

Pathologie locomotrice et médecine orthopédique

Exercice musculaire excentrique

Sous la direction de
J.L. Croisier
P. Codine

 **MASSON**

Entraînement excentrique des rotateurs d'épaule

Forthomme B.¹, Chagué L.¹, Crielaard J.M.¹, Croisier J.L.¹

1. Introduction

L'isocinétisme a récemment connu un développement rapide en tant que méthode d'exploration des performances musculaires. La technique s'impose actuellement comme une référence pour l'évaluation tant dans le domaine sportif que dans le domaine médical [4,10]. Le dynamomètre isocinétique s'utilise également comme outil de rééducation dans les contextes pathologiques et parfois dans l'entraînement sportif. En ce qui concerne le complexe articulaire de l'épaule, de nombreuses études restent cependant à mener, étant donné les divergences actuelles relatives aux modalités d'évaluation et d'entraînement [3]. En dépit des travaux déjà réalisés, peu de consensus existe dans la littérature dans le choix des positions, des vitesses angulaires ou des modes de contraction.

Lors de l'évaluation isocinétique des rotateurs de l'épaule, les positions assurant la meilleure reproductibilité des moments de force maximaux (MFM) et des ratios agonistes / antagonistes restent le décubitus dorsal, bras à 90° ou à 45° d'abduction [10].

¹ Université et CHU de Liège, Département des Sciences de la Motricité, Service de Médecine Physique et Kinésithérapie-Réadaptation, 4000 Liège, Belgique

Classiquement, le protocole d'évaluation inclut des contractions maximales (après échauffement et familiarisation) selon le mode concentrique dans un registre de vitesses comprises entre $60^{\circ}/s$ et $240^{\circ}/s$. Chez le sportif, le mode excentrique à vitesse lente ($60^{\circ}/s$) peut compléter les séries concentriques puisqu'il présente une spécificité liée à la gestuelle de lancer et de frappe. Cependant, l'évaluation excentrique appliquée à l'épaule génère parfois des sensations douloureuses justifiant certaines précautions lors de son utilisation [10].

L'entraînement isocinétique des rotateurs de l'épaule reste très confidentiel dans la littérature. A ce jour, l'influence des variables « positionnement du sujet, mode de contraction et vitesse du mouvement » ne semble pas clairement définie.

Dans ce travail, nous étudions les effets d'un entraînement isocinétique mixte concentrique et excentrique de la coiffe des rotateurs, réalisé en décubitus dorsal selon deux positions d'épaule : soit 45° , soit 90° d'abduction dans le plan frontal. L'étude des corrélations entre force analytique et geste fonctionnel fait également partie de l'analyse, par la mise en relation des moments de force isocinétiques et de performances lors de lancers de balle.

2. Méthodologie

La population se compose de 24 sujets ($25 \pm 1,6$ ans), droitiers, non sportifs et sans pathologie d'épaule, répartis de façon randomisée en 3 groupes : groupe contrôle (GC), groupe entraîné à 45° Abd (G45) et groupe entraîné à 90° Abd (G90).

Les sujets des groupes G45 et G90 sont soumis à une évaluation isocinétique avant et après 3 semaines d'entraînement isocinétique des muscles rotateurs internes (RI) et externe (RE) de l'épaule dominante. Le groupe GC ne subit aucun entraînement entre les deux évaluations isocinétiques. Les entraînements et les évaluations s'adressent exclusivement à l'épaule dominante. Le **tableau I** présente les modalités d'évaluation et d'entraînement des RI et RE sur le dynamomètre (Cybex Norm).

