

Pathologie locomotrice et médecine orthopédique

Exercice musculaire excentrique

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

 **MASSON**

Entraînement concentrique ou excentrique : transfert des gains ?

D. Maquet¹, F. Delvaux¹, J.L. Croisier¹

Introduction

L'entraînement musculaire, utilisé en pratique courante par le préparateur physique, mais aussi intégré dans la planification rééducative du kinésithérapeute, peut faire appel à divers modes de contraction utilisés conjointement ou isolément. Le renforcement d'un muscle ou groupe musculaire permet classiquement d'observer une amélioration de la performance maximale. Cette amélioration s'explique dans un premier temps par des adaptations nerveuses (accroissement du nombre d'unités motrices recrutées et meilleure synchronisation de recrutement) [1] et secondairement par des adaptations musculaires (hypertrophie des cellules musculaires) [28]. En outre, l'accroissement de la force maximale développée par un muscle dans le décours d'un entraînement apparaît étroitement lié à l'intensité de la force développée et à la charge de travail proposée lors de cet entraînement [16]. Divers travaux ont étudié l'efficacité d'un programme d'entraînement concentrique ou excentrique avec néanmoins des résultats souvent contradictoires, expliqués par la diversité des protocoles d'entraînement et des méthodes d'évaluation proposées [2, 3, 9-11, 19, 22-24, 26, 27, 31, 32]. Les spécificités de la contraction excentrique sont bien décrites dans la littérature [15]. Cette contraction est caractérisée par une force de crête¹ supérieure à la contraction concentrique pour une vitesse angulaire donnée. La contraction excentrique présente en outre un meilleur rendement mécanique expliquant un nombre d'unités motrices activées moindre en

¹ **Département des Sciences de la Motricité, CHU Sart Tilman, Université de Liège, 4000 Liege, Belgique**

excentrique qu'en concentrique pour une intensité de travail donné. Les spécificités de l'excentrique confèrent à ce mode de contraction certaines particularités rééducatives. Dans certaines circonstances rééducatives, l'exercice excentrique pourra s'exécuter plus facilement que le concentrique. A titre d'exemple, lors de la rééducation d'une affection neurologique, le freinage du mouvement face à la gravité s'exécutera initialement plus aisément que la contraction concentrique contre pesanteur. Une autre application originale est apportée par l'utilisation de la rééducation excentrique dans le traitement des tendinopathies chroniques [7]. En contrepartie, l'exercice excentrique intense s'accompagne fréquemment de douleurs musculaires d'apparition tardive, mieux connues sous la dénomination anglo-saxonne de « DOMS » (*Delayed Onset Muscle Soreness*), attribuables à des micro-lésions de la musculature striée squelettique (rupture du sarcolemme, désorganisation) [29], en relation avec la contrainte mécanique. Croisier et al. [6] rapportent en outre que tous les sujets ne présentent pas la même sensibilité aux micro-lésions musculaires induites par l'exercice.

Par ailleurs, Croisier et al. [5] relatent l'efficacité d'un entraînement excentrique sur la régression de l'intensité des DOMS. Cette observation est confirmée par la réduction des concentrations sériques de protéines musculaires dans le décours de l'entraînement.

L'objectif de ce travail est d'une part de comparer l'efficacité respective d'un programme de renforcement musculaire réalisé exclusivement en mode concentrique ou excentrique, et, d'autre part, d'apprécier les transferts éventuels entre membre inférieur entraîné et non entraîné mais aussi entre performances maximales concentriques et excentriques.

Matériel et méthodes

Population

L'étude porte sur 20 sujets de sexe masculin, sportifs de loisir ou sédentaires, tous exempts de pathologie articulaire et musculaire connue au niveau des membres inférieurs.

Onze sujets ont suivi un programme d'entraînement exclusivement excentrique. Parmi ceux-ci, trois sujets ont présenté une affection musculo-tendineuse ou articulaire lors de l'entraînement et n'ont dès lors pas terminé le programme complet d'entraînement excentrique. Les résultats sont calculés sur les huit sujets ayant accompli l'ensemble du programme (**Tableau I**).

