

2m11.2845.8

Université de Montréal

Supplémentation en créatine, composition corporelle
et performance anaérobie

Par

Marie-Andrée Saint-Pierre

Département de Kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en Sciences de l'activité physique

Juillet, 2000

© Marie-Andrée Saint-Pierre, 2000



GV

201

UB4

2001

v.003

Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé

Supplémentation en créatine, composition corporelle
et performance anaérobie

présenté par

Marie-Andrée Saint-Pierre

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

LEDOUX, MARIELLE

Président rapporteur

LÉGER, LUC

Directeur de recherche

POORTMANS, JACQUES

Membre du jury

Mémoire accepté le : _____

SOMMAIRE

Dans l'ensemble des études portant sur la créatine comme aide ergogénique, on note plusieurs variations au niveau des résultats. Certains chercheurs confirment l'existence d'effets significatifs de cette substance sur la performance (Kreider et al., 1998; Kamber et al., 1999; Vukovich et Michaelis, 1999; Peyrebrune et al., 1998) ainsi que sur la composition corporelle (Francaux et Poortmans, 1999; Kreider et al., 1998; Volek et al., 1999). Par contre, d'autres ne notent aucun changement, tant sur la performance (Ledford & Branch, 1999; Snow et al., 1998; Peyrebrune et al., 1998) que sur la composition corporelle (Ledford & Branch, 1999). Ces différences pourraient être dues, d'une part, à la diversité des protocoles expérimentaux utilisés et, d'autre part, à des différences inter-individuelles chez les sujets soumis aux recherches. C'est donc pour contrer en partie cette controverse, que la présente étude a tenté de vérifier les effets de la créatine à la fois sur deux types de performance anaérobie et sur la composition corporelle.

Pour ce faire, seize hommes actifs (âge : 25.9 ± 4.8 ans; poids : 75.6 ± 12.5 kg; taille : 176.4 ± 7.1 cm) ont été recrutés dans la région métropolitaine de Montréal pour une étude d'une durée totale de 28 jours. Les participants ont été répartis aléatoirement entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. Les sujets du groupe expérimental devaient ingérer de la créatine (doses: 20g/j pendant 5 jours + 5g/j pendant 23 jours) et ceux du groupe contrôle recevaient un placebo de maltodextrine, selon les mêmes conditions que le groupe expérimental. L'objectif premier de l'étude était d'évaluer les effets des suppléments de créatine sur deux types de performance, « alactique » et « lactique ». Le deuxième était d'investiguer les effets de la créatine sur des variables de la composition corporelle, soient les masses grasse et maigre, le volume d'eau intra et extracellulaire ainsi que le volume de la cuisse. Finalement, il était question de vérifier la possible existence d'une relation positive entre d'éventuels changements de performance anaérobie et de composition corporelle.

Pour atteindre l'objectif premier, le protocole « Wingate » (Inbar et al., 1996) a été adapté de deux façons afin de mieux cerner les effets sur les performances alactique et lactique. Plus précisément, la première adaptation consistait en dix séquences de 6 secondes d'effort maximal sur ergocycle, entrecoupées de 30 secondes de repos actif avec une résistance de 10% de la masse corporelle du sujet. La deuxième adaptation comprenait un effort maximal de 60 secondes sur ergocycle avec une résistance de 8% du poids corporel. Pour atteindre le deuxième objectif, les variables suivantes ont été mesurées : le poids, les masses maigre et grasse d'après les méthodes de pesée hydrostatique et de plis cutanés (Siri, 1956; Durnin & Womersley, 1974) et le volume d'eau intra et extracellulaire selon la méthode de bioimpédance à multi-fréquences (Cornish et al., 1996). De plus, des mesures anthropométriques prises selon la méthode décrite par Callaway et al. (1988) ont permis d'estimer le volume de la cuisse.

Au niveau des résultats concernant les deux types de performance, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes à l'étude. Cependant, des changements significatifs ont été remarqués au niveau de la composition corporelle. En fait, seuls les individus du groupe expérimental ont manifesté une augmentation significative de la masse corporelle, du volume d'eau intracellulaire et du volume de la cuisse. Aucun changement significatif au niveau des masses grasse et maigre, telles qu'évaluées par les méthodes de plis cutanés et de pesée hydrostatique n'a été noté chez l'ensemble des sujets testés. En conclusion, les résultats indiquent que l'ingestion de suppléments de créatine durant 28 jours provoque des changements de composition corporelle, sans amélioration apparente de la performance anaérobie. Étant donné cette confirmation, aucun lien entre des changements de performance et de composition corporelle n'a pu être étudié. D'après les résultats obtenus, il pourrait être intéressant dans un avenir prochain, d'approfondir l'étude des effets de la créatine sur des changements de masse maigre, particulièrement en ce qui a trait au développement de la structure musculaire. Par la suite, il serait pertinent d'étudier le lien entre les changements de masse maigre et ceux de performance, lorsqu'ils sont apparents.

RÉSUMÉ

L'utilisation de la créatine (Cr) comme aide ergogénique a fait l'objet de nombreuses études mais demeure controversée en raison de résultats contradictoires dus, en partie, à la variété des protocoles expérimentaux. Dans un premier temps, le but de cette étude était d'investiguer les effets de la Cr (doses: 20g/j pendant 5 jours + 5g/j pendant 23 jours) sur la performance « alactique » (dix séquences de 6s d'effort maximal sur ergocycle, séparées par 30s de repos) et la performance « lactique » (1 effort maximal de 60s sur ergocycle). Dans un second temps, il était question d'examiner les effets de la Cr sur le poids corporel, les masses maigre et grasse (pesée hydrostatique et plis cutanés), le volume d'eau intra et extracellulaire (impédance à multi-fréquences) et le volume de la cuisse (anthropométrie). Seize jeunes hommes (âge : 25.9 ± 4.8 ans; poids : 75.6 ± 12.5 kg; taille : 176.4 ± 7.1 cm) répartis également et aléatoirement en deux groupes, expérimental et contrôle, furent testés avant et après 7 et 28 jours de supplémentation. Aucun effet des suppléments ne fut observé sur les performances alactique et lactique, sur les masses maigre et grasse, ou sur le volume d'eau extracellulaire. Des changements, petits mais significatifs ($p < 0.05$), furent observés sur le poids corporel (+1.8%), sur le volume d'eau intracellulaire (+2.5%) et le volume de la cuisse (+2.7%), sur l'ensemble des 2 mesures post. Ce gain de poids pourrait être en partie expliqué par l'augmentation de l'hydratation de la cellule musculaire, phénomène qui semble pouvoir apporter des changements au niveau de la structure musculaire.

TABLE DES MATIÈRES

Page titre.....	i
Identification du jury.....	ii
Sommaire.....	iii
Résumé.....	v
Table des matières.....	vi
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	xi
Liste des sigles et abréviations.....	xii
Remerciements.....	xiii
Avant-propos.....	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS.....	2
1. INTRODUCTION.....	3
2. NOTIONS FONDAMENTALES.....	6
2.1 Synthèse et source exogène.....	6
2.2 Rôle métabolique de la créatine.....	8
2.3 Concentrations intramusculaires.....	9
3. MOTIFS DE SUPPLÉMENTATION.....	11
3.1 Sources de créatine.....	11
3.2 Entraînement et concentration de Cr _{tot} intramusculaire.....	11
3.3 Implications pratiques.....	12
4. SUPPLÉMENTATION ET CONCENTRATION INTRAMUSCULAIRE.....	13
4.1 Concentration initiale de créatine totale et degré de rétention....	14
4.1.2 <i>Le sexe et la concentration initiale de créatine totale.....</i>	<i>15</i>
4.1.3 <i>Le niveau d'entraînement et la concentration initiale de créatine totale.....</i>	<i>16</i>
4.2 Exercice et degré de rétention.....	16
4.3 Insuline, hydrates de carbone et degré de rétention.....	16

4.4	Caféine et degré de rétention.....	17
4.5	Pourcentage de rétention des doses ingérées.....	17
4.6	Limite des stocks intracellulaires.....	19
4.7	Effets prolongés des suppléments de créatine.....	19
5.	SUPPLÉMENTATION ET PERFORMANCE ANAÉROBIE.....	20
5.1	Efforts où la résistance est indépendante de la masse corporelle.....	20
	5.1.1 <i>Efforts répétés et courts</i>	20
	5.1.2 <i>Efforts répétés de 20 à 30 secondes</i>	21
	5.1.3 <i>Effort unique de 10, 20 et 30 secondes</i>	25
	5.1.4 <i>Effort unique précédé d'une période d'épuisement</i>	25
	5.1.5 <i>Effort unique de 60 à ~212 secondes</i>	26
5.2	Efforts où la résistance dépend de la masse corporelle.....	29
	5.2.1 <i>Efforts de nage et de course</i>	29
5.3	Effets sur la resynthèse et la dégradation de la PC.....	31
6.	FACTEURS CAUSANT DES VARIATIONS DANS LES RÉSULTATS.....	34
6.1	Variations interindividuelles sur la concentration initiale de Cr _{tot}	34
6.2	Niveau initial d'entraînement.....	35
6.3	Sexe des sujets à l'étude.....	36
6.4	Nombre de sujets à l'étude.....	37
6.5	Absence de groupe placebo.....	37
6.6	Chevauchement des effets prolongés de la créatine dans les schémas expérimentaux croisés.....	37
7.	SUPPLÉMENTATION ET COMPOSITION CORPORELLE ...	38
7.1	Effets sur la masse corporelle.....	38
7.2	Effets sur la masse maigre.....	39
7.3	Effets potentiels sur le développement musculaire.....	48
8.	CONCLUSION.....	51
	RÉFÉRENCES.....	54
	PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.....	63
	INTRODUCTION.....	64
	METHODOLOGY.....	65
	Subject characteristics.....	65
	Groups randomisation: experimental and placebo.....	66
	Experimental supplementation.....	66
	Experimental design.....	67

Dependant variables and methods.....	68
1- Anaerobic alactic and anaerobic lactic exercise protocols.....	68
2- Anthropometric measures.....	69
3- Skinfolds.....	70
4- Hydrostatic weighing.....	70
5- Multi-frequency bioimpedance.....	70
Statistical analyses.....	71
RESULTS.....	71
Anaerobic performance.....	71
Anaerobic alactic (10x6s).....	71
Anaerobic lactic (1x60s).....	72
Body composition.....	73
Body weight, LBM, sum of skinfolds, body fat percentage.....	73
Body water and lean thigh volume.....	73
DISCUSSION.....	79
Performance.....	79
Statistical limitations.....	79
Experimental protocol biases.....	80
Training rate.....	81
Nature of tests.....	82
Individual differences.....	83
Body composition.....	84
Body weight.....	84
Fat weight and lean body mass.....	84
Body water.....	85
Thigh volume and muscle growth.....	85
CONCLUSION.....	87
REFERENCES.....	88
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	94
ANNEXE I : Certificat d'Éthique.....	xv
ANNEXE II : Certificat d'analyse de pureté des suppléments de créatine utilisés.....	xvi
ANNEXE III : Documents remis aux participants.....	xvii

LISTE DES TABLEAUX

Partie I

Tableau 1 :	Quantité de Cr retrouvée dans certains aliments non-cuits.....	8
Tableau 2 :	Facteurs ayant un effet sur le degré de rétention de la créatine.....	14
Tableau 3 :	Études ayant démontré une augmentation de performance lors de sprints répétés de très courte durée ($\leq 15s$).....	22
Tableau 3 (Suite) :	Études n'ayant démontré aucune augmentation de performance lors de sprints répétés de très courte durée ($\leq 15s$).....	23
Tableau 4 :	Résultats de performance lors de sprints répétés de 20 à 30 secondes.....	24
Tableau 5 :	Résultats de performance lors de sprint unique de courte durée (10 à 30 secondes).....	27
Tableau 6 :	Résultats de performance lors de sprint unique et de sprints répétés de 60 à ~212 secondes.....	28
Tableau 7 :	Résultats de performance lors de sprints de durées progressivement augmentées.....	30
Tableau 8 :	Pourcentages d'augmentation de performance observés et nombre d'études ayant démontré des gains de performance sur des efforts anaérobies de différentes durées (en rapport au total des études rapportées).....	31
Tableau 9 :	Facteurs causant des variations dans les résultats de performances.....	35
Tableau 10 :	Études ayant démontré une augmentation significative de la masse corporelle.....	40
Tableau 11 :	Études ayant démontré des changements non-significatifs de la masse corporelle.....	42
Tableau 12 :	Études ayant démontré une augmentation significative de la masse maigre.....	43

Tableau 13 : Études ayant démontré des changements non-significatifs de la masse maigre.....	44
---	----

Partie II

Table 1 : Study time frame with experimental periods and measured variables.....	67
Table 2 : Anaerobic alactic (10 x 6s) performance results.....	72
Table 3 : Anaerobic lactic (1 x 60s) performance results.....	72
Table 4 : Body composition results.....	74

LISTE DES FIGURES

Partie I

Figure 1 :	Biosynthèse de la créatine.....	7
Figure 2 :	Navette de phosphorylcréatine.....	10
Figure 3:	Rétention de la créatine absorbée en fonction de la durée et du dosage utilisés.....	18
Figure 4 :	Les divers systèmes d'énergie et leur prédominance lors d'efforts de différentes durées.....	20

Partie II

Figure 1:	Body weight (Mean \pm SD) change across time for Pl and Cr groups.....	75
Figure 2:	Intracellular water (Mean \pm SD) change across time for Pl and Cr groups.....	76
Figure 3:	Lean thigh volume (Mean \pm SD) change across time for Pl and Cr groups.....	77
Figure 4.	Correlations between the delta change of the three significant variables.....	78

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Partie I

↑	augmentation
♀	sujet féminin
ADP	adénoside disphosphate
AMP	adénoside monophosphate
ATP	adénoside triphosphate
BIA	impédance bioélectrique
CK	créatine kinase
Cr	créatine
Cr _m	créatinine
Cr _{tot}	créatine totale
DEXA	rayons-x (dual energy x-ray absorptiometer)
MFBI	impédance bioélectrique à multi fréquence
PC	phosphorylcréatine
RMN	résonance magnétique nucléaire
VEE	volume d'eau extracellulaire
VEI	volume d'eau intracellulaire
VET	volume d'eau total

Partie II

ADP	adénoside disphosphate
ATP	adénoside triphosphate
BIA	impédance bioélectrique
Cr	créatine
DEXA	rayons-x (dual energy x-ray absorptiometer)
ECW	eau extracellulaire
ICW	eau intracellulaire
LBM	lean body mass
MFBI	impédance bioélectrique à multi-fréquence
MPO	puissance moyenne
MRI	résonance magnétique nucléaire (magnetic resonance imaging)
PCr	phosphorylcréatine
PPO	puissance maximale
PI	placebo
TBW	volume d'eau total
TCr	créatine totale

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord remercier *Manuel Moniz* et *Martin Allard* chez « Pro Circuit High Tech Nutrition Inc. », pour m'avoir fourni les suppléments de créatine et de maltodextrine, ce qui m'a permis de réaliser ce projet et de le mener avec confiance.

Mes remerciements à mon directeur *Luc Léger* vont au delà du partage de ses connaissances et compétences scientifiques bien reconnues. Je tiens à mentionner mon appréciation de sa joie de vivre, de ses histoires de voyages qui donnent envie de partir à l'aventure et, bien entendu, de ses nombreuses, nombreuses taquineries...

J'aimerais remercier : *Manon Simard*, pour la poudre « Allsport », qui s'est avérée fort utile et a assuré un traitement à double-aveugle; *Paul, Gérard* et *Pierre*, du « 6^e », pour m'avoir secourue à maintes reprises, avec les équipements et « badluck », durant mes expérimentations; *Mathieu, Martin* et *Vicky* pour leur assistance indispensable durant l'administration des tests; les *participants*, pour s'être prêtés à ce « jeu » avec intérêt et assiduité; *Chantal*, pour ses suggestions, ses conseils, son aide, sa coopération, sa contribution... (est-ce tout ?)

Merci à *Christiane*, pour les nombreux « pep talk » qui m'ont permis de persévérer en préservant ma santé mentale; *Louise, Denise* et *Gaëtan*, pour les révisions de français et la longue « commandite »; mes correctrices d'anglais et amies, *Marie-Hélène* et *Elisabeth*, merci, merci encore!; *Marc* pour son appui, sa patience et son humour malicieux; *Matis* et *Claudèle*, parce que je les adore et qu'ils me rappellent de faire autre chose que travailler.

Chi va piano, va sano

Chi va sano, va lontano

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce mémoire porte sur les effets de la consommation de suppléments de créatine, substance actuellement utilisée comme aide ergogénique dans diverses activités physiques et sportives.

La première partie consiste en une revue critique de la littérature. Elle couvre les notions fondamentales reliées aux motifs de supplémentation en créatine, et comprend trois thèmes principaux : les effets des suppléments sur la concentration intramusculaire de créatine totale, les effets sur la performance anaérobie et les effets sur la composition corporelle. Cette revue tentera de mettre en lumière les nombreuses controverses et problématiques associées à l'utilisation de ces suppléments, du moins celles que l'on trouve dans le cadre de recherches scientifiques appliquées.

La deuxième partie présente l'étude expérimentale et est rédigée sous forme d'un article en langue anglaise, en prévision d'une publication dans la revue « *International Journal of Sport Nutrition* ». Attendu que les controverses et problématiques sont particulièrement suscitées par la diversité des protocoles expérimentaux et par les réactions inter-individuelles variables, le but de cette étude était d'utiliser une méthodologie semblable à celle retrouvée dans la littérature, mais de l'appliquer aux mêmes sujets, en vue de vérifier les effets des suppléments de créatine sur les performances anaérobies « alactique » et « lactique » ainsi que sur des éléments de composition corporelle. De plus, cette étude souhaitait investiguer une relation potentielle entre les changements éventuels de performance et ceux de composition corporelle.

PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS

1. INTRODUCTION

L'utilisation de la créatine comme aide ergogénique a fait l'objet de nombreuses études mais demeure controversée en raison de résultats contradictoires ou des effets recherchés par son ingestion. Par exemple, la créatine est utilisée pour contrer la fatigue, puisque la fatigue musculaire, lors d'efforts anaérobies, est entre autres associée à une diminution des réserves de phosphorylcréatine (PC) (Hultman et al., 1988; Spriet et al., 1987), à une accumulation de lactate et à la chute du pH (Jones et al., 1985; Nevill et al., 1996). Il devient alors intéressant d'altérer les réserves intramusculaires de Cr_{tot} , surtout sous forme phosphorylée, par l'ingestion de doses surpassant largement la production et la consommation naturelles. Théoriquement, ceci devrait permettre une optimisation du système d'énergie ATP-PC et par conséquent, améliorer la performance de type anaérobie.

Plusieurs recherches ont en effet démontré une augmentation significative de 16 à 20% des réserves de Cr_{tot} suite à l'ingestion de 20 à 30 grammes de Cr par jour pendant 2 à 6 jours (Harris et al., 1992; Balsom et al., 1995; Casey et al., 1996; Hultman et al., 1996; Green et al., 1996a; Febbraio et al., 1995). De plus, il semble que l'augmentation de Cr_{tot} est principalement expliquée par l'augmentation de la Cr libre (Balsom et al., 1995; Snow et al., 1998; Hultman et al., 1996; Odland et al., 1997; Lemon et al., 1995; Thompson et al., 1996), malgré que certains résultats aient démontré également des augmentations significatives de PC (Vandenberghe et al., 1999; Peeters et al., 1999), tandis que d'autres résultats démontrent des augmentations de la Cr ainsi que de la PC (Casey et al., 1996; Harris et al., 1992; Vandenberghe et al., 1996; Green et al., 1996a).

D'autre part et suivant l'hypothèse initiale, plusieurs recherches ont tenté de démontrer des effets d'une supplémentation en créatine sur la performance anaérobie chez des individus sédentaires et actifs. Des gains de performance ont été observés durant des efforts très courts (moins de 15s), intenses et répétés, entrecoupés de 24 à 30 secondes de repos (Balsom et al., 1993a; Kreider et al., 1998; Dawson et al., 1995;

Kamber et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999) et au cours de périodes répétées de 20 à 30 secondes, avec temps de repos variés (Grindstaff et al., 1997; Casey et al., 1996; Birch et al., 1994; Earnest et al., 1995; Peyrebrune et al., 1998).

Cependant, d'autres études ne démontrent pas d'amélioration de la performance lors d'efforts répétés semblables ($\leq 15s$), entrecoupés de périodes de repos variant de 30 secondes à 20 minutes (Barnett et al., 1996; Redondo et al., 1996; Cooke et al., 1995; Burke et al., 1996; Ledford & Branch, 1999) ou encore lors d'efforts maximaux uniques de 10 secondes (Dawson et al., 1995), d'environ 20 secondes (Snow et al., 1998; Peyrebrune et al., 1998) et de 30 secondes (Odland et al., 1997).

Paradoxalement, des gains ont été remarqués durant des performances principalement limitées par le système anaérobie lactique, lors d'effort unique de course (Bosco et al., 1997; Jacobs et al., 1997) et d'aviron (Rossiter et al., 1996) de durée variant entre ~ 60 et ~ 210 secondes, malgré que d'autres résultats ne montrent aucune amélioration (Terrillion et al., 1997). D'autre part, aucune amélioration de performance n'a été observée au cours de trois sprints consécutifs de nage favorisant, de façon successive, les systèmes anaérobie alactique et lactique (Burke et al., 1996; Mujika et al., 1996).

Sur un autre plan, il a été suggéré que la supplémentation de créatine puisse jouer un rôle anabolisant. Ainsi, de nombreuses études rapportent une augmentation moyenne de la masse corporelle de 1,5 kg suite à l'ingestion quotidienne de 20 à 30 grammes de Cr après seulement trois à six jours (Balsom et al., 1995; Balsom et al., 1993a & 1993b; Cooke & Barnes, 1997; Dawson et al., 1995; Green et al., 1996a & 1996b; Greenhaff et al., 1994; Jacobs et al., 1997; Kamber et al., 1999; Lemon et al., 1995; Mujika et al., 1996; Snow et al., 1998; Stroud et al., 1994; Volek et al., 1997), et également suite à de plus longues périodes d'ingestion, à dosages variés (Earnest et al., 1995; Becque et al., 1997; Francaux & Poortmans, 1999; Kreider et al., 1998; Kreider et al., 1996; Peeters et al., 1999; Volek et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999). Toutefois, selon d'autres résultats, l'ingestion de Cr n'aurait pas d'effet significatif sur la masse corporelle (Barnett et al., 1996; Dawson et al., 1995;

Grindstaff et al., 1997; Hamilton-Ward et al., 1997; Ledford & Branch, 1999; Redondo et al., 1996; Terrillion et al., 1997; Vandenberghe et al., 1996; Vandenberghe et al., 1997).

Malgré ces études, les informations quant aux changements de la composition corporelle sont moins nombreuses et difficiles à résumer, à cause de la variété des méthodes utilisées. Quelques chercheurs ont observé une augmentation significative de la masse maigre (Becque et al., 1997; Kirksey et al., 1997; Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998; Peeters et al., 1999; Stout et al., 1997; Vandenberghe et al., 1997; Volek et al., 1999; Volek et al., 1997; Vukovich & Michaelis, 1999). D'autres résultats n'indiquent cependant aucune augmentation de cette masse (Earnest et al., 1995; Stout et al., 1997; Thompson et al., 1996; Grindstaff et al., 1997). Le gain de masse corporelle pourrait vraisemblablement être dû à une augmentation du volume d'eau intracellulaire ou total. Cette hypothèse est confirmée par certains résultats (Ziegenfuss et al., 1998; Francaux & Poortmans, 1999; Hultman et al., 1996), mais non par d'autres (Grindstaff et al., 1997; Kreider et al., 1996 & 1998) et il est fort probable que ces divergences proviennent du manque de sensibilité de certaines méthodes utilisées. De plus, certains résultats révèlent un pourcentage d'eau relativement constant (Francaux & Poortmans, 1999), ce qui incite à croire que la masse maigre augmente mais que les méthodes d'évaluation ne sont peut-être pas assez sensibles pour détecter de petits changements ou encore que ces changements varient trop d'un individu à l'autre.

Cette revue tentera de mettre en lumière les nombreux facteurs pouvant expliquer les variations dans les résultats, que ce soit sur les changements de Cr intramusculaires, de performance ou de composition corporelle. Toutefois, avant de parler de supplémentation de Cr, il apparaît important de couvrir certaines notions fondamentales afin de mieux comprendre les origines de ce phénomène ainsi que d'apprécier les enjeux amenés par les différences individuelles. Les notions couvertes sont la synthèse endogène et les sources exogènes de créatine, le rôle métabolique de la créatine et les concentrations intramusculaires de créatine.

2. NOTIONS FONDAMENTALES

2.1 Synthèse et source exogène

La créatine (Cr), ou acide guanidoacétique méthylé est une substance essentielle à plusieurs fonctions biochimiques. L'organisme peut la synthétiser mais sa synthèse est un processus relativement complexe puisque la majorité des tissus ne possèdent pas les enzymes essentielles aux nombreuses réactions nécessaires à sa formation complète (Wyss & Wallimann, 1994).

La synthèse de la Cr se fait en deux étapes et nécessite trois acides aminés : la glycine, l'arginine et la méthionine. Dans un premier temps, l'enzyme arginine-glycine transamidinase catalyse le transfert d'un groupement guanidino de l'arginine à la glycine dans le rein (transamidination), ce qui produit l'ornithine et l'acide guanidoacétique. La méthylation de l'acide guanidoacétique par l'enzyme guanidoacétate méthyltransférase (transméthylation) dans le foie complète la synthèse de la Cr (Wyss & Wallimann, 1994; Murray, et al., 1995).

Une fois synthétisée, la Cr est transportée par le sang aux tissus à haute demande énergétique (Wallimann et al., 1992), phénomène toujours relativement mal expliqué. Fitch et al. (1968) ont suggéré qu'un mécanisme de transport actif permet à la Cr de pénétrer dans la cellule de divers tissus. Cette hypothèse est soutenue par Wyss & Wallimann (1994) qui suggèrent que la rétention de Cr se fasse en raison d'une différence de potentiel électrochimique des concentrations intra- et extracellulaires de sodium. De plus, il apparaît que la rétention de Cr dans la cellule augmenterait légèrement en présence d'insuline (Haughland & Chang, 1975).

La quantité de créatine produite quotidiennement peut être estimée à partir de son rapport d'équilibre avec le sous-produit de sa dégradation, la créatinine (Crn). La transformation de Cr en Crn est irréversible et survient de façon non-enzymatique.

