



**Effets de deux méthodes de musculation sur la sensation subjective de douleur musculaire d'apparition retardée et les pertes de force.
Cas des footballeurs juniors U19 de l'entente Sportive Setifienne.**

**Effects of two bodybuilding methods on the subjective sensation of delayed onset muscle pain and loss of strength.
The case of junior footballers U19 of the Setifian Sportive Entente**

Dr. Boukherissa zahir

Maitre de conférences université Mohamed Lamine Debaghine Sétif 2/ Affilié laboratoire de l'éducation physique et sportive et de santé public/ cnrsjudo@yahoo.fr

Reçu : 15/02/2022

Accepté : 12/04/2022

Publié : 29 /07/2022

Résumé :

Cette étude s'intéresse particulièrement à la survenue du phénomène des douleurs musculaires d'apparition retardée (DOMS c.-à-d. Delayed Onset Muscle Soreness) connu plus spécialement chez les sportifs par les courbatures. Ces sensations surviennent généralement 12 à 48 heures après un exercice musculaire intense et/ou inhabituel et s'accompagnent d'une perte de force et d'une diminution des qualités proprioceptives. Actuellement, la cause la plus probable du DOMS est liée aux microlésions musculaires produites par l'exercice du type excentrique, le plus souvent incriminé d'entraîner un processus inflammatoire qui s'accompagne généralement d'une sensation de douleur. Pour confirmer ce type de données, nous avons essayé de comprendre le degré de l'impact d'une séance d'entraînement de la force de différents types de sollicitations (concentriques et excentriques) intensives appliquées sur la structure musculaire.

Dans cette étude, l'analyse des variations de sensations subjectives par l'administration d'un questionnaire de Borg pour les deux groupes expérimentaux répartir suivant un protocole d'entraînements de la force concentrique et excentrique, nous avons révélé des résultats qui confirment l'hypothèse selon laquelle l'entraînement excentrique entraîne effectivement l'apparition du phénomène du DOMS et les pertes de force. En conclusion, on peut penser ici à ce que la diminution de la capacité du muscle à produire les mêmes indices de la force maximale coïncidant avec l'apparition des douleurs musculaires (DOMS) et de sa permanence peut être interprétée comme des indicateurs fiables des dommages au niveau des cellules musculaires soumissent à des charges surtout excentriques..

Abstract:

This study is particularly interested in the occurrence of the phenomenon of Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS), known more particularly among sportsmen and women because of their aches and pains. These sensations generally occur 12 to 48 hours after intense and/or unusual muscular exercise and are accompanied by a loss of strength and a reduction in proprioceptive qualities. At present, the most probable cause of DOMS is related to the muscular micro-lesions produced by eccentric type exercise, which is most often accused of causing an inflammatory process that is usually accompanied by a sensation of pain. To confirm this type of data, we have tried to understand the degree of impact of a strength training session of different types of intensive (concentric and eccentric) solicitations applied to the muscular structure.

In this study, the analysis of variations in subjective sensations by administering a Borg questionnaire to the two experimental groups, divided into a protocol of concentric and eccentric strength training, we have revealed results which confirm the hypothesis that eccentric training does indeed lead to the appearance of the DOMS phenomenon and losses of strength.

In conclusion, it can be concluded here that the decrease in the capacity of the muscle to produce the same indices of maximum force coinciding with the appearance of muscle pain (DOMS) and its permanence can be interpreted as reliable indicators of damage to the muscle cells subjected to mainly eccentric loads.

Introduction:

L'importance de l'entraînement de la force musculaire pour l'ensemble des disciplines sportives est aujourd'hui plus que capitale. Elle ne semble plus sujette à des controverses, particulièrement dans le football. Un sport caractérisé par les duels, les sauts, les accélérations, le freinage et changement de direction avec ballon, etc., nécessite sûrement de la part des joueurs des capacités de force très développées afin de prendre le dessus dans ses différentes situations. Effectivement, au cours des séances d'entraînement ou de compétition, l'activité physique intensive sollicitant l'appareil locomoteur, à un certain nombre de conséquences qui peuvent être épouvantable sur le muscle squelettique et sa capacité de régénération.

Actuellement, on est persuadé que les exercices de force, générant des niveaux de tension très élevés, peuvent provoquer des dommages musculaires et causer une perte momentanée des capacités de force (Dufour S., 2005). Les exercices du type excentrique sont les plus souvent incriminés par la communauté scientifique d'être la principale cause de dégâts engendré au niveau de l'ultrastructure de la fibre musculaire après un entraînement ou une compétition. Bien entendu, le produit apparent de ces perturbations d'homéostasie de la cellule musculaire (lésion poste efforts, etc.) se caractérise chez les footballeurs par des douleurs décalées dans le temps (DOMS), une raideur musculaire, une limitation des mouvements, une perte de force et la présence d'enzymes musculaires dans le sang (Kuipers H. 1993). Ce phénomène bien que déjà largement étudiée reste encore obscur et nécessite d'être réétudiée puisque les données expérimentales récentes permettant d'établir une relation entre ces lésions post-efforts et le surentraînement.

Les douleurs musculaires d'apparition retardée ou DOMS (*Delayed Onset muscle Soreness*) qui sont connus en milieu sportif sous la dénomination de courbatures, sont très fréquentes lors des entraînements en général et lors des séances de musculation en particulier. Le DOMS apparaît généralement avec un délai variable de 12 à 48 heures après un effort musculaire excentrique intense et/ou inhabituel et peut, par conséquent, persister en général deux à dix jours après les stimuli (Harre D. 2002) et (Hort W. et Flöthner R 1984). Selon Armstrong 1984, les douleurs musculaires apparaissent progressivement et atteignent leur apogée entre 24 et 72 h après l'exercice, avant de régresser puis disparaître (Harre D. 2002).