Huit sujets ont suivi le programme d'entraînement exclusivement concentrique sans présenter la moindre lésion (**Tableau I**).

Matériel

Les évaluations pré- et post-entraînement ainsi que les programmes d'entraînement concentrique et excentrique ont été réalisés au moyen d'un dynamomètre isocinétique de marque Kin-Trex (Méditronic Instrument SA).

Les paramètres pris en considération lors des évaluations correspondent au moment de force maximal (exprimé en Newton-mètre, N.m) ainsi qu'au travail (exprimé en joules, J)

développés par les muscles fléchisseurs et extenseurs de genou du membre inférieur entraîné et non entraîné.

Description de l'expérimentation

Chaque sujet bénéficie d'une évaluation musculaire isocinétique bilatérale préalable à l'entraînement. Les sujets réalisent ensuite un renforcement musculaire unilatéral des fléchisseurs et extenseurs de genou, en mode exclusivement concentrique ou excentrique. L'entraînement comprend dix séances programmées deux à trois fois par semaine. Trois à cinq jours après le dernier entraînement, chaque sujet réalise un post-test rigoureusement identique au pré-test. Dans les deux populations, la jambe entraînée correspond à la jambe dominante.

Echauffement

Il comprend 8 à 10 minutes de pédalage sur bicyclette ergométrique (70 à 100 W), suivi d'étirements spécifiques des fléchisseurs et extenseurs de genou.

Installation du sujet

Le sujet est assis sur un siège surélevé de 5° par rapport à l'horizontale et incliné à 20° par rapport à la verticale.

L'axe de rotation du bras de levier du dynamomètre coïncide avec l'axe de rotation du genou.

Pour réduire les compensations, le sujet est maintenu par :

- deux sangles thoraciques croisées,
- une sangle pelvienne pour éviter les mouvements du bassin,
- une sangle fémorale afin que la flexion du genou ne soit pas associée à une flexion de hanche.

Un système d'appui et de contre-appui fixé à deux travers de doigts au-dessus de la malléole externe solidarise le segment jambier au bras de levier.

Les amplitudes de flexion et d'extension sont déterminées spécifiquement pour chaque sujet ; elles serviront de références lors des tests et des entraînements.

L'effet de la pesanteur est compensé par le dynamomètre.

Evaluations pré- et post-entraînements

Après familiarisation avec le travail musculaire isocinétique concentrique et excentrique, les sujets réalisent l'évaluation isocinétique bilatérale.

Chaque sujet est encouragé de vive voix mais ne bénéficie d'aucun feedback visuel.

Le nombre de répétitions (de 3 à 5) varie selon la vitesse du mouvement (30°/s jusqu'à 240°/s) et le mode de contraction (concentrique ou excentrique) (**Tableau II**).

Le sujet se familiarise à chaque vitesse de mouvement au moyen de 3 contractions préalables d'intensité croissante. Une période de récupération d'une minute est accordée entre chaque modalité d'évaluation.

La jambe dominante bénéficiera systématiquement de l'entraînement.

Entraînements

a) en mode concentrique

Chaque entraînement est précédé d'un échauffement de 5 minutes sur bicyclette ergométrique et d'étirements des fléchisseurs et extenseurs de genou.

Le sujet effectue deux fois cinq séquences d'exercices avec un repos de 60 secondes entre chaque séquence (**Tableau III**).

Les contractions sont réalisées à intensité maximale et tous les sujets sont encouragés de vive voix.

Chaque entraînement est suivi d'étirements des fléchisseurs et extenseurs de genou du membre inférieur entraîné.

b) en mode excentrique

L'entraînement est précédé d'un échauffement de 5 minutes sur bicyclette ergométrique et d'étirements des fléchisseurs et extenseurs de genou.

Les contractions sont d'intensité maximale et chaque sujet est encouragé à haute voix (**Tableau IV**). Chaque entraînement est suivi d'étirements des fléchisseurs et extenseurs de genou. Il apparaît important d'insister sur le fait que le travail total développé lors de chaque séance d'entraînement apparaît identique en modes concentrique et excentrique.