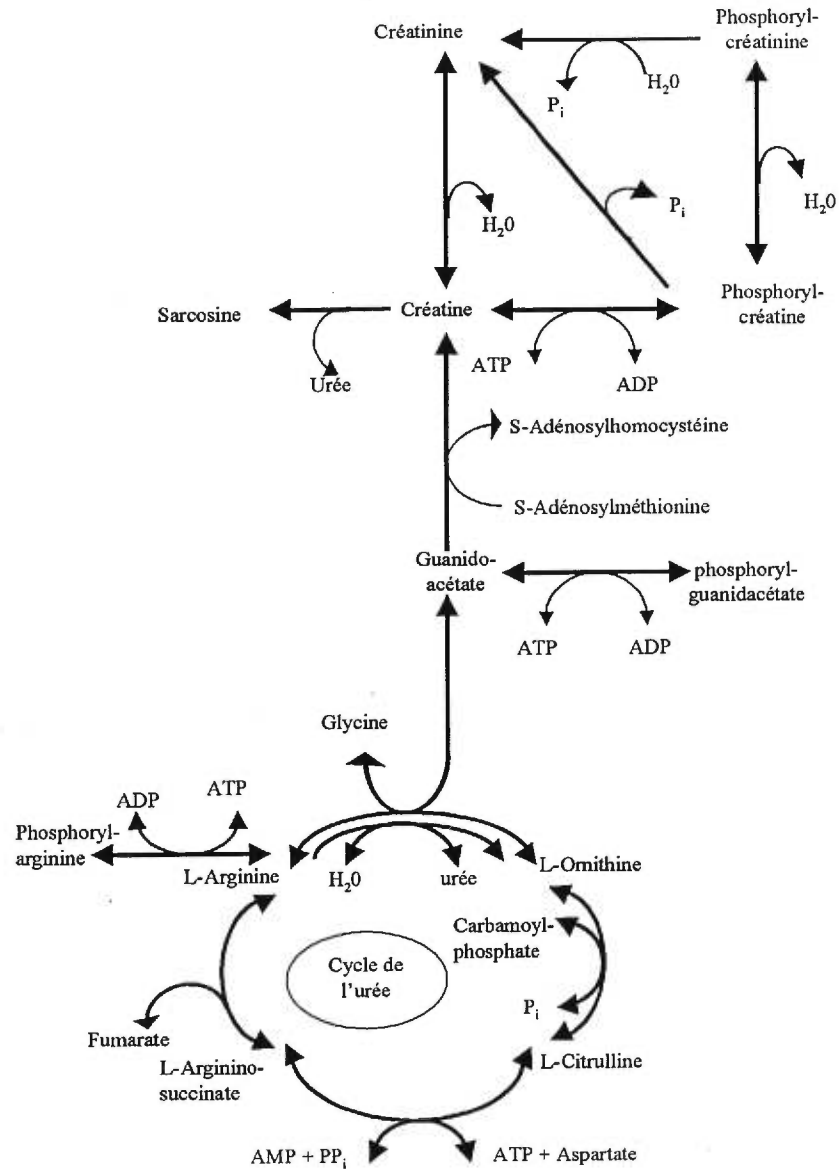


Figure 1: Biosynthèse de la créatine.
Adaptée de : Wyss & Wallimann, 1994.

Chez l'humain, lorsqu'il y a absence de créatine dans l'alimentation, la production journalière de créatinine est évaluée entre 1.5 et 2% de la quantité totale de créatine (Cr_{tot}) emmagasinée (Crim et al., 1975). Chez un homme "moyen" de 70 kilogrammes dont la quantité totale de créatine emmagasinée est d'environ 120 grammes, ceci représente approximativement 2 grammes de Cr convertie en Crn

quotidiennement. Par conséquent, cette Cr doit être remplacée de façon endogène ou exogène (Wyss & Wallimann, 1994).

Puisque la principale provenance de Cr exogène est de source animale (viande, poisson et autres produits animaliers, voir Tableau 1) (Balsom et al., 1994; Juhn & Tarnopolsky, 1998), on estime qu'un individu ayant un régime alimentaire équilibré consomme en moyenne 1 gramme de Cr quotidiennement (Harris et al., 1992; Balsom et al., 1994). Par conséquent, l'apport en Cr à un régime végétarien dépend largement de la synthèse quotidienne. Une étude menée par Delanghe et al. (1989) démontre d'ailleurs que l'absence de Cr exogène au régime des végétariens entraîne des concentrations de Cr totales intramusculaires moins élevées, comparativement aux omnivores. Un mécanisme de rétroaction serait vraisemblablement responsable de l'augmentation de la biosynthèse de Cr lorsque sa consommation est faible (Balsom et al., 1994).

Tableau 1 : Quantité de Cr retrouvée dans certains aliments non-cuits*.

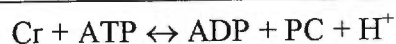
Aliment	Cr (g/kg de poids sec)
Hareng	6.5-10
Porc	5.0
Boeuf	4.5
Saumon	4.5
Thon	4.0
Morue	3.0
Carrelet	2.0
Lait	0.1
Canneberges	0.02
Crevettes	traces

*On sait qu'une partie de la Cr se dégrade durant la cuisson.
Adapté de : Balsom et al., 1994; Juhn & Tarnopolsky, 1998.

2.2 Rôle métabolique de la créatine

La presque totalité de la Cr (95%) est emmagasinée, chez l'humain comme chez l'animal, dans les muscles. Le reste (5%) se retrouve dans d'autres tissus, tels le

cœur, le cerveau, les testicules et les cellules photo-réceptrices de la rétine (Wyss & Wallimann, 1994; Balsom et al., 1994). D'autre part, dans le muscle, environ 40% de la Cr_{tot} est stocké sous forme de Cr libre et le reste l'est sous forme phosphorylée, la phosphorylcréatine (PC) (Harris et al., 1974). La PC est un composé à haute teneur en phosphate stocké temporairement et qui a comme principales fonctions de maintenir les réserves d'ATP élevées et de prévenir leur rapide réduction. Afin de produire de l'ATP, la PC transfère son groupe phosphate à l'ADP, réaction catalysée par l'enzyme créatine kinase (CK).



Par contre, lorsque la concentration d'ATP est maximale, la réaction inverse se produit, de façon à favoriser la régénération de PC pour réapprovisionner substantiellement les réserves de phosphate intramusculaire (Martin et al., 1985).

Grâce à cette réaction, ainsi qu'au niveau élevé d'activité de l'enzyme CK, l'ATP est générée rapidement par dégradation de la PC dès le début de l'effort anaérobie. Ce système joue un rôle dominant bien que restreint, étant donné les quantités limitées de PC, dans la production énergétique pendant les deux à trois premières secondes d'effort maximal (Houston, 1995; Spriet, 1995). Par conséquent, lorsque l'effort anaérobie se prolonge, le principal moyen de rephosphoryler l'ADP est la glycolyse. Cependant, la durée utile de ce système est également limitée, la formation d'acide lactique étant concomitante à un état de fatigue intense.

2.3 Concentrations intramusculaires

La concentration intramusculaire moyenne de Cr_{tot} dans le muscle mixte est de 124.4 ± 11.2 mmol/kg de poids sec, dont 49.0 ± 7.6 mmol/kg sous forme de Cr, et 75.5 ± 7.6 mmol/kg sous forme de PC (Harris et al., 1974). De plus, puisque la concentration de PC est bien corrélée avec la capacité glycolitique de la fibre musculaire, le muscle de type I contient moins de PC que le muscle de type II.

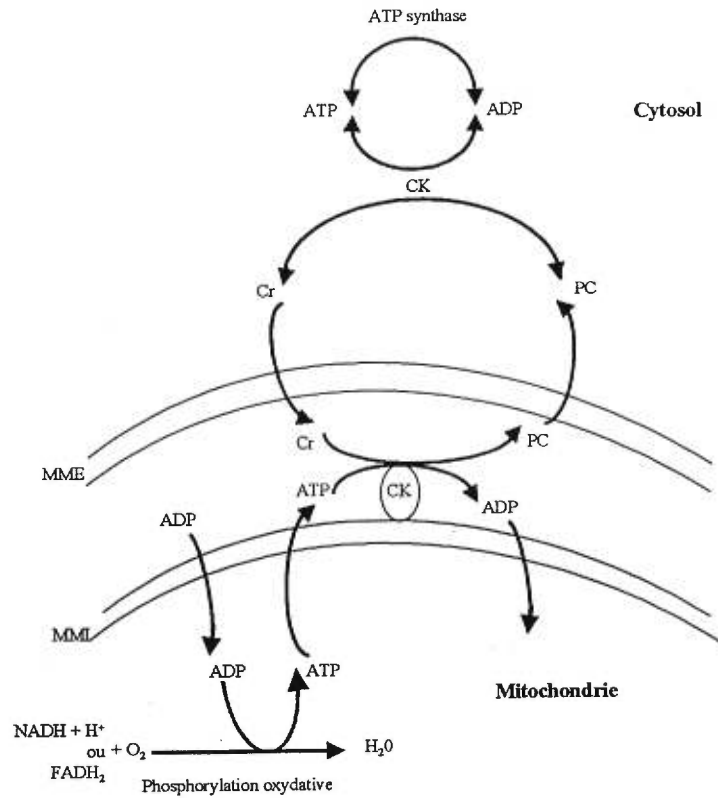


Figure 2: Navette de phosphorylcréatine.
(MME: Membrane mitochondriale externe; MMI: Membrane mitochondriale interne). Adaptée de: Juhn & Tamopolsky, 1998.

D'après Spriet (1995), la concentration de PC serait de 5 à 15% plus élevée dans le muscle de type II.

Malgré qu'il existe peu d'information sur les différences entre les sexes, les résultats de Forsberg et al. (1991) démontrent une concentration de Cr_{tot} intramusculaire légèrement plus élevée chez les femmes que chez les hommes.

3. MOTIFS DE SUPPLÉMENTATION

Puisque la fatigue musculaire lors d'efforts anaérobies est, entre autres, causée par la diminution des réserves de PC (Hultman et al., 1988; Spriet et al., 1987) et par l'accumulation de lactate (Jones et al., 1985; Nevill et al., 1996), il devient intéressant d'accroître l'efficacité du système anaérobie-alactique en augmentant la quantité totale de Cr, surtout sous forme phosphorylée. Il est aussi possible que l'augmentation des réserves de Cr_{tot} retarde la chute du pH et diminue ainsi le problème d'acidité (Greenhaff et al., 1993; Terrillion et al., 1997).

3.1 Sources de créatine

Auparavant, on connaissait peu de moyens d'altérer substantiellement les réserves intramusculaires de créatine totale. D'une part, la synthèse naturelle ne produit que la petite quantité nécessaire aux fonctions physiologiques de base. D'autre part, dans un régime alimentaire "normal", la quantité de Cr ingérée est plutôt limitée et il faudrait apporter des modifications excessives à l'alimentation pour modifier de façon significative les stocks de créatine intramusculaire. On estime qu'il faut environ 1,1 kilogramme de viande crue pour obtenir l'équivalent d'une dose de 5 g de Cr en poudre (Harris et al., 1992). Même si cette quantité pouvait être ingérée, elle occasionnerait un surplus important de protéines, de matières grasses et de calories.

3.2 Entraînement et concentration de Cr_{tot} intramusculaire

Par définition, l'entraînement anaérobie qui induit l'hypertrophie musculaire devrait provoquer une augmentation de la quantité absolue de Cr_{tot} intramusculaire. Pour ce qui est des concentrations de Cr et de PC cependant, et bien que les études à ce sujet soient peu nombreuses, il semble que celles-ci restent essentiellement inchangées par l'entraînement, indépendamment du type d'entraînement (Balsom et al., 1994; Saltin, 1988).

Par exemple, les résultats de Linossier et al. (1993) ne démontrent aucun changement des réserves de Cr_{tot} et de PC chez leurs sujets, malgré un entraînement intensif de 7 semaines en sprints répétés de 5 secondes sur ergocycle et malgré une augmentation significative d'environ 1 kilogramme de masse corporelle. Des résultats similaires ont été obtenus par Houston & Thomson (1977), qui n'ont observé aucune augmentation des réserves de PC suite à 6 semaines d'entraînement anaérobie de course d'intensité très élevée. Par ailleurs, dans cette étude, un déclin significatif du poids corporel et de la masse grasse a été observé. Toutefois, les résultats de MacDougall et al. (1977) démontrent une augmentation significative d'environ 5% de la quantité de PC intramusculaire suite à un programme de musculation d'une durée de cinq mois, ce qui est tout de même un pourcentage d'augmentation relativement modeste.

3.3 Implications pratiques

Les recherches sur la supplémentation en Cr ne sont pas récentes, mais ce n'est que depuis quelques années que les chercheurs s'intéressent plus particulièrement à la possibilité d'altérer les réserves intramusculaires de Cr_{tot} (PC et/ou Cr) par l'ingestion de doses surpassant largement la production et la consommation naturelle de Cr. D'une part, on présume que la Cr supplémentaire ingérée peut être stockée dans la cellule musculaire, ce qui augmenterait de façon substantielle les concentrations initiales de Cr et de PC. La seconde hypothèse est que cet excès peut accroître l'efficacité, voir optimaliser le système d'énergie ATP-PC, et ainsi améliorer la performance de type anaérobie.

4. SUPPLÉMENTATION ET CONCENTRATION INTRAMUSCULAIRE

Plusieurs études ont démontré une augmentation de la concentration de Cr_{tot} suite à l'ingestion de suppléments de Cr. Ces études ont indiqué qu'une quantité de 20 à 30 grammes par jour pendant deux à six jours pouvait entraîner une hausse significative de la concentration de Cr_{tot} initiale allant de 10% (Snow et al., 1998) à 16-20% (Balsom et al., 1995; Casey et al., 1996; Harris et al., 1992; Hultman et al., 1996; Green et al., 1996a; Febbraio et al., 1995). De plus, les résultats de Kreis et al. (1999) ont démontré des écarts de rétention dans différents muscles, puisqu'une augmentation de Cr_{tot} de 18% a été observée dans le quadriceps (grand droit) alors que dans le muscle jambier antérieur, l'augmentation n'était que de 9.6%.

Il serait important de souligner l'étude de Hultman et al. (1996) qui a démontré qu'une dose aussi petite que 3 grammes administrée quotidiennement pendant 28 jours suffisait pour augmenter significativement les réserves de Cr_{tot} d'environ 20%, ce qui est comparable aux augmentations observées lorsque l'ingestion était de 20 grammes par jour pendant une courte période de 6 jours. De plus, les auteurs soulignent qu'après une période typique d'ingestion de Cr, soit de 20g par jour pendant 6 jours, l'ingestion quotidienne de seulement 2 grammes était suffisante pour conserver les gains initiaux de la concentration de Cr_{tot} .

Lorsque l'on considère les effets de la supplémentation de Cr sur les concentrations de Cr et de PC séparément, on observe beaucoup plus de variation dans les résultats, malgré que la majorité note des changements uniquement sur la Cr. L'augmentation des réserves de Cr_{tot} semble donc être principalement due à l'augmentation de la Cr intramusculaire, puisqu'aucun changement de la PC n'est apparent (Balsom et al., 1995; Snow et al., 1998; Hultman et al., 1996). Des résultats similaires sur la concentration de PC exprimée en relation avec l'ATP (ratio PC/ATP) ne démontrent également aucune augmentation, suite à 3 et 5 jours d'ingestion de doses élevées de Cr (Odland et al., 1997; Lemon et al., 1995) ou suite à 6 semaines d'ingestion de seulement 2g de Cr, chez des sujets féminins (Thompson et al., 1996).

Toutefois, Vandenberghe et al. (1999) ont observé une augmentation de la PC de 16% après l'ingestion de suppléments et des résultats similaires obtenus par Peeters et al. (1999) démontrent une augmentation de 23.9% du ratio PC/ATP. D'autres résultats indiquent également des augmentations significatives de la Cr ainsi que de la PC, le pourcentage d'augmentation de la PC variant entre 4 et 10% (Casey et al., 1996; Green et al., 1996a; Harris et al., 1992; Vandenberghe et al., 1996). Les facteurs susceptibles d'expliquer de telles différences ont été évoqués.

4.1 Concentration initiale de créatine totale et degré de rétention

On remarque une variation individuelle importante des changements de concentration de Cr_{tot} lorsque des suppléments de Cr sont ingérés. Casey et al. (1996) ont noté une variation dans la rétention de Cr_{tot} dans le muscle mixte de 6.4 à 37.8 mmol/kg de poids sec. Il semblerait que cette variation s'explique principalement par la concentration initiale de Cr_{tot} , où les gains les plus considérables sont observés chez les individus ayant un niveau initial de Cr_{tot} plus bas. En effet, Harris et al. (1992), qui ont évalué les effets de doses et de durée d'ingestion très variées, expliquent que les différences de rétention de Cr_{tot} intramusculaire sont davantage fonction des stocks initiaux que de la dose ou de la durée d'ingestion du supplément.

Tableau 2 : Facteurs ayant un effet sur le degré de rétention de la créatine.

Facteurs	Effet sur la rétention	Référence
<ul style="list-style-type: none"> • Concentration initiale : <ul style="list-style-type: none"> - Plus basse - Plus élevée 	Favorisée Défavorisée	Greenhaff et al. (1994); Harris et al. (1992); Kreis et al. (1999); Rossiter et al. (1996)
• Exercice	Favorisée	Harris et al. (1992)
• Glucose	Favorisée seulement à dose élevée	Green et al. (1996a)
• Insuline sanguin	Favorisée seulement à concentration élevée	Steenge et al. (1998)
• Caféine	Aucune différence	Vandenberghe et al. (1996)

Ces auteurs notent également, chez les sujets avec les plus basses concentrations initiales de Cr_{tot} , une augmentation de près de 50% de la concentration de Cr_{tot} ou une concentration finale qui atteint la limite supérieure de concentration de Cr_{tot} , celle-ci étant environ de 155 à 160 mmol/kg de poids sec (Harris et al, 1992; Balsom et al., 1994; Casey et al, 1996; Greenhaff et al., 1994). Greenhaff et al. (1994) ont divisé les sujets en deux catégories, « les répondants » et les « non-répondants » afin d'expliquer ce phénomène. Chez les individus du premier groupe, ils ont observé des gains de 15 à 32 % de la concentration de Cr_{tot} tandis que chez les autres sujets, les gains observés n'étaient que d'environ 5 à 7% seulement. De façon similaire, les résultats de Kreis et al. (1999) démontrent une petite, mais significative, corrélation négative entre la magnitude du changement du PC/ATP et leur niveau initial, c'est-à-dire que les sujets dont le taux initial était le plus bas ont connu des augmentations plus importantes, comparativement aux autres sujets. On remarque également des variations individuelles considérables sur la rétention de la PC selon le type de fibres musculaires. Les résultats de Casey et al. (1996) démontrent une variation des gains de PC de 3.5 à 20.3 mmol/kg de poids sec pour la fibre de type I, et de -9,2 à 37,1 mmol/kg, pour la fibre II.

4.1.2 *Le sexe et la concentration initiale de créatine totale*

Rossiter et al. (1996) ont aussi noté des différences de rétention considérables de la Cr, alors que certains sujets en ont absorbé jusqu'à 2 fois plus que d'autres. Ils expliquent ces différences par le sexe puisque les sujets masculins avaient un taux d'absorption significativement plus élevé que les sujets féminins, ce qui pourrait être expliqué par une concentration initiale de Cr_{tot} intramusculaire légèrement plus grande chez les sujets féminins (Forsberg et al., 1991). Poortmans & Francaux (1999) soulignent d'ailleurs l'absence de gains significatifs de la masse corporelle dans plusieurs études incluant des sujets féminins (Grindstaff et al., 1997; Hamilton-Ward., 1997; Ledford & Branch, 1999; Redondo et al., 1996; Vandenberghe et al., 1997).

4.1.3 *Le niveau d'entraînement et la concentration de créatine totale*

Les observations précédentes peuvent laisser penser que les athlètes de haut niveau participant à des activités de type anaérobie pourraient moins bénéficier des suppléments de Cr, puisqu'ils pourraient avoir une concentration initiale de Cr_{tot} intramusculaire (Cr et/ou PC) plus élevée que la moyenne. En effet, malgré que l'entraînement ait peu d'effet sur l'accroissement de ces réserves, il est possible que ces individus aient une certaine prédisposition génétique, c'est-à-dire qu'ils disposent naturellement de concentration initiale de Cr_{tot} intramusculaire plus élevée. Les résultats de Boicelli et al. (1989) ont démontré un ratio PC/ATP plus élevé chez des sprinters comparativement à d'autres sujets (deux contrôles, un marathonien). Étant donné que le niveau d'ATP est constant, ceci démontre une plus grande concentration de PC chez les sprinters. De plus, les auteurs ont observé le même ratio de PC/ATP dans le muscle des jambes et des bras des sprinters, ce qui indiquerait que les différences de concentration de PC soient génétiques, et non dues à l'entraînement.

4.2 **Exercice et degré de rétention**

Cependant, il semble que l'entraînement effectué durant la période d'ingestion ait des effets sur la rétention de Cr. Harris et al. (1992) ont démontré que la rétention de Cr_{tot} était augmentée de 54% dans le muscle d'une jambe entraînée quotidiennement (une heure d'exercice intense sur ergocycle) pendant l'ingestion de Cr (20g-30g durant de 3.5 à 7 jours), comparativement à la jambe-contrôle. Les auteurs expliquent que l'augmentation pourrait être due à une augmentation de volume sanguin vers le membre entraîné lors de l'exercice et/ou à des changements de cinétique de transport de la Cr à travers la membrane cellulaire.

4.3 **Insuline, hydrates de carbone et degré de rétention**

Puisqu'il apparaît que l'absorption de Cr par la cellule augmenterait légèrement en présence d'insuline (Haughland & Chang, 1975), certains chercheurs ont voulu

évaluer l'effet de l'ingestion de glucides simples (glucose et autres sucres simples), avec les suppléments de Cr. Les résultats de Green et al. (1996a) démontrent que, comparativement à l'ingestion de suppléments de Cr seuls, l'ingestion de 93g de glucose/sucres simples conjointement avec chaque dose de 5g de Cr avait augmenté la rétention de Cr_{tot} de 60%, celle de PC de 100%, tandis qu'aucun changement n'était observé sur la rétention de Cr. Le taux final d'augmentation des réserves de Cr_{tot} était donc de plus de 25%, tandis qu'il n'est que d'environ 20% lors que les suppléments de Cr sont ingérés seuls.

L'étude de Steenge et al. (1998) quant à elle, a tenté de démontrer l'effet de l'injection de différentes concentrations d'insuline conjointement avec l'ingestion de 12.4g de Cr. Les résultats indiquent qu'un taux d'insuline sanguin élevé (~100mU/l) ou supra physiologique (~200mU/l) est nécessaire pour que le niveau de rétention de Cr_{tot} soit significativement différent de celui obtenu par l'ingestion de Cr uniquement. Ceci représente une ingestion d'environ ~100 grammes de glucides simples, ce qui est une quantité considérablement élevée.

4.4 Caféine et degré de rétention

Vandenberghe et al. (1996) ont évalué l'effet de l'ingestion de 5mg de caféine conjointement avec l'ingestion de 5g de Cr et n'ont observé aucune différence sur la rétention de PC comparativement à l'ingestion de Cr seulement.

4.5 Pourcentage de rétention des doses ingérées

L'absorption des suppléments de Cr semble être optimale durant les deux à trois premiers jours d'ingestion. Les données rassemblées par Harris et al. (1992), sur quatre sujets seulement, démontrent que 32% de la Cr administrée (30g/jour) durant les deux premiers jours de supplémentation était absorbé. Pourtant, la plupart des recherches où le nombre de sujets est plus élevé démontrent un taux d'absorption de 60 à 86% le premier jour et un déclin par la suite. Rossiter et al. (1996) qui ont

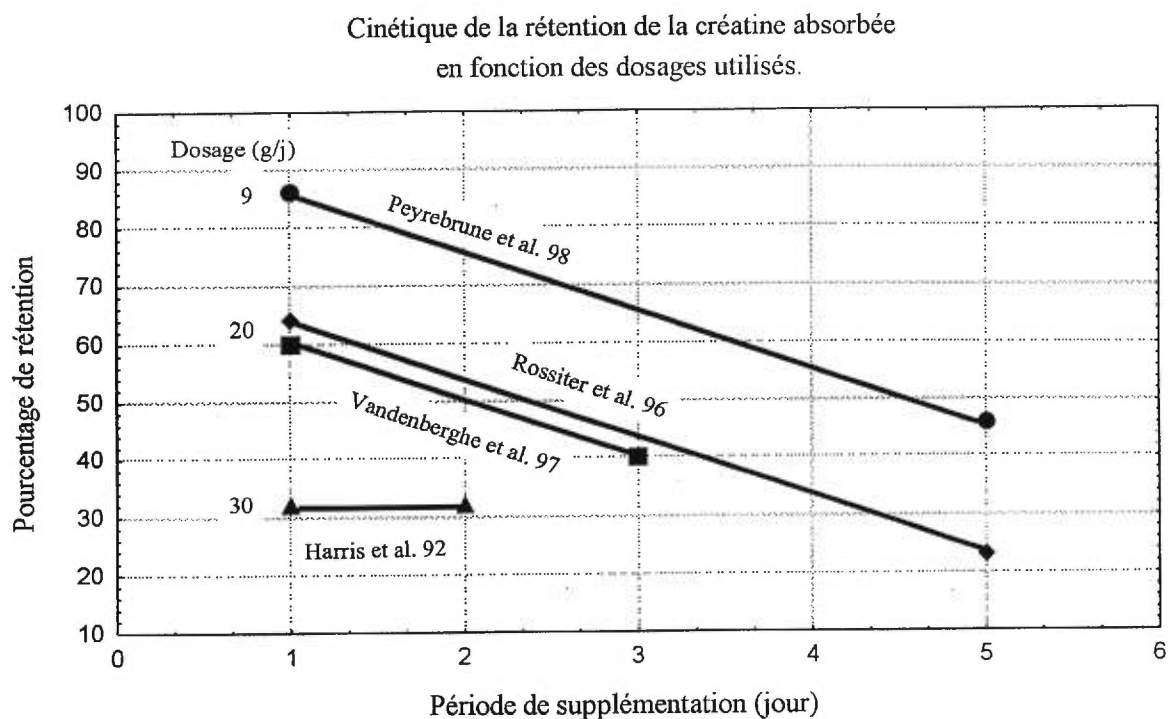


Figure 3 : Rétention de la créatine absorbée en fonction de la durée et du dosage utilisés.

évalué un total de 38 sujets, ont noté une absorption d'environ 64% durant la première journée de supplémentation (15-20g/j), suivie d'un déclin constant jusqu'au cinquième jour, où la rétention n'était plus que de 23%. Au cours des cinq jours d'expérimentation, 42.3% de la Cr ingérée avait été absorbée. Suivant un protocole d'ingestion semblable, soit de 20g/j, Vandenberghe et al. (1997) ont noté une rétention de 60% le premier jour et de 40% le troisième jour en moyenne, chez 19 sujets féminins. Finalement, Peyrebrune et al. (1998) ont obtenu des résultats semblables sur 14 sujets, où les valeurs de rétention observées était de 86.2% durant la première journée de supplémentation (9g/j), puis de 45.9% le cinquième jour et, en moyenne sur les cinq jours, 66.9% de rétention. Il semble que la rétention diminue graduellement avec le temps et de façon inversement proportionnelle au dosage utilisé (Figure 3).

4.6 Limite des stocks intracellulaires

Certaines recherches ont démontré qu'il existe une limite supérieure de rétention lors de l'ingestion de suppléments de Cr. Il semblerait que le niveau de saturation de Cr_{tot} intramusculaire soit d'environ 155 à 106 mmol/kg de poids sec, du moins lorsque l'ingestion est de 20 à 30 grammes par jour (Harris et al, 1992; Balsom et al., 1994; Casey et al, 1996; Greenhaff et al., 1994).

4.7 Effets prolongés des suppléments de créatine

Lorsque l'ingestion de suppléments est interrompue et que l'on évalue, soit les changements des concentrations intramusculaires de Cr et de PC, soit l'excrétion urinaire de Cr et de Crn, un minimum de 28 jours est nécessaire pour le retour à des valeurs de pré-supplémentation (Febbraio et al., 1995; Hultman et al., 1996). De même, Hultman et al. (1996) ont remarqué des concentrations de Cr_{tot} semblables à celles de pré-supplémentation après un arrêt de supplémentation de 35 jours, alors que Lemon et al. (1995) ont noté un ratio de PC/ATP toujours élevé chez un sujet après 5 semaines d'arrêt d'ingestion de Cr. Puisque des variations individuelles dans la vitesse d'élimination sont probables, un minimum de 5 semaines sans ingestion de suppléments est préférable, afin d'éviter les problèmes reliés au chevauchement des effets prolongés des suppléments, dans les schèmes expérimentaux croisés, alors que les mêmes sujets reçoivent, en alternance, le placebo et les suppléments de Cr (Juhn & Tarnopolsky, 1998).