Ce constat nous informe sur la pertinence du problème et nous pousse à comprendre les effets de la musculation selon les trois modes fondamentaux de la contraction musculaire sur la sensation subjective de douleur musculaire d'apparition retardée et les pertes de force chez les footballeurs juniors de l'entente Sportive Setifienne (ESS). A vrai dire, étudier les relations pouvant exister entre le type du régime de contractions musculaires utilisé dans une séance de musculation d'une part et d'autre part l'étendue des dégâts au niveau de l'ultrastructure de la fibre musculaire accumulés après le stimulus. La question de fond de cette étude qui doit être élucidée tente de comprendre est ce que la variation des paramètres physiologiques (DOMS et perte de force) est-elle liée au type de contraction musculaire utilisé lors d'un entraînement de la force chez les footballeurs juniors du club ESS?

Cette étude essaye de contribuer à la production des éléments de réponse à des questions fondamentales qui expliqueront une partie de la complexité de l'effet de l'entraînement de la force sur la structure musculaire et de ce fait comprendre le cycle stimulus-récupération dans la pratique sportive de haut niveau.

2. Matériel et méthodes

2.1. Population

La présente étude a été menée sur 30 footballeurs de l'ESS juniors sains de sexes masculins et de niveau national. Nos sujets sont en bonne santé apparente et ne présentent aucun problème musculaire, tendineux ou articulaire plausible. Leurs principales caractéristiques physiques et leurs performances aux tests de force maximale sont présentées dans le tableau n°1.

Avant de donner leur consentement, les sujets ont reçu toutes les informations liées à la nature et aux risques associés à cette étude. L'ensemble des athlètes retenus étaient motivés et habitués à produire des efforts maximaux pendant des séances de musculation.

Tableau n°1 : caractéristiques physiques et les performances aux tests de force maximale des groupes expérimentales.

	Poids « kg »	Taille « m »	Age « ans »
Groupe Concentrique	68,71 ± 2,82	1,74 ± 0,06	18,67 ± 0,71
Groupe Excentrique	73,36 ± 5,66	1,78 ± 0,07	18,38 ± 0,74

2.2. Matériels

Pour la mesure du poids et de la taille debout des footballeurs participant à cette étude, nous avons utilisé une balance électronique et un anthropomètre traditionnel. Une salle de musculation avec tout le matériel nécessaire pour réaliser à bien les objectifs et les tâches méthodologiques liés à notre expérimentation a été mise à notre disposition par le club CNRS.

2.3. Protocole

2.3.1. Protocole expérimental

Le protocole expérimental était composé d'une période de trois semaines de familiarisation aux différents exercices de force, d'un entraînement de huit semaines et de deux sessions d'évaluation. Durant cette étude, les sujets effectuaient quatre séances d'entraînement et un match chaque semaine. Deux des séances d'entraînement étaient consacrées à l'entraînement combiné de force et d'endurance spécifiques et deux séances étaient consacrées au travail technico-tactique. La durée de chaque séance d'entraînement était de 90 minutes. Au cours des sessions d'évaluation, des mesures anthropométriques et des tests physiques ont été effectuées.

Effets de deux méthodes de musculation sur la sensation subjective de douleur musculaire d'apparition retardée et les pertes de force. Cas des footballeurs juniors U19 de l'entente Sportive Setifienne.

Le protocole de cette étude était constitué de deux phases bien distinctes. La première phase était composée d'un microcycle pré-expérimental d'une semaine de familiarisation aux deux exercices de force choisis pour cette étude. Les sujets réalisent deux séances de musculation, à faible intensité (30 % de 1RM) dans lesquelles va s'intégrer le pré-test (T0) pour chaque exercice choisi dans cette expérimentation et un questionnaire (Q0) CR10 de Borg supposé déterminer le degré de la perception de la douleur musculaire chez nos sujets. Les pré-tests (T0 et Q0), mesurant respectivement l'indice de la force maximale et les douleurs musculaires d'apparition retardée (DOMS) sont placés quatre jours (96h) avant la SE. Durant la deuxième phase de cette étude, les sujets effectuaient une séance de musculation (SE) et six (06) sessions de post-tests organisées autour d'une succession de mesures accommodés respectivement immédiatement 00h (Q1), 06h (T1 et Q2), 30h (T2 et Q3), 54h (T3 et Q4), 78h (T4 et Q5), 102h (T5 et Q6) et 126h (T6 et Q7) après la séance expérimentale (voir fig.1.).