Analyse statistique

Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne \pm écart-type. L'analyse statistique est réalisée à partir d'un test t de student pour échantillons appariés et non appariés. Le seuil de signification statistique est atteint pour une valeur de $p < 0,05$.

Résultats

Avant de présenter les résultats relatifs aux modifications induites par l'entraînement, précisons que les performances moyennes développées par les deux groupes expérimentaux lors des tests pré-entraînement apparaissent homogènes, tant en mode concentrique qu'en mode excentrique.

Modifications induites par l'entraînement excentrique

Moments de force maximale du membre inférieur entraîné

Les 8 sujets ont bénéficié d'un entraînement isocinétique unilatéral en mode exclusivement excentrique. L'analyse des résultats (**Tableau V**) démontre une amélioration significative de la force maximale développée par les extenseurs de genou en mode excentrique au terme de l'entraînement. Aucune modification ne s'observe pour le mode concentrique. En ce qui concerne les fléchisseurs de genou, les performances développées en mode excentrique s'améliorent mais de façon non significative. Des modifications similaires s'observent sur base de l'analyse du paramètre travail (J) développé par les fléchisseurs et extenseurs de genou.

Moments de force maximale du membre inférieur non entraîné

Les membres inférieurs non entraînés présentent également des modifications de performances maximales excentriques des extenseurs de genou après un entraînement de la

jambe controlatérale. Aucune modification ne s'observe sur les fléchisseurs de genou du membre inférieur controlatéral au membre entraîné en excentrique (**Tableau VI**).

Modifications induites par l'entraînement concentrique

Moments de force maximale du membre inférieur entraîné

Les 8 sujets ont bénéficié d'un entraînement isocinétique unilatéral en mode exclusivement concentrique.

Nous constatons une amélioration significative des performances développées par les extenseurs de genou en mode concentrique (240°/s) au terme de l'entraînement. En ce qui concerne les fléchisseurs de genou, seules les performances développées en mode excentrique (120°/s) s'améliorent significativement (**Tableau VII**).

*Travail développé par le membre inférieur entraîné (**Tableau VIII**)*

Moments de force maximale du membre inférieur non entraîné

En dépit d'améliorations mesurées, aucune modification n'apparaît significative, tant pour les fléchisseurs que pour les extenseurs de genou (**Tableau IX**).

Discussion

Le renforcement musculaire, proposé sous différentes modalités, fait aujourd'hui partie intégrante de l'entraînement d'un sportif mais est aussi classiquement utilisé dans la planification rééducative d'un patient.

Le choix des techniques et des modalités d'entraînement oriente le programme vers différents objectifs : développement de l'endurance, de la résistance à la fatigue, de la force, de l'élasticité musculaire, ou encore correction des déséquilibres musculaires.

Divers travaux ont étudié les bénéfices apportés par un programme d'entraînement. Par ailleurs, les notions de transfert en fonction des vitesses angulaires d'entraînement sont également abordées dans la littérature [4].

Dans ce travail, nous ne considérons pas la notion de transfert relatif à la vitesse angulaire du mouvement. Dès lors, le protocole d'entraînement et d'évaluation fait appel à des vitesses lentes et plus rapides. Les sujets bénéficient de 10 séances d'entraînement du membre inférieur dominant, réalisées exclusivement en mode concentrique ou excentrique. Nous explorons la progression des performances ainsi que les transferts éventuels entre membre inférieur entraîné et non entraîné ou encore entre modes de contraction.

Nous utilisons un dynamomètre isocinétique dans le cadre des protocoles d'évaluation et d'entraînement. Ce dispositif permet le développement d'un effort maximal sur la totalité de l'amplitude articulaire du mouvement (excepté les phases d'accélération et de décélération).

