Rennie M.J., Holloszy J.O., Bier D.M. (1992). Effect of growth hormone and resistance exercise on muscle growth in young men, *Am J Physiol*, **262**: E261-E267.
- Zawadzki K.M., Yaspelkis III B.B., Ivy J.L. (1992). Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise, *J Appl Physiol*, **72**(5): 1854-1859.
- Zwirren L., Skinner J.S., Buskirk E.R. (1973). Use of body density and various skinfold equations for estimating small reductions in body fatness, *J Sports Med Phys Fitness*, **3**(4): 213-218.

Annexe 1

Formulaire de consentement des participants

Explication du projet et formulaire de consentement

La pratique de la musculation et la prise de breuvage nutritif sont de plus en plus courantes. Plusieurs études montrent certains effets physiologiques de l'exercice par la prise d'une boisson énergétique après une séance de musculation. Nous vous proposons donc d'étudier ce phénomène particulier, mal documenté à l'heure actuelle.

Le but de cette étude est d'observer et d'évaluer le rôle des protéines au niveau de la masse musculaire suite à l'ingestion de breuvages nutritifs variés.

L'étude s'échelonne sur 7 semaines, comprenant une période (une semaine) de familiarisation avec les appareils de musculation et de détermination des charges. Les 6 autres semaines consisteront en des séances de musculation de 90 minutes (3 fois/semaine) selon un horaire préétabli. Les programmes d'entraînement sont déterminés par des personnes qualifiées et ont comme but de favoriser l'hypertrophie musculaire (gain et grossissement de la masse musculaire).

Pendant ces 6 semaines d'entraînement, vous devrez boire les boissons, qui vous seront données, tout de suite après votre séance d'entraînement. De plus, une abstention de consommer des produits énergétiques (type Gatorade et autres) sera de mise pendant la séance et jusqu'à 2 heures après. Enfin, il faudra éviter la consommation de supplément protéique pendant les 7 semaines de l'étude.

La mesure du pourcentage de masse maigre (muscles) et de tissus adipeux sera effectuée au début, au milieu et à la fin de l'étude. Nous procéderons aussi à 6 prises de sang et à une collecte d'échantillon d'urine avant et après la première séance de musculation, et ce au début et à la fin des 6 semaines d'entraînement. Deux journaux alimentaires de 3 jours, dont une journée de fin de semaine devront être aussi complétés. Ces journaux seront analysés et des recommandations alimentaires vous seront données par un(e) nutritionniste (si nécessaire à la fin de l'étude). Un contrôle régulier de l'alimentation et de l'entraînement de chaque participant sera fait tout au long de l'étude. De plus, les exercices sollicitant le système cardio-vasculaire devront être évités. Puisque vous commencez un nouveau programme d'entraînements, de légères douleurs musculaires pourront éventuellement apparaître après les premiers jours d'entraînement. Les risques de blessures sont présents mais sont minimes si vous respectez les consignes donnés par votre superviseur.

En complétant cette étude et en respectant les consignes précédentes, chaque participant obtiendra une évaluation nutritionnelle gratuite (valeur de 50\$), un programme d'entraînement ainsi qu'un suivi continuels lors de vos séances. De plus, les résultats des mesures du pourcentage de gras et de masse maigre durant les 7 semaines seront remis à chaque participant lui permettant ainsi de voir sa progression.

Un montant de 100.00 \$ sera remis à chaque participant qui aura complété chacune des exigences de ce projet. Tous les renseignements seront traités de manières anonymes et confidentielles. Pour ce faire, nous vous assignerons un numéro de code. De plus, les résultats de cette étude pourront servir à des fins de publication scientifique sans que votre identité ne soit toutefois révélée. Chaque participant peut en tout temps se retirer de cette étude.

En résumé, chaque participant devra donc:

- * répondre à un pré-questionnaire général.
- * remplir deux journaux alimentaires de 3 jours.
- * effectuer 3 séances de pratiques et de détermination des charges (semaine 1).
- * suivre le programme d'entraînement individuel complet (semaines 2 à 7).
- * boire le breuvage assigné tout de suite après la séance.
- * subir 6 prises de sang soit, une avant et 2 après la première séance de musculation et ce, au début et à la fin de la période d'entraînement (semaines 2 et 8).
- * ne prendre aucune boisson ou produit autre que de l'eau pendant chaque séance de musculation.
- * collaborer au suivi de son alimentation et de son entraînement.