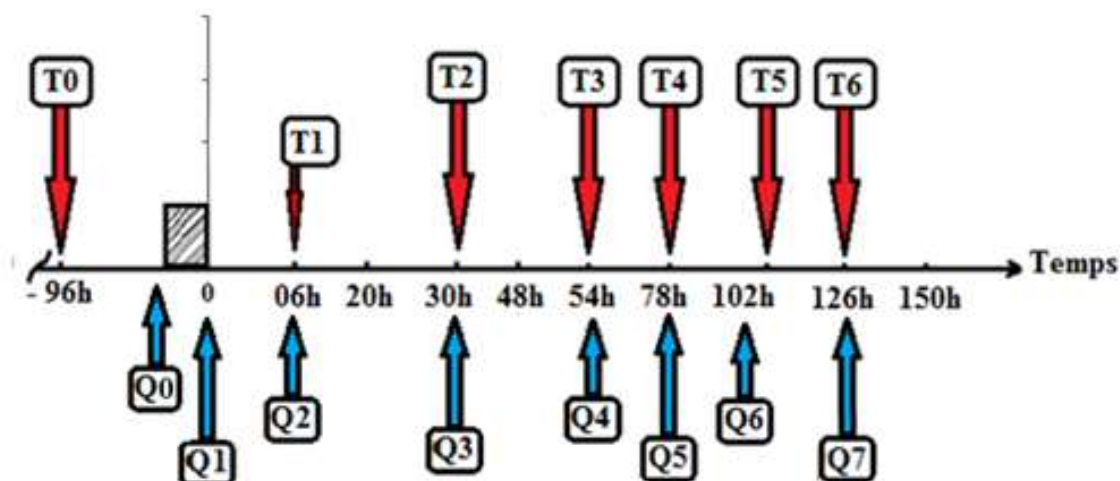


Figure n°1 : représente le protocole expérimental de notre étude. Les flèches rouges représentent les temps correspondant aux prés et post teste (T) mesurant les IFM réalisés au cours de cette expérimentation, tandis que les flèches bleues indiquent les temps concordant avec la distribution des questionnaires (Q) aux sujets de l'échantillon de notre étude. Le questionnaire de Borg est supposé mesurer la perception de la douleur musculaire. La séance expérimentale est représentée à travers le rectangle vertical hachuré en gras.

2.3.2. Tests Force maximale : les sujets ont été soumis à tests de la force maximale au cours du quelles ils ont été vivement encouragés pour atteindre leurs performances maximales (voire fig n°1). La mesure de la force maximale a été effectuée grâce à la mesure de 1RM pour chaque sujet à l'exercice du développé couchée et celui du squat.

2.3.3. Questionnaires de borg : Les sujets ont reçu les questionnaires de Borg (CR10) à différents stades de l'expérimentation, afin de mesurer les sensations de douleur musculaire post effort. Les procédures liées à la compréhension du questionnaire ont été très bien mené par nos soins.

Le CR-10 est une échelle de 0 à 10 exactement comme son nom l'indique. Les prémisses de l'échelle CR10 de Borg introduite par Gunnar BORG un spécialiste en Psychologie et en Sciences psychophysiques et de la perception à l'Université de Stockholm (suède) en 1973 (Adams GR et al, 1993). Le CR-10 comportait encore 21 niveaux avec seulement 7 niveaux d'annotations verbales (fig. 3). Elle a évolué vers sa forme quasi-définitive en 1982 (BORG G., 1998) puis en 1998 (Borel J., et al., 1981).

Selon la littérature abondante que nous avons consultée, une large communauté d'auteurs a validées les échelles de Borg, d'abord en laboratoire puis progressivement en milieu professionnel, de réadaptation fonctionnelle et sportive (Bigland BR, Lippold OCJ., 1954) et (Borel J., et al., 1981).

Une traduction française des annotations verbales de l'échelle RPE et CR10 dans sa forme actuelle (Borg 1998) a été proposé par Meyer (MEYER J-P., 1987). La figure 2 expose la traduction de Mayer en langue française.

CR10 dans sa forme actuelle (Borg 1998)



0	Nothing at all	0	Rien du tout
0,3		0,3	
0,5	Extremely weak	0,5	Extrêmement faible
1	Very weak	1	Très faible
1,5		1,5	
2	Weak	2	Faible
2,5		2,5	
3	Moderate	3	Modéré
4		4	
5	Strong	5	Fort
6		6	
7	Very strong	7	Très fort
8		8	
9		9	
10	Extremely strong	10	Extrêmement fort
11		11	
	Absolute maximum		Maximum absolu

Figure n°2 : traduction de Mayer échelle CR10 dans sa forme actuelle (Borg 1998).

2.4. Analyse statistique

Les paramètres d'évaluation retenus ont été l'indice de Force maximale (IFM) et le questionnaire de Borg CR10 de Perception de la douleur musculaire retardée. Les résultats ont été exprimés descriptivement selon la moyenne et l'écart type. Le test t pour échantillons

Effets de deux méthodes de musculation sur la sensation subjective de douleur musculaire d'apparition retardée et les pertes de force. Cas des footballeurs juniors U19 de l'entente Sportive Setifienne.

appariés a comparé les protocoles d'entraînement d'un même sujet. Les résultats ont été considérés significatifs pour alpha inférieur à 0,001.

Pour vérifier l'hypothèse de départ de notre étude on a utilisé Anova à un facteur sous un modèle GLM univarié qui nous permet d'estimer la taille de l'effet (logiciel SPSS).

3. Résultats

3.1. Evolution des mesures des indices de la force maximale (IFM)

Pour étudier l'effet du type de la contraction musculaire utilisé lors d'une séance de musculation sur le niveau de pertes de force post-effort ainsi que le temps nécessaire à la récupération, les résultats des pré-tests des deux G.E devait être comparés afin de voir si les valeurs de départ sont analogue ou non. Effectivement, la moyenne des valeurs enregistrées des IFM chez les deux groupes à T0 ne diffère pas significativement (**tableau n°2**) quel que soit l'exercice (DC ou Squat).

