

» Influence des étirements quotidiens sur la performance musculaire : revue systématique



Medeiros et Al.

Introduction

L'étirement est une composante fondamentale de la plupart des routines d'entraînement, et c'est une stratégie généralement utilisée lorsque l'objectif est d'améliorer l'extensibilité musculaire. La souplesse, qui se réfère à la capacité d'allongement d'un muscle ou d'un groupe musculaire est une composante importante de la forme physique, et elle a une relation intime avec la performance musculaire (PM). Un nombre considérable d'études originales et des revues ont montré qu'un étirement peut provoquer des effets délétères sur la PM.

Objectif

La littérature ayant tenté d'élucider le rôle de la souplesse sur la performance musculaire est rare. Seulement deux études ont traité du sujet (Rubini, Costa, & Gomes, 2007, Stone et al., 2006), cependant, elles ont utilisé une approche narrative et fourni des informations insuffisantes sur le sujet. Par conséquent, l'objectif des auteurs est de réaliser une étude de revue systématique avec une méthodologie appropriée pour mieux comprendre l'influence d'un programme d'étirement sur la performance musculaire.

Méthodes

Les auteurs ont réalisé des recherches dans les bases de données électroniques suivantes : MEDLINE, le registre Cochrane Central des essais contrôlés (Cochrane CENTRAL), et Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde (LILACS). La recherche comprenait les termes suivants : « souplesse », « amplitude de mouvement », « amplitude articulaire de mouvement », « souplesse articulaire », « force musculaire », « force, muscle », « dynamomètre de force musculaire », « performance, athlétique », « étirement statique », « étirement PNF », « exercices d'étirements musculaires ». Ont été incluses les publications en anglais, espagnol et portugais.

Les auteurs ont opté pour l'inclusion de tous les types d'études, car les articles de haute qualité sont rares en ce qui concerne le sujet examiné par la présente revue. Ils ont pris en compte des études évaluant les effets à long terme de l'étirement sur la PM et utilisant les trois techniques d'étirement les plus courantes :

- Étirement dynamique, qui implique l'exécution de modèles de mouvement dans l'ensemble de l'amplitude de mouvement disponible
- Étirement statique (SS), qui consiste à atteindre une certaine amplitude et à maintenir le muscle (ou groupe musculaire) allongé pendant une période de temps prédéterminée.
- Étirement de la facilitation neuromusculaire proprioceptive (PNF), qui utilise les SS et des contractions isométriques du muscle cible selon un schéma.

La performance musculaire pourrait avoir été évaluée par des tests fonctionnels qui suivent le principe du cycle d'étirement-raccourcissement (SSC), la dynamométrie isocinétique (contraction isotonique ou isométrique) ou le test de répétition-maximum (RM).

Les critères d'exclusion suivants ont été utilisés :

- Échantillons composés de personnes atteintes de maladie / dysfonction
- Programme d'étirement inférieur à trois semaines ou 12 sessions
- Des échantillons d'âge moyen de moins de 18 ans ou de plus de 40 ans
- La non-application de l'étirement musculaire
- Aucune évaluation de la performance musculaire.

Résultats

La stratégie de recherche a permis de sélectionner 513 articles, dont 33 ont été considérés comme potentiellement pertinents et récupérés pour une analyse détaillée. Dans l'analyse du texte intégral, sept études ont été exclues. Ainsi, 28 études répondaient aux critères d'éligibilité et ont été incluses dans la revue systématique (n = 821).

Parmi toutes les techniques d'étirement trouvées dans la littérature, les étirements PNF et SS sont les approches les plus courantes dans les contextes sportifs et de réadaptation. Les mécanismes impliqués dans les améliorations de flexibilité suite à l'entraînement PNF et SS sont similaires. Il a été démontré que ni PNF ni SS ne semblent induire une réponse neurale après étirement, mais les deux provoquent des adaptations viscoélastiques au sein de l'unité muscle/tendon.