Au terme du programme d'entraînement en mode excentrique, la force maximale développée par les extenseurs de genou apparaît améliorée (progression comprise entre 35 % et 46 %). Cette progression dans le même mode de contraction s'avère particulièrement conséquente, non seulement comparativement à celles observées en mode concentrique, mais aussi compte tenu du nombre limité de séances d'entraînement réalisées par les sujets. Seger et al. [30] relatent une progression des performances supérieure après un entraînement excentrique comparativement à celle observée après un entraînement concentrique mais évoquent cependant un biais méthodologique expliqué par une charge d'entraînement supérieure pour l'entraînement excentrique (expliqué par une force de crête supérieure dans ce mode de contraction). Notre protocole anticipait ce biais méthodologique et proposait dès lors une charge d'entraînement similaire pour les deux modalités d'entraînement. D'autres travaux relatent une progression très marquée des performances excentriques après un entraînement dans ce mode de contraction [10, 17, 21, 30]. Certains auteurs observent en outre une hypertrophie musculaire plus marquée dans le décours d'un entraînement excentrique comparativement à un entraînement concentrique [13, 18, 30]. En outre, les sujets inclus dans notre étude étaient parfaitement familiarisés à l'exercice isocinétique concentrique et excentrique préalablement à l'évaluation initiale pré-entraînement, excluant une éventuelle intervention d'un apprentissage entre les deux évaluations.

La progression spectaculaire des performances excentriques semble dès lors s'expliquer par la participation déterminante d'adaptations nerveuses [18, 21]. Ces adaptations nerveuses concernent la levée de mécanismes d'inhibition d'origine musculaire et articulaire de façon complémentaire aux adaptations musculaires après un entraînement excentrique [15, 33]. Le sujet entraîné à l'exercice excentrique pourrait par conséquent en quelque sorte faire appel à une « réserve » de force non mobilisable initialement. Une telle progression de performance

excentrique s'observe cependant de façon moins importante au niveau de la musculature fléchisseur de genou. Cette observation pourrait s'expliquer par les plaintes douloureuses post-entraînement excentrique majorées au niveau de ces muscles en comparaison de celles rapportées au niveau de la musculature quadricipitale. Seger et al. [30] rapportent également des plaintes douloureuses plus fréquentes chez les sujets participant à un entraînement excentrique, particulièrement lors des 10 premières semaines d'entraînement. Dans notre travail, ces plaintes ont conduit 3 sujets à interrompre prématurément l'entraînement. Dès lors, le caractère contraignant de l'exercice excentrique se doit d'être pris en considération dans la planification d'un programme d'entraînement ou de rééducation. Les micro-lésions musculaires induites par l'exercice excentrique sont largement évoquées dans la littérature. L'amélioration des performances après l'entraînement concentrique apparaît, conformément aux données de la littérature, moins importante. Dans notre travail, une progression significative de la force maximale s'observe exclusivement pour l'évaluation en mode concentrique à vitesse rapide. Par contre, l'analyse du paramètre « travail » démontre une progression plus marquée de ce paramètre au terme de cet entraînement concentrique. Cette observation suggère une progression de l'efficacité de la contraction musculaire sur toute l'amplitude du mouvement, plutôt qu'une amélioration de la force de crête.

Nous observons, au terme de ce travail, que l'entraînement en mode concentrique apporte un transfert vers le mode excentrique ; la force maximale des fléchisseurs de genou progresse en mode excentrique à vitesse rapide. Cette notion de transfert s'observe également pour les extenseurs de genou mais exclusivement sur le paramètre « travail ». Après l'entraînement en mode excentrique, aucun transfert de force n'est constaté vers le mode concentrique. Le transfert de force d'un mode de contraction à l'autre ne doit pas être considéré comme un objectif initial, mais sa prise en considération peut s'avérer intéressante dans la planification

d'un entraînement. A titre d'exemple, la progression de la force excentrique des fléchisseurs de genou après un entraînement concentrique apparaît intéressante dans la prévention des déchirures musculaires des ischio-jambiers et l'amélioration des possibilités « frénatrices » de ces muscles. Néanmoins, en dépit d'un transfert toujours profitable, la progression optimale des performances excentriques nécessitera un entraînement plus ciblé dans ce mode de contraction [8]. Cette notion de transfert entre deux modes de contraction dynamique apparaît peu explorée. L'absence de transfert significatif du mode excentrique vers le mode concentrique apparaît néanmoins également rapportée dans la littérature [14].