Au niveau des post-tests et peu importe le protocole de recherche utilisé dans les SE, les valeurs relevées à T1 témoigne d'une perte de force très significative chez les deux G.E travaillant en mode concentrique ou en mode excentrique quel que soit l'exercice employé (DC ou Squat). Incontestablement, le mode excentrique semble enregistrer les plus grandes pertes de la force maximale (-41%) puisque les valeurs les plus basses des IFM observées immédiatement après (T1) la séance expérimentale étaient en faveur du régime excentrique que ce soit pour le développé couché ou bien pour le squat (fig.1 et fig.3).

Tableau n°2 : évolution des indices de la force maximale mesurés (kg) avant (pré-test) et après (post-test) les protocoles d'entraînement administrés aux sujets des deux groupes expérimentaux (Groupe concentrique et groupe excentrique). Le pré-test (T0) était disposé 96h avant la séance expérimentale (SE), tandis que le post-test comprenait une première mesure (T1) à 6h après la SE, une deuxième mesure (T2) à 30h après la SE, une troisième mesure (T3) à 54h après la SE, une quatrième mesure (T4) à 78h, une cinquième mesure (T5) à 102h et une sixième mesure (T6) à 126h. Chaque valeur représente la moyenne (±SEM) de l'ensemble des sujets ainsi que le pourcentage (%) des pertes ou gains de l'indice de force maximale (IFM). Selon le protocole d'entraînement appliquer.

	Valeurs de 1RM des membres supérieurs Développé couché (DC)							Valeurs de 1RM des membres inférieurs Squat (SQ)						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>Temps (heures)</i>	-96h	06h	30h	54h	78h	102h	126h	-96h	06h	30h	54h	78h	102h	126h
<i>Con</i>	83,3 ±5,8	63,4 ±5,97	71 ±5,44	79,6 ±6,31	81,8 ±6,07	85,2 ±6,2	84,6 ±6,8	132,6 ±9,89	99,2 ±9,30	104,4 ±8,98	112,6 ±11,2	122,6 ±12,3	128,8 ±10,6	134,6 ±10,63
<i>% pertes</i>	100%	-24%	-15%	-5%	-2%	+2%	+2%	100%	-25%	-21%	-15%	-8%	-3%	+2%
<i>Exc</i>	79,3 ±4,6	46,6 ±4,0	51,6 ±4,6	58,6 ±3,5	62,8 ±3,4	69,2 ±5,8	78 ±5,3	127,4 ±6,4	84,2 ±5,9	85,6 ±6,4	98,4 ±7,4	107,2 ±7,9	115,6 ±7,8	120,2 ±5,6
<i>% pertes</i>	100%	-41%	-35%	-26%	-21%	-13%	-2%	100%	-34%	-33%	-23%	-16%	-9%	-6%

Au lendemain (30h après) de la séance expérimentale les pertes de force sont toujours très significatives malgré une faible récupération apparente chez les deux groupes. Les footballeurs réalisant un travail concentrique présentent les pertes de force les moins

prononcées (-15% au DC), par contre ceux travaillant en mode excentrique montrent les pertes de force les plus basses (-35% au DC).

Après deux jours (54h) du stimulus, les résultats des IFM restent toujours en dessous des valeurs initiales (T0) toutefois une relance est quand même constatée surtout chez les footballeurs qui travaillent en concentrique (-0,5% au DC et -15% au squat des IFM). À l'opposé, les footballeurs utilisant le mode excentrique enregistrent toujours une perte significative des IFM après la séance de musculation atteignant une valeur de -26 % au DC et -23 % au Squat.

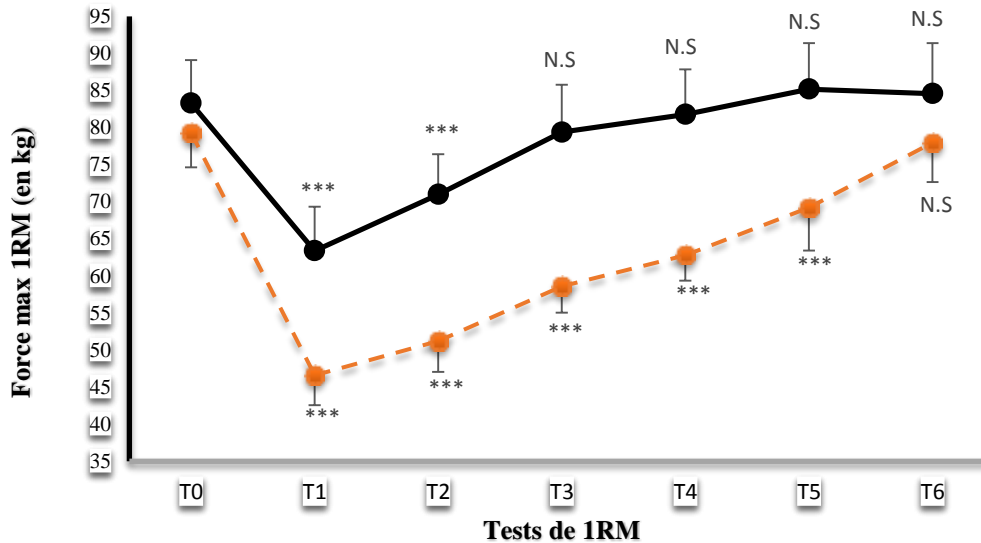


Figure 1 : Évolution de la force maximale des muscles extenseurs des membres supérieurs mesurés au moyen de l'exercice du développée couchée (exprimée en kg), avant (pré-test : T0 avant la SE à -96h) et après (post-tests : T1 après 6h, T2 après 30h, T3 après 54h, T4 après 78h, T5 après 102h et T6 après 126h) les protocoles d'entraînement administrés aux sujets des deux groupes expérimental (Groupe concentrique et groupe excentrique). Les valeurs représentées en moyenne (\pm SEM) de l'ensemble des sujets ainsi que le pourcentage (%) des pertes ou gains de l'indice de force maximale (IFM). Selon le protocole d'entraînement appliqué.