L'entraînement s'effectue sur le dynamomètre en décubitus dorsal, soit à 45° d'abduction (G45), soit à 90° d'abduction (G90) dans le plan frontal (**Figure 1**). Les amplitudes du mouvement sont standardisées et correspondent à 50° de rotation interne et 60° de rotation externe. Les caractéristiques du protocole d'entraînement s'inspirent de la biomécanique du geste de lancer, à savoir le mode concentrique (conc) pour les RI et le mode excentrique (exc) pour les RE. L'entraînement s'effectue à intensité maximale. Pour le retour de la position en rotation interne vers la position en rotation externe, nous avons choisi le mode concentrique à 300°/s, le sujet ne devant pas forcer lors de ce mouvement.

Dans le but d'étudier le transfert des gains de performance, les 3 groupes de sujets sont évalués à 45° d'abduction ainsi qu'à 90° d'abduction dans le plan frontal, selon un ordre aléatoire (**Tableau I**).

L'analyse porte sur les paramètres isocinétiques suivants : le MFM (N.m) et le travail maximal (W en J) des RI et des RE ; deux types de ratios RE/RI sont calculés sur le MFM : un ratio concentrique classique REconc / RIconc et un ratio mixte REexc 60°/s / RIconc 240°/s. L'évolution de la force maximale développée entre le pré- et le post-test s'exprime en %.

Les évaluations isocinétiques s'accompagnent, avant et après les séances d'entraînement, d'une évaluation sur le terrain sous la forme d'un lancer de balle (800 g) dans des conditions standardisées [10]. La mesure du lancer de balle s'exprime en distance (mètres).

Par ailleurs, diverses mesures goniométriques d'amplitudes articulaires passives de l'articulation gléno-humérale (rotation interne et rotation externe), bras à 90° d'abduction frontale, complètent le protocole.

Des tests de conflit (tests de Hawkins, Yocum et Neer) permettent de dépister une éventuelle souffrance sous-acromiale des tendons de la coiffe des rotateurs avant et après les 3 semaines d'entraînement ainsi qu'après la 5^{ème} séance.

3. Résultats

- Profil de force maximale des trois groupes expérimentaux

Le **tableau II** illustre les valeurs moyennes et les écart-types des MFM (N.m) des trois groupes expérimentaux (GC, G45, G90), mesurés lors du pré-test (début de la phase expérimentale) dans les deux positions d'évaluation. Aucune différence significative n'est relevée entre les MFM des différents groupes, excepté pour les RE en excentrique (évaluation à 90° d'abduction). Au départ, le groupe entraîné à 45° apparaît significativement moins fort que les sujets des CG et G90 dans cette modalité d'évaluation.

- Evolution des performances après entraînement

Le **tableau III** décrit les gains calculés en pour cent sur les MFM des RI et des RE (avant et après l'entraînement) pour les trois groupes expérimentaux. Les sujets non entraînés ne montrent aucune variation significative des performances maximales entre les deux temps évaluatifs. Les gains significatifs ($p < 0,05$) résultant de l'entraînement s'observent uniquement dans le groupe entraîné à 45° d'abduction et ce, en mode concentrique pour les RI et RE (gains entre 8 % et 18 %). Aucun groupe de sujets entraînés ne présente de gain significatif en mode excentrique.

De même, les gains sur le travail (W) apparaissent exclusivement dans le groupe G45 (entraînement à 45°), pour le seul mode concentrique (entre 11 % et 21 %).

Le **tableau IV** montre l'évolution des ratios à 60°/s en mode concentrique (RE/RI) et des ratios fonctionnels (RE 60°/s exc / RI 240°/s conc) avant et après entraînement dans les différentes positions du test. Si les valeurs restent stables dans le GC, une tendance à la réduction s'observe au sein des groupes entraînés. Seul le ratio mixte dans le groupe entraîné à 45° d'abduction (abd) diminue cependant significativement après l'entraînement ($p < 0,05$).

Le **tableau V** illustre les moyennes et les écart-types des performances de terrain (lancer de balle - m) mesurées lors du pré-test et du post-test pour les trois groupes expérimentaux. Le lancer de balle s'est amélioré de façon significative après l'entraînement isocinétique exclusivement dans le groupe entraîné à 45° ($p < 0,001$).