- Effets du programme d'étirements sur les tâches fonctionnelles

Sept études ont évalué la PM en utilisant un test fonctionnel qui a suivi le principe de SSC. Quatre études ont montré qu'une augmentation de la souplesse favorise une augmentation de la PM. Une étude a rapporté des résultats partiels et deux études n'ont trouvé aucune différence significative lorsqu'on compare le groupe ayant réalisé les étirements à un groupe témoin (Tableau 1).

Table 1
Characteristics of the studies that utilized stretch-shortening cycle tests.

Study (year)	Sample (n)	Mean age \pm SD	Stretching technique	Protocol	Muscle group/exercise evaluated	Muscle performance assessment	Conclusions
Bazett-Jones et al. (2008)	21 healthy female athletes	18.5 \pm 0.7	Static stretching	4 \times 45s 4 \times week/ 6 weeks	Knee flexors	55 m sprint time Vertical jump	No significant change in any of the variables analyzed
Caplan et al. (2009)	18 Rugby players	20.2 \pm 1.8	Static stretching and PNF	3 \times 10 s 4 \times week/ 5 weeks	Knee flexors	Running mechanics Stride rate (SR) Stride length (SL) Contact time (CT)	\downarrow SR \uparrow SL CT unchanged
Hunter and Marshall (2002)	50 active male	24.0 \pm 4.0	Static stretching	3 \times 20-60s 4 \times week/ 10 weeks	Lower limbs	CMJ, DP from 30-, 60-, and 90 cm (DJ30, DJ60, DJ90).	\uparrow CMJ the other variables remained unchanged
Kokkonen et al. (2007)	38 sedentary and recreationally active subjects	22.5 \pm 3.5	Static stretching	3 \times 15s 3 \times week/10 weeks 15 stretching exercises	Knee flexors and extensors	Standing long jump Vertical jump 20-m sprint 1RM Endurance test	\uparrow of all variables analyzed
Levenez et al. (2013)	8 healthy subjects	23.6 \pm 2.6	Passive stretching	30 s - 3 times a day daily/5 weeks	Plantar flexors	DJ	\uparrow DJ
Wilson et al. (1992)	16 weightlifters	24.4 \pm 2.8	Static stretching	10-30 s - 4 stretching exercises twice a week/8 weeks	Bench press	Rebound and conc performance	\uparrow on rebound performance; No significant change on conc performance
Yuktasir and kaya (2009)	28 healthy men	21.8 \pm 9.0	Static stretching and PNF	4 \times 30 s 4 \times week/ 6 weeks	Knee flexors and plantar flexors	DJ	No significant change on jump performance

PNF = Proprioceptive Neuromuscular Facilitation; CMJ = Counter Movement Jump; RM = Repetition Maximum; DP = Drop Jump.

- Effets du programme d'étirement (FT) sur la contraction isométrique

La contraction isométrique, évaluée par dynamométrie isocinétique, a été utilisée dans 10 études. Deux d'entre elles ont trouvé que le FT améliore la PM, alors que 8 études n'ont trouvé aucune différence significative par rapport à un groupe témoin (Tableau 2)

Table 2
Characteristics of the studies that assessed isometric contraction.