Les résultats mesurant les IFM effectués 78h après la séance concentrique (T4) montrent une augmentation très remarquable des valeurs de la FM (-2% au DC et -8% au squat) mais restent quand même en dessous des valeurs initiaux (T0). À l'opposé les résultats des footballeurs soumis au travail excentrique restent encore significativement faibles (- 21% au DC et - 16 % au squat) reflétant une permanence des pertes force qui restent toujours au-dessous des valeurs initiales mesurées au pré-test (T0).

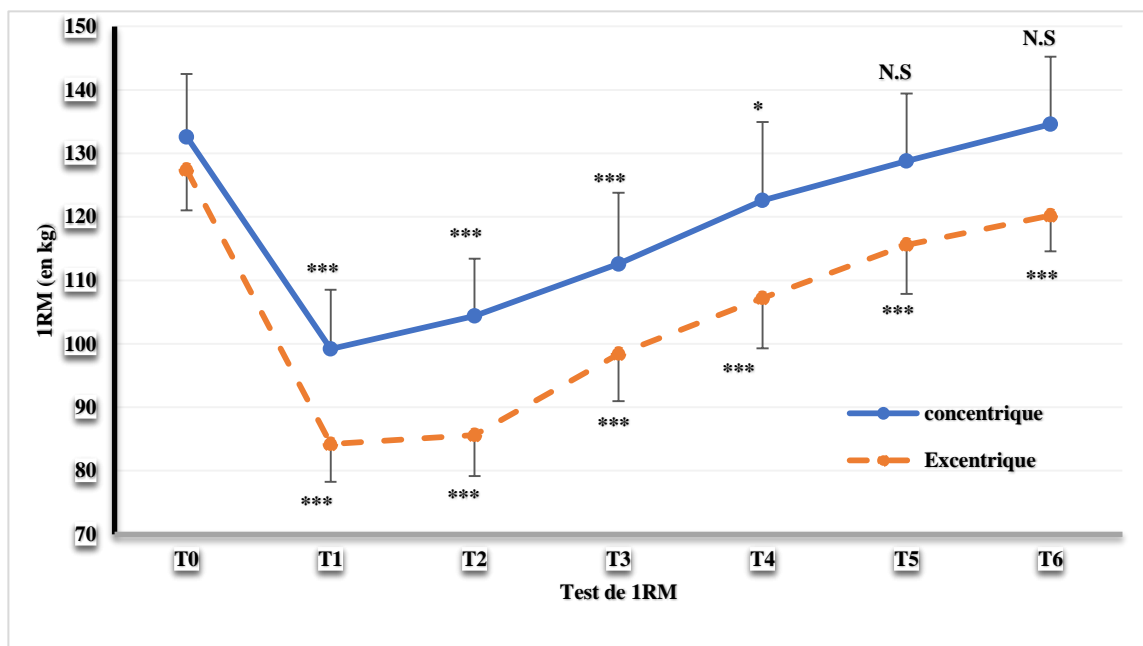


Figure 3 : Évolution de la force maximale des muscles extenseurs des membres inférieurs mesurés au moyen de l'exercice du squat (exprimée en kg), avant (pré-test : T0 avant la SE à -96h) et après (post-tests : T1 après 6h, T2 après 30h, T3 après 54h, T4 après 78h, T5 après 102h et T6 après 126h) les protocoles d'entraînement administrés aux sujets des deux groupes expérimental (Groupe concentrique et groupe excentrique). Les valeurs représentées en moyenne (\pm SEM) de l'ensemble des sujets ainsi que le pourcentage (%) des pertes ou gains de l'indice de force maximale (IFM). Selon le protocole d'entraînement appliqué.

Quatre jours (102 heures) après la séance expérimentale, les résultats des footballeurs travaillant en mode concentrique enregistrent un gain de force maximale au niveau de l'exercice du DC (+ 2 %) par contre ils enregistrent une valeur négative des IFM (-3%) au squat. Cette augmentation de force dans le DC exercice de flexion-extension de membres supérieurs traduisant ainsi un état de surcompensation.

À propos des footballeurs qui s'entraînent en mode excentrique, leurs résultats semblent toujours en dessous des valeurs initiales (T0), traduisant des valeurs négatives des pertes de force égalant -13% au DC et -9% au squat.

Finalement, au bout de cinq jours et quelques heures (126h après), les footballeurs qui subissaient le protocole d'entraînement en mode concentrique réalisent des performances supérieures à celles observées à T0 dans les deux exercices (+2% la développée couchée et +2% au squat). En revanche, le groupe travaillant en mode excentrique subit toujours une perte de force musculaire constatée à travers les valeurs négatives des IFM relevées dans les tests de 1RM des exercices du DC (-2%) et le squat (-6%).

4.2. Evolution des perceptions de douleurs musculaires d'apparition retardée (DOMS)

Les résultats des questionnaires CR10 aux pré-tests des deux groupes ont été comparés pour s'assurer si les réponses des footballeurs travaillant en concentrique et excentrique étaient différentes ou identiques. Effectivement, chez les deux groupes, nous avons relevé une absence totale de sensation de douleur musculaire.