Sur le plan de la mobilité articulaire, une tendance à la diminution de l'amplitude gléno-humérale en rotation interne se mesure après l'entraînement à 45° et 90° d'abduction ($p > 0,05$).

- Relation entre performances de terrain et isocinétisme

En associant les résultats analytiques de l'évaluation isocinétique des RE et RI et les performances de lancer de balle avant l'entraînement, nous observons plusieurs corrélations significatives ($p < 0,05$). Des corrélations de bon niveau existent entre le **lancer de balle** et :

- les RI à 60°/s exc évalués à 45° abd ($r = 0,65$) et 90° abd ($r = 0,6$)
- les RI à 240°/s conc évalués à 45° abd ($r = 0,57$) et 90° abd ($r = 0,55$)
- les RE à 240°/s conc évalués à 45° abd ($r = 0,56$) et 90° abd ($r = 0,56$).

Une corrélation négative significative lie les performances isocinétiques et les amplitudes articulaires : les sujets les plus forts présentent une raideur en rotation interne.

4. Discussion

La littérature ne présente pas actuellement de consensus concernant les positions d'installation et les protocoles utilisés dans l'évaluation des rotateurs de l'épaule. L'installation du sujet en décubitus dorsal apparaît néanmoins recommandée [2,5,8,10], en raison d'une meilleure reproductibilité des mesures, en particulier sur les RE [8,9]. Le positionnement du bras à 90° d'abduction reproduit plus fidèlement le geste d'armer tout en limitant les compensations néfastes du tronc. Les mesures isocinétiques (MFM et ratios) apparaissent particulièrement reproductibles dans cette position. La position 45° d'abduction assure la meilleure sécurité et réduit la composante algique pour des sujets pathologiques [9]. La littérature concernant l'entraînement isocinétique reste lacunaire : l'évolution des gains de performance musculaire suivant les conditions d'exercice et l'étude du transfert vers la performance de terrain apparaissent peu explorées.

Dans ce travail mené sur des sujets sains, nous apprécions l'efficacité d'un entraînement isocinétique de courte durée mené soit à 45°, soit à 90° d'abduction (8 séances réparties sur 3 semaines). Nous avons choisi des séquences concentriques sur les RI et excentriques sur les RE. Ces conditions se rapprochent de la fonction assurée par la coiffe des rotateurs lors des gestes de lancer : les RI assurent par leur travail moteur l'accélération du bras, alors que les RE décélèrent le membre en fin de mouvement.

Les modalités retenues pour l'évaluation isocinétique permettent d'analyser les possibilités de « transfert » des gains (selon la position et le mode de contraction).

Ce travail contribue donc à apprécier la faisabilité de l'exercice isocinétique excentrique, dans le cadre évaluatif et lors du renforcement.

Influence de la position d'entraînement et du mode de contraction

Dans notre travail, l'entraînement isocinétique induit un gain de performance isocinétique significatif uniquement dans le groupe entraîné à 45° d'abduction. Cette majoration du moment de force maximal et du travail (MFM et W) développés concerne les RE et les RI aux deux vitesses de test (60°/s et 240°/s) en mode concentrique (évaluation à 45° et 90° d'abduction). Aucune majoration significative des performances musculaires n'est objectivée après l'entraînement à 90° d'abduction.

Lors de l'exécution des séances d'entraînement, l'observation du MFM atteint au cours des séries apporte des informations complémentaires. Ainsi, lors des exercices à 45° d'abduction, une amélioration de la force développée pendant l'entraînement apparaît après la 5^{ème} ou 6^{ème} séance, selon les sujets. Ces améliorations proviennent vraisemblablement des adaptations neuromusculaires précédant les modifications purement musculaires [12,13,18]. L'amélioration de la force concentrique concerne les deux groupes musculaires (RI et RE), malgré que l'entraînement concentrique soit dédié uniquement aux RI. Ces résultats pourraient s'expliquer par un transfert de l'entraînement excentrique des RE vers le mode concentrique pour le même groupe musculaire ou, plus probablement, par le retour actif (après le travail des RI en concentrique et des RE en excentrique) effectué par les RE à vitesse rapide (300°/s), malgré la consigne donnée aux sujets de ne pas forcer. Montcrief et al. [16] observent, après 4 semaines d'un entraînement non isocinétique des muscles rotateurs de