Study (year)	Sample (n)	Mean age \pm SD	Stretching technique	Protocol	Muscle group/exercise evaluated	Muscle performance assessment	Conclusions
Akagi and Takahashi (2014)	19 young men	23 \pm 0.9	Static stretching	55 \times 120s 5 \times week/6 weeks	Plantar flexors	ID, isom PT	No significant change on isom PT
Blazevich et al. (2014)	22 healthy men	18.6 \pm 0.9	Static stretching	4 \times 30 s - twice a day/daily/3 weeks	Plantar flexors	ID, isom PT	No significant change on isom PT
Guissard and Duchateau (2004)	12 healthy subjects	age range 21-35	Static stretching	5 \times 30 s - 4 stretching exercises 5 \times week/6 weeks	Plantar flexors	ID, MVC	No significant change on MVC
Handel et al. (1997)	18 male athletes	23.6 \pm 3.9	PNF	10 min 3 \times week/8 weeks	Knee flexors and extensors	Isokinetic dynamometer Isom PT	\uparrow isom PT
Konrad and Tilp (2014)	49 police cadets	22.9 \pm 2.7	Static stretching	4 \times 30s 5 \times week/6 weeks	Plantar flexors	ID, MVC	No significant change on isom PT
Konrad and Tilp (2014) b	48 police cadets	22.6 \pm 2.5	Ballistic stretching	4 \times 30s 5 \times week/6 weeks	Plantar flexors	ID, MVC	No significant change on isom PT
Konrad et al. (2015)	49 police cadets	23.6 \pm 2.5	PNF	4 \times 30s 5 \times week/6 weeks	Plantar flexors	ID, MVC	No significant change on isom PT
Kubo et al. (2002)	8 healthy men	24.6 \pm 1.8	Static stretching	5 \times 45 s - twice a day daily/3 weeks	Plantar flexors	Isom PT, and hysteresis	No significant change on isom PTe and $\dot{\epsilon}$ of hysteresis
Minshull et al. (2014)	18 healthy subjects	20.3 \pm 2.2	Passive stretching and PNF	60 s for both stretching techniques 3 \times week/8 weeks	Knee flexors	MVC, RF, D, S, ensoriomotor performance	No significant change in any of the variables analyzed
Rees et al. (2007)	20 healthy active women	19.7 \pm 1.6	PNF	4-6 sets of 6-10 maximal contraction 3 \times week/4 weeks	Plantar flexors	MIC, R, TD	\uparrow MIC and RTD

PNF = Proprioceptive Neuromuscular Facilitation; ID = Isokinetic Dynamometry; PT = Peak Torque; MVC = Maximal Voluntary Contraction; RM = Repetition Maximum; RFD = Rate of Force Development; RTD = Rate of Torque Development; MIC = Maximal Isometric Force.

- Effets du programme d'étirement sur les contractions isotoniques

Sur les 25 études incluses dans la présente revue, 13 évaluaient la performance musculaire par contractions isotoniques. Tous ont évalué la contraction concentrique alors que seulement trois études ont évalué la contraction excentrique. En ce qui concerne les contractions concentriques, sept études ont montré que le FT améliore les performances musculaires, alors que six études n'ont pas trouvé de changements significatifs par rapport à un groupe témoin ou à des mesures initiales. Les trois études évaluant les contractions excentriques ont montré que le FT améliore la performance musculaire par rapport à un groupe témoin ou à des mesures initiales.

Table 3
Characteristics of the studies that assessed isometric contraction.