Aux posts-tests, la mesure de la douleur (DOMS) 6h après la SE souligne l'apparition de sensations très légères de douleurs musculaires chez les deux groupes. Néanmoins, les sujets s'entraînant en situation excentrique (G.E) ont une perception du DOMS plus grande que celle du groupe concentrique (G.C). Le lendemain (20h) le groupe concentrique atteint son pic de douleurs perçues comme sévère (assez intenses, mais qui perturbées peu l'exécution du mouvement), par contre, le groupe excentrique ressent des douleurs sévèrement plus grandes. Après 30h de la SE, la douleur musculaire prend une allure ascendante chez le G.E jusqu'à atteindre son pic et redescend ensuite doucement jusqu'à une valeur insignifiante au bout de 150h (\approx 7jours). À l'opposé, le groupe concentrique enregistre une permanence du phénomène DOMS plus courte puisque la douleur devient insignifiante c'est-à-dire qu'elle n'affecte en rien les possibilités de mouvements aux environs de 54h (Q6) après le stimulus et disparaît complètement après trois jours (Q7). Ce qui conclut que l'entraînement en mode excentrique engendre des douleurs musculaires d'apparition retardée c'est-à-dire DOMS (*Delayed Onset muscle Soreness*) plus importantes que ce soit en intensité ou en permanence comparativement avec l'entraînement en mode concentrique (fig.4).

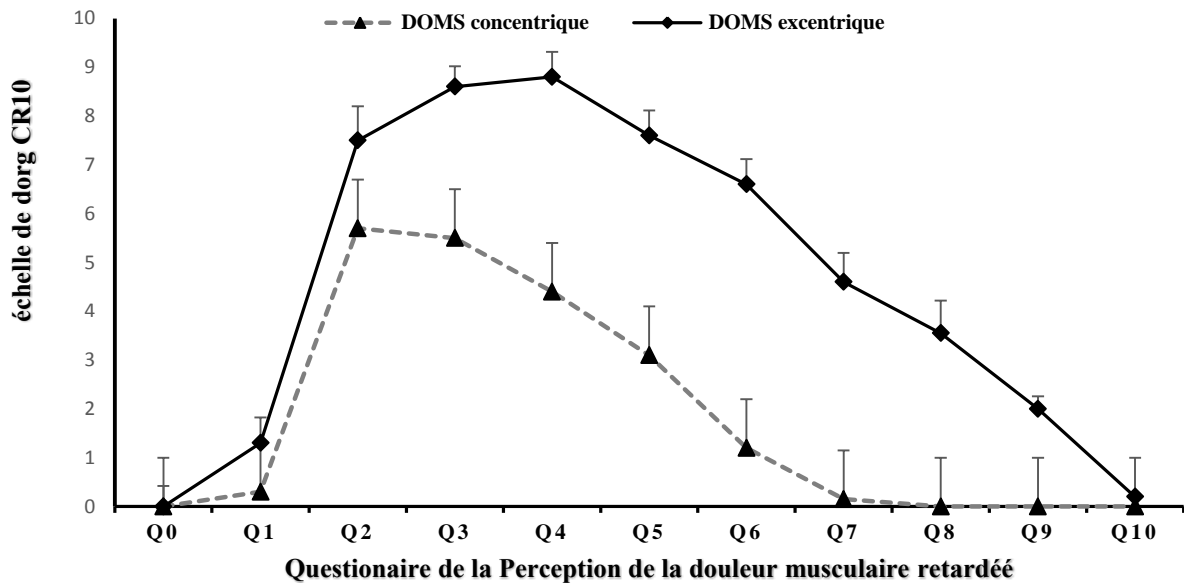


Figure 4 : Evolution de la Perception de la douleur musculaire après les deux séances de musculation expérimentale (Concentrique et Excentrique). Les valeurs sont rapportées en moyenne \pm ET.

4. Discussion

L'impacte spécifique de la musculation sur la performance est aujourd'hui de plus en plus incontestable. Le développement de la force est devenu le noyau dur de toute la préparation physique moderne. L'optimisation de l'entraînement de la force est conditionnée par la

connaissance parfaitement des effets spécifiques des modes de contraction musculaire sur la récupération et le gain de force souhaiter par les entraîneurs de haut niveau.

Rappelons-le, le but de notre recherche était de comparer les effets de deux méthodes de musculation sur la sensation de douleur musculaire d'apparition retardée (courbature) et les pertes de force musculaire (fatigue) supposée être des marqueurs des dommages au niveau de l'ultrastructure de la fibre musculaire (Ahtiainen JP, Häkkinen K., 2009) et (Edwards, RTH., 1983) et (Warren GL, 1999). Effectivement, l'apparition, l'intensité et la permanence des indicateurs (variables dépendantes) observées après les deux séances de musculation expérimentales ont été influencées par le mode de contraction musculaire utilisé.

Avant d'exposer les éléments de réponse de la présente problématique, il est essentiel de vous présenter quelques précisions. Nous avons choisi d'utiliser des pourcentages et des valeurs moyennes des indices de la force maximale dans le but de faciliter la comparaison de nos résultats avec ceux d'autres auteurs.

Nos résultats concordent avec ceux de Cleak et Eston (1992), qui désignent le plus souvent la douleur musculaire et les pertes de force associée à un gonflement de la musculature impliquée comme étant de véritables indicateurs des dommages au niveau du cytosquelette de la fibre musculaire, le même constat a été rapporté par Clarkson et al (1992).