5. SUPPLÉMENTATION ET PERFORMANCE ANAÉROBIE

En se basant sur la cinétique des sources d'énergie (Figure 4), la créatine serait surtout utile aux performances anaérobies alactiques bien qu'un rôle tampon de la créatine (Greenhaff et al. 1993; Terrillion et al., 1997) n'exclut pas une amélioration des performances anaérobies lactiques.

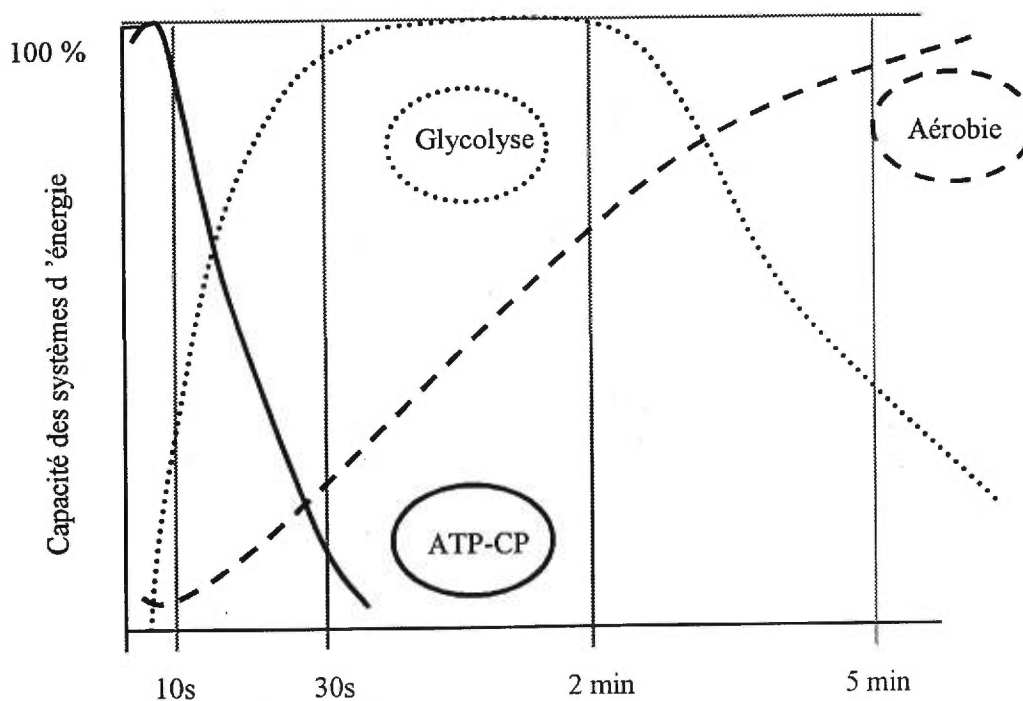


Figure 4: Les divers systèmes d'énergie et leur prédominance lors d'efforts de différentes durées.

Adaptée de: Mc Ardle, Katch & Katch, 1991.

5.1 Efforts où la résistance est indépendante de la masse corporelle

5.1.1 Efforts répétés et courts

La plupart des études sur les suppléments de Cr au cours d'efforts répétés brefs et très intenses, c'est-à-dire de 5 à 10 sprints de 6 à 10 secondes sur ergocycle, entrecoupés de 24 à 30 secondes de repos, ont démontré des gains de performance, soit au niveau

de la puissance maximale (Dawson et al., 1995), de la puissance moyenne (Kamber et al., 1999; Balsom et al., 1993a), du travail total sur un des sprints de la série (Dawson et al., 1995) et/ou du travail accumulé sur la série de sprints (Dawson et al., 1995; Kreider et al., 1998; Vukovich & Michaelis, 1999) (Tableau 3).

Cependant, quelques études portant sur des efforts similaires, soit de 2 à 7 répétitions d'effort maximal de 10 à 15 secondes sur ergocycle n'indiquent pas d'effet ergogène des suppléments de Cr (Barnett et al., 1996; Burke et al., 1996; Cook et al., 1995) (Tableau 3).

La divergence de ces résultats s'expliquerait par la durée des périodes de repos. Il semblerait que l'augmentation des réserves de Cr libre intramusculaire, telle qu'observée suite à l'ingestion du supplément, ait pour effet d'accélérer la resynthèse de PC au cours des périodes de repos, phénomène particulièrement important lorsque les périodes de repos sont de courte durée (~30s). D'autre part, si les périodes de repos sont plus courtes (10-15 s), il est possible que les effets recherchés ne soient pas significatifs. Toutefois de nombreux autres facteurs peuvent affecter les effets attendus d'une supplémentation en Cr sur la performance et seront discutés ultérieurement.

5.1.2 Efforts répétés de 20 à 30 secondes

Des effets ergogènes ont également été observés dans la plupart des études évaluant la performance sur ergocycle au cours d'efforts répétés de durées un peu plus longues, soit 2 à 3 sprints de 20 à 30 secondes, séparés par des périodes de repos variant de 4 à 5 minutes (Tableau 4). Par exemple, on note des gains de la puissance maximale (Birch et al., 1994) et du travail total, particulièrement pour le premier sprint, ou pour toute une série (Casey et al., 1996; Birch et al., 1994; Earnest et al., 1995). De plus, une augmentation du travail sur la première série de trois sprints a aussi été observée au cours d'un test d'ergocycle pour les bras (Grindstaff et al., 1997)

Tableau 3 : Études ayant démontré une augmentation performance lors de sprints répétés de très courte durée ($\leq 15s$)

Auteurs	Sujets	N : Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée, (résistance)	Résultats/ effet ergogène
Dawson et al. (1995)	22 H; actifs; 22.3 ans, 75.5 kg	11Cr, 11 PI	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	6 x 6s 24s repos	↑4.6% puiss. max. sprint 1 ↑4.8% travail sprint 1 ↑4.5% travail total accumulé
Kamber et al. (1999)	10 H; étudiants éducation physique; 28.1 ans, 76.9kg	10Cr, 10 PI (Croisé)	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	10 x 6s (9.8% du poids) 30s repos	↑ 3.5 % performance moyenne RPM augmenté sur sprints 4-10 Aucun changement : puiss. max.
Balsom et al (1993a)	16 H; étudiants éducation physique; 26.7 ans, 79.8 kg	8 Cr, 8 PI	6 jours @ 25g/j	Ergocycle	10 x 6s (140rev/min) 30s repos	↑4% fréquence de pédalier, intervalle 4-6s, sur sprints 7-10
Kreider et al. (1998)	25 H; joueurs de football; 19.9 ans, 90.6kg	11Cr, 14 PI	28 jours @ 15.75g/j + 99g glucose	Ergocycle	12 x 6s 30s repos	↑ travail total sur les 5 premiers sprints
Vukovich & Michaelis (1999)	48 H; entraînés poids & haltères; 22.3 ans, 79.3 kg	24Cr, 24 PI	5 jours @ 20g/j & 16 jours @ 10g/j	Ergocycle	5 x 10s (0.085 kp•kg ⁻¹) 40s repos	↑travail accumulé 5 sprints Aucun changement : Puiss. max. & fatigue
Balsom et al. (1995)	7 H; actifs; 25 ans, 78.5 kg	7 pré/post	6 jours @ 20g/j	Ergocycle	5 x 6s, 30s repos, suivi de 40s repos & 1 x 10s (140rev/min)	↑: atténuation du déclin de fréquence de pédalier du dernier sprint de 10s

H= sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, PI= placebo; Croisé= Schéma expérimental croisé

Tableau 3 (Suite) : Études n'ayant démontré aucune augmentation performance lors de sprints répétés de très courte durée ($\leq 15s$)

Auteurs	Sujets	N : Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée, (résistance)	Résultats/ effet ergogène
Redondo et al. (1996)	8 H & 14 F; joueurs, soccer & hockey gazon; 20.6 ans, 66.6 kg	9 Cr, 9 Pl	7 jours @ 25g/j	Course	3 x 60 mètres, ~8s 2 min repos	Aucun changement de la vitesse de course
Barnett et al. (1996)	17 H; actifs; 20.5 ans, 72.1 kg	9 Cr, 8 Pl	4 jours @ ~20g/j	Ergocycle	7 x 10s 30s repos, excepté 5min entre sprints 5 et 6	Aucun changement : Puiss. max., puiss. moyenne, % fatigue
Burke et al. (1996)	18 H, 14 F; nageurs élite; 17-25 ans	16Cr, 16 Pl	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	2 x 10s 10 min repos	Aucun changement : Puiss. max., temps d'atteinte puiss. max., travail total
Cooke et al. (1995)	12 H; en santé; 24.1 ans, 81.2kg	6 Cr, 6 Pl	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	2 x 15s 20 min repos	Aucun changement : Puiss. max., temps d'atteinte puiss. max., travail total, % fatigue

H= sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, Pl= placebo; Croisé= Schéma expérimental croisé

Tableau 4 : Résultats de performance lors de sprints répétés de 20 à 30 secondes

Auteurs	Sujets	N : Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée, (résistance)	Résultats/ effet ergogène
Grindstaff et al. (1997)	7 H & 11 F; nageurs juniors; 15.3 ans, 61kg	9 Cr, 9 Pl	9 jours @ 21g/j	Ergocycle (bras)	3 x 20s (F=2.1 J/kg/rev; H=2.8 J/kg/rev) 60s repos	↑ 8.8% travail sprint 1 Aucun changement sprints 2 & 3 Aucun changement puiss. max
Peyrebrune et al. (1998)	14 H; nageurs élite; 20.5 ans, 75.8 kg	7 Cr, 7 Pl	5 jours @ 9g/j	Nage	8 x 50 verges, ~23s ~ 67s repos	↑ : Performance sur 8 sprints
Casey et al. (1996)	9 H; en santé; 27 ans, 78 kg	9 Cr, pré/post	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	2 x 30s (isocinétique @ 80rpm) 4 min repos	↑ 4.2% travail total sprint 1 ↑ 4.4% travail total sprint 2 Aucun changement puiss. max
Birch et al. (1994)	14 H; en santé; 20.4 ans, 70.9 kg	7 Cr, 7 Pl	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	3 x 30s (isocinétique @ 80rpm) 4 min de repos	↑ 6% puiss. moyenne, travail total sprint 1 & 2 ↑ 8% puiss. max sprint 1 Aucun changement sprint 3
Earnest et al. (1995)	8 H; entraînés poids & haltères; 30.7 ans, 84.6kg	4 Cr, 4 Pl	14 jours @ 25 g/j	Ergocycle	3 x 30s (Wingate) 5 min de repos	↑ 13% travail total sprint1 ↑ 18% travail total sprints 2 & 3
Ledford & Branch (1999)	9 F; bien entraînées; 27 ans, 56.9kg	9 Cr, 9 Pl (Croisé)	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	3 x 30s (0.075 kp·kg ⁻¹) 5 min de repos	Aucun changement puiss. max, capacité de travail, % déclin sur les trois sprints

H= sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, Pl= placebo; Croisé= Schéma expérimental croisé

5.1.3 *Effort unique de 10, 20 et 30 secondes*

Les données disponibles ne suggèrent aucun effet significatif sur la performance lors d'un effort unique maximal sur ergocycle, qu'il soit de 10 secondes (Dawson et al., 1995), de 20 secondes (Snow et al., 1998) ou de 30 secondes (Odland et al., 1997) (Tableau 5). Ces résultats peuvent être expliqués par l'absence de changement dans la concentration de PC intramusculaire suite à l'ingestion de suppléments de Cr. En effet, la plupart des études démontrent une augmentation de la Cr mais pas de la PC, cette dernière étant déterminante lors d'un effort unique de courte durée alors que dans des conditions d'efforts répétés, l'augmentation de performance serait davantage associée aux processus de récupération.

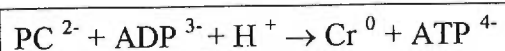
5.1.4 *Effort unique précédé d'une période d'épuisement*

L'effet de suppléments sur un effort unique maximal précédé d'une période d'épuisement n'est pas évident. Bien que la durée des efforts de la période d'épuisement préalable soit très différente, la disparité des résultats s'expliquerait plutôt par la façon de réaliser la période d'épuisement préalable que par la durée de celle-ci. Dans un cas, alors que les résultats de la supplémentation furent significatifs, la période d'épuisement était conçue de façon à ce que la quantité de travail fourni soit la même avant et après la période de supplémentation (Balsom et al., 1995) tandis que dans l'autre (résultats non significatifs), l'effort du pré-épuisement était maximal avant et après la période de supplémentation de sorte que si la capacité du sujet était augmentée, l'effort de pré-épuisement l'était aussi de même que la fatigue qui accompagne cet effort, limitant ainsi la performance de l'effort suivant (Febbraio et al., 1995). Cependant, d'autres facteurs comme un schéma expérimental croisé (Febbraio et al., 1995) ou l'absence de groupe placebo (Balsom et al., 1995) rendent difficile l'interprétation de ces deux études.

5.1.5 Effort unique de 60 à ~212 secondes

À première vue, il semble peu probable qu'une augmentation des réserves de Cr_{tot} (Cr/PC) puisse avoir des effets sur les performances principalement anaérobies de plus longue durée, compte tenu du petit rôle que joue le système d'énergie ATP-PC lorsque la durée de l'effort se prolonge. Cependant, des gains de performance ont été observés lors d'un effort jusqu'à épuisement sur ergocycle d'approximativement 135 secondes (Jacobs et al., 1997), et également lors d'une course d'aviron de 1000 mètres, d'une durée approximative de 212 secondes (Rossiter et al., 1996) (Tableau 6). Plus précisément, le temps de parcours d'aviron a diminué sans que la fréquence du coup de rame n'accélère, puisqu'elle restait constante à ~30 coups de rame par minute. D'autre part, puisqu'à ce rythme le ratio effort/repos est de 1:2, les auteurs ont proposé que le gain de performance pouvait être dû à une augmentation de la rapidité de la resynthèse de la PC durant les brèves périodes de repos entre chaque coup de rame. Il pourrait d'ailleurs en être ainsi pour la plupart des activités de locomotion où il y a alternance d'action des membres moteurs. Il serait intéressant de comparer cette forme de mouvement avec une autre où il n'y a aucune récupération alternative des membres moteurs gauches et droits.

De plus, pour mieux expliquer ce phénomène, Greenhaff et al. (1993) ont suggéré que l'augmentation de la concentration de PC intramusculaire pouvait accroître la capacité des muscles à tamponner l'acidité. Lorsque l'ATP est resynthétisée, le transfert du groupe phosphate de la PC à l'ADP requiert de l'hydrogène, mais plus important encore, la PC est un acide puissant et lorsqu'il se décompose pour relâcher la Cr, il rend le muscle plus alcalin (Terrillion et al., 1997).



Après l'ingestion quotidienne de 20g de Cr, on estime à environ 7% l'augmentation de la capacité de tampon d'acidité (Greenhaff et al., 1993). La Cr pourrait donc améliorer les performances anaérobies non seulement en minimisant la contribution

Tableau 5: Résultats de performance lors de sprint unique de courte durée (10 à 30 secondes)

Auteurs	Sujets	N: Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée, (résistance)	Résultats/ effet ergogène
Dawson et al. (1995)	18 H; actifs; 21.8 ans, 77.1kg	9 Cr, 9 Pl	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	1 x 10s	Aucun changement : Puissance max., temps d'atteinte puissance max., travail total
Snow et al. (1998)	8 H; actifs; 23 ans, 79.1kg	8 Cr, 8 Pl (Croisé)	5 jours @ 30g/j	Ergocycle	1 x 20s	Aucun changement : Puissance max., temps d'atteinte puissance max., puissance moyenne, % fatigue
Peyrebrune et al. (1998)	14 H; nageurs élite; 20.5 ans, 75.8kg	7 Cr, 7 Pl	5 jours @ 9g/j	Nage	1 x 50 verges, ~23s	Aucun changement sur le temps de nage
Odland et al. (1997)	9 H; en santé; 22-30ans	9Cr, 9Pl, 9Con (Croisé)	3 jours @ 20g/j	Ergocycle	1 x 30s (0.075kg·kg ⁻¹)	Aucun changement : Puissance max., puissance moyenne 10s & 30s, % fatigue

H= sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, Pl= placebo; Con= contrôle; Croisé= Schème expérimental croisé

Tableau 6 : Résultats de performance lors sprint unique et de sprints répétés de 60 à ~212 secondes

Auteurs	Sujets	N: Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée, (résistance)	Résultats/ effet ergogène
Sprint unique						
Bosco et al. (1997)	14 H; sauteurs & sprinters; 20.5 ans, 74.8kg	8 Cr, 6Pl	5 jours @ 20g/j	Course	Effort à épuisement ~60s @ 20km/h et pente de 5%	↑13% : Temps de course à épuisement
Jacobs et al. (1997)	21 H, 5 F; athlètes récréatifs; 24.5 ans, 78.3 kg	14 Cr (11H,3F), 12 Pl (10H, 2F)	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	Effort à épuisement, ~130-140s (125% du VO _{2max})	↑9% temps à épuisement ↑10% dette maximale d'oxygène accumulée
Rossiter et al. (1996)	28 H, 10 F; rameurs compétitifs; M: 22.7 ans, 78.1kg; F: 22.5 ans, 61.4kg	19Cr, 19 Pl	5 jours @ ~15-20g/j	Aviron	1000 mètres, ~212s	↑1% performance : Parcours plus rapide de 2.3s
Terrillon et al. (1997)	12 H; coureurs compétitifs; 21ans, 70.2kg	6 Cr, 6 Pl	5 jours @ 20g/j	Course	2 x 700m, ~110s 60 min repos	Aucun changement de la vitesse de course
Sprints répétés						
Grindstaff et al. (1997)	7 H & 11 F; nageurs élite; 15.3 ans, 61kg	9 Cr, 9 Pl	9 jours @ 21g/j	Nage	3 x 100 crawl, ~65s 60s repos	↑1.4% : Nage plus rapide de 0.93s sur sprint 2
Febbraio et al. (1995)	6 H; actifs; 23.8 ans, 78.4 kg	6 Cr, 6Pl, 6Con (Croisé)	5 jours @ 20g/j	Ergocycle	Effort à épuisement, ~60s @ ~125% VO _{2max} , précédé de 4 x 60s, avec 60s repos	Aucun changement sur le temps du sprint à épuisement

H= sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, Pl= placebo; Con= contrôle; Croisé= Schéma expérimental croisé

lactique par une contribution accrue alactique dans les phases de recouvrement des mouvements cycliques droite-gauche mais aussi en augmentant la capacité lactique par un pouvoir tampon accru de la Cr.

5.2 Efforts où la résistance dépend de la masse corporelle

5.2.1 Efforts de nage et de course

Les résultats obtenus lors d'épreuves de course et de nage présentent aussi beaucoup de variations et, de façon générale, on associe l'absence d'effet ergogène au gain de poids corporel qui est habituellement observé suite à l'ingestion de la Cr. En effet, il semble que dans le cas d'activités où le poids du corps est supporté, ou lorsqu'il est dans l'eau, et que des principes de flottabilité et de résistance sont importants, le gain de poids aurait des conséquences négatives sur la performance; cela pourrait dissimuler certains effets ergogènes normalement observés et, dans certains cas, pourrait même provoquer une baisse de performance.

Peyrebrune et al. (1998) n'ont observé aucune augmentation de la rapidité de nage au cours d'un sprint de 50 verges, ce qui est conforme à d'autres résultats ne démontrant aucun gain lors de séries de sprints favorisant, de façon successive, les systèmes anaérobie alactique et lactique, soit un de 25m (~13s), un de 50m (~28s) et un de 100m (~60s) (Burke et al., 1996; Mujika et al., 1996) (Tableau 7).

Néanmoins, d'autres résultats démontrent des gains de performance sur des sprints répétés de nage, soit 8 sprints de 50 verges (Peyrebrune et al., 1998) et 3 sprints de 100 mètres (Grindstaff et al., 1997). Il est possible, dans le cas de ces épreuves de sprints répétés, que l'augmentation de performance soit plutôt fonction de la durée de récupération. En effet, les études démontrant des gains de performance comprenaient des périodes de repos plus courtes, c'est-à-dire d'environ 60 secondes, tandis que dans les autres protocoles, les sujets disposaient de périodes de récupération actives variant de 10 à 25 minutes.

Tableau 7: Résultats de performance lors de sprints de durées progressivement augmentées

Auteurs	Sujets	N: Créatine/ Placebo	Supplémentation	Activité	Test, durée	Résultats
Burke et al. (1996)	18 H & 14 F; nageurs élite; 17-25ans	16 Cr, 16 Pl	5 jours @ 20g/j	Nage	25, 50 et 100 mètres 10-min repos, ~14s, 30s, 66s	Aucun changement sur aucune distance
Mujika et al. (1996)	11 H & 9 F; très entraînés; 19.9 ans, 70.3 kg	10Cr, 10 Pl	5 jours @ 20g/j	Nage	25, 50 et 100 mètres 20-25 min repos, ~14s, 30s, 66s	Aucun changement sur aucun sprint & somme des 3 ; tendance à de pires temps sur 25 et 50m

H=sujets hommes; F= sujets femmes; Cr= créatine, Pl= placebo

Lors d'une épreuve de course jusqu'à épuisement d'une durée approximative de 60 secondes, Bosco et al. (1997) ont observé un temps de course prolongé après l'ingestion de Cr, tandis que d'autres n'ont démontré aucun changement, que ce soit au cours de 3 sprints de 60 mètres (Redondo et al., 1996) ou de 2 sprints de 700 mètres (Terrillion et al., 1997).

Tableau 8 : Aperçu synthèse des pourcentages d'augmentation de performance observés et nombre d'études ayant démontré des gains de performance sur des efforts anaérobies de différentes durées (en rapport au total des études rapportées).

Effort	Alactique ($\leq 15s$)	Intermédiaire (20-30s)	Lactique ($\geq 60s$)
Unique	Aucun changement 0/1 étude	Aucun changement 0/3 études	↑ de 1 à 13% 3 /4 études
Répété	↑ de 3.5 à 4.8% 6/10 études	↑ de 4.2 à 18% 5/6 études	↑ de 1.4% 1/ 2 études

5.3 Effets sur la resynthèse et la dégradation de la PC

Il a été démontré que, de façon générale, la resynthèse de la moitié de la PC intramusculaire, suite à un effort maximal, requiert de 30 à 60 secondes (Söderlund & Hultman, 1991; Tesch et al. 1989). La resynthèse se fait également plus rapidement dans la fibre de type I, puisque le processus est aérobie et que cette fibre contient une plus grande densité de mitochondries et de capillaires, comparativement à la fibre de type II (Tesch et al. 1989; Söderlund et al., 1992).

Suite à l'ingestion de Cr, Greenhaff et al. (1994) ont observé une resynthèse accélérée de la PC après l'exercice, ce qui semblait être expliqué par une plus grande quantité de Cr disponible. Dans une étude précédente, qui avait démontré des gains de performance, les mêmes auteurs (Greenhaff et al., 1993) avaient émis l'hypothèse

d'une resynthèse accélérée. Selon eux, l'augmentation de la Cr intramusculaire permettrait une accélération de la vitesse de flux par la réaction de la CK au niveau de la membrane de la mitochondrie. Cette hypothèse est soutenue par Juhn & Tarnopolsky (1998) qui suggèrent également que la supplémentation en Cr peut augmenter la resynthèse de la PC via une stimulation de la phosphorylation oxydative et du cycle admission-émission d'énergie.

De plus, Peeters et al. (1999) qui ont observé une resynthèse de la PC plus lente après l'ingestion de Cr expliquent que, malgré les apparences, le système en était amélioré. D'une part, il y avait une augmentation du niveau de PC/ATP au repos et, d'autre part, durant la première minute de repos suite à l'exercice, ce ratio était toujours plus élevé, ce qui compensait pour le rythme de resynthèse plus lent. Des observations semblables sont rapportées par Vandenberghe et al. (1999) avec la méthode de résonance magnétique. Leurs résultats ne démontrent aucune différence dans la vitesse de resynthèse de la PC suite à l'ingestion de Cr; la concentration de PC au repos était cependant plus élevée, et ce surplus était toujours apparent durant l'exercice ainsi que durant la période de récupération. À la fin de l'exercice, la concentration de PC était de 22% plus élevée, comparativement aux valeurs post-exercice avant l'ingestion de Cr.

Quelques autres études ont investigué les effets des suppléments sur la dégradation de la PC. Les résultats de Balsom et al. (1995) ont démontré, suite à une série d'efforts répétés de 6 secondes, une concentration de PC significativement plus élevée (69.7 vs. 45.6 mmol/kg de poids sec) chez les sujets supplémentés, malgré que l'effort ait été le même avant et après l'ingestion de Cr. Par contre, d'autres résultats ne montrent aucun changement du déclin de concentration de PC suite à des efforts répétés de 30 et de 60 secondes (Casey et al., 1996; Febbraio et al., 1995). Ces résultats sont toutefois difficiles à comparer, étant donné que la dégradation de la PC peut être très variable selon l'intensité, la durée et le type d'effort.

En regard de l'ensemble des résultats présentés, il apparaît que la resynthèse de la PC peut être accélérée par l'ingestion de suppléments de Cr. Cependant, des études additionnelles sont nécessaires pour que les effets sur la dégradation se précisent.

6. FACTEURS CAUSANT DES VARIATIONS DANS LES RÉSULTATS

Quelques facteurs pouvant expliquer les contradictions des résultats ont déjà été énumérés. Par exemple, le type d'effort requis alors que la mesure de performance est tantôt limitée par le métabolisme alactique et tantôt limitée par le métabolisme lactique, le temps de repos entre les séquences, qui est parfois d'assez longue durée pour permettre une resynthèse naturelle et suffisante de la PC, et enfin, le gain de masse corporelle qui semble compromettre les performances de course et de nage. Par ailleurs, plusieurs autres facteurs semblent influencer les résultats observés suite à l'ingestion de suppléments de Cr et, de ce fait, permettent d'expliquer les différences importantes notées dans les résultats obtenus. Ces facteurs incluent la variabilité dans les réactions individuelles, le niveau d'entraînement des sujets, leur sexe, leur nombre, l'absence de groupe placebo ainsi que les problèmes reliés au chevauchement des effets prolongés de la supplémentation dans les schèmes expérimentaux croisés alors que les sujets passent alternativement au groupe expérimental ou placebo (Tableau 9).

6.1 Variations inter-individuelles sur la concentration initiale de Cr_{tot}

Les réactions extrêmement variables observées chez les sujets ont amené Greenhaff et al. (1994) à distinguer deux catégories d'individus, les « répondants » et les « non-répondants », cette sélection étant associée à la concentration initiale de Cr_{tot} des sujets. Les auteurs ont observé, suite à l'ingestion de suppléments de Cr, des augmentations de 15 à 32% de Cr_{tot} chez les sujets dont la concentration initiale était peu élevée ($<120\text{mmol/kg dm}$), ceux-ci répondant au traitement ($n=5$). Par contre, les autres sujets « non-répondants » ($n=3$) disposaient d'une concentration initiale de Cr_{tot} plus élevée ($\geq 125\text{ mmol/kg dm}$), leurs gains en Cr_{tot} ne s'élevait que de 5 à 7%, approximativement. Des résultats semblables ont été obtenus par Harris et al. (1992), qui ont observé des augmentations de Cr_{tot} plus importantes chez les sujets dont la concentration initiale était plus basse. De plus, suite à une période d'exercice, Greenhaff et al. (1994) ont noté une resynthèse de la PC accélérée d'environ 42%

Tableau 9 : Facteurs causant des variations dans les résultats de performances.