Les notions de transferts entre membre entraîné et membre controlatéral non entraîné apparaissent plus fréquemment étudiées. Divers travaux relatent un transfert de gains vers le membre controlatéral après un entraînement isométrique ou concentrique [12, 25, 28]. Par ailleurs, des travaux plus récents [20, 30] relatent un transfert de gains vers le membre controlatéral après un entraînement excentrique et ce, de façon plus marquée que les transferts observés en mode concentrique. Nous n'observons aucun transfert après l'entraînement en mode concentrique. Par contre, au terme de l'entraînement excentrique, nous constatons une amélioration des performances controlatérales maximales des extenseurs de genou en mode excentrique (30°/s et 120°/s). Cette observation semble attribuable à un phénomène éducationnel controlatéral. Ce phénomène de transfert, responsable d'une amélioration de la performance controlatérale excentrique, ne sera cependant pas déterminant dans la planification d'un programme d'entraînement, compte tenu des gains relativement modérés mis en exergue dans ce travail. Une progression optimale des performances nécessitera dès lors un programme d'entraînement ciblé sur le membre concerné.

Conclusion

Nous comparons un programme d'entraînement exécuté exclusivement en mode concentrique ou excentrique. La progression des performances s'avère plus conséquente en mode excentrique. Par contre, le transfert de gains entre modes de contraction s'effectue préférentiellement du mode concentrique vers le mode excentrique. Enfin, un transfert de gains vers le membre non entraîné s'observe exclusivement pour l'exercice excentrique.

Titre : Entraînement concentrique ou excentrique : transfert des gains ?

Title: Concentric or eccentric training: effects and cross-education

Summary

The purpose of this study was to compare pure concentric and eccentric isokinetic training with respect to their possible specificity in the progression of strength of the knee flexor and extensor muscles. Subjects were divided into 2 groups (eccentric or concentric training) and performed a specific training of dominant leg. Before and after the training session, isokinetic performances of trained leg and non-trained leg (cross-education) were evaluated. We observed a greater increase of muscle performances after eccentric training. A cross-education effect was measured exclusively after eccentric training session. We showed an increase of maximal eccentric performances after the pure concentric training. No significant progression of maximal concentric performance was measured after eccentric training.

Références

1. Aagaard P. Training-induced changes in neural function, *Exerc Sport Sci Rev* 2003;31:61-7.
2. Colliander EB, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training, *Acta Physiol Scand* 1990;140:31-9.
3. Colliander EB, Tesch PA. Responses to eccentric and concentric resistance training in females and males, *Acta Physiol Scand* 1991;141:149-56.
4. Coyle EF, Feiring DC, Rotkis TC, Cote RW, 3rd, Roby FB, Lee W, et al. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training, *J Appl Physiol* 1981;51:1437-42.
5. Croisier JL, Camus G, Crielaard JM. Interest of a specific training to reduce DOMS, *Isokinet Exerc Sci* 2000;8:40.
6. Croisier JL, Maquet D, Camus G, Crielaard JM. Muscle damage induced by concentric fatigue protocol. Comparative study between males and females, *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European College of Sport Science (Jyväskylä, Finlande)* 2000:225.
7. Croisier JL, Foidart-Dessalle M, Tinant F, Crielaard JM, Forthomme B. An isokinetic eccentric programme for the management of chronic lateral epicondylar tendinopathy, *Br J Sports Med* 2007;41:269-75.
8. Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study, *Am J Sports Med* 2008;36:1469-75.

9. Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ, Buchanan P. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training, *Aviat Space Environ Med* 1991;62:543-50.
10. Duncan PW, Chandler JM, Cavanaugh DK, Johnson KR, Buehler AG. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training, *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;11:70-5.
11. 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.
12. Enoka RM. Muscle strength and its development. New perspectives, *Sports Med* 1988;6:146-68.
13. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy, *Eur J Appl Physiol* 2003;89:578-86.
14. Fossier E, ed. Renforcement musculaire isocinétique et entraînement sportif. Isocinétisme et médecine de rééducation. Paris: Masson, 1991.
15. Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices, *Sports Med* 2006;36:133-49.
16. Hellebrandt FA, Houtz SJ. Mechanisms of muscle training in man: experimental demonstration of the overload principle, *Phys Ther Rev* 1956;36:371-83.
17. Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL, 3rd. Effects of concentric and eccentric isokinetic training on muscle strength, cross-sectional area and neural activation (abstract). *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:531.
18. 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.