De notre côté, quel que soit le type de régime de contraction musculaire appliqué lors des deux séances expérimentales, on a constaté l'apparition de douleurs musculaires (DOMS) et des pertes de force prononcées chez nos sujets aux posts-tests, ceux-ci peuvent probablement expliquer l'état de la lyse de l'ultra-structure de la fibre musculaire soumise à l'effort. Cependant, la cinétique de l'apparition de ces indicateurs que ce soit en intensité ou en permanence est différente d'une manière significative entre les deux régimes de contraction musculaire étudiés.

En accord avec une large communauté d'auteurs (Coudreuse J-M., et al., 2007) et (Gauche E, et al., 2007) et (Warren GL, et al., 1999), nous avons soupçonné prioritairement la méthode excentrique d'être à l'origine de l'apparition du phénomène DOMS et des pertes de force les plus prononcées. Cela est dû au fait que ce type de travail génère des niveaux de tensions musculaires très importantes qui peuvent provoquer des dommages musculaires profonds.

Si on se réfère à l'étude de Clarkson et al (1992) et de beaucoup d'autres chercheurs (Coudreuse J-M., et al., 2007) et (Edwards, RTH., 1983), les exercices excentriques induisent des pertes de force immédiatement après la séance. Ces chutes de force peuvent atteindre les 50% et nécessiter jusqu'à dix jours de récupération avant de revenir lentement à leurs niveaux initiaux. Ce constat est particulièrement juste, puisque nos résultats confirment ce type de données scientifiques. Effectivement, les pertes de force enregistrées chez nos sujets (GE et GC) ont atteint leurs apogées au premier test de 1RM réalisé 6 heures après la séance expérimentale, que ce soit chez les footballeurs travaillant en mode concentrique ou bien chez ceux qui travaillent en mode excentrique. Néanmoins, les pourcentages des pertes de force les plus grandes enregistrées ont été en faveur du groupe excentrique. Les sujets testés présentés une diminution très importante des indices de la force maximale atteignant 41% à l'exercice des membres supérieurs (DC) et 34% à l'exercice des membres inférieurs (Squat). Bien

entendu, la permanence de cette chute de la force maximale a duré plus de 5 jours vu que les IFM observé à 126 heures après été aux alentours de -2%, ce qui signifie qu'à-peu-près une semaine de récupération est nécessaire avant que les IFM retrouvent les valeurs initiales.

Pour les sujets travaillant en mode concentrique, les pourcentages des pertes de force post-effort relevée été aussi élevé mais d'une manière moins prononcé puisque les valeurs les plus hautes se situer au niveau de 24% pour l'exercice des membres supérieurs (DC) et 25% pour l'exercice des membres inférieurs (Squat). La cinétique de ces pertes était nettement différente que celles constaté chez le G.Exc, du moment que la permanence de cette chute des IFM mesuré chez les footballeurs a duré approximativement 4 jours. En ce qui concerne l'exercice du développée couchée, on a relevé un gain de la force maximal égalant 2% au bout de 102 heures après la séance expérimentale. La même observation a été signalé vis-à-vis de l'exercice du squat où la cinétique de la permanence des pertes de force a évolué de la même façon que l'exercice du développée couchée, on inscrivant un gain de la force équivalent à 2% après 126h c'est-à-dire cinq jours après le stimulus.

Certainement, cette diminution de la force a un rapport avec les dommages de l'ultra-structure musculaire soumise aux charges intenses et surtout excentriques lors de l'exécution du développée couchée et du squat, rapportée lors de cette expérimentation.

Concernant les douleurs musculaires d'apparition retardées (DOMS), notre étude a rapporté une apparition symptomatique des sensations de douleur post effort dans les deux types de contraction musculaire appliquée; cela va dans le même sens que l'avis de plusieurs auteurs (Nosaka et al., 2002) qui dit que le niveau de douleurs musculaires est un marqueur variable des dommages musculaires. Le DOMS est peut-être dû aux sollicitations (concentrique et excentrique) qu'ont subies les sujets lors des séances expérimentales qui pourraient être inhabituelles pour eux. Néanmoins les douleurs les plus prononcées en intensité et en permanence étés enregistrés chez les sujets qui travaillaient en mode excentrique. Les résultats de la présente étude confirment effectivement que l'entraînement de musculation du type concentrique ou excentrique engendre une perte de force et des sensations de douleur différée dans le temps (DOMS) plus ou moins intense et persistant. Nos observations viennent confirmer ceux de plusieurs auteurs en l'occurrence Miles S et Clarkson P (1992) qui parle de l'apparition des microlésions qui entraînent le plus souvent une sensation de douleur diffuse et d'inconfort qu'ils ont qualifiée de « Delayed Onset Muscle Soreness » ou (DOMS) et une perte de force musculaire (PFM) après l'entraînement.

Nous pensons que ces deux phénomènes (DOMS et PFM) sont des conséquences des microlésions des tissus conjonctif et musculaire causé par le protocole d'entraînement administré aux sujets composant nos échantillons. Ce constat est soutenu par le fait que la permanence de ces deux phénomènes, à savoir les douleurs musculaires retardées et les pertes de force, est soutenue tous le long du processus de régénération de l'ultra-structurale de la cellule musculaire endommagée ou partiellement lésée.