Facteurs	Références
<ul style="list-style-type: none"> • Concentration initiale de Cr_{tot} 	Casey et al. (1996); Greenhaff et al. (1994); Harris et al. (1992)
<ul style="list-style-type: none"> • Niveau initial d'entraînement • Sexe des sujets 	Bigard, 1998; Mujika & Padilla (1997) À ce jour, aucune référence directement liée à ce phénomène (voir section 6.3)
<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de sujets 	Juhn & Tarnopolsky (1998); Speed & Anderson (2000)
<ul style="list-style-type: none"> • Absence de groupe placebo • Effets prolongés (schèmes expérimentaux croisés) 	Balsom et al. (1995); Casey et al. (1996) Febbraio et al. (1995); Kamber et al. (1999); Odland et al. (1997); Snow et al. (1998)

chez les sujets « répondants », comparativement aux « non-répondants », durant la deuxième minute de repos, malgré que celle-ci ait été semblable pour les deux groupes durant la première minute. Ces observations ne semblent pas être soutenues par celles de Casey et al. (1996) puisque les auteurs ne rapportent aucune différence sur la vitesse de resynthèse de la PC entre les sujets en fonction des concentrations initiales, qu'elles aient été basses ou élevées. Cependant, cette même étude a démontré des corrélations significatives entre la magnitude des changements de Cr_{tot} et les changements cumulatifs de puissance maximale et de travail total sur deux périodes d'exercice.

6.2 Niveau initial d'entraînement

On suggère que les athlètes de haut niveau pourraient trouver moins de bénéfices dans l'ingestion de suppléments de Cr, puisque les améliorations de performance sont moins fréquentes ou évidentes pour ceux-ci (Bigard, 1998; Mujika & Padilla, 1997). L'absence de gain pourrait être due, en partie du moins, à une plus haute concentration de Cr_{tot} initiale (Boicelli et al., 1989), ce qui, selon la théorie présentée plus haut, les rendraient moins susceptibles d'augmenter leurs réserves lors de la supplémentation. De plus, Mujika & Padilla (1997) suggèrent que ces athlètes, comparativement aux sujets sédentaires, ont une meilleure capacité à performer durant des efforts intenses et répétés, tant à l'entraînement qu'en compétition. Il

pourrait s'agir, par exemple, de meilleures adaptations métaboliques, neuromusculaires et psychologiques, qui leurs permettraient de mieux répondre aux exigences de certains efforts physiques; ceci atténuerait peut-être l'importance des gains de concentrations intramusculaires lorsque ceux-ci sont pourtant apparents.

Peu d'études ont d'ailleurs regardé les effets de la Cr sur la performance d'athlètes élite. Certaines ne présentent aucun effet à la course (Terrillion et al., 1997) et à la nage sur un sprint unique (Peyrebrune et al., 1998; Burke et al., 1996), tandis que d'autres révèlent des gains pour des sprints de nage répétés (Peyrebrune et al., 1998; Grindstaff et al., 1997). Les protocoles étant plutôt hétérogènes, il est difficile d'interpréter ces contradictions et de tirer une conclusion à cet égard.

6.3 Sexe des sujets à l'étude

Peu de considération a été portée sur les différences du sexe; cependant, une étude a démontré une concentration initiale de Cr_{tot} intramusculaire plus élevée chez les femmes (Forsberg et al., 1991), ce qui pourrait expliquer que les sujets féminins ne connaîtraient pas les mêmes profits que les sujets masculins lors de la supplémentation en Cr (Tarnopolsky, 2000).

Lorsqu'on ne considère que les études comprenant des sujets féminins et masculins, on remarque des résultats relativement partagés, certaines démontrant des changements (Grindstaff et al., 1997; Jacobs et al., 1997; Rossiter et al., 1996) tandis que d'autres n'en révèlent aucun (Burke et al., 1996; Mujika et al., 1996; Redondo et al., 1996). Plus précisément, les études de Thompson et al. (1996) et de Ledford & Branch (1999) qui ne comprenaient que des sujets féminins, n'ont observé aucun changement de performance. Malgré qu'il existe d'importantes disparités entre les protocoles et qu'il est difficile d'isoler les effets de cette variable, plusieurs ont déjà suggéré des différences entre les sexes, du moins en ce qui concerne la rétention de Cr_{tot} (Rossiter et al., 1996) et les changements de masse corporelle (Williams & Branch, 1998; Poortmans & Francaux, 1999), ce qui laisse croire que des différences pourraient également exister au niveau de la performance.

6.4 Nombre de sujets à l'étude

Juhn & Tarnopolsky (1998) soulignent le manque d'étude ayant prédéterminé le nombre de sujets à inclure au protocole de recherche par un test de puissance statistique et la présence de nombreuses études ayant un nombre restreint de sujets. Les auteurs suggèrent d'une part que les résultats obtenus sur un petit nombre de sujets doivent être considérés avec circonspection et, d'autre part, que certaines études n'ayant décelé aucun effet des suppléments de Cr auraient peut-être obtenu des résultats significatifs avec un nombre plus grand de sujets. De récentes critiques vont dans ce sens, puisqu'on souligne le grand nombre d'études scientifiques comportant des erreurs de type II considérables, causées par le manque de puissance statistique permettant de détecter des effets petits et moyens (Speed & Anderson, 2000).

6.5 Absence de groupe placebo

Certaines études ne comprenaient pas de groupe placebo et par conséquent, les informations recueillies ne représentent que des valeurs de pré-supplémentation et de post-supplémentation sur les mêmes sujets (Casey et al., 1996; Balsom et al., 1995). Il est donc difficile de conclure qu'il s'agit là de résultats de l'administration de la Cr, puisque les effets attribuables au traitement comme tel sont amplement prouvés.

6.6 Chevauchement des effets prolongés de la créatine dans les schèmes expérimentaux croisés

On dispose maintenant de meilleures connaissances quant au temps nécessaire pour que la concentration de Cr_{tot} revienne à une valeur de pré-supplémentation, c'est pourquoi les études plus récentes comprennent des intervalles suffisamment longs entre les traitements pour qu'un retour à la normale de la concentration de Cr_{tot} soit assuré. Par exemple, l'étude de Kamber et al. (1999) disposait de périodes moyennes de 61 jours entre l'administration de la Cr et celle du placebo. Cependant, des études précédentes disposaient d'intervalles trop courts entre les traitements, que ce soit de 14 (Odland et al., 1997) ou de 28 jours (Febbraio et al., 1995; Snow et al., 1998).

7. SUPPLÉMENTATION ET COMPOSITION CORPORELLE

7.1 Effets sur la masse corporelle

Selon de nombreuses études, une période de supplémentation en créatine cause une augmentation rapide de la masse corporelle (Tableau 10). Ainsi, une augmentation moyenne de 1,5 kg est observée après seulement trois à six jours d'ingestion quotidienne de 20 à 30 grammes de créatine (Balsom et al., 1995; Balsom et al., 1993a & 1993b; Cooke & Barnes, 1997; Dawson et al., 1995; Green et al., 1996a & 1996b; Greenhaff et al., 1994; Jacobs et al., 1997; Kamber et al., 1999; Lemon et al., 1995; Mujika et al., 1996; Snow et al., 1998; Stroud et al., 1994; Volek et al., 1997). Le même phénomène est aussi observé suite à de plus longues périodes d'ingestion, à dosages variés (Becque et al., 1997; Earnest et al., 1995; Francaux & Poortmans, 1999; Kreider et al., 1996 & 1998; Peeters et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999; Volek et al., 1999).

Cependant d'autres études ne montrent aucune augmentation significative de masse corporelle suite à une courte période de 4 à 9 jours d'ingestion de créatine (Barnett et al., 1996; Dawson et al., 1995; Grindstaff et al., 1997; Hamilton-Ward et al., 1997; Ledford & Branch, 1999; Redondo et al., 1996; Terrillion et al., 1997; Vandenberghe et al., 1996) ou suite à 10 semaines de supplémentation et d'entraînement (Vandenberghe et al., 1997) (Tableau 11).

Certaines conditions expérimentales, comme la durée ou la quantité de supplémentation ou l'absence de groupe contrôle, ne suffisent pas à expliquer ces discordances. Il semble néanmoins acquis que dans la majorité des cas, la supplémentation en créatine puisse augmenter la masse corporelle d'environ 1.5 kg. Le nombre de sujets par étude pourrait avoir un certain effet sur la capacité à détecter les changements de masse corporelle, bien que ce phénomène ne semble pas expliquer, à lui seul, l'apparition ou non d'un gain de masse. Cependant, lorsqu'on isole les résultats d'études comprenant, exclusivement ou non, des sujets féminins

(voir le symbole « ♀ » dans les tableaux 10 à 13), on remarque que peu de ces études révèlent une augmentation significative de la masse corporelle (Jacobs et al., 1997; Mujika et al., 1996) et que la plupart n'en notent pas (Grindstaff et al., 1997; Hamilton-Ward et al., 1997; Ledford & Branch, 1999; Redondo et al., 1996; Vandenberghe et al., 1997).

Ces observations permettent de supposer une différence due au sexe, c'est-à-dire que les femmes, comparativement aux hommes, connaissent des augmentations moins prononcées de masse (Williams & Branch, 1998). Ce phénomène pourrait être expliqué par les différences de rétention intramusculaire de Cr_{tot} entre les sexes, tel que présenté antérieurement.

7.2 Effets sur la masse maigre

Afin d'expliquer l'augmentation de masse corporelle, certaines recherches ont porté sur l'évaluation des changements de composition corporelle, par les méthodes de plis cutanés, pesée hydrostatique, résonance magnétique, rayons-x, ainsi que par bioimpédance et bioimpédance à multi-fréquences (Tableaux 12 & 13). Certains résultats suggèrent une augmentation de la masse maigre, compte tenu de l'absence de changement sur la somme des 7 plis cutanés suite à 6 jours d'ingestion de créatine (Volek et al., 1997) ou suite à une période de 6 semaines d'ingestion et d'entraînement tant chez les sujets masculins que féminins (Kirksey et al., 1997). Plus récemment, Peeters et al. (1999) obtenaient des résultats similaires suite à une période de supplémentation et d'entraînement. Les auteurs avaient noté, après 3 et 6 semaines, une augmentation de la masse totale des sujets supplémentés sans pour autant observer de changement du pourcentage de gras, tel qu'évalué selon les plis cutanés et la formule de Jackson & Pollock (1978 & 1980). Toutefois, les résultats de Grindstaff et al. (1997) obtenus également avec la méthode des 7 plis cutanés, ne font état d'aucun gain significatif de masse maigre suite à une période d'ingestion de 9 jours.

Tableau 10 : Études ayant démontré une augmentation significative de la masse corporelle

Auteurs	Sujets	N : Créatine / Placebo	Supplémentation en Cr	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Différence (kg)
Balsom et al. (1995)	7 H; actifs; 25 ans, 78.3kg	Pré/post Pas de Placebo	6 jours @ 20g/j	Pré : 78.3±4.1 Pas de placebo	Post : 79.4±4.1 Pas de placebo	Cr : + 1.1±0.5 Pas de placebo
Balsom et al. (1993a)	16 H; étudiants Ed. phys.; 26.7 ans, 79.8kg	8 Cr, 8 Pl	6 jours @ 25g/j	Cr : 84.2 Pl : données abs.	Cr : 85.3 Pl : données abs.	Cr : + 1.1 Pl : aucune
Balsom et al. (1993b)	18 H; actifs à bien entraînés; 26.5 ans, 73.6kg	9 Cr, 9 Pl	6 jours @ 20g/j	Cr : 73.5±2.3 Pl : 73.6±3.3	Cr : 74.4±2.3 Pl : 73.5 ±3.2	Cr : + 0.9 Pl : - 0.1
Becque et al. (1997) entr.	13 H; expérimentés poids & haltères	10 Cr, 3 Pl	7 jours @ 20g/j & 35 jours @ 2g/j (total de 42 jours)	Cr : 86.7±14.7 Pl : données abs.	Cr : 88.7±13.8 Pl : données abs.	Cr : + 2.0 Pl : aucune
Cooke & Barnes (1997)	80 H; actifs à divers niveaux; 24.2ans, 81kg	40 Cr, 40 Pl	5 jours @ 20g/j	Cr : 80.6±1.9 Pl : 80.5±1.8	Cr : 81.6±1.2 Pl : 80.6±1.1	Cr : + 1.0 Pl : + 0.1
Dawson et al. (1995)	18 H; actifs; 21.8 ans, 77.1 kg	9 Cr, 9 Pl	5 jours @ 20g/j	Cr : 77.4±8.2 Pl : 76.8±12.2	Cr : 78.1±8.0 Pl : 76.7±12.3	Cr : + 0.7 Pl : - 0.1
Earnest et al. (1995)	8 H; entraînés poids & haltères; 30.7 ans, 84.6kg	4 Cr, 4 Pl	28 jours @ 25g/j	Cr : 86.5±13.7 Pl : 82.6±2.2	Cr : 88.2±14.1 Pl : 82.5±1.8	Cr : + 1.7 Pl : - 0.1
Francaux & Poortmans (1999) entr.	25 H; en santé; 22 ans, 73kg	8 Cr, 10 Pl, 7Con	5 jours @ 21g/j & 58 jours @ 3g/j (total de 63 jours)	Cr : 69.8±8.9 Pl : 71.9±7.3 Con : 77.5±8.0	Cr : 71.8±9.0 Pl : 72.6±6.7 Con : 77.5±8.6	Cr : + 2.0 Pl : + 0.7 Con : 0
Green et al. (1996b)	22 H en santé; 23 ans, 74kg	6 Cr, 6 Cr2, 6 Cr3, 4 Pl	3 jours @ Cr1= 20g/j; Cr2= 20g/j+cho; Cr3= 20g/j +cho+ entr.	Cr1, Cr2, Cr3, Pl : 74±2.0	Données abs.	Cr1 : + 0.6±0.2 Cr2 : + 2.1±0.5 Cr3, Pl : aucune
Green et al. (1996a)	21H en santé; 24 ans, 79kg	12 Cr1, 9 Cr2 Pas de Placebo	5 jours @ Cr1= 20g/j; Cr2= 20g/j+ 370g cho	Cr1 & Cr2 : 79±2.4 Pl : pas de Pl	Cr1 : 79.9 Cr2 : 80.6 Pl : pas de Pl	Cr1 : + 0.9±0.4 Cr2 : + 1.6±0.2 Pl : pas de Pl
Greenhaff et al. (1994)	8 H; actifs; 29.1 ans, 80kg	Pré/post Pas de Placebo	5 jours @ 20g/j	Pré : 80.0±4.7 Pas de placebo	Post : 81.6±4.8 Pas de placebo	Cr : + 1.6 Pas de placebo

♀ = études avec sujets féminins ; H= sujets hommes; F= sujets femmes; entr. = supplémentation + entraînement; Cr= créatine, Pl= placebo; Con= contrôle; * A= autre traitement; Croisé= Schéma expérimental croisé

Tableau 10 (Suite): Études ayant démontré une augmentation significative de la masse corporelle

Auteurs	Sujets	N : Créatine / Placebo	Supplémentation en Cr	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Différence (kg)
♀ Jacobs et al. (1997)	21 H, 5 F; athlètes récréatifs; 24.5ans, 78.3kg	14 Cr (11M, 3F) 12 PI (10H, 2F)	5 jours @ 20g/j	Cr : 80.9±2.9 PI : 75.1±3.1	Cr : 81.6±3.0 PI : 75.3±3.0	Cr : +0.7 PI : +0.2
Kamber et al. (1999)	10 H étudiants Ed. phys.; 28.4 ans, 76.9kg	10 Cr, 10 PI	5 jours @ 20g/j	Cr : 76.5±1.6 PI : 77.3±1.8	Cr : 77.9±1.6 PI : 77.2±1.7	Cr : +1.4 PI : -0.1
Kreider et al. (1996) entr.	26 H; entraînés (résistance); 26.6 ans, 81.5kg	8 Cr, 9 PI, 9A*	28 jours @ 20g/j	Cr : 75.2±4.3 PI : 74.9±3.3	Cr : 77.1±4.2 PI : 75.7±3.1	Cr : +1.9 PI : +0.8, p<0.05
Kreider et al. (1998) entr.	25 H; joueurs de football; 19.9ans, 90.6kg	11 Cr, 14 PI	28 jours @ 15.75g/j + 99g glucose	Cr : 90.9±19.7 PI : 90.2±17.1	Cr : 93.1±19.9 PI : 91.0±16.7	Cr : +2.4±1.4 PI : +0.9±2.2
Lemon et al. (1995)	7 H; actifs; 30.3 ans, 85.9kg	7 Cr, 7 PI (Croisé)	5 jours @ 20g/j	Données abs.	Données abs.	Cr : +1.3±0.3 PI : -0.2±0.1
♀ Mujika et al. (1996)	11H & 9F; très entraînés; 19.9 ans, 70.3kg	10 Cr, 10 PI	5 jours @ 20g/j	Cr : 71.7±10.1 PI : 70.4±11.1	Cr : 72.4±9.8 PI : 70.1±10.6	Cr : +0.7 PI : -0.3
Peeters et al. (1999)	35 H; entraînés résistances; 21.2 ans, 86.1kg	11Cr, 14 PI, 9A*	3 jours @ 20g/j & 39 jours @ 10g/j (total de 42 jours)	Cr : 88.9±21.2 PI : 86.4±18.9	Cr : 90.6±20.7 PI : 86.3±18.6	Cr : +1.7±1.8 PI : -0.1±1.3
Snow et al. 1998	8 H; actifs; 23 ans, 79.1kg	8 Cr, 8 PI (Croisé)	5 jours @ 30g/j	PI : 79.1±3.4	Cr : 80.2±3.3	Post : +1.1
Stroud et al. (1994)	8 H; actifs; 26 ans, 75.9kg	Pre/post Pas de Placebo	5 jours @ 20g/j	Pré : 75.9±2.2 Pas de placebo	Post : 76.9±2.3 Pas de placebo	Post : +1.0 Pas de placebo
Volek et al. (1997)	14 H; entraînés en résistance; 24 ans, 77.7kg	7 Cr, 7 PI	6 jours @ 25g/j	Cr : 78.0 PI : 76.2	Cr : 79.4 PI : 75.8	Cr : +1.4 PI : -0.4
Volek et al. (1999) entr.	19 H; entraînés poids & haltères; 25.5 ans, 82.5kg	10 Cr, 9 PI	7 jours @ 25g/j & 77 jours @ 5g/j (total de 84 jours)	Cr : 82.1±4.1 PI : 82.9±4.7	Cr : 87.3±4.5 PI : 85.9±4.6	Cr : +5.2 PI : +3.0, p<0.05
Vukovich & Michaelis (1999) entr.	48 H; entraînés poids & haltères; 22 ans, 79 kg	12Cr S, 12CrP, 12 PIS, 12 PIP	5 jours @ 20g/j (CrS=Cr solide, CrP= Cr poudre) & 16 jours @ 10g/j (total de 21 jours)	CrS : 80.6±3.0 CrP : 76.4±2.7 PIS : 81.9±4.2 PIP : 78.2±2.6	CrS : 82.2±3.0 CrP : 77.9±2.7 PIS : 82.0±4.1 PIP : 78.7±2.5	CrS : +1.6±0.3 CrP : +1.5±0.2 PIS : +0.1±0.3 PIP : +0.6±0.4

Tableau 11 : Études ayant démontré des changements non-significatifs de la masse corporelle

Auteurs	Sujets	N : Créatine / Placebo	Supplémentation en Cr	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Différence (kg)
Barnett et al. (1996)	17 H; actifs; 21 ans, 72kg	9 Cr, 8 PI	4 jours @ 4 x 70mg/kg/j (~20g/j)	Cr : 73.4±3.5 PI : 70.7±1.6	Cr : 73.9±3.5 PI : 70.8±1.5	Cr : +0.5 PI : +0.1
Dawson et al. (1995)	22 H; actifs; 22 ans, 76kg	11 Cr, 11 PI	5 jours @ 20g/j	Cr : 75.7±9.3 PI : 74.5±9.3	Cr : 76.2±9.0 PI : 74.9±9.4	Cr : +0.5 PI : +0.4
♀ Grindstaff et al. (1997)	7 H & 11 F; nageurs juniors; 15 ans, 6kg	9 Cr, 9 PI	9 jours @ 21g/j	Cr : 62.1±5.0 PI : 60.3±3.0	Cr : 62.6±5.0 PI : 60.5±3.0	Cr : +0.5 PI : +0.2
♀ Hamilton-Ward et al. (1997)	20 F; sportives	10 Cr, 10 PI	7 jours @ 25g/j	Cr : 64.0±2.5 PI : 67.5±4.3	Cr : 64.7±2.5 PI : 67.9±4.3	Cr : +0.7 PI : +0.2
♀ Ledford & Branch (1999)	9 F; bien entraînées; 27 ans, 56.9kg	9 Cr, 9 PI (Croisé)	5 jours @ 20g/j	Cr : 57.0±1.8 PI : 56.8±1.8	Cr : 56.1±1.8 PI : 56.4±1.8	Cr : -0.9 PI : -0.4
♀ Redondo et al. (1996)	18 H & F; bien entraînés; 20.6 ans, 66.6kg	9 Cr, 9 PI	7 jours @ 25g/j	Cr : 3.5±7.8 PI : 69.7±9.1	Cr : 62.7±8.1 PI : 69.7±9.1	Cr : -0.8 PI : 0
Terrillon et al. (1997)	12 H; coureurs compétitifs; 21ans, 70kg	6 Cr, 6 PI	5 jours @ 20g/j	Cr : 70.8±9.1 PI : 69.7±9.0	Cr : 71.4±9.3 PI : 69.3±8.7	Cr : +0.6 PI : -0.4
Vandenbergh et al. (1996)	9 H; actifs; 20-23 ans, 80kg	9Cr1, 9Cr2, 9PI (Croisé)	6 jours @ Cr1=0.5g/kg/j (~40g/j); Cr2= idem + 5mg/kg/j (~0.4g/j) de caféine	Cr1, Cr2, PI : 80.0±4.0	Données abs.	Aucune différence
♀ Vandenbergh et al. (1997) entr.	19 F; sédentaires & en sainté; 19-22 ans, 59.1kg	10 Cr, 9PI	4 jours @ 20g/j & 70 jours @ 5g/j (total de 74 jours)	Cr : 60.7±1.6 PI : 57.5±2.7	Cr : 62.5±1.5 PI : 58.5±2.6	Cr : +1.8 PI : +1.0

♀ = études avec sujets féminins ; H= sujets hommes; F= sujets femmes; entr. = supplémentation + entraînement; Cr= créatine, PI= placebo; Con= contrôle; * A= autre traitement; Croisé= Schéma expérimental croisé

Tableau 12 : Études ayant démontré une augmentation significative de la masse maigre

Auteurs	Sujets	N : Cr /PI & méthode	Supplémentation en Cr	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Différence (kg)
Becque et al. (1997) entr.	13 H ; expérimentés poids & haltères	10 Cr, 3 PI pesée hydro.	7 jours @ 20g/j & 35 jours @ 2g/j (total de 42 jours)	Cr : 71.2±10.0 PI : données abs.	Cr : 72.8±10.1 PI : données abs.	Cr : + 1.6 PI : aucune
♀ Kirksey et al. (1997) entr.	16 H & 20 F; athlètes (athlétisme, collégial)	15 Cr, 21 PI 7 plis cutanés	42 jours @ 0.3g/kg/j (~19g/j)	Cr : 62.3±3.7 PI : 58.0±2.8	Cr : 67.1±3.9 PI : 61.5±2.9	Cr : + 4.8 PI : + 3.5
Kreider et al. (1996) entr.	26 H; entraînés (résistance); 26.6 ans, 81.5kg	8 Cr, 9 PI, 9A* DEXA	28 jours @ 20g/j	Cr : 61.5±3.1 PI : 61.9±2.5	Cr : 63.5±3.3 PI : 62.6±2.2	Cr : + 2.0 PI : + 0.7
Kreider et al. (1998) entr.	25 H; joueurs de football; 19.9 ans, 70.7kg	11 Cr, 14 PI DEXA	28 jours @ 15.75g/j + 99g glucose	Cr : 71.5±12.2 PI : 69.8±8.7	Cr : 73.9±11.9 PI : 71.0±9.9	Cr : + 2.4 PI : + 1.4
Peeters et al. (1999)	35; entraînés résistances; 21.2 ans, 86.1kg	11Cr, 14 PI; 9A* 7 plis cutanés	3 jours @ 20g/j & 39 jours @ 10g/j (total de 42 jours)	Cr : 76.7±12.4 PI : 75.3±12.8	Cr : 79.4±13.5 PI : 75.4±12.9	Cr : + 2.7±1.9 PI : + 0.2±1.6
Volek et al. (1999) entr.	19H; entraînés poids & haltères; 25.5 ans, 82.5kg	10 Cr, 9 PI pesée hydro.	7 jours @ 25g/j & 77 jours @ 5g/j (total de 84 jours)	Cr : 68.7±2.1 PI : 68.6±3.1	Cr : 73.0±2.7 PI : 70.7±3.2	Cr : + 4.3 PI : + 2.1, p<.05
Vukovich & Michaelis (1999) entr.	48 H; entraînés poids & haltères; 22 ans, 79 kg	12Cr S, 12CrP, 12 PIS, 12 PIP pesée hydro.	5 jours @ 20g/j (CrS=Cr solide, CrP= Cr poudre) & 16 jours @ 10g/j (total de 21 jours)	CrS : 69.1±2.6 CrP : 65.0±1.8 PIS : 67.3±1.7 PIP : 67.7±2.7	CrS : 71.8±2.7 CrP : 67.3±1.7 PIS : 67.3±1.8 PIP : 68.0±2.7	CrS : + 2.7±0.7 CrP : + 2.3±0.6 PIS : + 0.1±0.3 PIP : +1.3±0.4, p<.05
♀ Vandenberghe et al. (1997) entr.	19 F; sédentaires & en santé; 19-22 ans, 59.1kg	10 Cr, 9PI pesée hydro.	4 jours @ 20g/j & 70 jours @ 5g/j (total de 74 jours)	Cr : 44.9±1.1 PI : 43.2±1.4	Cr : 47.5±1.2 PI : 44.8±1.3	Cr : + 2.6 PI : + 1.6

♀ = études avec sujets féminins ; H= sujets hommes; F= sujets femmes; **entr.** = supplémentation + entraînement; Cr= créatine, PI= placebo; Con= contrôle; *A= autre traitement; Croisé= Schéma expérimental croisé

Tableau 13 : Études ayant démontré des changements non-significatifs de la masse maigre

Auteurs	Sujets	N : Cr /Pl & méthode	Supplémentation en Cr	Masse initiale (kg)	Masse finale (kg)	Différence (kg)
Earnest et al. (1995)	8 H; entraînés poids & haltères; 30.7 ans, 84.6kg	4 Cr, 4 Pl pesée hydro.	28 jours @ 25g/j	Cr : 77.6±10.8 Pl : 74.9±6.6	Cr : 79.2±11.6 Pl : 74.4±6.2	Cr : 1.6 Pl : -0.5
♀ Thompson et al. (1996) entr.	10 F; athlètes	5 T, 5 Pl RMN	42 jours @ 2g/j	Cr & Pl : 45.7±1.1	Cr: données abs. Pl : données abs.	Cr : Aucune
♀ Grindstaff et al. (1997)	7 H & 11 F; nageurs juniors; 15 ans, 61kg	9 T, 9 Pl 7 plis; Jackson	9 jours @ 21g/j	Cr : 52.3±4.0 Pl : 53.1±4.0	Cr : 52.9 ±4.0 Pl : 53.1±4.0	Cr : +0.6 Pl : 0

♀ = études avec sujets féminins : H= sujets hommes; F= sujets femmes; entr. = supplémentation + entraînement; Cr= créatine, Pl= placebo; Con= contrôle; *A= autre traitement; Croisé= Schéma expérimental croisé

Cependant, on indique que ces résultats ont été obtenus par la formule de Jackson & Pollock (1978 & 1980), malgré que celle-ci ait été développée sur des sujets de plus de 18 ans, et que ces sujets avaient un âge moyen de 15 ans. De plus, étant donné que la méthode des plis cutanés est assez grossière pour suivre les changements de masse maigre, d'autres approches semblent souhaitables pour mener à des conclusions plus probantes.