l'épaule, des gains comparables entre rotateurs internes et externes. Dans une comparaison entre le système isotonique et isocinétique, Malliou et al. [15] reconnaissent une meilleure efficacité de l'entraînement avec le dynamomètre isocinétique.

Dans notre travail, trois semaines d'entraînement des RE en mode excentrique n'autorisent aucun gain significatif des performances maximales excentriques, quelle que soit la position lors de l'entraînement. Ces résultats apparaissent contradictoires par rapport aux études concernant l'entraînement des groupes musculaires du genou [4]. La levée rapide des inhibitions lors de l'entraînement excentrique du membre inférieur permet un gain de performance maximal que n'autorise pas l'entraînement concentrique [4]. Le manque d'efficacité de l'entraînement excentrique des RE de l'épaule pourrait s'expliquer par le déclenchement de phénomènes d'inhibition lors du mouvement de freinage. Ces inhibitions musculaires pourraient provenir d'un conflit entre les tendons supérieurs de la coiffe des rotateurs et l'acromion lors du passage de la grosse tubérosité. L'observation du sujet sur le dynamomètre révèle, lorsqu'il freine le mouvement imposé vers la rotation interne (travail excentrique des RE), une antéprojection significative de l'épaule. Cette antéprojection s'observe lorsque l'exercice est programmé avec le bras à 45° et à 90° d'abduction. Dans la littérature, les résultats de deux études sur l'entraînement des rotateurs de l'épaule apparaissent variables. Ellenbecker et al. [5] mesurent l'effet, après 6 semaines, d'un entraînement isocinétique des RE et RI de l'épaule soit exclusivement concentrique, soit exclusivement excentrique. Ils observent un gain en mode concentrique sur les RE et RI pour les deux modalités d'entraînement, et une amélioration en excentrique uniquement pour les sujets entraînés en concentrique [5]. Dans une étude similaire, Mont et al. [17] mesurent un gain significatif des performances musculaires des RE et RI dans le mode concentrique et excentrique pour les sujets entraînés pendant 6 semaines respectivement en concentrique et en

excentrique. Dans ces différents travaux, les sujets sont également évalués en décubitus dorsal à 90° d'abduction, dans le plan frontal [5] ou à 20° dans le plan sagittal [17]. Le plan frontal semble ainsi plus sollicitant que le plan se rapprochant du plan de la scapula. Bien que le protocole d'entraînement utilisé dans l'étude de Mont et al. [17] se veuille progressif en intensité, des douleurs musculaires sont rapportées dans le groupe excentrique lors des 2 premières semaines pour 4 sujets. Ces sensations disparaissant au cours des semaines suivantes et ne compromettent donc pas l'entraînement.

Lors des entraînements à 90° d'abduction dans le plan frontal, quelques sujets inclus dans notre étude décrivent des plaintes au niveau des tendons de la coiffe des rotateurs. Cette position, proche de l'armer, entraîne clairement des signes de conflit entre les tendons de la coiffe et l'auvent acromial, pouvant se développer dès la 5^{ème} séance. Ces observations corroborent nos choix cliniques d'évaluation à 45° d'abduction pour des épaules algiques, 90° étant plus proche de la gestuelle de lancer – frappe de balle mais plus délétère pour les tendons de la coiffe des rotateurs. Les sensations algiques rapportées, de type tendineux et non d'origine musculaire (« DOMS »), contribueraient à expliquer le manque d'amélioration des performances lors de l'entraînement à 90° d'abduction dans le plan frontal.