Study (year)	Sample (n)	Mean age ± SD	Stretching technique	Protocol	Muscle group/exercise evaluated	Muscle performance assessment	Conclusions
Abdelaziz and Mohamed (2012)	50 healthy subjects	Experimental group: 22.3 ± 2.3 Control group: 21.9 ± 4.1	Static stretching	5 × 30 s - twice a day 5 × week/ 6 weeks	Plantar flexors	ID, ecc and conc PT at 30 and 120°/s	↑ ecc. and conc PT
Chen et al. (2009)	30 young men	22 ± 2.1	Static stretching and PNF	Static stretching: 10 × 30sPNF: 3 × 10s 3 × week/ 8 weeks	Knee flexors	ID, conc PT at 60°/s	↑ conc PT in both stretching techniques
Chen, Nishida, et al. (2011), Chen, Liu, et al. (2011)	30 young men	20.8 ± 2.3	Static stretching and PNF	Static stretching: 10 × 30s PNF: 3 × 10s 3 × week/ 8 weeks	Knee flexors	ID, conc PT at 60°/s	↑ conc PT in both stretching techniques
Ferreira et al. (2007)	30 young subjects	22.7 ± 4.8	Static stretching	4 × 30s 5 × week/ 6 weeks	Knee flexors	ID, conc PT and at 60 and 300°/s and Work	No significant change on conc PT; ↑ Work
Handel et al. (1997)	18 male athletes	23.6 ± 3.9	PNF	10 min 3 × week/ 8 weeks	Knee flexors and extensors	ID, ecc PT at 60 and 120°/s and conc PT at 60, 120, 180 and 240°/s	↑ ecc PT of knee flexors and extensors at 60 and 120°/s; ↑ conc PT at 60, 180 e 240°/s of knee flexors
LaRoche et al. (2008)	29 male subjects	21.6 ± 15.2	Static and dynamic stretching	10 × 30 s - 3 × week/ 4 weeks	Hip extensors	ID, conc PT 60°/s RTD Work 10RM test	No significant change on conc PT, and RTD; ↑ Work Bench press' 10RM with no significant change and ↑ of leg press' 10RM
Leite et al. (2015)	28 trained women	Not informed	Dynamic stretching	3 × 30 research stretching 60 min training	Bench press and Leg press	10RM test	No significant change and ↑ of leg press' 10RM
Marshall et al. (2011)	22 recreationally active subjects	22.7 ± 3.8	Static stretching	3 × 30 s - 4 stretching exercises 5 × week/ 4 weeks	Knee flexors	ID, conc PT 90 and 120°/s	No significant change on conc PT
Morton et al. (2011)	36 sedentary subjects	21.9 ± 3.6	Static stretching	1 × 30 s each stretching - 35 min of lower and upper limb flexibility training 5 weeks	Knee flexors and extensors	ID, conc PT 180°/s	No significant change on conc PT
Nahar et al. (2012)	25 healthy subjects	23.2 ± 3.2	Static stretching	4 × 30 s 3 × week/ 10 weeks	Plantar flexors	1RM test	↑ 1RM test
Sindhu et al. (2011)	80 untrained women	24.5 ± 2.0	Static stretching (not clear)	4 × 15-60 s upper and lower body stretching training alternate days/16 weeks	Bench press and Leg press	10RM test	No significant change on 10RM test
Wilson et al. (1992)	16 weightlifters	24.4 ± 2.8	Static stretching	10-30 s - 4 stretching exercises twice a week/ 8 weeks	Bench press	Rebound and conc performance	↑ on rebound performance; No significant change on conc performance
Worsell et al. (1994)	19 healthy subjects	26.2 ± 3.6	Static stretching and PNF	4 × 15-20 s 5 × week/ 3 weeks	Knee flexors	ID, ecc, and conc PT at 60 e 120°/s	↑ ecc PT at 60 and 120°/s, and conc PT at 120°/s

PNF = Proprioceptive Neuromuscular Facilitation; ID = Isokinetic Dynamometry; Ecc = Eccentric; Conc = Concentric; Isom = Isometric; PT = Peak Torque; RM = Repetition Maximum.

Discussion

Résumé des résultats : Les résultats indiquent que les contractions statiques ne sont pas affectées par le FT. Cependant, il semble y avoir des différences considérables entre les effets du FT sur les muscles statiques et dynamiques mais la qualité méthodologique des études incluses est discutable, et leurs résultats controversés doivent être pris en compte.

Mécanismes sous-jacents à l'augmentation de la longueur du muscle après le FT.

- L'augmentation de la tolérance à l'étirement est une théorie largement acceptée. Elle indique qu'une augmentation de l'amplitude sans modification structurelle de l'unité musculo-tendineuse (MTU) peut s'expliquer que par une modification de la perception de l'inconfort associé à l'étirement, qui peut être lié à une adaptation nociceptive.