Des gains de masse maigre, mesurés cette fois par la pesée hydrostatique, ont aussi été observés par plusieurs, suite à une période de 3 à 12 semaines d'ingestion de Cr et d'entraînement (Vandenberghe et al., 1997; Becque et al., 1997; Volek et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999). Plus précisément, l'étude de Volek et al. (1999) rapporte des gains significatifs de masse maigre après 1 et 12 semaines de supplémentation et d'entraînement.

Par contre, selon la même méthode et suite à 4 semaines d'expérimentation, Earnest et al. (1995) n'ont pas observé d'augmentation significative de la masse maigre, malgré une augmentation significative de masse corporelle chez les sujets du groupe expérimental, bien que ceux-ci aient ingéré, comparativement aux sujets du groupe placebo, une quantité significativement plus faible de calories totales. Il semble pertinent de mentionner que cette étude ne comprenait que huit sujets, alors que celles présentées plus haut comprenaient un total de sujets variant entre quinze et quarante-huit, et qu'un nombre plus élevé aurait peut-être permis de détecter des différences significatives.

Thompson et al. (1996) notent également, par la résonance magnétique, l'absence de changement de masse maigre chez les sujets supplémentés durant 6 semaines. Cependant, les sujets de cette étude étaient tous de sexe féminin, et il est possible que l'absence d'effet soit due au sexe des sujets.

Stout et al. (1997) ont observé, avec une méthode utilisant les rayons-x (DEXA), une augmentation significative de la masse maigre seulement chez le groupe de sujets

dont chaque ingestion de Cr était accompagnée de trente-trois grammes de glucose. Les auteurs n'ont pas mesuré les changements de la concentration de Cr intracellulaire, mais il est néanmoins vraisemblable que l'accroissement des stocks de Cr_{tot} ait été plus grand dans ce groupe de sujets, comparativement aux sujets uniquement supplémentés de Cr. En effet, il apparaît que l'insuline favorise l'entrée de Cr dans la cellule (Haughland & Chang, 1975) et que l'ingestion de glucose, conjointement avec l'ingestion de Cr, pourrait augmenter la rétention de Cr intracellulaire (Green et al., 1996a & 1996b), ce qui expliquerait la différence des gains de masse maigre entre les deux groupes expérimentaux. Les résultats de Steenge et al. (1998) vont dans ce sens, puisqu'ils démontrent une plus grande rétention de Cr lorsque de l'insuline est infusée avec le supplément. Les auteurs notent cependant que le niveau d'insuline nécessaire pour un accroissement de la rétention de Cr exigerait une ingestion d'environ 100 grammes d'hydrate de carbone simple, ce qui représente une quantité considérablement plus élevée que celle utilisée dans l'étude mentionnée, qui est de 33 grammes de glucose.

D'autres résultats avec la méthode DEXA démontrent une augmentation de masse maigre et aucun gain de masse grasse, suite à sept et quatorze jours (Kreider et al., 1996) ainsi qu'après vingt-huit jours de supplémentation de Cr et d'entraînement (Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998). De plus, les résultats de Kreider et al. (1996) démontrent une réduction de la masse grasse après quatorze et vingt-huit jours d'expérimentation.

Certaines études ont investigué les effets des suppléments de Cr sur le volume d'eau corporel et n'ont noté aucun changement, que ce soit suite à 9 jours (Grindstaff et al., 1997) ou suite à 28 jours d'ingestion (Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998), et que les résultats soient exprimés en valeur totale (L) ou en valeur relative (ml/kg) (Kreider et al. 1996). Cependant, dans les études citées, le volume d'eau total était estimé par impédance bioélectrique (BIA) et il est possible que la méthode d'impédance n'ait pas été assez sensible pour relever les changements de volume intracellulaire. Malgré que ces études ne précisent pas la fréquence utilisée,

l'impédance utilise typiquement une fréquence de 50kHz, ce qui s'avère trop faible pour pénétrer la cellule. En effet, certains suggèrent qu'une fréquence de 100kHz peut évaluer le compartiment intracellulaire (Segal et al., 1991), mais d'autres considèrent cette puissance encore trop faible pour le mesurer complètement; une fréquence de 1MHz serait nécessaire (Boulier et al., 1992). Il est donc fort probable que la méthode de BIA utilisée ait sous-estimé le volume d'eau intracellulaire, ce qui expliquerait les résultats obtenus.

Par exemple, Ziegenfuss et al. (1998) ont évalué les variations de volumes d'eau chez dix sujets masculins avec la méthode de bioimpédance à multi-fréquences (MFBI), qui a permis une estimation du volume d'eau total (VET) à l'aide d'une fréquence de 100kHz et celle du volume d'eau extracellulaire (VEE) avec une fréquence de 1kHz. Leurs résultats démontrent une augmentation significative de 0.57L du volume d'eau intracellulaire (VEI) entre la mesure-contrôle et celle obtenue au troisième jour d'ingestion de Cr (~21g/j), ce qui représente une augmentation de 2.3% du volume de ce compartiment. De plus, les auteurs rapportent une augmentation ($p=0.07$) du VET de 0.86L, ce qui représente un gain de 2% et qui pourrait expliquer 90% du gain de masse corporelle.

Des résultats similaires ont été obtenus par Francaux & Poortmans (1999), qui, avec la méthode de BIA, mais dont la fréquence maximale atteignait 200kHz, ont rapporté une extension du VET, ainsi que du VEI, mais ces augmentations n'étaient pas accompagnées d'une augmentation du VEE, telle qu'évaluée à une fréquence de 5kHz. L'augmentation du VEI était apparente après 42 jours de supplémentation et d'entraînement et demeurait toujours élevée même après 21 jours d'ingestion de Cr sans entraînement. Il est intéressant de souligner que, selon les analyses, le gain de 1.1% de VET pourrait expliquer 55% du gain de masse corporelle et 30% de l'augmentation de VEI. Par conséquent, lorsque le VET et le VEI sont exprimés relativement à la masse corporelle, aucune différence significative ne peut être décelée. Selon les auteurs, ceci laisse croire que l'augmentation de masse corporelle n'est pas due à un gain d'eau intracellulaire mais plutôt à un gain de la masse sèche

musculaire, celle-ci étant accompagnée d'une rétention normale d'eau intracellulaire.

Malgré un manque de consensus scientifique sur les variations du volume d'eau, cette hypothèse avait déjà été avancée par plusieurs (Balsom et al., 1994; Volek et al., 1997; Balsom et al., 1993a; Jacobs et al., 1997) et, indirectement, par Hultman et al. (1996), dont les résultats démontraient un déclin du volume urinaire des sujets au cours des premiers jours de supplémentation.

7.3 Effets potentiels sur le développement musculaire

L'augmentation d'eau intramusculaire est un facteur important si l'on considère certains rapports suggérant que l'hydratation des cellules a un effet important sur le métabolisme de plusieurs substances dont les protéines et acides aminés. Par exemple, on indique que l'augmentation de l'hydratation favorise la synthèse de protéines hépatiques ainsi que la rétention d'acides aminés dans les cellules du foie (Waldegger et al., 1997; Häussinger et al., 1993; Häussinger, 1996). De plus, l'amplitude du changement d'hydratation pourrait déterminer la magnitude de la réponse protéolytique (Häussinger et al., 1993).

Il semble également exister une relation entre le statut d'hydratation cellulaire et le bilan azoté dans le muscle humain, sain ou malade, alors que plus l'hydratation augmente, plus le bilan azoté est positif (Häussinger et al., 1993 & Häussinger, 1996). Ces informations permettent d'envisager que les effets anabolisants observés dans la cellule hépatique pourraient être les mêmes dans la cellule musculaire et qu'il pourrait alors y avoir des changements au niveau de la structure musculaire. Des résultats préliminaires obtenus par Ziegenfuss et al. (1997) semblent supporter cette hypothèse. D'une part, les données sur le métabolisme des protéines au cours de l'ingestion de Cr sur trois sujets suggèrent une amélioration nette du bilan azoté, ce qui laisse croire, selon les auteurs, à une augmentation de la synthèse de protéines et/ou une diminution de sa dégradation. D'autre part, on rapporte une augmentation de 6.6% du volume musculaire de la cuisse, telle qu'estimée par résonance

magnétique, après trois jours d'ingestion de Cr, chez cinq des six sujets testés.

De plus, on a démontré que la Cr stimule la biosynthèse de protéines myofibrilles et favorise la rétention d'acides aminés dans la protéine de contraction (Bessman & Savabi, 1988). On peut alors supposer que le gain de masse corporelle est en partie dû à des changements de structures musculaires, probablement par un accroissement de la synthèse de protéines de contraction. Cette hypothèse a été émise par Kreider et al. (1998) dont les résultats ne démontraient aucun gain d'eau corporelle (par BIA), malgré le gain de poids, ce qui a amené les auteurs à supposer qu'une partie de cette augmentation pouvait être due à l'accroissement du tissu maigre, du moins au cours d'une période de supplémentation et d'entraînement.

D'autre part, les résultats de Sipilä et al. (1981) ont démontré une augmentation significative du diamètre de la fibre musculaire de type II chez sept patients, deux femmes et 5 hommes, suite à une supplémentation en créatine (1.5g/jour pendant 1 an). Ces résultats supportent aussi l'hypothèse de changements structuraux lors de la supplémentation; cependant, il est important de noter l'absence de groupe contrôle et aussi que les sujets supplémentés étaient atteints d'atrophie giratoire de la choroïde et de la rétine, maladie caractérisée, entre autre, par l'atrophie de la fibre de type II. Malgré l'absence de données à cet effet, on peut supposer que le poids corporel initial des sujets étaient moindre que celui des sujets en santé; par conséquent, l'augmentation moyenne de 10% de la masse corporelle des sujets observée dès le début de l'expérimentation serait probablement atypique chez des sujets sains.

Finalement, il est possible que l'augmentation du volume d'entraînement fréquemment observée lors de l'ingestion de suppléments de Cr permette une surcharge additionnelle qui, elle aussi, pourrait générer une adaptation musculaire structurale et fonctionnelle (Earnest et al., 1995). Ce phénomène pourrait être considérable et davantage perceptible lorsque l'on considère uniquement les études expérimentales comprenant un programme d'entraînement durant la période d'ingestion de Cr. D'une part, on remarque que les études de plus courtes durées, soit

de 21 à 42 jours, révèlent un gain significatif de masse corporelle (Becque et al., 1997; Kreider et al., 1996 & 1998; Vukovich & Michaelis, 1999; Francaux & Poortmans, 1999). D'autre part, l'étude de Vandenberghe et al. (1997) ne démontre aucune différence de masse corporelle mais uniquement une augmentation de la masse maigre après 74 jours, alors que les gains de masse corporelle observés par Volek et al. (1999), après 84 jours, semblent être principalement expliqués par une augmentation de masse maigre. Ceci semble suggérer que, l'usage de la Cr, combiné à l'entraînement sur une période relativement longue, permet des gains plus importants que l'entraînement seul.

8. CONCLUSION

L'analyse de la littérature montre que les études sur la supplémentation de créatine sont nombreuses. Malgré certaines controverses, on note généralement une augmentation de la Cr_{tot} intramusculaire, ce qui entraînerait des gains significatifs de performance au cours d'activités physiques anaérobies ainsi qu'une augmentation de la masse corporelle et de la masse maigre.

Il est présentement convenu que l'ingestion de suppléments de Cr permet une augmentation significative d'environ 20% de la concentration de Cr_{tot} intramusculaire. Cet accroissement permettrait des gains de performance, particulièrement lors d'efforts répétitifs de type anaérobie alactique, surtout lorsque ces efforts répétés sont entrecoupés de courtes périodes de repos, soit de 24 à 30 secondes. Étonnamment, on observe aussi des gains de performance lors d'efforts de type anaérobie lactique, qui semblent être expliqués par une amélioration de la capacité de tampon d'acidité, conséquence de la plus grande quantité de PC intramusculaire disponible après l'ingestion de suppléments de Cr. Par contre, les effets ergogènes de la Cr sont moins apparents lorsque l'effort ou la résistance dépend de la masse corporelle, étant donnée l'augmentation de la masse corporelle associée à l'usage des suppléments. Toutefois, ce facteur ne semble pas déterminer complètement le manque d'effet des suppléments sur ces activités.

En effet, plusieurs facteurs peuvent modifier les effets qu'induisent les suppléments et provoquer ainsi des variations dans les résultats d'expérimentations scientifiques. En conséquence, même lorsque les résultats sont regroupés en fonction de la ressemblance des protocoles, c'est-à-dire en considérant le type d'activité, la durée de l'effort, le nombre de répétitions ainsi que les temps de repos, on observe des résultats contradictoires. Les variations semblent être expliquées par des différences individuelles. Par exemple, le niveau de rétention de Cr varie selon la concentration intramusculaire initiale de Cr_{tot} , alors que les individus ayant une concentration originale faible récoltent de plus grandes augmentations. De plus, le sexe des sujets et leur niveau d'entraînement pourraient causer des variations dans les résultats, parce

que ces deux facteurs ont un effet sur les concentrations intramusculaires de Cr_{tot} . Plus particulièrement, les athlètes élite pourraient déjà avoir développé des habiletés exceptionnelles pouvant faire ombrage aux gains physiques potentiels observés chez des populations actives ou sédentaires.

D'autre part, certains problèmes reliés plus spécifiquement aux schèmes expérimentaux doivent être considérés. L'absence de groupe placebo pourrait empêcher d'apprécier les effets causés par l'administration du traitement comme tel, alors que les études ayant un petit nombre de sujets traînent avec elles une erreur statistique de type II importante. Finalement, plusieurs études à schème expérimental croisé comprennent une période intermédiaire entre les traitements de trop courte durée pour permettre un retour à la normale des stocks de Cr_{tot} , créant un chevauchement potentiel des effets prolongés des suppléments de Cr.

En ce qui concerne les augmentations de la masse corporelle et de masse maigre, on rapporte des changements rapides, c'est-à-dire de moins de sept jours. À première vue, ce laps de temps semble trop court pour permettre des changements de masse maigre via un gain au niveau de la structure musculaire. Toutefois, cette hypothèse ne peut être complètement exclue. Malgré son manque de précision, la méthode de plis cutanés a permis de déterminer des augmentations de masse maigre (Kirksey et al., 1997; Peeters et al., 1999), tout comme la méthode de pesée hydrostatique (Becque et al., 1997; Volek et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999; Vandenberghe et al., 1997). De meilleures méthodes sont cependant nécessaires pour examiner de façon plus précise les changements de masse maigre.

L'hypothèse d'une augmentation d'eau intracellulaire a été émise par plusieurs et confirmée par Ziegenfuss et al. (1998), mais réfutée par d'autres (Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998; Grindstaff et al., 1997). L'absence d'effet rapportée par ces trois dernières recherches pourrait être due à la technique d'impédance bioélectrique utilisée; cette technique aurait sous-estimé le volume total d'eau. D'autre part, Francaux & Poortmans (1999) suggèrent un gain de la masse sèche musculaire

accompagné d'une rétention normale d'eau intracellulaire. La rétention d'eau intracellulaire est un facteur important si l'on considère certains rapports suggérant qu'une augmentation de l'hydratation de la cellule favorise la synthèse de la protéine et la rétention d'acides aminés dans les cellules (Waldegger et al., 1997; Häussinger et al., 1993; Häussinger, 1996). Ce phénomène pourrait mener à une amélioration du bilan azoté net (Häussinger et al., 1993; Häussinger, 1996), ce que suggèrent déjà les résultats de Ziegenfuss et al. (1997). De plus, la seule présence de Cr dans la cellule semble permettre aussi l'accroissement de la biosynthèse des protéines de contraction et favoriser la rétention d'acides aminés dans la cellule (Bessman & Savabi, 1988), ce qui permet de penser que lorsque la concentration de Cr augmente, cet effet est d'autant plus important.

Finalement, il apparaît que, comme dans le cas des tests de performances, les effets des suppléments de Cr sur la composition corporelle pourraient dépendre du sexe. De nombreux résultats démontrent en effet que les sujets féminins, comparativement aux sujets masculins, augmentent moins leur masse totale et leur masse maigre lorsqu'elles utilisent ce supplément.

RÉFÉRENCES

- Balsom, P. D., Ekblom, B., Söderlund, K., Sjödin, B. & Hultman, E. (1993a). Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in sports*, 3: 143-149.
- Balsom, P. D., Harridge, S.D.R., Söderlund, K., Sjödin, B. & Ekblom, B. (1993b). Creatine supplementation *per se* does not enhance endurance exercise performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 149 (4): 521-523.
- Balsom, P. D., Söderlund, K. & Ekblom, B. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Medicine*, 18 (4): 268-280.
- Balsom, P. D., Söderlund, K., Sjödin, B. & Ekblom, B. (1995). Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise influence of creatine supplementation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 154 (3): 303-310.
- Barnett, C., Hinds, M. & Jenkins, D.G. (1996). Effects of oral creatine supplementation on multiple sprint cycle performance. *The Australian journal of science an medicine in sport*, 28 (1): 35-39.
- Becque, M.D., Lochman, J.D. & Melrose, D. (1997). Effect of creatine supplementation during strength training on 1RM and body composition [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S146.
- Bessman S.P. & Savabi F. The role of the Phosphocreatine Energy Shuttle in Exercise and Muscle Hypertrophy. In: Taylow A.W., Gollnick P.D., Green H.J., Ianuzzo, C.D., Noble, E. G., Métivier, G. & Sutton J. R. Editors. *International Series on Sport Sciences*, vol. 21, Champaign: Human Kinetics, 1988; 167-178.
- Bigard, A. X. (1998). Effets ergogéniques de la créatine. *Science & Sports*, 13: 211-220.
- Birch, R., Noble, D. & Greenhaff, P. L. (1994). The influence of dietary creatine supplementation on performance during repeated bouts of maximal isokinetic cycling in man. *European Journal of Applied Physiology*, 69 (3): 268-270.
- Boicelli, C.A., Baldassarri, A. M., Borsetto, C. & Conconi, F. (1989). An Approach to Nonivasive. Fiber Type Determination by NMR. *International Journal of Sports Medicine*, 10 : 53-54.
- Bosco, C., Tihanyi, J., Pucspk, J., Kovacs, I., Gabossy, A., Colli, R., Pulvirenti, G., Tranquilli, C., Foti, C., Viru, M. & Viru A. (1997). Effect of oral creatine supplementation on jumping and running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 18: 369-372.

Boulier, A., Thomasset, A. L. & Apfelbaum, M. (1992). Bioelectrical-impedance measurement of body water. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55 (3): 761-762.

Burke, L.M., Pyne, D.B. & Telford, R.D. (1996). Effect of Oral Creatine Supplementation on Single-Effort Sprint Performance in Elite Swimmers. *International Journal of sport nutrition*, 6: 222-233.

Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E. & Greenhaff, P.L. (1996). Creatine ingestion favourably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 271 (Endocrinology & Metabolism, 34): E31-E37.

Cooke, W. H. & Barnes, W. S. (1997). The Influence of Recovery Duration on High-Intensity Exercise Performance After Oral Creatine Supplementation. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22 (5): 454-467.

Cooke, W.H., Grandjean, P.W. & Barnes, W.S. (1995). Effect of oral creatine supplementation on power output and fatigue during bicycle ergometry. *Journal of Applied Physiology*, 78 (2): 670-673.

Crim, M.C., Calloway, D.H. & Margen, S. (1975). Creatine Metabolism in Men: Urinary Creatine and Creatinine Excretions with Creatine Feeding. *Journal of Nutrition*, 105 (4): 428-438.

Dawson, B., Cutler, M., Moody, A., Lawrence, S., Goodman, C. & Randall, N. (1995). Effects of oral creatine loading on single and repeated maximal short sprints. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 27 (3); 56-61.

DeHaan A. & Koudijs C.M. (1994). Linear relationship between ATP degradation and fatigue during high-intensity dynamic exercise in rat skeletal muscle. *Experimental Physiology*, 79:865-868.

Delanghe, J., De Slypere, J.-P., De Buyzere, M., Robbrecht, J., Wieme, R. & Vermeulen, A. (1989). Normal reference values for creatine, creatinine and carnitine are lower in vegetarians. *Clinical Chemistry*, 35(8) : 1802-1803.

Earnest, C.P., Snell, P.G., Rodriguez, R., Almada, A.L. & Mitchell, T.L. (1995). The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiologica Scandinavica*, 153 (2): 207-209.

Febbraio, M.A., Flanagan, T.R., Snow, R.J., Zhao S. & Carey, M.F. (1995). Effect of creatine supplementation on intramuscular TCr, metabolism and performance during intermittent, supramaximal exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 155 (4): 387-395.

- Fitch, C. D., Shields, R. P., Payne, W. F. & Dacus, J. M. (1968). Creatine metabolism in skeletal muscle: Specificity of the entry process. *Journal of Biological Chemistry*, 243 (8): 2024-2027.
- Forsberg, A. M., Nilsson, E., Werneman, J., Bergstrom, J. & Hultman, E. (1991). Muscle composition in relation to age and sex. *Clinical Science*, 81(2) : 249-256.
- Francaux, M. & Poortmans, J. R. (1999). Effects of training and creatine supplement on muscle strength and body mass. *European Journal of Applied Physiology*, 80:165-168.
- Green, A.L., Hultman, E., Macdonald, I.A., Sewell, D.A. & Greenhaff, P.L. (1996a). Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *American Journal of Physiology*, 271 (Endocrinology & Metabolism, 34): E821-E826.
- Green, A.L., Simpson, E.J., Littlewood, J.J., Macdonald, I.A. & Greenhaff, P.L. (1996b). Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 158 (2): 195-202.
- Greenhaff, P.L., Bodin, K., Söderlund, K. & Hultman, E. (1994). Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *American Journal of Physiology*, 266 (Endocrinology & Metabolism, 29): E725-E730.
- Greenhaff, P.L., Casey, A., Short, A.H., Harris, R., Söderlund, K. & Hultman, E. (1993). Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clinical Science*, 84 (5): 565-571.
- Grindstaff, P. D., Kreider, R., Bishop, R., Wilson, M., Wood, L., Alexander, C. & Almada, A. (1997). Effects of Creatine Supplementation on Repetitive Sprint Performance and Body Composition in Competitive Swimmers. *International Journal of Sport Nutrition*, 7 : 330-346.
- Hamilton-Ward, K., Meyers, M. C., Skelly, W. A., Marley, R. J. & Saunders, J. (1997). Effect of creatine supplementation on upper extremity anaerobic response in females [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (Suppl. 5): S146.
- Harris, R.C., Hultman, E. & Nordesjö, L.-O. (1974). Glycogen, glycolytic intermediates and high-energy phosphates determined in biopsy samples of musculus quadriceps femoris of man at rest. Methods and variance of values. *Scandinavian Journal of Clinical Laboratory Investigations*, 33 :109-120.
- Harris, R.C., Söderlund, K. & Hultman, E. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Science*, 83 (3): 367-374.

Haughland, R. B. & Chang, D. T. (1975). Insulin effect on creatine transport in skeletal muscle. *Proceedings of the Society for Experimental Biology & Medicine*, 148:1-4.

Häussinger, D. (1996). The role of cellular hydration in the regulation of cell function. *Biochemistry Journal*, 313: 697-710.

Häussinger, D., Roth, E., Lang, F. & Gerok, W. (1993). Cellular hydration state: an important determinant of protein catabolism in health and disease. *The Lancet*, 341:1330-1332.

Houston, M. E. (1995). Biochemical Energetics. In: *Biochemistry Primer for exercise science*. Human Kinetics, Champaign, Il. p 49-85.

Houston, M. E & Thomson, J. A. (1977). The Response of Endurance-Adapted Adults to Intense Anaerobic Training. *European Journal of Applied Physiology*, 36 : 207-213.

Hultman E., Bergström M., Lawrence L., Söderlund K. Energy Metabolism and Fatigue. In: Taylor A.W., Gollnick P.D., Green H.J., Ianuzzo, C.D., Noble, E. G., Métivier, G. & Sutton J. R. Editors. *International Series on Sport Sciences*, vol. 21, Champaign: Human Kinetics, 1988; 73-92.

Hultman, E., Söderlund, K., Timmons, J.A., Cederblad, G. & Greenhaff, P.L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of applied physiology*, 81(1): 232-237.

Jackson, A. S. & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12 :175-182.

Jackson, A. S. & Pollock, M. L. (1980). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40 :497-504.

Jacobs I., Bleue, S. & Goodman, J. (1997). Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(3): 231-243.

Jones N.L., McCartney N., Graham T., Spriet L.L., Kowalchuk J.M., Heigenhauser G.J.F. & Sutton J.R. Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. *Journal of Applied Physiology*, 1985;59(1):132-136.

Juhn, M. S. & Tarnopolsky, M. (1998). Oral Creatine Supplementation and Athletic Performance : A Critical Review. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 8 : 286-297.

Kamber, M., Koster, M., Kreis, R., Walker, G., Boesch, C. & Hoppeler, H. (1999). Creatine supplementation- Part 1: performance, clinical chemistry, and muscle volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (12): 1763-1769.

Kirksey, K.B., Warren, B.J., Stone, M.H., Stone, M.R. & Johnson, R.L. (1997). The effects of six weeks of creatine monohydrate supplementation in male and female track athletes [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S143.

Kreider, R.B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., Cantler, E. & Almada, A.L. (1998). Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (1): 73-82.

Kreider, R.B., Klesges, R., Harmon, K., Gridstaff, P., Ramsey, L., Bullen, D., Wood, L., Li, Y. & Almada, A. (1996). Effects of Ingesting Supplements Designed to Promote Lean Tissue Accretion on Body composition During Resistance Training. *International Journal of Nutrition*, 6: 234-246.

Kreis, R., Kamber, M., Koster, M., Felblinger, J., Slotboom, J., Hoppeler, H. & Boesch, C. (1999). Creatine supplementation- Part II : in vivo magnetic resonance spectroscopy. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 31 (12) : 1770-1777.

Ledford, A. & Branch, J. D. (1999). Creatine Supplementation Does Not Increase Peak Power Production and Work Capacity During Repetitive Wingate Testing in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (4) : 394-399.

Lemon, P., Boska, M., Bredle, D., Rogers, M., Ziegenfuss, T. & Newcomer, B. (1995). Effect of oral creatine supplementation on energetics during repeated maximal muscle contraction [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 27 (Suppl. 5): S204.

Linossier, M.-T., Denis, C., Dormois, D., Geysant, A. & Lacour, J. R. (1993). Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *European Journal of Applied Physiology*, 67 : 408-414.

MacDougall, J. D., Ward, G. R., Sale, D.G. & Sutton, J.R. (1977). Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilisation. *Journal of Applied Physiology*, 43 : 700-703.

Martin D.W. Jr., Mayes P.A., Rodwell V.W. & Granner D.K. *Harper's Review of Biochemistry*, 20th Edition. Lange-Medical Publications, Los Altos, CA., 1985.