Si la mesure de performance maximale excentrique des rotateurs apparaît pertinente chez le sportif entraîné, elle semble moins intéressante et génère des plaintes tendineuses (particulièrement à 90° d'abduction) pour l'épaule sédentaire. De même, l'entraînement excentrique de la coiffe des rotateurs peut se justifier éventuellement pour le sportif, dans des conditions précises ; il s'applique moins régulièrement chez le patient sédentaire. En pratique, nous suggérons d'initier l'entraînement isocinétique excentrique par un programme sous-maximal lors des premières séances d'entraînement. Nous recommandons également

d'installer le sujet à 45° d'abduction dans le plan scapulaire (à 30° du plan frontal) afin d'éviter le conflit sous-acromial. Une majoration progressive de l'intensité s'envisagerait après quelques (4 ou 5) sessions sur le dynamomètre. Une évaluation clinique des tendons de la coiffe des rotateurs après 5 séances apparaît indispensable afin de dépister d'éventuelles souffrances tendineuses liées à l'entraînement.

Nos résultats attirent également l'attention sur les risques de réduction des ratios RE/RI ainsi que de la mobilité en rotation interne. Le clinicien adaptera utilement les programmes de renforcement afin d'éviter l'apparition préjudiciable d'un déséquilibre agonistes / antagonistes ou une perte de mobilité articulaire.

Relation avec la performance de terrain

Dans ce travail, la performance de terrain, illustrée par un lancer de balle, s'améliore (+ 8,5 %) uniquement dans le groupe entraîné à 45°. Ceci peut surprendre car, à priori, 90° d'abduction correspondrait davantage au geste fonctionnel. Rappelons cependant que ce G45 est le seul à montrer un gain de force analytique concentrique après 3 semaines d'exercice isocinétique. Ellenbecker et al. [5], dans une étude comparant l'efficacité d'un entraînement concentrique ou excentrique sur la performance de terrain au tennis, observent une amélioration de la vitesse de balle, uniquement dans le groupe entraîné en concentrique. Les auteurs avancent l'hypothèse que la vitesse de la balle semble liée à la contraction concentrique des RI, un entraînement excentrique favorisant plutôt la décélération du mouvement. Heiderscheit et al. [11] n'ont mesuré aucune amélioration du lancer de balle après entraînement pliométrique (réception - lancer de balle lourde) ou après exercices isocinétiques excentriques des RI pendant 8 semaines. L'entraînement pliométrique sous

forme de réception - lancer de balle, spécifique du test de terrain, semble peu efficace sur le plan quantitatif, les sujets se concentrant davantage sur le mouvement que sur l'intensité du lancer [11]. Dans cette étude, les exercices isocinétiques excentriques ont majoré le paramètre puissance excentrique sans gain sur la performance de terrain [11]. Par opposition, Mont et al. [17] observent, dans une étude similaire, une amélioration significative de la vitesse de la balle pour les deux groupes entraînés (concentrique et excentrique), chacun des groupes ayant développé des gains dans les deux modes de contraction.

Dans notre étude corrélative entre les paramètres isocinétiques et le lancer de balle des sujets sédentaires, le lancer s'associe aux performances des RI et RE évalués en mode concentrique ($0,57 \leq r \leq 0,55$) et aux RI excentriques ($0,65 \leq r \leq 0,60$). Dans les différentes phases du geste de lancer, les muscles de la coiffe des rotateurs interviennent pour leur fonction propulsive (concentrique) ou frénatrice (excentrique). Les possibilités concentriques des RI assurent la phase d'accélération, la phase d'armer dépendant des RE en mode concentrique. Le contrôle de la fin du mouvement d'armer dépend cependant de l'efficacité du freinage effectué par les RI en mode excentrique. Nous avons par ailleurs démontré les mêmes relations, lors d'études dédiées à différentes pratiques sportives de haut niveau [6,7]. Différents liens existent entre la performance spécifique de terrain et les RI en mode concentrique (volley, javelot), les RI en mode excentrique (javelot) et les RE concentriques (javelot) [5,6]. Bayios et al. [1] observent, en hand-ball, une corrélation positive entre le shoot et la force maximale des RI en concentrique.