Votre participation à cette étude peut être interrompue si, vous ne rencontrez plus nos critères de sélection ou si vous dérogez aux consignes de cette étude.

En espérant votre participation, nous vous remercions à l'avance de l'aide que vous nous apportez à cette étude.

Si vous désirez plus d'informations, nous demeurons à votre disposition.

[REDACTED]
Marielle Ledoux

Professeur titulaire
Département de nutrition
Université de Montréal
tél. [REDACTED]

[REDACTED]
Geneviève St-Martin

[REDACTED]
Christine Desjardins

[REDACTED]
Stéphane Roy

Étudiants à la maîtrise
[REDACTED]

J'ai lu et compris le contenu du présent formulaire . Je certifie qu'on me l'a expliqué verbalement. J'ai eu l'occasion de poser toutes mes questions au sujet de cette étude et on y a répondu à ma satisfaction.

Je sais que je suis libre d'y participer et que je demeure libre de me retirer de cette étude en tout temps, par avis verbal, sans que cela nuise aux relations avec les intervenants et sans préjudice d'aucune sorte.

Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Je, soussigné, accepte de participer à cette étude.

Nom du sujet

Signature

Date

Nom du témoin

Signature

Date

Je certifie a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire de consentement; b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard; c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au présent projet de recherche; et d) que je lui remettrai une copie signée du présent formulaire.

Nom du chercheur

Fonction

Signature

Date

Annexe 2

Questionnaire relatif à l'état de santé des participants

Fiche de renseignements

CONFIDENTIEL

Nom: _____

Prénom: _____

Date de naissance: _____

Adresse: _____

Ville: _____

Province: _____

Code Postal: _____

Tél (jour): () _____

Tél (soir): () _____

Questionnaire:1. Quel est votre âge?

- 20 ans et moins
 entre 21 et 25 ans
 entre 26 et 30 ans
 entre 31 et 35 ans

2. Quel est votre poids?

poids actuel: _____
 poids habituel (dernier 6 mois): _____
 poids maximal: _____ à quel âge: _____
 poids minimal: _____ à quel âge: _____

3. Quel est votre taille?

_____ mètres ou
 _____ pieds

4. Avez-vous déjà fumé dans le passé?

- oui
 non

Si oui, que fumiez-vous et combien de fois par jour ou par semaine

- cigarettes _____/jour ou _____/semaine
 autres _____/jour ou _____/semaine

5. Au cours de l'année 1997, êtes-vous déjà entraîné en musculation (incluant en circuit) d'une manière régulière (2 jrs / sem. ou plus)?

- oui
 non (passez à la question 6)

i. Si oui, il y a combien de temps?

- 3 mois et moins
 entre 4 et 6 mois
 entre 7 et 12 mois
 plus que 12 mois

ii. Pendant combien de semaines ou de mois vous êtes entraîné? _____

iii. Quel en était la fréquence?

- 2 fois / semaine
 3 fois / semaine
 4 fois et plus / semaine

6. Au cours des 2 derniers mois quels sports avez vous pratiqués et quelle en était la durée ainsi que la fréquence (si moins 1 fois/semaine, ne rien inscrire)?

<u>sports</u>	<u>durée/période</u>	<u>fréquence</u>
<input type="radio"/> course à pied	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> natation	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> vélo stationnaire	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> squash	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> basketball	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> musculation	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> ski de fond	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> ski alpin	_____	__ fois/semaine
<i>autres sports (précisez)</i>		
_____	_____	__ fois/semaine
_____	_____	__ fois/semaine
_____	_____	__ fois/semaine

7. Quel(s) type(s) de sport(s) pensez-vous pratiquer dans les 8 à 10 prochaines semaines et quelle en serait la durée ainsi que la fréquence (si moins 1 fois/semaine, ne rien inscrire)?

<u>sports</u>	<u>durée/période</u>	<u>fréquence</u>
<input type="radio"/> course à pied	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> natation	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> vélo stationnaire	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> squash	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> basketball	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> musculation	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> ski de fond	_____	__ fois/semaine
<input type="radio"/> ski alpin	_____	__ fois/semaine
<i>autres sports (précisez)</i>		

_____	_____	__ fois/semaine
_____	_____	__ fois/semaine
_____	_____	__ fois/semaine

8. Faites-vous de la compétition dans un ou plusieurs des sports que vous avez mentionnés auparavant?

- oui
- non (passez à la question 10)

Si oui, précisez le(s) sport(s) et à quel niveau (universitaire, national, etc.)?

sport:

niveau:

9. Suivez-vous présentement un entraînement spécifique pour ce(s) sport(s) pratiqué(s) en compétition?

- oui
- non

Si oui, pour quel(s) sport(s)?