Mc Ardle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (1991). *Exercise physiology : energy, nutrition, and human performance*. Third Edition. Lea & Febiger, Malvern, PA.

Mujika, I., Chatard, J.-C., Lacoste, L., Barale, F & Geysant, A. (1996). Creatine supplementation does not improve sprint performance in competitive swimmers. *Medicine, Science in Sports and Exercise*, 28 (11): 1435-1441.

Mujika, I. & Padilla, S. Creatine Supplementation as an Ergogenic Aid for Sports Performance in Highly Trained Athletes: A Critical Review. *International Journal of Sports Medicine*, 18: 491-496.

Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A. & Rodwell, V. W. *Précis de biochimie Harper*, 8e édition. Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas, Québec, 1995.

Nevill, M. E., Bogdanis, G. C., Boobis, L. H., Lakomy, H. K.A. & Williams, C. (1996). Muscle Metabolism and Performance During Sprinting. In: *Biochemistry of Exercise IX*. Maughan, R. J. & Shirreffs, S. M. Editors. Human Kinetics, Champaign, Il. p 243-259.

Odland, L.M., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Elorriaga, A. & Borgmann, A.(1997). Effect of oral creatine supplementation on muscle [PCr] and short-term maximum power output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(2): 216-219.

Peeters, B. M., Lantz, C. D. & Mayhew, J. L. (1999). Effect of Oral Creatine Monohydrate and Creatine Phosphate Supplementation on Maximal Strength Indices, Body Composition and Blood Pressure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (1) : 3-9

Peyrebrune, M.C., Nevill, M.E., Donaldson, F.J. & Cosford, D.J. (1998). The effects of oral creatine supplementation on performance in single and repeated sprint swimming. *Journal of Sports Sciences*, 16: 271-279.

Poortmans, J. R. & Francaux, M. (1999). Les effets de indésirables de la créatine exogène : de la fiction à la réalité. *Science & Sport*, 14 : 271-277.

Redondo, D.R., Dowling, E.A., Graham, B.L., Almada, A.L. & Williams, M.H. (1996). The effect of oral creatine monohydrate supplementation on running velocity. *International Journal of Sport Nutrition*, 6 (3): 213-221.

Rossiter, H. B., Cannell, E. R. & Jakeman, P. M. (1996). The effect of oral creatine supplementation of the 1000-m performance of competitive rowers. *Journal of Sports Sciences*, 14 (2): 175-179.

Saltin, B. Anaerobic Capacity: Past, Present, and Prospective. In: Taylow A.W., Gollnick P.D., Green H.J., Ianuzzo, C.D., Noble, E. G., Métivier, G. & Sutton J. R. Editors. *International Series on Sport Sciences*, vol. 21, Champaign: Human Kinetics, 1988; 387-412.

Segal, K. R, Burastero, S., Chun, A., Coronel, P., Pierson, R. N. & Wang, J. (1991). Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical measurements. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54: 26-29.

Sipilä, I., Rapola, J., Simell, O. & Vannas, A. (1981). Supplementary creatine as a treatment for gyrate atrophy of the choroid and retina. *The New England Journal of Medicine*, 304 (15): 867-870.

Snow, R.J., McKenna, M.J., Selig, S.E., Kemp, J., Stathis, C. G. & Zhao (1998). Effect of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 84(5): 1667-1673.

Söderlund, K. & Hultman, E. (1992). ATP and phosphocreatine changes in single human muscle fibers after intense electrical stimulation. *American Journal of Physiology*, 261 (Endocrinology & Metabolism, 24): E737-E741.

Söderlund, K., Greenhaff, P. L. & Hultman, E. (1992). Energy metabolism in type I and type II fibers during short term electrical stimulation at different frequencies. *Acta Physiologica Scandinavica*, 144 : 15-22.

Spriet L.L. Anaerobic Metabolism during high-intensity exercise. In: *Exercise Metabolism*. Mark Hargreaves. Human Kinetics, 1995:1-39.

Spriet L.L., Söderlund K., Bergström M. & Hultman E. Anaerobic energy release in skeletal muscle during electrical stimulation in men. *Journal of Applied Physiology*, 1987; 62(2): 611-615.

Steenge, G. R., Lambourne, J., Casey, A., Macdonald, I. A. & Greenhaff, P. L. (1998). Stimulatory effect of insulin on creatine accumulation in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 275 (Endocrinology & Metabolism) : E974-E979.

Stout, J.R., Eckerson, J., Noonan, D., Moore, G. & Cullen, D. (1997). The effects of a supplement designed to augment creatine uptake on exercise performance and fat-free mass in football players [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S251.

Stroud, M.A., Holliman, D., Bell, D., Green, A.L., Macdonald, I.A. & Greenhaff, P.L. (1994). Effect of oral creatine supplementation on respiratory gas exchange and blood lactate accumulation during steady-state incremental treadmill exercise and recovery in man. *Clinical Science*, 87 (6): 707-710.

Tarnopolsky, M. A. (2000). Gender differences in Metabolism; Nutrition and Supplements. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3 (3): 287-298.

Tesch, P. A., Thorsson, A. & Fujitsuka, N. (1989). Creatine phosphate in fiber types of skeletal muscle before and after exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 66 (4) : 1756-1759.

Terrillion, K.A., Kolkhorst, F.W., Dolgener, F.A. & Joslyn, S.J. (1997). The effect of creatine supplementation on two 700-m maximal running bouts. *International Journal of Sport Nutrition*, 7: 138-143.

Thompson, C.H., Kemp, G.J., Sanderson, A.L., Dixon, R.M., Styles, P., Taylor, D.J. & Radda, G.K. (1996). Effect of creatine on aerobic and anaerobic metabolism in skeletal muscle in swimmers. *British Journal of Sports Medicine*, 30 (3): 222-225.

Vandenbergh, K., Gillis, N., Van Leemputte, M., Van Hecke, P., Vanstapel, F. & Hespel, P. (1996). Caffeine counteracts the ergogenic action of muscle creatine loading. *Journal of applied physiology*, 80(2): 452-457.

Vandenbergh, K., Goris, M., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vangerven, L. & Hespel, P. (1997). Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 83 (6) : 2055-2063.

Vandenbergh, K., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vanstapel, F. & Hespel, P. (1999). Phosphocreatine resynthesis is not affected by creatine loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (2): 236-242.

Volek, J. S., Duncan, N. D., Mazzetti, S. A., Staron, R. S., Putukian, M., Gómez, A. L., Pearson, D. R., Fink, W. J. & Kraemer, W. J. (1999). Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (8): 1147-1156.

Volek, J.S., Kraemer, W.J., Bush, J.A., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K.L. & Lynch, J.M. (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *Journal of the American Dietetic Association*, 97 (7): 765-70.

Vukovich, M. D. & Michaelis, J. (1999) Effect of two different creatine supplementation products on muscular strength and power. *Sports Medicine, training and rehabilitation*, 8 (4); 369-383.

Waldegger, S., Bush, G. L., Kaba, N. K., Zempel, G., Ling, H., Heidland, A., Häussinger, D. & Lang, F. (1997). Effect of Cellular Hydration on Protein Metabolism. *Mineral and Electrolyte Metabolism*, 23; 201-205.

Wallimann T., Wyss M., Brdiczka D., Nicolay K. & Eppenberger H. M. (1992). Intracellular compartmentation, structure and function of creatine kinase isoenzymes in tissues with high and fluctuating energy demands: the "phosphocreatine circuit" for cellular energy homeostasis. Review Article. *Biochemical Journal*, 281: 21-40.

Williams, M. H. & Branch, J. D. (1998). Creatine Supplementation and Exercise Performance : An Update. *Journal of the American College of Nutrition*, 17 (3) : 216-234.

Wyss, M. & Wallimann, T. (1994). I-4 Creatine metabolism and the consequences of creatine depletion in muscle. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 133/134: 51-66.

Ziegenfuss, T.N., Lemon, P.W.R., Rogers, M.R., Ross, R, & Yarasheski, K.E. (1997). Acute creatine ingestion: effects on muscle volume, anaerobic power, fluid volumes and protein turnover[Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S127.

Ziegenfuss, T. N., Lowery, L. M., Lemon, P. (1998). Acute fluid volume changes in men during three days of creatine supplementation. *Journal of Exercise Physiology online*, 1 (3).

PARTIE II: ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

INTRODUCTION

Numerous studies have addressed the ergogenic potential of creatine (Cr) supplements. The ingestion of 20 to 30 grams of Cr daily, for 2 to 6 days, can increase the intramuscular total creatine (TCr) concentration by about 20% (Harris et al., 1992; Balsom et al., 1995; Casey et al., 1996; Hultman et al., 1996; Green et al., 1996a; Febbraio et al., 1995). On the one hand, this means a greater amount of accessible Cr to be combined to a phosphate group, accelerating the PCr turnover rate. On the other, the increase in the actual PCr concentration means more high energy phosphate readily available to resynthesize ATP from ADP during intense muscle contraction. Hence, some investigations on Cr supplementation and anaerobic performance have reported increased performance during short, repeated exercise bouts (≤ 15 s) (Kamber et al., 1999; Balsom et al., 1993a; Dawson et al., 1995; Kreider et al., 1998; Vukovich & Michaelis, 1999), and during intermediate repeated bouts (20-30s) (Birch et al., 1994; Casey et al., 1996; Earnest et al., 1995; Grindstaff et al., 1997; Peyrebrune et al., 1998), while others have not (Redondo et al., 1996; Barnett et al., 1996; Burke et al., 1996; Cook et al., 1995; Ledford & Branch, 1999). Some studies have shown increased performance during effort functionally limited by the anaerobic lactic system (Bosco et al., 1997; Jacobs et al., 1997; Rossiter et al., 1996; Grindstaff et al., 1997). Furthermore, ingestion of Cr induces a weight gain of approximately 1.5 kg, which appears to be due to an increase in lean body mass (LBM), although this phenomenon is still not fully understood. Increases in LBM have been demonstrated via various body composition assessment methods (Becque et al., 1997; Kirksey et al., 1997; Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998; Peeters et al., 1999; Volek et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999; Vandenberghe et al., 1997). However, increases in total body water (TBW) and intracellular water (ICW) have been shown only with the use of the multi-frequency bioelectrical impedance (MF-BIA) (Ziegenfuss et al., 1998) and with high frequency bioelectrical impedance (BIA) methods (Francaux & Poortmans, 1999). They have not been shown by using the more traditional BIA (Grindstaff et al., 1997; Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998). Moreover, it appears that Cr ingestion may

favour lean tissue accretion, via various mechanisms, which is particularly apparent during longer ingestion protocol.

Cr supplementation literature is characterised by numerous contradicting results that might be related to different experimental protocols and/or investigated variables. Therefore, it would be interesting, using the same subjects and the same methodology, to investigate the effect of Cr supplementation:

1. on both “alactic” and “lactic” anaerobic performance
2. on body composition variables such as fat, lean body mass, intra- and extra cellular water and lean thigh volume

and to see if eventual performance improvements are related to body composition changes.

METHODOLOGY

Subject characteristics

Sixteen physically active male volunteers (25.9 ± 4.8 yr, 75.6 ± 12.5 kg, 176.4 ± 7.1 cm) gave their written informed consent to participate in the study, which was approved by the University’s ethical committee. The subjects were required to have been on an anaerobic training program for at least one month, at a rate of three sessions per week and were committed to pursuing their training for the duration of the experimentation. Ten subjects had used Cr supplements in the past, but the time span since the last ingestion was four months or more. Moreover, none of them reported using diuretics or other types of supplements, such as protein or large amounts¹ of vitamins and minerals in the past year. The subjects agreed not to take any supplement other than what they would be given, in order to eliminate possible interactions between substances. Initially, the subjects were asked to report their estimated daily meat intake. Although all of them were omnivores, the amount of

¹ Some had been using vitamins & minerals as daily supplements, but not in large doses.

meat consumed every day showed much variation between subjects (approximately 2.2 ± 1.4 meat portion/day). Since individual differences in response to Cr ingestion is well documented, this specific point will be addressed in a subsequent section. During the experiment, diets were not monitored, however, the subjects were encouraged to maintain their normal dietary intakes throughout the study.

The subjects responded negatively to all questions on the Physical Activity Readiness Questionnaire (Thomas et al., 1992) and none had a history of renal disease or any other known renal dysfunction. The subjects were informed of the experimental procedures and were encouraged to address any concerns prior to, or during the course of the experiment.

Group randomisation: experimental and placebo

Subjects were matched according to body weight, training program and performance on their first anaerobic test and were assigned, in a random, double-blind manner, to the experimental group ($n = 8$) or the placebo group ($n = 8$). Subjects were told they would receive either creatine (Cr) or placebo (Pl) supplements and were also informed that the investigator would not be aware of treatment's attribution. Since both groups followed the same testing procedures, they only differed in terms of the Cr ingestion.

During the experimental protocol, participants also kept a training log, in which they described, in detail, all physical activities they engaged in during the 4-week study. The purpose of this log was to monitor possible variations between anticipated training routine, as originally described, and actual physical training.

Experimental supplementation

The Cr ingestion protocol consisted of four 5g/day doses of Cr (Pro Circuit High Tech Nutrition Inc., Delson, Canada), during the first 5 days, followed by a single 5g/day dose for the 21 remaining days. The Pl ingestion protocol consisted of maltodextrine, administered in the same quantity, frequency and duration as was

administered for Cr. All subjects received small packets, containing either Cr or maltodextrine, and were instructed to dissolve its content into 250 ml of water, followed by a second glass of water. Maltodextrine was chosen as the PI because its texture and colour resemble that of Cr, which helped in keeping the subjects unaware of their treatment. Moreover, each packet contained 5 g of a carbohydrate containing powder (Allsport), so subjects would not be able to determine what they received.

In order to help the subjects keep track of the supplement ingestion, they received forty-one numbered small packets, each representing a day of ingestion. The subjects were also given a calendar that indicated testing sessions, daily Cr ingestion and information about various details to remember prior to testing sessions.

Experimental design

The variables measured at each testing session are described in Table 1. Subjects reported to the laboratory having abstained from alcohol for 48 hours, exercise for 24 hours and having fasted for 4 hours. All testing sessions were performed at approximately the same time of day. After the first and last week of supplementation, subjects were asked whether they knew what supplements they had received.

Table 1: Study time frame with experimental periods and measured variables.

Day	Body weight	Skinfolds	MFBI	Thigh girth	Hydrostatic weighing	Anaerobic 10 x 6s	Anaerobic 1 x 60s
D -2	✱	✱	✱	✱		✱	
D -1	✱		✱	✱	✱		✱
D 7	✱	✱	✱	✱		✱	
D 9	✱		✱	✱	✱		✱
D 26	✱	✱	✱	✱		✱	
D 28	✱		✱	✱	✱		✱

D -2 & D -1 : before supplementation period

D 7 & D 9 : during supplementation period

D26 & D 28 : during supplementation period

Note: One placebo subject did not do the anaerobic tests

Dependant variables and methods

1- Anaerobic alactic and anaerobic lactic exercise protocols

Both exercise protocols were performed on a friction-load Monark cycle ergometer (Model 824E) with rounded handle bars and toe clips. Subjects were instructed to pedal as fast as possible during each sprint and to remain seated while pedalling. At the beginning of each session, subjects warmed up for 5 minutes, at a self selected resistance and cadence. Before each sprint, the subjects started pedalling without resistance for a 5 seconds countdown during which they reached maximal revolutions. The appropriate resistance was quickly applied to the flywheel (<1 s) at the start of the test. Verbal encouragement was given throughout the test. Crank revolutions were detected by an electromagnetic sensor (12 signals per revolution) mounted on the cycle ergometer and data was collected online via an IBM compatible PC serial port, using the "Power" computer program (Version 3.02, Sports Medicine Industries Inc., USA).

The anaerobic alactic test consisted of ten 6 seconds sprints interspersed by 30 seconds of active recovery, and the resistance applied represented 10% of subject's body weight. The anaerobic lactic test consisted of one maximal effort of 60 seconds with a resistance of 8% of the subject's body weight. These resistances were empirically determined and are similar to the ones used by others (Inbar et al., 1996; Kamber et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999). Resistance was calculated before each exercise session, and therefore, fluctuated when changes in subjects' body weight occurred.

Peak Power Output (PPO), Mean Power Output (MPO), total work in absolute units (W) and relative to body weight units (W/kg), and power decline (%) from the beginning to the end of test were computed for both anaerobic tests.

Specifically, for the anaerobic alactic test, PPO for each sprint was identified as the highest 1-s output recorded, which occurred over the first two seconds. For statistical purposes, the PPO for this series of sprints is the averaged PPO of the first 3 sprints.

Power decline was calculated as the percentage of the difference between the PPO of the first three sprints and PPO of the last three sprints. MPO was calculated for each sprint but is presented here as the average of the ten sprints.

For the anaerobic lactic test, PPO was obtained by averaging the highest 5-s output measured at the beginning of the test and power decline was calculated as the difference between the PPO and the lowest 5-s output recorded towards the end of the test. MPO was calculated as the average output over the 60-s test.

2- Anthropometric measures

Subject height (± 0.5 cm) was measured with the “Holtain” stadiometer (Crymmych, England), and body weight (± 0.1 kg) was assessed with the “Detecto-Medic” scale (Detecto Scales Inc., Brooklyn, USA). Thigh circumference (± 0.1 cm) was measured with an anthropometric measuring tape (Butterfly, China) placed on skin surface at three different locations, the proximal, medial and distal thigh, as described by Callaway et al. (1988). Thigh volume (VOL_t , cm^3) was estimated from mean surface area (A , cm^2) and the length of the thigh (L , cm);

$$VOL_t = A * L$$

where A is estimated from mean radius (r , cm) of the three locations ;

$$A = \pi r^2$$

and r is estimated from the three corresponding circumferences (C , cm);

$$C = 2 \pi r$$

Finally, lean thigh volume was obtained by correcting the total radius (r_c) by removing half the average of anterior and posterior thigh skinfolds (S , cm);

$$r_c = r - 0.5 S$$

Thus, total lean thigh volume is;

$$\text{Lean } VOL_t = \pi (C/2 \pi - S/2)^2 * L$$

3-Skinfolds

The Harpenden skinfold caliper (British Indicators Ltd., England) was used to determine skinfold thickness (± 1 mm), at thirteen different sites: biceps, triceps, suprailiac, subscapular, cheek, chin, chest, ribs, abdomen, knee, anterior and posterior thigh and calf. Subsequently, using Durnin & Womersley's (1974) equation and the first four of these folds, subjects' body fat percentage was computed. Measurements were always taken by the same investigator, to avoid inter-tester variability.

4-Hydrostatic weighing

Body fat percentage and lean body mass were estimated from body density by hydrostatic weighing (Brozek et al., 1963). Residual volume was previously determined by helium dilution (md2-FRC, Morgan Helium Analyser, Kent, England) in order to correct residual air trapped in the body, and to estimate a corrected value for body volume as determined by hydrostatic weighing. An additional 100-ml correction was made for air trapped in the intestinal tract. Density was converted to body fat percentage using Siri's (1956) equation.

5- Multi-frequency bioimpedance

Intracellular (ICW) and extracellular (ECW) water volumes were estimated by the "SEAC-SFB3" tetrapolar multi-frequency bioimpedance technique (UniQuest Ltd., Brisbane, Australia), which has a predicted precision of $\pm 0.5\%$. Frequencies ranging from 4 kHz and 1024 kHz (at 0.005 W) were used, in order to differentiate extracellular and intracellular space and bioimpedance circuit modelling for data analysis was completed using the Cole-Cole model with a selected data rejection of 5%. Extracellular and total body water (TBW) volumes (L) were estimated with equations of Cornish et al. (1996):

$\begin{aligned} \text{TBW} &= 0.5 (H^2 / Zc) + 0.186 (BW) + 0.6 \\ \text{ECW} &= 0.352 (H^2 / R0) + 0.099 * BW + 3.09 * \text{sex} - 6.3 \\ \text{ICW} &= \text{TBW} - \text{ECW} \end{aligned}$

These formulas have respective r and SEE of 0.84 L and 2.1 L for ECW (bromide tracer dilution technique) and of 0.94L and 2.4L for TBW (deuterium tracer dilution technique).

Measurements were taken after the subjects rested supine for a period of 10 minutes and after all other important elements for procedure standardisation, as described in “BIA Client Guidelines” (Heyward & Stolarczyk, 1996) were verified.

Statistical analyses

Two-way analysis of covariance (ANCOVA) with time as a repeated measure (pre, post) and groups (Cr & Pl), was used to determine differences between groups and time, for all investigated variables². All data is reported as group mean \pm standard deviation. Statistical significance was established at $p < 0.05$ level.

RESULTS

Anaerobic performance

Results for the performance variables are presented in Table 2 for the anaerobic alactic test and in Table 3 for the anaerobic lactic test. Data is given for Cr and Pl groups and for tests prior to ingestion and following the first and forth week of treatment.

Anaerobic alactic (10x6s)

No difference was observed for the Cr or the Pl group on any of the power indices. Cr supplementation had no effect on the mean PPO produced over the first three sprints or on the power decline, as measured in relation to the mean PPO of the last three sprints. MPO over the ten 6-s sprints was also unaltered by ingestion of the supplement.

² With a limited number of subjects and the uncertainty regarding the data normal distribution, statistical analyses were also performed after logarithmical transformation of the data. The results of the transformed data were identical to the original parametric statistical analyses (ANCOVA), and therefore, only the original results are presented.

Anaerobic lactic (1x60s)

Likewise, there was no difference after treatment for the Cr and the Pl groups for this test. Ingestion of Cr had no effect on PPO, on MPO or on performance decline over the 60-seconds sprint.

Table 2: Anaerobic alactic (10 x 6s) performance results.

Variables	T	Pre Test	Post: week 1	Post: week 4	ANCOVA
Peak Power Output (W)					
Mean over first 3 sprints	Cr	1267.9 ±431.8	1320.2±334.4	1377.7±334.6	NS
	Pl	1150.8±127.6	1220.7± 98.5	1258.8±118.4	
Mean over last 3 sprints	Cr	1143.2±366.6	1173.0±234.7	1181.1±300.1	NS
	Pl	1013.3± 95.7	1087.2±146.7	1132.1± 85.4	
Power decline (%)					
First 3 vs. last 3 sprints	Cr	9.1± 7.8	10.2±8.2	14.2±6.1	NS
	Pl	11.3±11.0	11.1±8.3	9.8±5.7	
Mean Power Output (W)					
MPO over 10 sprints	Cr	913.9±218.7	962.4±167.5	990.8±203.8	NS
	Pl	853.4± 73.4	898.0± 66.6	939.9± 69.3	

Table 3: Anaerobic lactic (1 x 60s) performance results.

Variables	T	Pre Test	Post: week 1	Post: week 4	ANCOVA
Peak Power Output (W)					
Mean over first 5s	Cr	879.9±223.9	957.6±238.2	999.7±236.9	NS
	Pl	901.9± 60.9	897.9± 98.4	916.3± 83.4	
Power decline (%)					
Decline over 60s	Cr	62.5±7.3	65.3±8.6	68.0±6.0	NS
	Pl	67.7±2.3	64.7±5.0	64.0±4.6	
Mean Power Output (W)					
MPO over 60s	Cr	540.9±111.2	554.5±102.8	543.1±96.2	NS
	Pl	518.3± 41.5	521.9± 36.9	530.5±33.5	

Body composition

Results for all body composition variables are presented in Table 4. Data is given for Cr and Pl groups and for tests prior to ingestion and following the first and fourth week of treatment.

Body weight, LBM, sum of skinfolds, body fat percentage

Cr ingestion resulted in a 1.8% significant increase ($p < 0.032$) in total body weight for subjects in this group, whereas no change was observed in the Pl group (Figure 1). Following supplementation, there was no change, for any group, in the sum of 13 skinfolds, body fat percentage, or in LBM, obtained via both skinfolds and hydrometry, using the Durnin & Womersley's or Siri's formulas, respectively.

Body water and lean thigh volume

Cr ingestion resulted in a 2.5% significant increase ($p < 0.026$) in ICW (Figure 2) and in a 2.7% significant increase ($p < 0.035$) in lean thigh volume (Figure 3). However, no change was observed for ECW or TBW. The Pl group experienced no change on any of these variables.

Table 4: Body composition results.

Variables	T	Pre Test	Post: week 1	Post: week 4	ANCOVA
Body Weight (kg)	Cr	77.5±15.9	78.7±16.3	78.9±17.0	0,032
	Pl	73.8± 8.4	74.1± 8.5	74.0± 8.6	
Fat Variables					
Sum of 13 skinfolds (mm)	Cr	89.0±27.8	90.0±27.0	88.5±29.9	NS
	Pl	93.4±19.5	95.6±22.7	93.7±21.0	
Fat Percentage: Durnin(%) (4 skinfolds)	Cr	11.0± 4.2	11.2± 3.8	11.0±4.6	NS
	Pl	11.3± 2.5	11.3± 2.8	11.3±2.9	
Fat Percentage: Siri (%) (hydrostatic weight)	Cr	12.8± 7.6	13.3± 7.5	12.9±7.7	NS
	Pl	12.9± 4.9	11.7± 5.7	12.1±5.0	
Lean Body Mass					
Durnin (kg)	Cr	68.6±11.4	69.5±11.8	69.7±11.8	NS
	Pl	65.3± 6.7	65.6± 6.9	65.5± 7.0	
Siri (kg)	Cr	66.8±8.4	67.4±8.4	67.7±8.7	NS
	Pl	61.9±6.7	62.7±6.5	62.7±6.8	
Thigh Volume (dm ³)	Cr	7.5±2.0	7.6±2.1	7.7±2.2	0,035
	Pl	7.3±9.7	7.3±9.7	7.3±1.0	
Body Water					
Intracellular (L)	Cr	28.1±3.1	28.5±3.1	28.8±3.6	0,026
	Pl	27.7±2.5	27.8±2.7	27.8±2.7	
Extracellular (L)	Cr	21.0±4.2	21.4±4.2	21.8±4.8	NS
	Pl	20.3±3.0	20.7±3.1	20.6±3.1	
Total (L)	Cr	49.1±7.2	49.8±7.3	50.6±8.4	NS
	Pl	48.0±5.5	48.5±5.8	48.4±5.7	

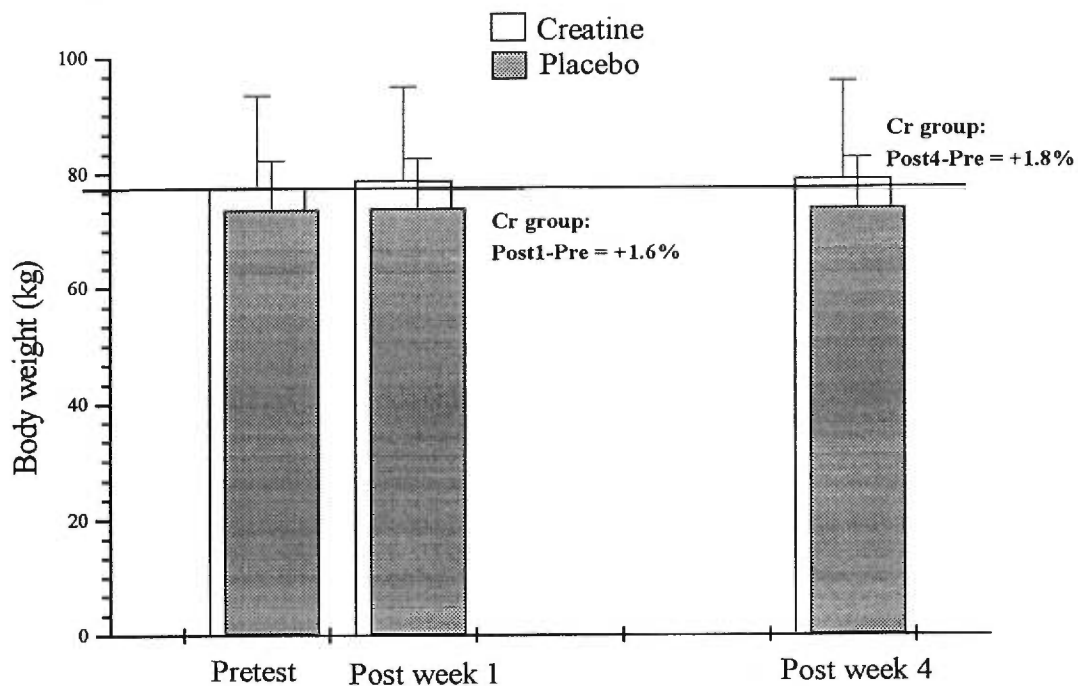


Figure 1: Body weight (Mean \pm SD) change across time for Pl and Cr groups.