- La variable viscoélastique la plus évaluée parmi les études dans ce domaine est la rigidité passive, qui est le changement de la tension passive par unité de longueur du muscle. La littérature a démontré que la diminution de la rigidité passive peut contribuer à l'amélioration de la flexibilité après le FT.

- La sarcomérogenèse a été confirmée dans des modèles mathématiques, des études sur des modèles animaux et des approches de transfert tendineux. Cependant, il y a un manque d'études concernant la sarcomérogenèse après étirement chronique in vivo. Des évaluations de l'angle optimal du muscle ont été effectuées dans le but de vérifier les adaptations possibles au sein des sarcomères. On pense que le déplacement de l'angle optimal correspondant à une longueur de muscle plus longue peut être provoqué par une augmentation des sarcomères en série.

Relation entre flexibilité accrue et PM. Le principal composant élastique de l'unité musculo-tendineuse est le tendon. Par conséquent, le tissu tendineux est capable de stocker de l'énergie potentielle pendant les contractions excentriques et de libérer cette énergie pendant la contraction concentrique subséquente. Ce phénomène est connu sous le nom de cycle d'étirement-raccourcissement (SSC). Les activités impliquant des SSC sont fortement influencés par la raideur musculaire. Une compliance augmentée de la MTU améliore sa capacité de stockage, améliorant ainsi la performance.

Une autre caractéristique viscoélastique qui a un grand impact sur les mouvements de CSS et qui peut être modifiée par un étirement chronique est l'hystérésis. L'hystérésis fait référence à l'énergie perdue sous la forme de chaleur lors de l'étirement des matériaux viscoélastiques. Par conséquent, une diminution de l'hystérésis, provoquée par un étirement chronique, suggère une réduction de la dissipation d'énergie pendant les contractions concentriques de la MTU, ce qui augmenterait le PM.

Concernant la sarcomérogenèse, on suppose qu'elle potentialise la relation force-longueur, ce qui améliore la PM, en particulier dans les contractions statiques. Cependant, cela n'a pas été confirmé dans les études mentionnées dans cet examen.

Dix études ont évalué la PM en utilisant des contractions statiques. Cependant, seulement deux ont montré des résultats positifs liés à l'étirement chronique. Le manque d'efficacité de l'étirement pourrait être dû aux protocoles d'étirement utilisés dans les études. Il est possible que le stimulus donné ne soit pas suffisant pour générer des adaptations dans la cellule musculaire et l'augmentation de l'extensibilité musculaire résulte d'un résultat d'une modification de la tolérance à l'étirement. Il est important de souligner que les études qui ont trouvé des améliorations dans la PM ont employé le stretching PNF. Par conséquent, nous ne pouvons pas négliger la possibilité que les améliorations des contractions isométriques observées puissent être en partie liées à une certaine adaptation aux contractions isométriques présentes dans l'étirement du PNF. Cependant, en l'absence de données actuelles, l'entraînement à la flexibilité ne semble pas influencer positivement les PM lors de contractions statiques.

Un autre avantage de la sarcomérogenèse est sa capacité à potentialiser les activités dynamiques en augmentant la vitesse de contraction musculaire. Treize études ont évalué la PM par des contractions dynamiques (concentriques et excentriques), et les résultats étaient assez hétérogènes. En ce qui concerne la contraction concentrique, sept études ont montré des résultats positifs, tandis que six études ont montré aucune amélioration significative de la force maximale (PT). Il convient de mentionner que la plupart des études (cinq sur six) qui n'ont pas trouvé d'amélioration dans la contraction concentrique ont évalué l'évaluation de la PT concentrée seule. Par conséquent, la possibilité d'utiliser le stockage d'énergie potentiel après la charge excentrique a été diminuée. Considérant que le FT pourrait améliorer la capacité de stockage de l'énergie musculaire, cela pourrait avoir affecté les résultats.