10. Suivez-vous présentement une alimentation particulière?

- oui
- non

Si oui, quel(s) type(s)?

- régime amaigrissant
- diabétique
- insuffisance rénale
- pauvre en protéine
- végétarien strict (pas de viande, oeuf et lait)

Autres (précisez): _____

11. Avez-vous déjà suivi dans le passé une alimentation particulière?

oui

non

Si oui, il y a combien de temps et de quel(s) type(s)?: _____

12. Avez vous une intolérance, aversion (dégoût) ou une allergie aux:

protéines bovines: oui non

lait: oui non

gomme (locus bean, xantham etc.): oui non

fécule de maïs: oui non

aspartame: oui non

fruits: oui non

Si oui, quel(s) fruit(s): _____

Autres aliments ou produits (précisez): _____

13. Prenez-vous présentement les suppléments suivants et si oui, quelle en est la quantité par semaine?:

Multivitamine oui non

Si oui: _____capsule/sem

Carnitine oui non

Si oui: _____g/sem

Acides aminés oui non

Si oui: _____g/sem

Boisson protéique oui non

Si oui: _____g/sem

Boost sport, tablette Boost sport, Ensure oui non

Si oui: _____/sem

Gatorade, All Sport et autres

 oui non

Si oui: _____/sem

Autres suppléments (inscrire la quantité par semaine et la marque): _____

_____14. Souffrez-vous d'une ou plusieurs maladies chroniques (incluant les allergies)? oui nonSi oui, laquelle ou lesquelles et dates des derniers symptômes: _____

_____15. Souffrez-vous d'une maladie aigüe (grippe, infection etc.)? oui nonSi oui, laquelle ou lesquelles et dates des derniers symptômes: _____

_____16. Souffrez-vous d'une blessure récente? oui nonSi oui, de quelle(s) type(s) et date(s) de la (des) blessure(s): _____

_____17. Avez-vous déjà subi une ou des interventions chirurgicales? oui nonSi oui, de quelle(s) type(s) et date(s) de(s) opération(s): _____

18. Autres (malaises, indispositions physiques etc.):

oui

non

Si oui, de quelle(s) type(s) et date(s) des derniers événements: _____

J'atteste que tous les renseignements fournis sur ce questionnaire sont exacts et complets.

Signature: _____

Date: _____

Merci de votre collaboration!

Annexe 3

Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP)

Nom : _____

Prénom : _____

Questionnaire sur l'Aptitude à l'Activité Physique (Q-AAP)*
(révision 1994)

Lisez attentivement et répondez honnêtement à chacune des questions suivantes. Le simple bon sens sera votre meilleur guide pour répondre correctement à ces questions. Cochez OUI ou NON.

OUI

NON

1. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque et que vous ne deviez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?

2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine lorsque vous pratiquez une activité physique?

3. Au cours du dernier mois, avez-vous ressenti des douleurs à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participiez à une activité physique?

4. Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre liés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?

5. Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?

6. Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques) ?

7. Connaissez-vous une autre raison pour laquelle vous ne devriez pas pratiquer une activité physique?

Société Canadienne de physiologie de l'exercice
Canadian Society for Exercise Physiology

Avec l'appui de : Santé Canada
Health Canada

Signature : _____

Date : _____

Annexe 4

Détermination de la charge

Détermination de la charge maximale pour chaque exercice et de la charge à utiliser au cours des entraînements subséquents.

EXERCICES :

Leg press : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Leg curl : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Seated toe raise : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Front lat pull-down : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Seated row : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Bench press : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Seated military press : charge pour 1 R.M. : _____

Donc : pour 12 R.M. (70.3 % de la charge pour 1R.M.) : _____

pour 10 R.M. (74.4 % de la charge pour 1 R.M.) : _____

Annexe 5

Journal alimentaire de trois jours

INSTRUCTION POUR LA RÉDACTION DU JOURNAL ALIMENTAIRE

Pour nous permettre d'analyser avec précision votre journal alimentaire, nous vous demandons de procéder de la façon suivante:

- Veuillez dresser une liste aussi précise que possible de tout ce que vous mangez et buvez (incluant les condiments: moutarde, ketchup, ..etc.) aux repas et entre les repas pendant ____ jour(s) (____ jour(s) de semaine et ____ jour(s) de fin de semaine).
- Indiquez le plus précisément possible la sorte et les particularités pertinentes de l'aliment, la quantité et le mode de préparation ou de cuisson de celui-ci. Utilisez des termes qui vous sont familiers; onces, millilitres (ml), grammes etc. L'étiquette de l'aliment peut parfois vous renseigner sur les caractéristiques des aliments.
- Si certains aliments proviennent de l'extérieur de la maison (ex.: hamburger McDonald's), veuillez l'indiquer.
- Voici quelques exemples où la particularités, la quantité et le mode de préparation de l'aliment sont indiqués:

Repas:		Lieu:
Quantité:	Aliments:	
8 oz (250 ml)	Jus d'orange fait de concentré	
½ tasse (125 ml)	Carottes bouillies avec 5 ml (1 c. thé) de margarine	
250 ml (1 tasse)	Céréales "Corn flakes" dans 1 tasse de lait et 5 ml (1 c. thé) de sucre	
1	Tranche de pain blanc avec 5 ml (1 c. thé) de margarine	
1 tasse	Lait 2 % M.G	
3 oz	Fromage Mozzarella 15 %	
90 g (3 oz)	Steak haché maigre cuit dans 5 ml (1 c. thé) de margarine	
90 g (3 oz)	Saumon (darne) cuit sur le barbecue	
2	Oeufs moyen cuit à la coque	
90 g (3 oz)	Poulet cuit avec la peau	
250 ml (1 tasse)	Spaghetti sauce à la viande (maison)	
8 oz (250 ml)	Soupe aux légumes (conservé)	
15 ml	Mayonnaise	
1 morceau (2 x 4 x 2 p.)	Gâteau au chocolat avec glaçage	

JOURNAL ALIMENTAIRE

Nom: _____ Jour n°: _____ Date: _____

Dossier: _____ Jour de la semaine: _____

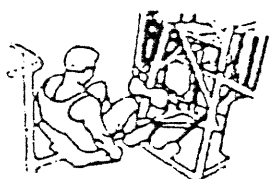
<p>Déjeuner: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>	<p>Dîner: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>	<p>Souper: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>
<p>Collation du matin: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>	<p>Collation après-midi: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>	<p>Collation soirée: _____</p> <p>Quantité: _____</p> <p>Aliments: _____</p> <p>Heure: _____</p> <p>Lieu: _____</p>

Annexe 6

Exercices effectués lors des séances d'entraînement

Les 9 exercices dans l'ordre qu'ils doivent être exécutés

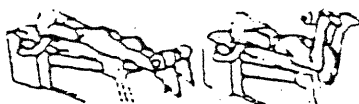
1

Leg press

Quadriceps, Ischio-jambiers, Fessiers

3 x 10 répétitions

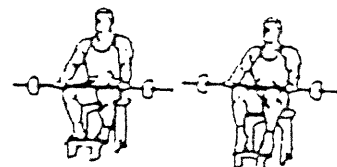
2

Leg curl

Ischio-jambiers

3 x 10 répétitions

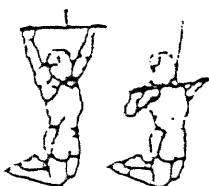
3

Seated toe raise

Jumeaux

3 x 10 répétitions

4

Front lat pull-down

Grands dorsaux, Biceps

3 x 10 répétitions

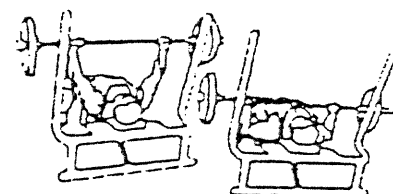
5

Seated row

Trapèzes, Rhomboïdes, Biceps, Deltoïdes post.

3 x 10 répétitions

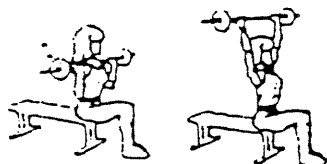
6

Bench press

Pectoraux, Triceps

3 x 10 répétitions

7

Seated military press

Deltoïdes, Triceps, Trapèzes supérieurs

3 x 10 répétitions

8

Hyperextension

Lombaires, Fessiers

3 x maximum

9

Crunch

Abdominaux supérieurs

3 x maximum

Annexe 7

Le paramètre des répétitions

LE PARAMÈTRE DES RÉPÉTITIONS

(nombre d'exécutions dans une série)

Répétitions Maxiales (R.M.) : C'est le nombre maximal de répétitions dans une série pour une charge spécifique.
(Ex. : Une charge qui permet un maximum de 4 répétitions est appelée 4 R.M.)