Both post-treatment values were significantly higher than the pre-treatment value ($p < 0.032$) for the Cr group only. The horizontal line refers to the pre-experimental mean weight of the Cr group, to better appreciate the magnitude of the changes. Although the increases are relatively small, they are significant.

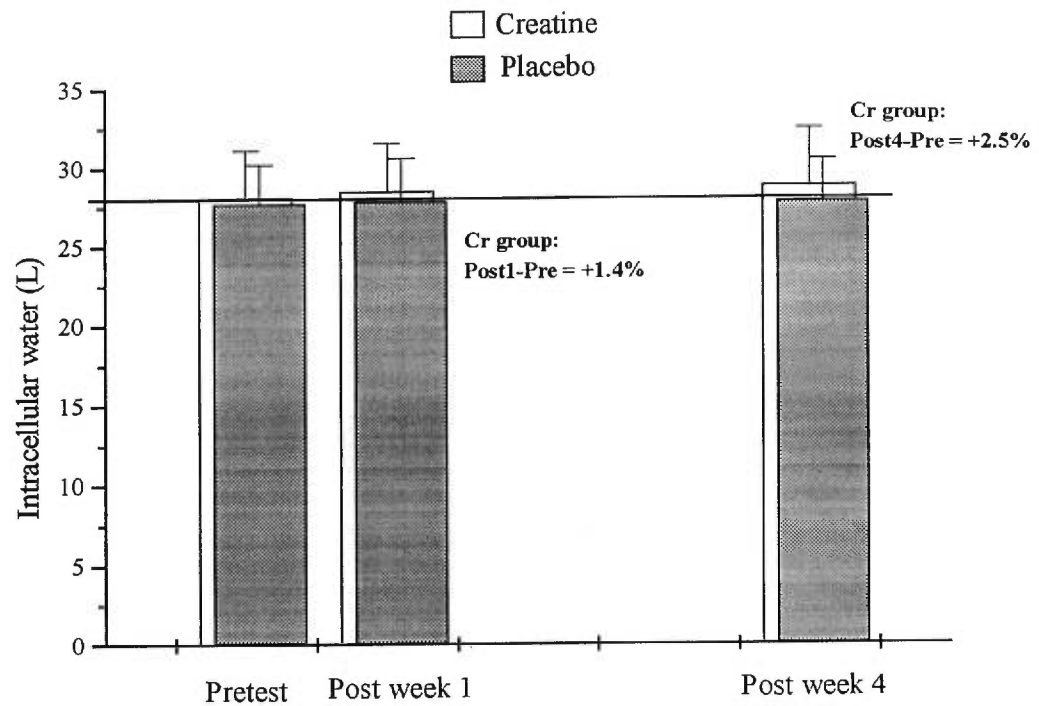


Figure 2: Intracellular water (Mean \pm SD) change across time for Pl and Cr groups.

Both post-treatment values were significantly higher than the pre-treatment value ($p < 0.026$) for the Cr group only. The horizontal line refers to the pre-experimental mean ICW of the Cr group, to better appreciate the magnitude of the changes. Although the increases are relatively small, they are significant.

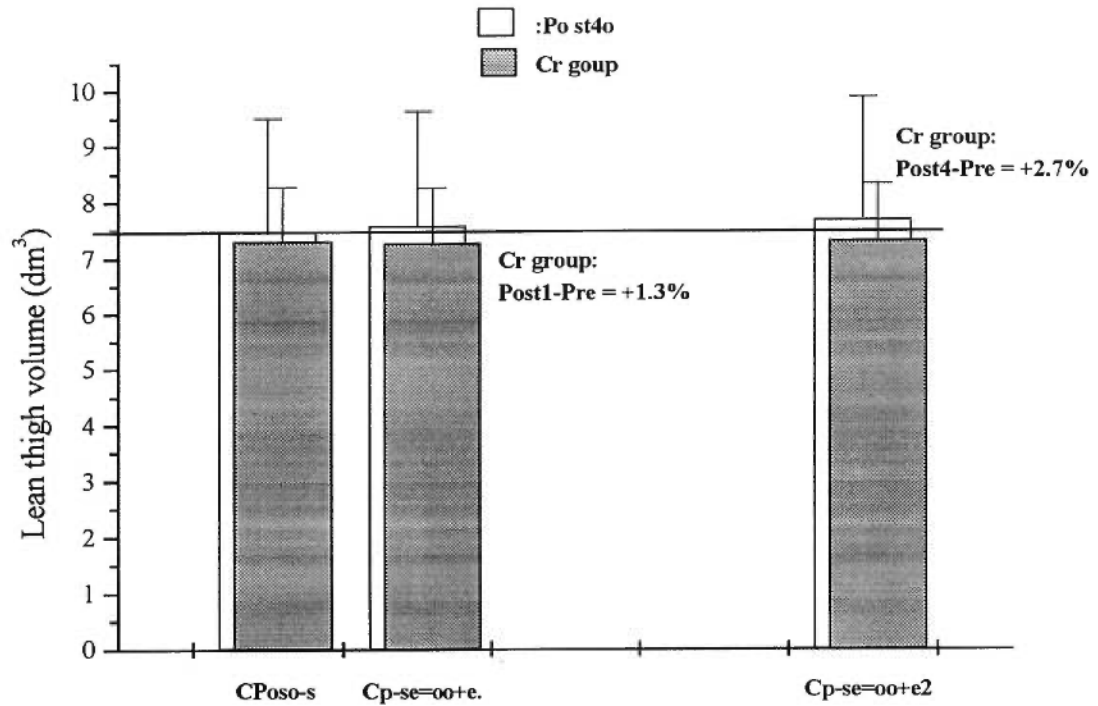


Figure 3: Lean thigh volume (Mean ± SD) change across time for PI and Cr groups.

Both post-treatment values were significantly higher than the pre-treatment value ($p < 0.035$) for the Cr group only. The horizontal line refers to the pre-experimental mean lean thigh volume of the Cr group, to better appreciate the magnitude of the changes. Although the increases are relatively small, they are significant.

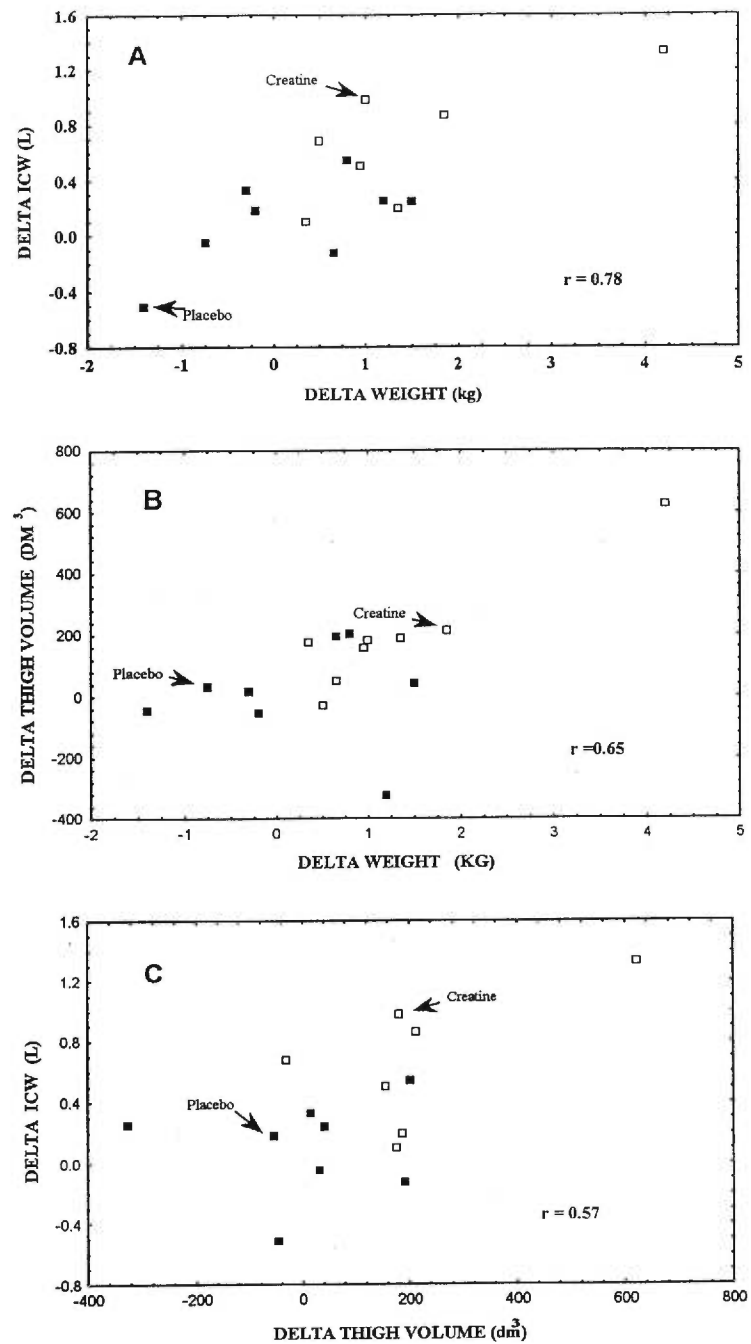


Figure 4. Correlations between the delta change of the three significant variables. A) between ICW and body weight; B) between thigh volume and body weight; C) between ICW and thigh volume. Open squares represent individual data for the Cr subjects and filled squares represent individual data for the PI subjects. Degree of correlation is indicated for each correlation.

DISCUSSION

Performance

The results of the present study do not support previous reports that have indicated significant changes in performance following Cr supplementation for short repeated sprints (Dawson et al., 1995; Kamber et al., 1999; Balsom et al., 1993a; Kreider et al., 1998; Vukovich & Michaelis, 1999), and for ~ 60s or longer exercises (Jacobs et al., 1997; Rossiter et al., 1996; Bosco et al., 1997). However, this study is concordant with many others studies which have not reported significant changes in performance (Redondo et al., 1996; Barnett et al., 1996; Burke et al., 1996; Cook et al., 1995; Ledford & Branch, 1999; Dawson et al., 1995; Snow et al., 1998; Peyrebrune et al., 1998; Odland et al., 1997). The lack of apparent performance gain in the present study could be explained by certain factors, such as statistical limitations, experimental protocol biases, training rate, nature of the tests and individual differences.

Statistical limitations

These contradictions might be due to the sample size. In this study (as well as in the others), the sample size was relatively small, with 16 subjects distributed evenly in both the treatment and the Pl groups. There has been recent criticism for research designs in the field of exercise science because they often contain important Type II errors or Type β errors, due to their lack of power to detect medium or small effects (Speed & Anderson, 2000). Prior to this investigation, a power test was performed based on the expected mean increase in body weight (~1.5 kg) and standard deviation (~0.5 kg), as reported in the literature. However, there was no power test performed on the expected change in physical performance. The standardised effect size (E/S) for body weight gain was ~1.00, which determined that having 12 subjects per group was necessary for unidirectional α errors of 0.05 and β of 0.2 (Hulley & Comings, 1988, p.215). This predicted sample size of 24 was similar to those found in investigations which had revealed significant body mass increases (Balsom et al., 1995; Green et al., 1996a et 1996b; Jacobs et al., 1997; Kreider et al., 1996 & 1998).

Even though 24 subjects were deemed necessary for the statistical purposes of this study, 16 subjects were tested, as it would have been very difficult to obtain and carry on this research with a greater number of individuals. Still, it was possible to demonstrate significant changes in body composition with this number of subjects. It is plausible that these calculations were not appropriate for sample size estimates of the performance tests, particularly because there was more variance in data performance than in weight. Since other studies with similar protocol and sample size have been able to detect changes in performance following Cr supplementation (Bosco et al., 1997; Grindstaff et al., 1997; Jacobs et al., 1997; Dawson et al., 1995; Kamber et al., 1999; Balsom et al., 1993a; Grindstaff et al., 1997; Peyrebrune et al., 1998; Casey et al., 1996; Birch et al., 1994), other factors may have affected this study's ability to detect performance change.

There were also differences in the Cr and Pl groups, which also has been reported to substantially impact Type II errors (Speed & Anderson, 2000). However, for this study, analysis of covariance was performed for all variables in order to equate both groups on their pre-test values and eliminate problems associated with dissimilar experimental groups.

Experimental protocol biases

Although this study was double-blind, the possibility that the subjects and the experimenter may have been affected by the treatment's administration can not be totally disregarded. As suggested by Juhn & Tarnopolsky (1998), weight gain associated with the Cr ingestion, observed in many individuals, may interfere with the subject's feelings about himself, and that, alone, can create a "placebo effect". Furthermore, the experimenter who notices weight gain in some individuals and not in others may be influenced by this observation and could become somewhat biased, which is not the case during a true double-blind study.

In this study, there were no familiarisation sessions, therefore pre-test performance data was collected during the first two sessions only, representing one measurement

for each physical test. The lack of familiarisation often associated with a learning effect probably had an important negative influence on the ability to detect the expected changes in performance. It is likely that the subjects from both groups experienced similar gains during the post ingestion tests because these sessions might have represented additional practice trials. This study would have gained greatly by the inclusion of three practice trials as this number has been determined to be appropriate in eliminating the influence of the “learning effect”. We speculate as to whether the learning effect in anaerobic sprinting is as large or requires as many trials to be controlled. Furthermore, an added factor is that subjects are usually reluctant to repeat additional tests that exhaust them. Still, another study, which failed to demonstrate gains in anaerobic performance, did not include practice for a cycling test (Burke et al., 1996), although other factors have certainly influenced these results.

Training rate

Although undesired, two major elements related to training may also have affected the results. Because subjects were pair-matched in part according to their training program, they were asked to continue with their program for the duration of the experiment, in order to minimise performance gain or loss expected with modified training programs. During the course of the experiment, the subjects kept a training log in which they reported all training sessions detailing physical activity, muscle groups exercised, number of series and repetitions, duration and intensity level. When the experimentation resumed, each subject submitted his log. In light of this information, it was apparent that some participants had exercised less than expected, due to schedule change, illness- as most data collection occurred during the winter season- or other personal reasons. For example, one subject in the experimental group who had gained 2.4 kg after one week of Cr ingestion was sick during the third week of the experiment and was unable to train for 5 days. The subject’s weight returned to almost pre-ingestion values (70,7 kg vs. 69,8 kg) at the end the fourth week. Conversely, one subject in the PI group, increased his training routine. Thus, some changes in performance may have occurred because of training, or lack thereof,

but not from the treatment itself. Such individual differences in the training regimen might increase the variance in the supplementation effect and thus explain the lack of significant performance changes.

Nature of tests

It has also been suggested that single sprints of 5 to 10-s may not be long enough to deplete PCr stores, even in subjects receiving the PI (Juhn & Tarnopolsky, 1998). Therefore, the physical demands placed on the system are not sufficient to detect a change when the supplement is ingested. Even though numerous studies have reported changes in performance for 6 to 10-s repeated sprints following Cr ingestion (Dawson et al., 1995; Kamber et al., 1999; Balsom et al., 1993a; Kreider et al., 1998; Vukovich & Michaelis, 1999), the hypothesis is worth exploring, and would require following the metabolite kinetic throughout the series of repetitions. In this regard, Gaitanos et al. (1993) measured metabolite changes in conditions similar to ours (i.e. ten 6-s cycling bouts separated by 30s rest periods) but without any supplementation. Their results showed that after the 1st bout, the PCr concentration was 43% of the pre-exercise value; before the 10th bout, PCr was not totally depleted nor totally recovered (49% of pre-exercise value), but was considerably reduced right after (16% of pre-exercise value) showing that such intermittent exercise is sufficient to deplete intramuscular PCr. Thus, these results seem to support the argument presented by Juhn & Tarnopolsky (1998), suggesting that PCr depletion does not occur after one 6-s bout, but rather after a series of bouts, and moreover, that 30s is enough time to resynthesize about half of the PCr stores when there is no supplementation.

Although there were no differences in the performance tests of the present study, it is important to discuss a few suggestions relating to TCr (Cr and/or PCr) resynthesis during rest periods following exercise, that have been previously introduced and pertains to this type of experimental protocol. The hypothesis of increased PCr resynthesis rate, or an increased efficiency of the system, has been presented by Greenhaff et al. (1993) and accepted by others (Kamber et al., 1999; Juhn & Tarnopolsky, 1998; Peeters et al., 1999; Vandenberghe et al., 1999). Specifically,

Kamber et al. (1999) noted, in an identical exercise protocol as ours but which yielded significant increases in performance, that a 30-s rest period between repeated sprints may be enough time to replenish PCr stores needed for the first two seconds of each bout but not for the subsequent 4s. Indeed, the authors observed significant change in performance following supplementation during the 2-4s and the 4-6s sprint intervals, from the 4th to the last bout. Similarly, and also using an identical exercise protocol, results from Balson et al. (1993a) demonstrated, after Cr ingestion, increased performance only during the 4-6s interval, which appeared after bout 4 and became significant after bout 7. However, none of these studies reported the actual change in intramuscular TCr.

Individual differences

It has also been suggested that individuals react differently to Cr ingestion and that the differences are essentially associated to the initial level of TCr concentration. This concept was first introduced by Greenhaff et al. (1994), when the authors separated their subjects in two groups according to their resting TCr concentration. The “responders” (n = 5) were the subjects with lower initial levels of TCr (<120mmol/kg dm) whose concentration rose by 15 to 32% after supplementation, whereas the “non-responders” (n = 3) had higher initial TCr levels (≥ 125 mmol/kg dm) which rose by approximately 5 to 7% with Cr ingestion. Similar observations have also been reported by Harris et al. (1992).

In the present study, it is difficult to gauge the impact of this particular factor since muscle metabolites were not analyzed and the number of subjects was certainly insufficient to allow to discern types of responders, at least without muscle concentration analysis. However, some considerations must be brought out. As previously reported, dietary intakes were not controlled or monitored and the subjects' original diet profile showed much variations. It is therefore possible that the disparity in “natural” Cr ingestion may have lead to much variation in the subjects' initial TCr levels, making it difficult to isolate those whose reaction to the supplement was in fact considerable.

Body composition

Body weight

Ingestion of Cr supplements resulted in a 1.8% significant increase in body weight, which concurs with the results of previous studies (Balsom et al., 1995; Balsom et al., 1993a & 1993b; Cooke & Barnes, 1997; Dawson et al., 1995; Green et al., 1996a & 1996b; Greenhaff et al., 1994; Jacobs et al., 1997; Kamber et al., 1999; Lemon et al., 1995; Mujika et al., 1996; Snow et al., 1998; Stroud et al., 1994; Volek et al., 1997; Becque et al., 1997; Earnest et al., 1995; Francaux & Poortmans, 1999; Kreider et al., 1996 & 1998; Peeters et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999).

Fat weight and lean body mass

These results showed no change in fat proportion, as no change was observed in the sum of 13 skinfolds, in the percentage of body fat estimated from 4 skinfolds (Durnin & Womersley, 1974), nor in the data from hydrostatic weighing (Siri, 1956). However, there was also no difference in lean body mass estimated from skinfolds and hydrometry, which is contradictory to many results obtained on young male subjects, via skinfolds (Peeters et al., 1999), hydrometry (Becque et al., 1997; Volek et al., 1999; Vukovich & Michaelis, 1999) and dual energy x-ray absorptiometer (DEXA) (Kreider et al., 1996 & 1998). In this respect, it is important to mention that 28 days may have not been sufficient time to detect changes in lean tissue, at least via skinfolds and hydrometry, these methods being, most likely, not sensitive enough to detect changes, especially with this small number of subjects. Indeed, the studies referred to above used either highly sensitive methods (Kreider et al., 1996 & 1998), much longer Cr ingestion periods (42 to 84 days) (Peeters et al., 1999; Becque et al., 1997; Volek et al., 1999) or similar protocol to ours, but disposed of a greater number of subjects ($n = 48$) (Vukovich & Michaelis, 1999). Although there is some information available on female subjects, it seems pertinent to relate the results of our study only to data collected on male subjects. Many have suggested a relation between gender and the extent of weigh gain, where females are subject to much less dramatic increase in body weight and LBM, compared to males (Rossiter et al., 1996; Williams & Branch, 1998; Poortmans & Francaux, 1999).

Body water

In addition, these results indicate an increase of 2.5% in ICW after 28 days of supplementation and no changes in TBW or in ECW. There has been much speculation with regards to a potential increase in water retention during Cr supplementation that would explain the rapid weight gain (Balsom et al., 1994; Volek et al., 1997; Balsom et al., 1993a; Jacobs et al., 1997). The present results are in agreement with another study that reported a 2.3 to 3.1% increase in ICW, estimated also using MFBIA, after only three days of supplementation, (Ziegenfuss et al., 1998). As well, Francaux & Poortmans (1999) observed a significant 1.1% increase in TBW, which was explained by an increase in ICW only. Although the authors employed the BIA method, they reported using a frequency of 200kHz to estimate TBW. This is important since other studies using the BIA method have failed to show changes in TBW (Grindstaff et al., 1997; Kreider et al., 1996; Kreider et al., 1998) but have most likely used, although not specified, a frequency too weak to penetrate the cell membrane, typically set at 50 kHz.

Thigh volume and muscle growth

Finally, the results show a 2.7% increase in thigh volume. This augmentation could be associated to the increase in ICW but may also be explained, at least in part, by an increase in protein synthesis. First, the presence of Cr in the cell has been shown to stimulate the biosynthesis of myosin and actin proteins in the skeletal muscle. More specifically, in *in vitro* experiments on animals, increase in the myosin synthesis rate was found after Cr was added to a mononucleated muscle cell culture (Ingwall et al., 1972). The same authors later found that Cr selectively stimulated the rate of synthesis of both actin and myosin in cultures of differentiating skeletal muscle in chick embryos (Ingwall., 1974) and in the fetal mouse heart organ culture (Ingwall et al., 1976). Moreover, Bessman & Savabi (1988) have reported that Cr increases the uptake of amino acids into the contractile proteins. Therefore, it can be speculated that an increase in Cr in the cell during the ingestion of supplements in humans may enhance these naturally occurring processes. Second, it appears that an increase in cellular hydration may play the same two anabolic roles, of increasing protein

synthesis and promoting amino acids retention in the cell (Häussinger et al., 1993; Häussinger, 1996; Waldegger et al., 1997). During Cr supplementation, an increase in ICW is likely, in a quest to regain homeostasis following the unusual increase of Cr in the cell. In theory then, this phenomenon of increased cellular hydration may have important anabolic effects. Third, some suggest a relation between cellular hydration status and nitrogen balance in human muscle, where the greater the hydration, the more positive the nitrogen balance (Häussinger et al., 1993; Häussinger, 1996). This theory is somewhat illustrated by the protein metabolism data of preliminary results obtained on three subjects that suggest an increase in net nitrogen balance after three days of Cr supplementation (Ziegenfuss et al., 1997). This may indicate, as the authors summarized, increasing protein synthesis and/or decreasing protein breakdown during Cr ingestion. Moreover, Ziegenfuss et al. (1997) observed a 6.6% increase in thigh volume, estimated via magnetic resonance imaging (MRI), compared to 2.7% increase after 4 weeks of supplementation in this study. This, however, contradicts other results, also assessed by MRI, showing no change in the selected volume of the lower limb (Kamber et al., 1999).

The variations in body composition results could be explained, at least in part, by the different experimental protocols and methods used. However, individual differences in response to Cr ingestion could also explain some of the variation. As mentioned previously, there is already substantial evidence indicating different responses in TCr retention and in performance changes induced by the supplement in different individuals. Therefore, individual differences in body composition seem much likely as well. For example, the extent of water retention during supplementation could be proportional to the extent of the preceding TCr accumulation, leading to different levels of lean tissue accretion. As well, individuals subject to greater increases in intramuscular TCr could be capable of sustaining greater training volume, which could result in improved muscular adaptation and development.

One of the purposes of this study was to verify the relation between performance changes and body composition changes. Since body composition changes (body

weight, ICW and lean thigh volume) were observed without any change in anaerobic performance, we were unable to establish such a direct link in this study, although it is well known that absolute performance on a cycle ergometer is directly related to muscle mass. However, it must be recognized that the observed changes in body composition are relatively small and might not be reflected on performance, at least in a short period of time.

CONCLUSION

The results indicate that 28 days of Cr supplementation can alter body composition by inducing weight gain, increasing ICW and lean thigh volume, without demonstrating apparent ergogenic effects on anaerobic performance. However, various factors may have prevented this study to detect changes brought on by the supplements on other body composition variables, such as LBM, and on exercise performance. Most importantly, subjects' TCr intramuscular concentration was not measured, and therefore it is impossible to know the level of homogeneity or heterogeneity of the sample and evaluate individual responses to the supplementation. As well, the restricted length of this particular experimental protocol may not have been sufficient to induce changes in performance and body composition variables such as LBM. Additional research is needed in order to elucidate the individual differences in the direct response to the supplement, particularly concerning its effect in promoting muscle growth.

REFERENCES

- Balsom, P. D., Ekblom, B., Söderlund, K., Sjödín, B., & Hultman, E. (1993a). Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in sports*, 3: 143-149.
- Balsom, P. D., Harridge, S.D.R., Söderlund, K., Sjödín, B., & Ekblom, B. (1993b). Creatine supplementation *per se* does not enhance endurance exercise performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 149 (4): 521-523.
- Balsom, P. D., Söderlund, K., & Ekblom, B. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Medicine*, 18 (4): 268-280.
- Balsom, P. D., Söderlund, K., Sjödín, B., & Ekblom, B. (1995). Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise influence of creatine supplementation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 154 (3): 303-310.
- Barnett, C., Hinds, M. & Jenkins, D.G. (1996). Effects of oral creatine supplementation on multiple sprint cycle performance. *The Australian journal of science an medicine in sport*, 28 (1): 35-39.
- Becque, M.D., Lochman, J.D. & Melrose, D. (1997). Effect of creatine supplementation during strength training on 1RM and body composition [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S146.
- Bessman S.P. & Savabi F. The role of the Phosphocreatine Energy Shuttle in Exercise and Muscle Hypertrophy. In: Taylow A.W., Gollnick P.D., Green H.J., Ianuzzo, C.D., Noble, E. G., Métivier, G. & Sutton J. R. Editors. *International Series on Sport Sciences*, vol. 21, Champaign: Human Kinetics, 1988; 167-178.
- Birch, R., Noble, D., & Greenhaff, P. L. (1994). The influence of dietary creatine supplementation on performance during repeated bouts of maximal isokinetic cycling in man. *European Journal of Applied Physiology*, 69 (3): 268-270.
- Bosco, C., Tihanyi, J., Pucspk, J., Kovacs, I., Gabossy, A., Colli, R., Pulvirenti, G., Tranquilli, C., Foti, C., Viru, M., Viru A. (1997). Effect of oral creatine supplementation on jumping and running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 18: 369-372.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. & Keys, A. (1963). Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 100: 113-10.
- Burke, L.M., Pyne, D.B. & Telford, R.D. (1996). Effect of Oral Creatine Supplementation on Single-Effort Sprint Performance in Elite Swimmers. *International Journal of sport nutrition*, 6: 222-233.