Au cours des contractions excentriques, les trois études qui ont effectué ce type de test ont trouvé une augmentation significative de PT. La contraction excentrique fait partie intégrante de la fonction et est pertinente à la fois pour les contextes d'entraînement et de réadaptation.

Conclusion

La souplesse est une composante essentielle de la forme physique et, en tant que telle, elle devrait être prise en compte dans les programmes de formation et de réadaptation. Cependant, l'influence réelle de la flexibilité accrue sur la PM demeure incertaine. En effet, plus de la moitié des études incluses dans cette revue ont montré une certaine amélioration de la PM après FT, mais on ne sait toujours pas comment cette relation entre ces deux variables fonctionne. Il semble que les activités où la contraction concentrique se produit juste après la phase excentrique (comme dans les activités de SSC) tendent à bénéficier d'une flexibilité plus élevée. D'autre part, les contractions statiques ne semblent pas être affectées par le FT. Il y a clairement besoin de plus d'études de haute qualité concernant le sujet. Les futures enquêtes devraient étudier les moyens par lesquels le FT affecte différents types d'activités (dynamiques ou statiques) afin de déterminer si le FT est une alternative valable.

Article original

Influence of chronic stretching on muscle performance : systematic review, Medeiros et Al. Human movement Science, 54 (2017) 220-229