19. Hortobagyi T, Katch FI. Role of concentric force in limiting improvement in muscular strength, *J Appl Physiol* 1990;68:650-8.
20. Hortobagyi T, Lambert NJ, Hill JP. Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening, *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:107-12.
21. Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans, *J Appl Physiol* 1996;80:765-72.
22. Johnson BL. Eccentric vs concentric muscle training for strength development, *Med Sci Sports* 1972;4:111-5.
23. Johnson BL, Adamczyk JW, Tennoe KO, Stromme SB. A comparison of concentric and eccentric muscle training, *Med Sci Sports* 1976;8:35-8.
24. Jones DA, Rutherford OM. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes, *J Physiol* 1987;391:1-11.
25. Kannus P, Alosa D, Cook L, Johnson RJ, Renstrom P, Pope M, et al. Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. A randomized, controlled study using isometric and concentric isokinetic training, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64:117-26.
26. Komi PV, Buskirk ER. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle, *Ergonomics* 1972;15:417-34.
27. Mannheimer JS. A comparison of strength gain between concentric and eccentric contractions, *Phys Ther* 1969;49:1201-7.
28. Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain, *Am J Phys Med* 1979;58:115-30.
29. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM, Edwards RH. Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions, *Clin Sci (Lond)* 1983;64:55-62.

30. 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.
31. Seliger V, Dolejs L, Karas V, Pachlopnikova I. Adaptation of trained athletes' energy expenditure to repeated concentric and eccentric muscle contractions, *Int Z Angew Physiol* 1968;26:227-34.
32. Tomberlin JP, Basford JR, Schwen EE, Orte PA, Scott SC, Laughman RK, et al. Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training, *J Orthop Sports Phys Ther* 1991;14:31-6.
33. Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbo JJ, Gundersen V, Gundersen K. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men, *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1770-81.

Tableau I : Paramètres biométriques des sujets entraînés

Paramètres	Sujets entraînés en concentrique	Sujets entraînés en excentrique
	(n = 8) m ± SD	(n = 8) m ± SD
Age (ans)	21 ± 2	23 ± 1
Taille (cm)	181 ± 5	181 ± 3
Poids (kg)	74 ± 11	72 ± 11

Tableau II : L'évaluation isocinétique pré- et post-entraînement

Séquence d'évaluation	Nombre de répétitions maximales	Vitesse de mouvement en °/s
Concentrique	3	60
Concentrique	5	240
Excentrique	3	30
Excentrique	3	120

Tableau III : Les séquences d'entraînement en mode concentrique

	Mode de contraction		Vitesse de mouvement (°/s)	Nombre de répétitions	Repos (min)
	Flexion	Extension			
Séquence 1	Conc	Conc	240	8	1
Séquence 2	Conc	Conc	60	4	1
Séquence 3	Conc	Conc	150	6	1
Séquence 4	Conc	Conc	240	8	1
Séquence 5	Conc	Conc	60	4	1

Tableau IV : Les séquences d'entraînement en mode excentrique

	Mode de contraction		Vitesse de mouvement (°/s)	Nombre de répétitions	Repos (min)
	Flexion	Extension			
Séquence 1	Exc	Exc	30	3	1
Séquence 2	Exc	Exc	120	5	1
Séquence 3	Exc	Exc	70	4	1
Séquence 4	Exc	Exc	30	3	1
Séquence 5	Exc	Exc	120	5	1

Tableau V : Moments de force maximale (MFM) développés par le membre inférieur entraîné en mode excentrique : pré- et post-test