Le gain de force engendré par l'entraînement isocinétique (à 45° d'abduction) autorise, chez des sujets sédentaires, une amélioration des performances de terrain, malgré un entraînement

de courte durée. De telles améliorations doivent encore être démontrées chez le sportif entraîné ou pour un entraînement plus long (6 semaines).

5. Conclusion

Après trois semaines d'un entraînement isocinétique comparant deux positions d'épaule différentes (45° et 90° d'abduction) à intensité maximale des RI en mode concentrique et des RE en mode excentrique, nos observations concernent en particulier :

- des gains de performances uniquement lorsque le sujet est entraîné à 45° d'abduction. Ces améliorations significatives se rapportent au mode concentrique pour les deux groupes de rotateurs (RE et RI) ; elles s'accompagnent d'une baisse du ratio mixte (REecc / RIconc) et d'une raideur articulaire vers la rotation interne ;
- l'entraînement excentrique des RE à 45° et 90° d'abduction frontale n'autorise aucune majoration significative en excentrique lors de l'évaluation post-entraînement. Une antéprojection de l'épaule lors du freinage du bras de levier du dynamomètre pourrait générer un conflit tendineux et expliquer ce manque de progression ;
- l'amélioration de la force maximale analytique concentrique des RI et des RE par l'entraînement permet une amélioration de performance lors d'un lancer de balle ;
- si 90° d'abduction s'avère spécifique pour l'évaluation de l'épaule sportive, l'entraînement à 90° d'abduction dans le plan frontal semble plus délétère pour la coiffe des rotateurs et ne permet, à court terme, aucun gain de force maximale. Cette position s'avère moins intéressante dans l'entraînement, elle majore les signes de conflit. Une installation à 45° d'abduction dans un plan scapulaire (30° du plan frontal) apparaît plus indiquée en exercice pour des raisons de limitation de la douleur. Il semble également judicieux de commencer les exercices excentriques à une intensité sous-maximale.

Summary

Title: Eccentric strengthening fort he rotator muscles

In this study, we have investigated the influence of the installation on the dynamometer and of the mode of contraction used during a rotator cuff muscle training.

24 subjects were divided into 3 groups. Two groups of 8 subjects performed a training of the Internal Rotators (IR) in concentric mode (60°/s and 240°/s) and of the External Rotators in eccentric mode (60°/s). The first group was trained at 45° of abduction; the second was trained at 90° of abduction. The third group did not perform any shoulder training. All patients were assessed thanks to the isokinetic device ((3) x 60°/s concentric – (5) x 240°/s concentric – (4) x 60°/s eccentric) before and after training. Only the group trained at 45° of abduction increased the isokinetic maximal peak torque (+ p) in concentric mode during the second isokinetic assessment. No subject showed improvement through the eccentric exercise. They also improved the throw of the ball (+ 8.5 %). Possible feeling of discomfort and signs of subacromial conflict explained that no progression was recorded after training at 90° of abduction. Likewise, the eccentric mode would major the inhibition limiting the strength increase. Even if 90° of abduction seems more specific for assessment, 45° of abduction is more suitable for training.