Callaway, C. W., Chumlea, W. C., Bouchard, C., Himes, J. H., Lohman, T. G., Martin, A. D., Mitchell, C. D., Mueller, W. H., Roche, A. F. & Seefeldt, V. D. (1988). Circumferences. In: *Anthropometric Standardisation Reference Manual*. Lohman T. G., Roche, A. F., Martorell, R. Editors. Human Kinetics Books, Champaign, Il. p.39-54.

Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E. & Greenhaff, P.L. (1996). Creatine ingestion favourably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 271 (Endocrinology & Metabolism, 34): E31-E37.

Cooke, W. H. & Barnes, W. S. (1997). The Influence of Recovery Duration on High-Intensity Exercise Performance After Oral Creatine Supplementation. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22 (5): 454-467.

Cooke, W.H., Grandjean, P.W., & Barnes, W.S. (1995). Effect of oral creatine supplementation on power output and fatigue during bicycle ergometry. *Journal of Applied Physiology*, 78 (2): 670-673.

Cornish, B.H., Ward, L.C., Thomas, B.J., Jebb, S.A. & Elia, M. (1996). Evaluation of multiple frequency bioelectrical impedance and Cole-Cole analysis for the assessment of body water volumes in healthy humans. *European Journal of Clinical Nutrition* 50:3, 159-164.

Dawson, B., Cutler, M., Moody, A., Lawrence, S., Goodman, C. & Randall, N. (1995). Effects of oral creatine loading on single and repeated maximal short sprints. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 27 (3); 56-61.

Durnin, J.V.G.A. & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*, 32(1):77-97.

Earnest, C.P., Snell, P.G., Rodriguez, R., Almada, A.L., & Mitchell, T.L. (1995). The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiologica Scandinavica*, 153 (2): 207-209.

Febbraio, M.A., Flanagan, T.R., Snow, R.J., Zhao & S., Carey, M.F. (1995). Effect of creatine supplementation on intramuscular TCr, metabolism and performance during intermittent, supramaximal exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 155 (4): 387-395.

Francaux, M. & Poortmans, J. R. (1999). Effects of training and creatine supplement on muscle strength and body mass. *European Journal of Applied Physiology*, 80:165-168.

Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L.H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(2): 712-719.

Green, A.L., Hultman, E., Macdonald, I.A., Sewell, D.A. & Greenhaff, P.L. (1996a). Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *American Journal of Physiology*, 271 (Endocrinology & Metabolism, 34): E821-E826.

Green, A.L., Simpson, E.J., Littlewood, J.J., Macdonald, I.A. & Greenhaff, P.L. (1996b). Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 158 (2): 195-202.

Greenhaff, P.L., Bodin, K., Söderlund, K., & Hultman, E. (1994). Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *American Journal of Physiology*, 266 (Endocrinology & Metabolism, 29): E725-E730.

Greenhaff, P.L., Casey, A., Short, A.H., Harris, R., Söderlund, K., & Hultman, E. (1993). Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clinical Science*, 84 (5): 565-571.

Grindstaff, P. D., Kreider, R., Bishop, R., Wilson, M., Wood, L., Alexander, C. & Almada, A. (1997). Effects of Creatine Supplementation on Repetitive Sprint Performance and Body Composition in Competitive Swimmers. *International Journal of Sport Nutrition*, 7 : 330-346.

Harris, R.C., Söderlund, K., & Hultman, E. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Science*, 83 (3): 367-374.

Häussinger, D. (1996). The role of cellular hydration in the regulation of cell function. *Biochemistry Journal*, 313: 697-710.

Häussinger, D., Roth, E., Lang, F. & Gerok, W. (1993). Cellular hydration state: an important determinant of protein catabolism in health and disease. *The Lancet*, 341:1330-1332.

Heyward, V.H. & Stolarczyk, L.M. (1996). Applied Body Composition Assessment Chapter 3: Bioelectrical Impedance Method. Human Kinetics, Champaign IL, pp.44-55.

Hulley, S. B. & Comings, S. R. Editors (1988). Designing Clinical Research, Williams & Williams, p.215.

Hultman, E., Söderlund, K., Timmons, J.A., Cederblad, G. & Greenhaff, P.L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of applied physiology*, 81(1): 232-237.

Inbar, O., Bar-Or, O. & Skinner, J. B. (1996). The Wingate Anaerobic Test. *Human Kinetics, Champaign, IL. Chapter II, pp-8-24*

Jacobs I., Bleue, S. & Goodman, J. (1997). Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. *Canadian Journal of Applied Physiology, 22(3): 231-243.*

Juhn, M. S. & Tarnopolsky, M. (1998). Oral Creatine Supplementation and Athletic Performance : A Critical Review. *Clinical Journal of Sport Medicine, 8 : 286-297.*

Kamber, M., Koster, M., Kreis, R., Walker, G., Boesch, C. & Hoppeler, H. (1999). Creatine supplementation- Part 1: performance, clinical chemistry, and muscle volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 31 (12): 1763-1769.*

Kirksey, K.B., Warren, B.J., Stone, M.H., Stone, M.R. & Johnson, R.L. (1997). The effects of six weeks of creatine monohydrate supplementation in male and female track athletes [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 29 (5): S143.*

Kreider, R.B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., Cantler, E., & Almada, A.L. (1998). Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 30 (1): 73-82.*

Kreider, R.B., Klesges, R., Harmon, K., Gridstaff, P., Ramsey, L., Bullen, D., Wood, L., Li, Y., & Almada, A. (1996). Effects of Ingesting Supplements Designed to Promote Lean Tissue Accretion on Body composition During Resistance Training. *International Journal of Nutrition, 6: 234-246.*

Ledford, A. & Branch, J. D. (1999). Creatine Supplementation Does Not Increase Peak Power Production and Work Capacity During Repetitive Wingate Testing in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research, 13 (4) : 394-399.*

Lemon, P., Boska, M., Bredle, D., Rogers, M., Ziegenfuss, T. & Newcomer, B. (1995). Effect of oral creatine supplementation on energetics during repeated maximal muscle contraction [Abstract]. *Medicine and Science in Sports and exercise, 27 (Suppl. 5): S204.*

Mujika, I., Chatard, J.-C., Lacoste, L., Barale, F & Geysant, A. (1996). Creatine supplementation does not improve sprint performance in competitive swimmers. *Medicine, Science in Sports and Exercise, 28 (11): 1435-1441.*

Odland, L.M., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Elorriaga, A. & Borgmann, A. (1997). Effect of oral creatine supplementation on muscle [PCr] and short-term maximum power output. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 29(2): 216-219.*

- Peeters, B. M., Lantz, C. D. & Mayhew, J. L. (1999). Effect of Oral Creatine Monohydrate and Creatine Phosphate Supplementation on Maximal Strength Indices, Body Composition and Blood Pressure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (1) : 3-9
- Peyrebrune, M.C., Nevill, M.E., Donaldson, F.J., & Cosford, D.J. (1998). The effects of oral creatine supplementation on performance in single and repeated sprint swimming. *Journal of Sports Sciences*, 16: 271-279.
- Poortmans, J. R. & Francaux, M. (1999). Les effets de indésirables de la créatine exogène : de la fiction à la réalité. *Science & Sport*, 14 : 271-277.
- Redondo, D.R., Dowling, E.A., Graham, B.L., Almada, A.L. Williams, M.H. (1996). The effect of oral creatine monohydrate supplementation on running velocity. *International Journal of Sport Nutrition*, 6 (3): 213-221.
- Rossiter, H. B., Cannell, E. R. & Jakeman, P. M. (1996). The effect of oral creatine supplementation of the 1000-m performance of competitive rowers. *Journal of Sports Sciences*, 14 (2): 175-179.
- Siri, W. E. (1956). Gross composition of the body. In: J. H. Lawrence & C. A. Tobias Editors. *Advances in Biological and Medical Physics*, Vol. IV, New York Academy Press.
- Snow, R.J., McKenna, M.J., Selig, S.E., Kemp, J., Stathis, C. G. & Zhao (1998). Effect of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 84(5): 1667-1673.
- Speed, H. D. & Anderson, M. B. (2000). What Exercise and Sport Scientists Don't Understand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3 (1); 84-92.
- Stroud, M.A., Holliman, D., Bell, D., Green, A.L., Macdonald, I.A., & Greenhaff, P.L. (1994). Effect of oral creatine supplementation on respiratory gas exchange and blood lactate accumulation during steady-state incremental treadmill exercise and recovery in man. *Clinical Science*, 87 (6): 707-710.
- Thomas, S., Reading, J., Shephard, R.J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17 (4): 338-345.
- Vandenbergh, K., Goris, M., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vangerven, L. & Hespel, P. (1997). Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 83 (6) : 2055-2063.
- Vandenbergh, K., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vanstapel, F. & Hespel, P. (1999). Phosphocreatine resynthesis is not affected by creatine loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (2): 236-242.

Volek, J. S., Duncan, N. D., Mazzetti, S. A., Staron, R. S., Putukian, M., Gómez, A. L., Pearson, D. R., Fink, W. J. & Kraemer, W. J. (1999). Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (8): 1147-1156.

Volek, J.S., Kraemer, W.J., Bush, J.A., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K.L., & Lynch, J.M. (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *Journal of the American Dietetic Association*, 97 (7): 765-70.

Vukovich, M. D. & Michaelis, J. (1999) Effect of two different creatine supplementation products on muscular strength and power. *Sports Medicine, training and rehabilitation*, 8 (4); 369-383.

Waldegger, S., Bush, G. L., Kaba, N. K., Zempel, G., Ling, H., Heidland, A., Haüssinger, D. & Lang, F. (1997). Effect of Cellular Hydration on Protein Metabolism. *Mineral and Electrolyte Metabolism*, 23; 201-205.

Ziegenfuss, T.N., Lemon, P.W.R., Rogers, M.R., Ross, R, & Yarasheski, K.E. (1997). Acute creatine ingestion: effects on muscle volume, anaerobic power, fluid volumes and protein turnover[Abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5): S127.

Ziegenfuss, T. N., Lowery, L. M., Lemon, P. (1998). Acute fluid volume changes in men during three days of creatine supplementation. *Journal of Exercise Physiology online*, 1 (3).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les études portant sur les effets ergogéniques des suppléments de créatine sont relativement récentes mais déjà nombreuses. Bien qu'il existe certaines divergences, la majorité des recherches reconnaissent que l'ingestion de ces suppléments entraîne une augmentation de la créatine intramusculaire totale, ce qui permet des gains de performance anaérobie. Ces gains seraient d'ailleurs particulièrement apparents lors d'efforts répétitifs de type alactique, mais également durant des efforts de type lactique. Les études révèlent aussi que l'ingestion de créatine semble provoquer une augmentation rapide de la masse corporelle et de la masse maigre.

La présente étude expérimentale tentait de mesurer respectivement l'effet des suppléments de créatine sur les deux types d'efforts anaérobies, alactique et lactique, et son influence sur la masse et la composition corporelles.

Les résultats n'ont pu démontrer de changement significatif de la performance anaérobie, tant alactique que lactique. Toutefois, les résultats révèlent une augmentation significative de la masse corporelle, sans augmentation de masse grasse ni de masse maigre, telles qu'évaluées par les méthodes traditionnelles de plis cutanés et de pesée hydrostatique. Par contre, les résultats démontrent une augmentation du volume d'eau intracellulaire et du volume de la cuisse, ce qui pourrait indiquer des changements au niveau de la structure musculaire. Puisque cette étude n'a pu démontrer de gains de performance suite à l'ingestion de créatine, les liens pouvant exister entre les changements de performance et ceux de la composition corporelle n'ont pu être investigués.

ANNEXE I
Certificat d'Éthique



Le 8 janvier 1999

Monsieur Luc Léger
Professeur titulaire
Département d'éducation physique
Pavillon d'éducation physique
2100 Édouard Montpetit
Université de Montréal

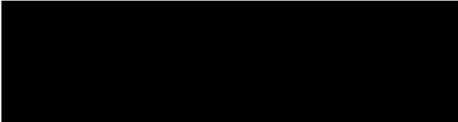
OBJET : Certificat d'Éthique

Monsieur,

Une demande d'un certificat d'éthique a été faite par Madame Marie-Andrée Saint-Pierre pour le projet de recherche intitulé : « Effet de la supplémentation de créatine sur la performance anaérobie et sur la composition corporelle ».

Le Comité multifacultaire d'éthique des Sciences de la Santé ayant jugé le projet conforme aux normes déontologiques, un certificat d'éthique a été émis et vous est envoyé.

Je vous prie de recevoir, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.



Jocelyne St-Arnaud, Ph.D.
Présidente
Comité multifacultaire d'éthique
des sciences de la santé
Pavillon Marguerite-d'Youville
Tél.: (514) 343-7619

JS-A/lg
p.j.

COMITÉ MULTIFACULTAIRE D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE
DES SCIENCES DE LA SANTÉ

DÉCLARATION DU COMITÉ D'ÉTHIQUE

Un comité d'évaluation formé de personnes compétentes dans le champ de la recherche proposée et de personnes au courant de la recherche sur les êtres humains a exprimé son avis sur le projet ci-dessous mentionné et l'a trouvé conforme aux règles d'éthique qui gouvernent la recherche sur les êtres humains.

Ce Comité était composé de : 3 arbitres

Poste occupé :

Champ d'activité :

1) Professeur titulaire

Département de kinésiologie

2) Médecin

Institut de psychiatrie du Québec

3) Professeur titulaire


Département de kinésiologie

Le projet intitulé : « Effet de la supplémentation de créatine sur la performance anaérobie et sur la composition corporelle »

et sous la direction de : Luc Léger et Marie-Andrée Saint-Pierre

Le certificat est émis pour la période du : 8 janvier 1999 au 1^{er} juin 1999.

Le 8 janvier 1999.


Jocelyne St-Arnaud, Ph.D.
Présidente
Comité multifacultaire d'éthique
des Sciences de la Santé
Faculté des sciences infirmières
Pavillon Marguerite-d'Youville
Tél.: (514) 343-7619

JSA/lg
p.j.

ANNEXE II

Certificat d'analyse de pureté des suppléments de créatine utilisés



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of Issue	:	April 4, 2000
Customer Ref	:	
Aslchem Ref	:	SR9042

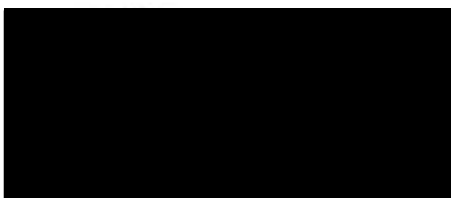
Product : **Creatine Monohydrate**
 Product Code :
 Lot Number :
 Production Date :
 Expiration Date :
 Customer Ref :
 Batch No. :
 Quantity Shipped : Sample

The undersigned, Aslchem International Inc., certify that our product complies with the following mean analysis:

Analysis	Unit	Limits/Requirements	Results
Appearance		White crystalline powder	Conformed
Moisture	%	99.7 Min.	99.89
Loss on drying	%	12.5 Max.	12.0
Heavy metal	ppm	10 Max.	Less than 10
Sulfate salt	%	0.1 Max.	Less than 0.1
Residue on ignition	%	0.1 Max.	0.02

Testing Methods Used:

Remarks:



Authorized Signature
 Quality Control
 Aslchem International Inc.

ANNEXE III

Documents remis aux participants

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT POUR PARTICIPANTS AU
PROJET DE RECHERCHE INTITULÉ:**

Effets de la supplémentation de créatine sur la performance anaérobie
et sur la composition corporelle.

Chercheur responsable : Luc Léger, Ph.D.

Expérimentatrice : Marie-Andrée Saint-Pierre, B.Ed.

Objectifs de l'étude

La présente étude a pour objectif de vérifier si la consommation de suppléments de créatine a des effets sur la performance anaérobie et sur la composition corporelle.

Protocole d'ingestion du supplément

Vous recevrez soit un supplément de créatine soit un supplément de malto-dextrine. Pendant les cinq premiers jours, la quantité consommée sera de 20 grammes, puis de 5 grammes pendant les vingt-trois jours suivants.

Tests de composition corporelle

La série de tests à laquelle vous allez participer comprend certaines mesures anthropométriques (poids, taille, circonférences) ainsi que la prise de l'épaisseur du tissu adipeux, qui sera mesuré à l'aide d'un adipomètre à treize endroits différents. La technique de bioimpédance sera également utilisée par envoi d'un courant de très faible puissance et de fréquences variées dans le corps. Cette méthode ne présente aucun danger pour l'organisme. Finalement, vous serez évalué avec la pesée hydrostatique. Votre volume d'air résiduel sera d'abord mesuré avec la méthode de dilution de l'hélium, après quoi votre corps sera complètement immergé dans l'eau pendant quelques secondes, à plusieurs reprises, afin d'obtenir une valeur de densité corporelle stable.

Tests de performance

Le test de performance obligatoire comprend dix répétitions d'effort maximal de six secondes sur bicyclette stationnaire, avec repos de 30 secondes entre les répétitions. Le test de performance facultatif comprend une unique période d'effort maximal de soixante secondes.

Avantages

En tant que participant, vous aurez l'avantage d'obtenir des informations sur votre performance lors d'un ou de deux tests anaérobiques ainsi que sur votre composition corporelle. De plus, si vous faites partie du groupe recevant le supplément de créatine, il est possible que, pendant la période d'expérimentation, vous bénéficiiez des effets du supplément lors de vos entraînements.

Risques

Compte tenu des quantités de créatine ingérées et de la durée totale du traitement, l'expérience ne présente aucun risque. Le seul effet négatif reconnu être associé à l'usage de créatine est une augmentation de la masse corporelle. Les tests de composition corporelle ne présentent aucun risque pour votre santé.

Vous avez rempli un questionnaire sur votre état de santé (Q-AAP) qui indique que les risques inhérents aux deux épreuves anaérobiques sont faibles. Toutefois, les tests que vous subirez sont susceptibles d'entraîner éventuellement des épisodes de chute de pression, d'étourdissement, d'évanouissement et de nausée. Lors de l'administration des tests, toutes les précautions seront prises pour que les risques soient diminués. De plus, l'expérimentatrice est certifiée en premiers soins et une équipe d'urgence bien formée et qualifiée est prête à intervenir dans le cas où il se produirait un événement anormal. D'autre part, vous pourrez mettre fin aux tests vous-mêmes, si vous ne vous sentez pas à l'aise. Il est également probable que vous ressentiez, le lendemain ou le surlendemain de ces tests, des douleurs musculo-squelettiques, ceci étant cependant très normal.

Questions

Nous serons heureux de répondre aux questions touchant les procédures utilisées avant, durant et après l'expérimentation. N'hésitez pas à demander des explications additionnelles. Vous pouvez contacter Marie-Andrée Saint-Pierre au 514-343-6111, poste 4298.

Confidentialité

Les résultats des tests ainsi que toute information personnelle sont confidentiels.

Consentement libre et éclairé

Votre participation est entièrement volontaire. Vous être libre de vous retirer à tout moment, sans préjudice, sans devoir justifier votre décision et sans que cela nuise à tout traitement futur. Toutefois, compte tenu de ressources humaines et financières limitées, nous préférons que vous ne vous portiez pas volontaire si, dès le départ, vous êtes hésitant à le faire.

Éthique

Pour tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule votre participation à ce projet, vous pouvez, après en avoir discuté avec le responsable du projet, expliquer vos préoccupations à la présidente du Comité multifacultaire d'éthique des Sciences de la Santé, Madame Jocelyne St-Arnaud, ([REDACTED]) Suite à cet entretien, si vous aviez des raisons sérieuses de croire que la réponse apportée est insuffisante, vous pourriez entrer en communication avec l'ombudsman de l'Université, Madame Marie-Josée Rivest ([REDACTED])

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT POUR PARTICIPANTS AU
PROJET DE RECHERCHE INTITULÉ:**

Effets de la supplémentation de créatine sur la performance anaérobique
et sur la composition corporelle.

Par la présente, je dégage l'Université de Montréal, ses représentants, ses conseillers et ses employés de toute responsabilité en cas de dommages et de blessures à la personne lors de l'administration de ces tests à l'exception de dommages ou de blessures causés par la faute/négligence de l'Université de Montréal, ses représentants, conseillers et employés dans le cadre de leurs tâches.

J'ai pris connaissance de l'information contenue dans les deux pages d'information précédentes de ce formulaire, je comprends les procédures et je consens librement à participer à ce projet de recherche.

Nom du participant (lettres moulées)

Date

Signature du participant

Signature du témoin

QUESTIONNAIRE POUR PARTICIPANTS

Nom _____ Prénom _____

Adresse: _____

Téléphone : _____

Date de naissance (jour) _____ (mois) _____ (année) _____

Âge: _____

Je suis fumeur : oui non occasionnel

Je suis végétarien : oui non

Si NON, nombre de portions de viande par jour : _____

Ex. : (1 portion = 2 à 3 onces de viande cuite)

Je porte un stimulateur cardiaque: oui non

Je consomme des diurétiques: oui non

J'ai, ou ai déjà eu des problèmes rénaux: oui non

Avez-vous déjà pris un supplément de créatine, ou autres suppléments énumérés dans la liste suivante, dans le but d'aider votre entraînement ou performance physique ?

Créatine oui non si oui, date de la dernière dose: _____

Protéine oui non si oui, date de la dernière dose: _____

Vitamine oui non si oui, date de la dernière dose: _____

Minéraux oui non si oui, date de la dernière dose: _____

Chrome oui non si oui, date de la dernière dose: _____

'Weight gainer' oui non si oui, date de la dernière dose: _____

Produits naturels oui non si oui, lequel? _____

si oui, date de la dernière dose: _____

Autre: _____

Selon vous, quels sont les effets que les suppléments de créatine pourraient avoir sur vous?

- Augmenter mon poids oui non ne sais pas
- Augmenter ma masse musculaire oui non ne sais pas
- Capacité à soulever des poids plus lourd oui non ne sais pas
- Augmenter la rétention d'eau corporelle oui non ne sais pas
- Capacité à faire plus de répétitions avec les mêmes charges oui non ne sais pas
- Augmenter la masse grasse corporelle oui non ne sais pas
- Capacité à récupérer plus rapidement entre les répétitions d'exercices oui non ne sais pas
- Capacité à récupérer plus rapidement entre les entraînements oui non ne sais pas
- Crampes musculaires oui non ne sais pas
- Douleurs abdominales oui non ne sais pas
- Troubles gastro-intestinaux oui non ne sais pas

Autre: _____

Vous devez inscrire votre pratique d'activité physique. Vous devez décrire une semaine représentative d'entraînement du dernier mois. Pour chaque séance, vous devez indiquer le type d'activité, les groupes musculaires travaillés, le nombre de séries, le nombre de répétitions, la durée et le niveau d'intensité. S'il s'agit d'un sport, ne pas répondre aux questions 2, 3 et 4.

Séance 1 : _____ **x fois /semaine**

1- Activité : _____ OU

*Sport : _____ Position : _____ Calibre : _____

*2- Groupes musculaires : _____

*3- Nombre de séries : _____

*4- Nombre de répétitions : _____

5- Durée : _____

6-Intensité (faible, moyen, élevé, très intense): _____

Séance 2 :

x fois /semaine

1- Activité : _____ OU

*Sport : _____ Position : _____ Calibre : _____

*2- Groupes musculaires : _____

*3- Nombre de séries : _____

*4- Nombre de répétitions : _____

5- Durée : _____

6-Intensité (faible, moyen, élevé, très intense): _____

Séance 3 :

x fois /semaine

1- Activité : _____ OU

*Sport : _____ Position : _____ Calibre : _____

*2- Groupes musculaires : _____

*3- Nombre de séries : _____

*4- Nombre de répétitions : _____

5- Durée : _____

6-Intensité (faible, moyen, élevé, très intense): _____

Séance 4 :

x fois /semaine

1- Activité : _____ OU

*Sport : _____ Position : _____ Calibre : _____

*2- Groupes musculaires : _____

*3- Nombre de séries : _____

*4- Nombre de répétitions : _____

5- Durée : _____

6-Intensité (faible, moyen, élevé, très intense): _____

RENSEIGNEMENTS POUR PARTICIPANTS

NOM : _____

Règles à suivre pour les suppléments

Jour 1 à 5 : 4 x un sachet ; matin, midi, après-midi, soir (environ aux 4 heures)

Jour 6 à 28 : 1 x un sachet

Toujours diluer le contenu du sachet dans un verre d'eau (soit 240ml / 8oz) et boire un autre verre d'eau chaque fois.

IMPORTANT : SVP, ne pas changer vos habitudes alimentaires et d'entraînements.

Directives à suivre avant de se présenter pour les tests

Ne pas manger, ni boire de grandes quantités de liquide 4 heures avant les tests.

Ne pas consommer d'alcool 48 heures avant les tests (1 verre de vin ou 1 bière est 'ok').

Ne pas faire d'effort physique d'intensité moyenne à élevée 24 heures avant les tests.

Il faudrait également s'assurer de bien s'hydrater (consommation d'eau et/ou de jus) après la dernière période d'exercice.

Articles à apporter

- short/t-shirt
- serviette
- souliers de sport
- maillot de bain/short pour piscine (tests jour 9 et 28 seulement)

TABLEAU DES TESTS

	J 7	J 9	J 26	J 28
Masse corporelle	x	x	x	x
MFBI	x	x	x	x
Circonférences cuisse	x	x	x	x
Test anaérobique 10 x 6s	x		x	
Plis cutanés	x		x	
Pesée hydrostatique		x		x
Test anaérobique 1 x 60s		x		x

CALENDRIER DE PROJET

SEMAINE 1

Jour 1	J 2	J 3	J 4	J 5	JOUR 6	JOUR 7 TESTS
Date:						Date: Heure :
4 x Sachet 1	4 x sac 2	4 x sac 3	4 x sac 4	4x sachet 5 Pas d'alcool	Sachet 6 Pas d'exercice (24hrs) Pas d'alcool	Pas boire/manger (4hrs) Pas d'alcool Pas d'exercice avant les tests Sachet 7 Prévoir ~1 heure pour les tests

SEMAINE 2

JOUR 8	JOUR 9 TESTS	J10	J11	J12	J13	J14
	Date: Heure :					
Sachet 8 Pas d'alcool Pas d'exercice (24hrs)	Pas boire / manger (4hrs) Pas d'alcool Pas d'exercice avant les tests Sachet 9 Prévoir ~1 heure pour les tests	Sac 10	Sac 11	Sac 12	Sac 13	Sac 14

SEMAINE 3

J15	J16	J17	J18	J19	J20	J21
Sachet 15	Sachet 16	Sachet 17	Sachet 18	Sachet 19	Sachet 20	Sachet 21

SEMAINE 4

J 22	J 23	JOUR 24	JOUR 25	JOUR 26 TESTS	JOUR 27	JOUR 28 TESTS
				Date: Heure :		Date: Heure :
sac 22	sac 23	Sachet 24 Pas d'alcool	Sachet 25 Pas d'exercice (24hrs) Pas d'alcool	Pas boire/manger (4hrs) Pas d'alcool Pas d'exercice avant les tests Sachet 26 Prévoir ~1 heure	Sachet 27 Pas d'exercice (24hrs) Pas d'alcool	Pas boire / manger (4hrs) Pas d'alcool Pas d'exercice avant les tests Sachet 28 Prévoir ~1 heure