Bibliographie

- Akagi, R., & Takahashi, H. (2014). Effect of a 5-week static stretching program on hardness of the gastrocnemius muscle. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(6), 952–958. <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12111>.
- Alfredson, H., Pietilä, T., Jonsson, P., & Lorentzon, R. (1998). Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(3), 363–369. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9617396>.
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Santonja, F. (2013). Comparison of active stretching technique in males with normal and limited hamstring flexibility. *Physical Therapy in Sport*, 14(2), 98–104.
- Bandy, W. D., & Irion, J. M. (1994). The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Physical Therapy*, 74(9), 845–852.
- Bazett-Jones, D., Gibson, M., & McBride, J. (2008). Sprint vertical jump performances are not affected by six weeks of static hamstring stretching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 25–31. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f99a4>
- Behm, D. G. (2008). Acute effects of static stretching on performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 25–31. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f99a4>
- Behm, D. G. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Journal of Physiology*, 598(1), 1–11. <http://dx.doi.org/10.1113/physoc.2015.311>
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-011-1879-9>
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Waugh, C. M., Miller, S. C., Thorlund, J. B., Aagaard, P., & Kay, A. D. (2014). Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *Journal of Applied Physiology*, 117, 452–462. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00204.2014>
- Boakes, J. L., Foran, J., Ward, S. R., & Lieber, R. L. (2006). Muscle adaptation by serial sarcomere addition 1 year after femoral lengthening. *Clinical Orthopedics and Related Research*, 456(456), 25–31. <http://dx.doi.org/10.1097/01.blo.0000246563.58091.af>
- Böhm, H., Cole, G. K., Brüggemann, G. P., & Ruder, H. (2006). Contribution of muscle series elasticity to maximum performance in drop jumping. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(1), 3–13.
- Butterfield, T. A., Leonard, T. R., Herzog, W., & Butterfield, T. A. (2005). Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1352–1358. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00481.2005>
- Sarcomerogenesis.
- Caplan, N., Rogers, R., Parr, M. K., & Hayes, P. R. (2009). The Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1175–1180. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318199d6f6>
- Chalmers, G. (2004). Re-examination of the possible role of Golgi tendon organ and muscle spindle reflexes in proprioceptive neuromuscular facilitation muscle stretching. *Sports Biomechanics*, 3(1), 15–22. <http://dx.doi.org/10.1080/14763140408522836>
- Chen, C. H., Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Tseng, K. W. (2009). Effects of 8-week static stretch and PNF training on the angle-torque relationship. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 29(4), 196–201.
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011b). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 111(2), 211–218. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-010-1648-7>
- Chen, C. H., Nosaka, K., Chen, H. L., Lin, M. J., Tseng, K. W., & Chen, T. C. (2011a). Effects of flexibility training on eccentric exercise-induced muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(3), 491–500. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f315ad>
- Costa, P. B., Herda, T. J., Herda, A. A., & Cramer, J. T. (2014). Effects of dynamic stretching on strength, muscle imbalance, and muscle activation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(3), 583–590. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.000000000000138>
- Cramer, J. T., Beck, T. W., Housh, T. J., Massey, L. L., Marek, S. M., Danglemeier, S., ... Egan, A. D. (2007). Acute effects of static stretching on characteristics of the isokinetic angle - torque relationship, electromyography, and mechanomyography. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 687–698. <http://dx.doi.org/10.1080/02640410600818416>
- De Deyne, P. G. (2001). Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Physical Therapy*, 81(2), 819–827.
- De Jaeger, D., Joumaa, V., & Herzog, W. (2015). Intermittent stretch training of plantarflexor muscles increases soleus mass and serial sarcomere number. *Journal of Applied Physiology*, 118(12), 1467–1473. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00515.2014>
- Ferreira, G. N. T., Teixeira-Salmela, L. F., & Guimarães, C. Q. (2007). Gains in flexibility related to measures of muscular performance: Impact of flexibility on muscular performance. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(4), 276–281. <http://dx.doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180f60b26>
- Freitas, S. R., Vilarinho, D., Vaz, J. R., Bruno, P. M., Costa, P. B., & Mil-homens, P. (2015). Responses to static stretching are dependent on stretch intensity and duration. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(6), 478–484. <http://dx.doi.org/10.1111/cpf.12186>
- Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., ... Billeter, R. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 821–836. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-009-1292-2>
- Guissard, N., & Duchateau, J. (2004). Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle and Nerve*, 29(2), 248–255. <http://dx.doi.org/10.1002/mus.1002>
- Halbertsma, J. P. K., Van Bolhuis, A. I., & Goeken, L. N. H. (1996). Sport stretching: Effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(7), 683–687. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90009-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90009-X)
- Handel, M., Horstmann, T., Dickhuth, H. H., & Gülich, R. W. (1997). Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 76(5), 400–408. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050268>
- Hayes, B. T., Harter, R. A., Widrick, J. J., Williams, D. P., Hoffman, M. A., & Hicks-Little, C. A. (2012). Lack of neuromuscular adaptation after a long-term stretching program. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 99–106.
- Hunter, J. P., & Marshall, R. N. (2002). Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 478–486. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200203000000015>