Références

1. Bayios IA, Anastasopoulou EM, Sioudris DS, Boudolos KD. Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball, *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41:229-35.
2. Chandler TJ, Kibler WB, Stracener EC, Ziegler AK, Pace B. Shoulder strength, power, and endurance in college tennis players, *Am J Sports Med* 1992;20:455-8.
3. Codine P, Bernard PL, Pocholle M, Herisson C. Evaluation et rééducation des muscles de l'épaule en isocinétisme : méthodologie, résultats et applications, *Ann Readapt Med Phys* 2005;48:80-92.
4. Croisier JL. Exploration fondamentale et clinique de l'exercice isocinétique excentrique, Thèse d'Agrégation de l'Enseignement Supérieur, Faculté de Médecine, Université de Liège, 2002.
5. Ellenbecker TS, Davies GJ, Rowinski MJ. Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff. Objective data versus functional test, *Am J Sports Med* 1988;16:64-9.
6. Forthomme B, Crielaard JM, Forthomme L, Croisier JL. Field performance of javelin throwers: Relationship with isokinetic findings, *Isokinet Exerc Sci* 2007;15:195-202.
7. Forthomme B, Croisier JL, Ciccarone G, Crielaard JM, Cloes M. Factors correlated with volleyball spike velocity, *Am J Sports Med* 2005;33:1513-9.
8. Forthomme B, Croisier JL, Crielaard JM. Proposal for the assessment protocols for different shoulder muscle groups, *Isokinet Exerc Sci* 2003;11:69.
9. Forthomme B, Maquet D, Crielaard JM, Croisier JL. Shoulder isokinetic assessment: A critical analysis, *Isokinet Exerc Sci* 2005;13:59-60.

10. Forthomme B. Exploration musculaire isocinétique de l'épaule. Faculté de Médecine. Liège, Université de Liège. Thèse de Doctorat en Kinésithérapie et Réadaptation, 2005.
11. Heiderscheit BC, McLean KP, Davies GJ. The effects of isokinetic vs. plyometric training on the shoulder internal rotators, *J Orthop Sports Phys Ther* 1996;23:125-33.
12. Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL 3rd, Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation, *J Appl Physiol* 1996;81:2173-81.
13. Hortobágyi T, Devita P, Money J, Barrier J. Effects of standard and eccentric overload strength training in young women, *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1206-12.
14. Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation, *Int J Sports Med* 1994;15 Suppl 1:S11-8.
15. Malliou PC, Giannakopoulos K, Beneka AG, Gioftsidou A, Godolias G. Effective ways of restoring muscular imbalances of the rotator cuff muscle group: a comparative study of various training methods, *Br J Sports Med* 2004;38:766-72.
16. Moncrief SA, Lau JD, Gale JR, Scott SA. Effect of rotator cuff exercise on humeral rotation torque in healthy individuals, *J Strength Cond Res* 2002;16:262-70.
17. Mont MA, Cohen DB, Campbell KR, Gravare K, Mathur SK. Isokinetic concentric versus eccentric training of shoulder rotators with functional evaluation of performance enhancement in elite tennis players, *Am J Sports Med* 1994;22:513-7.
18. Seger JY, Arvidsson B, Thorstensson A. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;79:49-57.

Tableau I : Modalités de l'évaluation et de l'entraînement isocinétiques des RI et RE. (GC = groupe contrôle, G45 = groupe entraîné à 45° Abd, G90 = groupe entraîné à 90° Abd).

EVALUATION selon 2 positions : 45° Abd + 90° Abd	
	60°/s conc (3 répétitions)
	240°/s conc (5 répétitions)
	60°/s exc (4 répétitions)
ENTRAINEMENT	
GC	Pas d'entraînement
G45	Par séance = 4 x $\left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ x RI } 60^\circ/\text{s conc} \\ 8 \text{ x RI } 240^\circ/\text{s conc} \\ 6 \text{ x RE } 60^\circ/\text{s exc} \end{array} \right\}$ retour RE 300°/s conc (sous-maximal)
G90	

Tableau II : Moments de force maximaux ($M \pm \delta$ en N.m) des RI et des RE des trois groupes expérimentaux (GC, G45 et G90) évalués lors du pré-test dans les deux positions (45° et 90° d'abduction) à 60°/s en mode concentrique et excentrique. * = ...