1-20 R.M. => FORCE

1-12 R.M. => FORCE ABSOLUE

1-5 R.M. => FORCE RELATIVE
(Par activation neurale)

6-12 R. M. => HYPERTROPHIE
(Augmentation du volume musculaire)

13-20 R. M. => FORCE-ENDURANCE

+ 20 répétitions => ENDURANCE

RELATION ENTRE : R.M / % DU MAXIMUM / EFFET DE L'ENTRAÎNEMENT

R.M.	% DU MAXIMUM	EFFET DE L'ENTRAÎNEMENT
1	100.0	FORCE MAXIMALE (ACTIVATION DES UNITÉS MOTRICES)
2	94.3	
3	90.6	
4	88.1	
5	85.6	
6	83.1	COMPROMIS OPTIMAL ENTRE LES GAINS EN FORCE ET EN HYPERTROPHIE.
7	80.7	
8	78.6	
9	76.5	MEILLEURS GAINS EN HYPERTROPHIE, AMENANT DES GAINS EN FORCE MAXIMALE
10	74.4	
11	72.3	
12	70.3	
13	68.8	FORCE-ENDURANCE
14	67.5	
15	66.2	
16	65.0	
17	63.8	
18	62.7	
19	61.6	
20	60.6	

Annexe 8

Calcul du pourcentage de gras et de masse maigre

Nom du sujet		
Taille (cm)	Méthode d'Allen	
Poids (kg)	Sites des plis	plis(mm)
Surface (m exp2)	Omoplate	
	Triceps	
	Joue	
	Côtes	
	Hanche	
	Mollet	
	Genou	
	Menton	
	Poitrine	
	Abdomen	
	Σ des plis	

Date:

Heure

Selon Allen et coll. tel que modifié par Zwirren et coll.:

$$\text{Tissu adipeux (kg)} = \text{Poids (kg)} \times \sqrt{\frac{\left(\frac{\Sigma \text{ plis} - 40}{20} \right) \times \text{surface corporelle} \times 0.739}{\text{Poids (kg)}}} - 0,003$$

Tissu adipeux (kg):

Graisse (kg) = 0.7 x tissu adipeux (kg) =

% Graisse = $\frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}}$ =

% Tissu adipeux = $\frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}}$ =

Masse maigre (kg) = poids (kg) - graisse (kg) =

Densité = $4.95 / [(\% \text{ de graisse}/100) + 4.5]$ =

Annexe 9

Valeurs détaillées des analyses sanguines

Résultats des paramètres biochimiques sanguins marqueurs de l'anabolisme au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement

Paramètres biochimiques	Boissons	Pré-entraînement (T1)		Post-entraînement (T2)			
		t0	t1	t0	t1	t2	
Glucose (mmol/L)	CHO-PRO	4,9 ± 0,4	4,7 ± 0,3	4,9 ± 1,1	5,1 ± 0,4	4,8 ± 0,5	4,6 ± 0,8
	CHO-PRO™	5,4 ± 0,3	4,9 ± 0,7	5,6 ± 1,7	5,4 ± 0,3	4,9 ± 0,4	5,0 ± 1,9
	CHO	5,1 ± 0,4	4,5 ± 0,4	5,2 ± 1,0	5,2 ± 0,2	4,6 ± 0,4	5,2 ± 1,5
	PL	5,7 ± 0,6	4,8 ± 0,5	4,9 ± 0,5	5,4 ± 0,3	5,4 ± 0,6	5,1 ± 0,5
Insuline (pmol/L)	CHO-PRO	41,0 ± 16,0	38,3 ± 12,0	245,8 ± 151,3	53,5 ± 46,2	50,8 ± 13,4	261,0 ± 108,3
	CHO-PRO™	55,6 ± 26,9	55,6 ± 10,6	450,3 ± 150,1	44,2 ± 6,0	47,0 ± 14,8	340,6 ± 178,5
	CHO	50,9 ± 20,3	54,0 ± 17,4	232,1 ± 130,5	51,9 ± 23,2	50,9 ± 23,0	251,4 ± 184,1
	PL	61,5 ± 10,7	58,8 ± 14,1	48,1 ± 18,2	62,4 ± 31,8	71,2 ± 32,3	48,1 ± 25,5
Testosterone (nmol/L)	CHO-PRO	27,1 ± 5,6	27,4 ± 4,9	23,0 ± 5,2	24,5 ± 2,8	24,5 ± 3,0	20,0 ± 2,6
	CHO-PRO™	26,7 ± 4,0	28,6 ± 2,8	18,5 ± 0,9	28,3 ± 2,0	29,9 ± 3,5	23,0 ± 1,9
	CHO	23,1 ± 3,5	23,0 ± 2,9	19,2 ± 4,3	22,1 ± 3,6	20,8 ± 4,5	15,4 ± 4,0
	PL	20,9 ± 4,5	21,6 ± 4,5	19,7 ± 5,1	20,4 ± 6,3	21,5 ± 5,0	19,0 ± 5,2
Hormone de crois: (ug/L)	CHO-PRO	0,15 ± 0,18	5,64 ± 5,36	0,74 ± 0,81	0,16 ± 0,10	4,69 ± 4,22	0,76 ± 0,80
	CHO-PRO™	0,13 ± 0,08	4,83 ± 6,96	0,65 ± 0,74	0,07 ± 0,03	1,90 ± 1,92	0,23 ± 0,25
	CHO	0,55 ± 0,79	3,33 ± 3,00	0,52 ± 0,54	0,14 ± 0,28	4,61 ± 5,03	0,61 ± 0,64
	PL	0,25 ± 0,45	3,08 ± 6,97	1,12 ± 2,48	0,15 ± 0,18	1,85 ± 1,80	0,52 ± 0,74

t0: avant la séance d'exercice t1: immédiatement après la séance d'exercice t2: 30 min. après la prise de la boisson

Résultats des paramètres biochimiques sanguins marqueurs de l'activité physique au début (T1) et à la fin (T2) du programme d'entraînement

Paramètres biochimiques	Boissons	Pré-entraînement (T1)		Post-entraînement (T2)			
		t0	t1	t0	t1	t2	
Cortisol (nmol/L)	CHO-PRO	440,5 ± 107,1	399,1 ± 86,1	415,7 ± 76,3	414,9 ± 65,5	372,1 ± 116,8	357,1 ± 106,1
	CHO-PRO™	447,4 ± 70,9	510,5 ± 154,4	417,0 ± 124,0	446,5 ± 106,7	415,0 ± 101,4	346,0 ± 85,5
	CHO	384,2 ± 99,9	359,1 ± 83,8	372,8 ± 86,1	394,2 ± 48,2	380,6 ± 88,5	340,2 ± 99,0
	PL	397,5 ± 171,0	423,4 ± 81,7	392,3 ± 134,3	375,1 ± 178,8	372,5 ± 123,5	385,1 ± 183,1
Pyruvate (ug/L)	CHO-PRO	51,9 ± 15,8	129,8 ± 47,1	81,6 ± 27,7	86,8 ± 20,2	162,9 ± 73,0	129,5 ± 47,2
	CHO-PRO™	68,3 ± 24,9	120,3 ± 80,9	64,5 ± 15,9	78,2 ± 30,4	103,2 ± 63,7	79,8 ± 53,4
	CHO	54,5 ± 12,3	82,8 ± 40,7	91,5 ± 52,1	73,9 ± 36,8	158,0 ± 92,8	119,1 ± 59,4
	PL	68,0 ± 22,9	114,0 ± 55,2	48,6 ± 28,7	71,6 ± 19,9	198,0 ± 117,9	79,4 ± 42,5
Lactate (mmol/L)	CHO-PRO	0,79 ± 0,30	5,73 ± 3,14	2,28 ± 0,52	0,84 ± 0,23	7,46 ± 2,32	2,64 ± 0,99
	CHO-PRO™	1,15 ± 0,5	8,48 ± 2,38	2,63 ± 0,95	1,00 ± 0,63	8,26 ± 2,24	2,19 ± 0,55
	CHO	0,81 ± 0,25	5,57 ± 0,86	2,81 ± 0,42	0,84 ± 0,14	6,87 ± 2,06	2,66 ± 0,81
	PL	0,96 ± 0,45	7,42 ± 1,70	1,70 ± 0,54	0,94 ± 0,42	10,17 ± 2,95	2,10 ± 1,01

t0: avant la séance d'exercice t1: immédiatement après la séance d'exercice t2: 30 min. après la prise de la boisson