Mode de contraction et vitesse angulaire	Pré-test MFM (N.m) m ± SD	Post-test MFM (N.m) m ± SD	p
Extenseurs de genou :			
Conc 60°/s	209 ± 34	216 ± 27	NS
Conc 240°/s	144 ± 27	146 ± 24	NS
Exc 30°/s	281 ± 64	399 ± 53	0
Exc 120°/s	280 ± 64	364 ± 44	0,006
Fléchisseurs de genou :			
Conc 60°/s	103 ± 8	109 ± 17	NS
Conc 240°/s	80 ± 11	80 ± 14	NS
Exc 30°/s	126 ± 22	152 ± 42	NS
Exc 120°/s	123 ± 24	148 ± 37	NS

Tableau VI : Moments de force maximale (MFM) développés par le membre inférieur non entraîné (entraînement controlatéral excentrique) : pré- et post-test

Mode de contraction et vitesse angulaire	Pré-test MFM (N.m) m ± SD	Post-test MFM (N.m) m ± SD	p
Extenseurs de genou :			
Conc 60°/s	197 ± 26	200 ± 32	NS
Conc 240°/s	132 ± 20	136 ± 23	NS
Exc 30°/s	284 ± 69	310 ± 77	0,031
Exc 120°/s	262 ± 56	282 ± 63	0,014
Fléchisseurs de genou :			
Conc 60°/s	111 ± 15	116 ± 20	NS
Conc 240°/s	81 ± 14	84 ± 17	NS
Exc 30°/s	129 ± 27	145 ± 47	NS
Exc 120°/s	128 ± 34	139 ± 42	NS

Tableau VII : Moments de force maximale (MFM) développés par le membre inférieur entraîné en mode concentrique : pré- et post-test

Mode de contraction et vitesse angulaire	Pré-test MFM (N.m) m ± SD	Post-test MFM (N.m) m ± SD	p
Extenseurs de genou :			
Conc 60°/s	215 ± 48	229 ± 43	NS
Conc 240°/s	147 ± 35	164 ± 37	0,037
Exc 30°/s	358 ± 64	396 ± 68	NS
Exc 120°/s	316 ± 67	345 ± 78	NS
Fléchisseurs de genou :			
Conc 60°/s	112 ± 27	117 ± 27	NS
Conc 240°/s	80 ± 17	87 ± 18	NS
Exc 30°/s	156 ± 19	156 ± 16	NS
Exc 120°/s	143 ± 29	159 ± 29	0,019

Tableau VIII : Travail développé (en joules) par le membre inférieur entraîné en mode concentrique : pré- et post-test

Mode de contraction et vitesse angulaire	Pré-test Travail (J) m ± SD	Post-test Travail (J) m ± SD	p
Extenseurs de genou :			
Conc 60°/s	248 ± 57	279 ± 56	0,005
Conc 240°/s	175 ± 20	205 ± 47	0,002
Exc 30°/s	343 ± 47	393 ± 54	0,038
Exc 120°/s	311 ± 68	361 ± 88	0,019
Fléchisseurs de genou :			
Conc 60°/s	137 ± 32	144 ± 34	NS
Conc 240°/s	97 ± 23	112 ± 26	0,013
Exc 30°/s	174 ± 17	182 ± 20	NS
Exc 120°/s	162 ± 32	164 ± 47	NS

Tableau IX : Moments de force maximale (MFM) développés par le membre inférieur non entraîné (entraînement controlatéral concentrique) : pré- et post-test

Mode de contraction et vitesse angulaire	Pré-test MFM (N.m) m ± SD	Post-test MFM (N.m) m ± SD	p
Extenseurs de genou :			
Conc 60°/s	195 ± 43	207 ± 49	NS
Conc 240°/s	132 ± 34	137 ± 33	NS
Exc 30°/s	325 ± 77	341 ± 72	NS
Exc 120°/s	292 ± 60	305 ± 54	NS
Fléchisseurs de genou :			
Conc 60°/s	107 ± 21	114 ± 37	NS
Conc 240°/s	81 ± 22	86 ± 24	NS
Exc 30°/s	153 ± 20	145 ± 29	NS
Exc 120°/s	147 ± 28	145 ± 31	NS