Concernant le mode concentrique, les douleurs musculaires retardées observées chez nos sujets, apparaissent 06 h après un travail musculaire concentrique intense et peuvent se maintenir jusqu'à trois jours au plus tard. Par contre, pour le mode excentrique le DOMS

apparaît avec un délai plus étendu et important en matière d'intensité des sensations de douleur des sujets variant entre de 06 à 150 heures. Ces résultats sont similaires à ceux déjà évoqué par Armstrong (1984). La séance en mode excentrique a entraîné des douleurs musculaires d'apparition retardée ou DOMS (*Delayed Onset muscle Soreness*) plus importantes que ce soit en intensité ou en permanence comparativement avec la séance en mode concentrique. Malgré le fait que les douleurs d'apparition retardée (DOMS) ne sont pas corrélées aux pertes de force puisque ces derniers apparaissent immédiatement après l'effort par contre le DOMS apparaît plus tard, ces deux variables dépendantes sont considérées comme un des meilleurs indicateurs des dommages musculaires (Ahtiainen JP, Häkkinen K., 2009).

5. Conclusion :

La principale constatation qui ressort des résultats de notre étude est qu'elle vient confirmer les travaux d'une large communauté d'auteur. Après avoir passé en revue les deux méthodes de musculation concentrique et excentrique, il apparaît dans l'état actuel de nos connaissances que les exercices concentriques entraînent des modifications spécifiquement différentes de celles provoquées par les sollicitations musculaire excentrique.

Le DOMS est étroitement proportionnel aux différents types de contractions musculaires utilisées. La douleur éprouvée après les contractions excentriques est largement plus grande que celle éprouvée après des contractions concentriques. Le DOMS est donc une conséquence des microlésions des tissus conjonctifs et musculaires survenues prioritairement après un protocole d'entraînement du type excentrique.

La musculation concentrique cause elle aussi des douleurs musculaires retardées mais d'une intensité et d'une permanence moindres que celle observée et rapportée après une séance en mode excentrique. Les mêmes observations concernant les pertes de force immédiatement éprouvées après les deux formes de méthode de musculation on était relevé. Ce constat est soutenu par le fait que la permanence de ces phénomènes, est soutenue tous le long du processus de régénération de l'ultra-structurale de la cellule musculaire endommagée ou partiellement lésée.

L'entraînement excentrique apparaît comme étant le plus intéressant pour obtenir les gains les plus élevés de la force maximale, néanmoins, nécessitant des périodes de récupération très longues, il n'est pas judicieux de le programmer durant des périodes proches de la compétition.

La richesse des études scientifiques qui suscite depuis longtemps l'intérêt du savoir relatif à la musculation traditionnelle prioritairement en mode concentrique a plus moins manqué de se pencher plus sur le mode excentrique. Effectivement, ce type de régime intéresse actuel de plus en plus les chercheurs qui voient en lui la tendance moderne des méthodes de musculation. Notre principale perspective dans ce contexte est de chercher à savoir dans nos travaux ultérieurs s'il y a adaptation à l'exercice excentrique et quels sont les moyens d'accélérer la récupération après des séances de musculation excentrique. Cela va sans doute nous offrir un large éventail du savoir dans le domaine de la méthodologie de l'entraînement de la force.

Bibliographie

1. Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol* 1993;74:911–5.
2. Ahtiainen JP, Häkkinen K. Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *J Strength Cond Res.* 2009;23(4):1129-34.
3. Borel J., Chanard J., Gougeon J., Leutenegger M., Potron G., Randoux A., Zeitoun P., (1981). Comment prescrire et interpréter un examen de biochimie. Maloine éd. S.A., Paris.
4. BORG G. Borg's perceived exertion and pain scales. USA, Human Kinetics, 1998.- 1 vol., 112 p.
5. Clarkson, P. M., K. Nosaka, and Barry Braun. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1992.
6. Coudreuse J-M., Dupont P., Nicol C. *Douleurs musculaires post-effort.* Journal de traumatologie du sport 2007, 24, 103-110.
7. Dufour . S. Optimisation de la performance aérobie chez l'athlète: Hypoxie intermittente à l'exercice et ergocycle excentrique comme nouvelles approches de stimulations métaboliques et mécaniques. Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur Strasbourg I 2005 ; 76.
8. Edwards, RTH. Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue. *Biochemistry of exercise* VHG Knuttgen, JA Vogel and JR Poortmans. Champaign, HumanKineticsPubl. 1983:3-28.
9. Gauche E, Hausswirth C, Bieuzen F, Lepers R, Rabita J, Brisswalter J. Vitamin and mineral complex supplementation on maximal voluntary contraction decrease and biological markers following an eccentric exercise in elderly active people. *Sci Sports* 2007;22:201—9.
10. Gauche E, Lepers R, Rabita G, Leveque JM, Bishop D, Brisswalter J, et al. Vitamin and mineral supplementation and neuromuscular recovery after a running race. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(12):2110—7.
11. Harre D., (2002). Base de L'entraînement des Capacités Physiques : matériel d'études pour entraîneurs étrangers, science générale du mouvement et de l'entraînement. Université Leipzig, faculté des sciences du sport.
12. Hort W., Flöthner R., (1984). Les Bases Scientifiques de la Musculation et de la
13. Kuipers H. Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1993 ; 15 : 132-5
14. Traumatologie Musculaire. Éd. Vigot, Paris.
15. Verden R., (*s.d.*). Eccentric Muscle Contractions: Beneficial or Damaging? : www.sportsnutrition4u.com/artiles/Ecentric%20Contraction.doc
16. Warren GL, Lowe DA, and Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med.* 1999;27(1):43-59.