		Position d'évaluation	GC	G45	G90
60°/s concentrique	RI	45°	45,0 ± 4,3	39,4 ± 10,0	43,9 ± 6,1
		90°	43,8 ± 6,2	37,8 ± 8,2	39,1 ± 5,2
	RE	45°	29,0 ± 4,8	28,5 ± 5,3	30,8 ± 4,6
		90°	29,3 ± 4,2	30,6 ± 6,8	33,9 ± 4,0
60°/s excentrique	RI	45°	54,4 ± 12,9	44,0 ± 10,4	48,9 ± 5,7
		90°	53,3 ± 7,6	40,5* ± 7,1	47,8 ± 6,9
	RE	45°	39,6 ± 4,7	36,8 ± 6,2	39,1 ± 4,5
		90°	40,5 ± 5,5	36,3 ± 5,8	43,3 ± 5,1

Tableau III : Evolution en % ($M \pm \delta$) du MFM des RI et des RE entre le pré-test et le post-test pour les trois groupes expérimentaux (* représente une différence significative entre les MFM avant et après entraînement, au seuil de $p < 0,05$).

		Position d'évaluation	GC	G45	G90
60°/s	RI	45°	0 % \pm 0,07	10 % \pm 0,14	4 % \pm 0,13
		90°	-2 % \pm 0,06	16 %* \pm 0,14	-3 % \pm 0,11
	RE	45°	-1 % \pm 0,09	8 %* \pm 0,08	-4 % \pm 0,08
		90°	0 % \pm 0,14	9 % \pm 0,15	-1 % \pm 0,08
240°/s	RI	45°	1 % \pm 0,05	18 %** \pm 0,14	1 % \pm 0,14
		90°	0 % \pm 0,08	17 %** \pm 0,14	4 % \pm 0,16
	RE	45°	0 % \pm 0,06	18 % \pm 0,22	1 % \pm 0,09
		90°	-3 % \pm 0,09	14 %* \pm 0,13	-3 % \pm 0,11
60°/s	RI	45°	-2 % \pm 0,04	7 % \pm 0,12	5 % \pm 0,10
		90°	-1 % \pm 0,09	6 % \pm 0,13	4 % \pm 0,11
	RE	45°	0 % \pm 0,05	2 % \pm 0,13	0 % \pm 0,07
		90°	1 % \pm 0,13	6 % \pm 0,11	2 % \pm 0,13

Tableau IV : Ratio RE/RI à 60°/s en mode concentrique et ratio mixte ($M \pm \delta$) calculé lors du pré-test et du post-test pour les trois groupes expérimentaux.

Position d'évaluation			GC	G45	G90
Ratio conc 60°/s	45°	Pré-test	0,65 ± 0,1	0,73 ± 0,1	0,70 ± 0,1
		Post-test	0,66 ± 0,1	0,74 ± 0,1	0,66 ± 0,1
	90°	Pré-test	0,67 ± 0,1	0,82 ± 0,1	0,76 ± 0,1
		Post-test	0,69 ± 0,1	0,78 ± 0,2	0,83 ± 0,1
Ratio mixte (RE exc / RI conc)	45°	Pré-test	1,02 ± 0,1	1,18 ± 0,2	1,08 ± 0,2
		Post-test	1,01 ± 0,1	1,03* ± 0,2	1,01 ± 0,2
	90°	Pré-test	1,05 ± 0,1	1,21 ± 0,2	1,15 ± 0,2
		Post-test	1,06 ± 0,1	1,09 ± 0,2	1,13 ± 0,1

Tableau V : Performances de terrain (m) ($M \pm \delta$) des trois groupes expérimentaux (* = $p < 0,05$ entre pré-test et post-test).

		GC	G45	G90
Performance de terrain (m)	Pré-test	$24,4 \pm 5,0$	$19,4 \pm 6,0$	$26,0 \pm 2,3$
	Post-test	$24,3 \pm 5,9$	$21,1^* \pm 6,6$	$25,5 \pm 3,1$

Légendes des figures

Figure 1 : Installations sur le dynamomètre.