- Ishikawa, M., Pakaslahti, J., & Komi, P. V. (2007). Medial gastrocnemius muscle behavior during human running and walking. *Gait and Posture*, 25(3), 380–384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.05.002>
- Kay, A. D., & Blazevich, A. J. (2012). Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: A systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(1), 15–22. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e318225cb27>
- Kokkonen, J., Nelson, A. G., Eldredge, C., & Winchester, J. B. (2007). Chronic static stretching improves exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1825–1831. <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0b013e3181238a2b>
- Konrad, A., Gad, M., & Tilp, M. (2015). Effect of PNF stretching training on the properties of human muscle and tendon structures. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(3), 343–350. <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12228>
- Konrad, A., & Tilp, M. (2014a). Effects of ballistic stretching training on the properties of human muscle and tendon structures. *J. Appl. Physiol. (Bethesda, Md.: 1985)*, 117(1), 1–10. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00195.2014>
- Konrad, A., & Tilp, M. (2014b). Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical Biomechanics*, 29(6), 63–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.04.013>
- Kubo, K. (2005). In Vivo Elastic Properties of Human Tendon Structures in Lower Limb. *International Journal of Sport and Health Science*, 3, 143–151. <http://dx.doi.org/10.5432/ijshs.3.143>
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol. (Bethesda, Md. : 1985)*, 92(2), 59–64. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00658.2001>
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2001). Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol. (Bethesda, Md.: 1985)*, 90, 520–527.
- LaRoche, D. P., Lussier, M. V., & Roy, S. J. (2008). Chronic stretching and voluntary muscle force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 589–596. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181636363>
- Leite, T., de Souza Teixeira, A., Saavedra, F., Leite, R. D., Rhea, M. R., & Simão, R. (2015). Influence of strength and flexibility training, combined or isolated, on strength and flexibility gains. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1083–1088. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000719>
- Levenez, M., Theunissen, S., Bottero, A., Snoeck, T., Bruyere, A., Tinlot, A., ... Probyn, S. (2013). The effect of a passive stretch training protocol on performance during a drop jump in humans. *Journal of Medicine and Physical Fitness*, 53(3), 319–326.
- Lieber, R. L., & Bodine-Fowler, S. C. (1993). Skeletal muscle mechanics: Implications for rehabilitation. *Physical Therapy*, 73(12), 844–856.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P., Srensen, H., & Kjartansson, O. (1996). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 497(Pt 1), 291–298. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerend.fcgi?id=1160931&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Marshall, P. W. M., Cashman, A., & Cheema, B. S. (2011). A randomized controlled trial for the effect of passive stretching on measures of hamstring extensibility, passive stiffness, strength, and stretch tolerance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(6), 535–540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2011.05.003>
- Medeiros, D. M., Cini, A., Sbruzzi, G., & Lima, C. S. (2016). Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy Theory and Practice*, 39(85)(July), 1–8. <http://dx.doi.org/10.1080/09593985.2016.1204401>
- Minshull, C., Eston, R., Bailey, A., Rees, D., & Gleeson, N. (2014). The differential effects of PNF versus passive stretch conditioning on neuromuscular performance. *European Journal of Sport Science*, 14(3), 241–248. <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2013.799716>
- Morton, S. K., Whitehead, J. R., Brinkert, R. H., & Caine, D. J. (2011). Resistance training vs. static stretching: Effects on flexibility and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength and Conditioning Association*, 25(12), 3391–3398. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31821624aa>
- Nelson, A. G., Kokkonen, J., Winchester, J. B., Kalani, W., Peterson, K., Kenly, M. S., & Arnall, D. A. (2012). A 10-week stretching program increases strength in the contralateral muscle. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 1–7. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182281b41>
- Peltonen, J., Cronin, N. J., Stenroth, L., Finni, T., & Avela, J. (2013). Viscoelastic properties of the Achilles tendon in vivo. *SpringerPlus*, 2(1), 212. <http://dx.doi.org/10.1186/2193-1801-2-212>
- Peng, H. Te., Kernozek, T. W., & Song, C. Y. (2011). Quadriceps and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. *Physical Therapy in Sport*, 12(3), 12–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.10.001>
- Rees, S. S., Murphy, A. J., Watsford, M. L., McLachlan, K. A., & Coutts, A. J. (2007). Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on stiffness and force-producing characteristics of the ankle in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 572–577. <http://dx.doi.org/10.1519/R-20175.1>
- Reid, D. A., & McNair, P. J. (2004). Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(11), 1944–1949. <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000145462.36207.20>
- Robinson, K. A., & Dickersin, K. (2002). Development of a highly sensitive search strategy for the retrieval of reports of controlled trials using PubMed. *International Journal of Epidemiology*, 31(1), 150–159. <http://dx.doi.org/10.1093/ije/31.1.150>
- Rubini, E. C., Costa, A. L. L., & Gomes, P. S. C. (2007). The effects of stretching on strength performance. *Sports Medicine*. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200737030-00003>
- Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Costa, P. B., ... Cramer, J. T. (2008). The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(10), 632–639. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2008.2843>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghera, D., Liberati, A., Petticrew, M., ... PRISMA-P Group (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration of guidelines

