

Mecanismos de exercícios de alongamento muscular para redução de dor lombar: revisão narrativa

Mechanisms of muscle stretching exercises for reduction of low back pain: narrative review

Luís Felipe Câmara-Gomes¹, Almir Vieira Dibai Filho^{2,4}, Renata Rodrigues Diniz¹, Poliane Dutra Alvares^{1,2,3}, Christiano Eduardo Veneroso^{1,2}, Christian Emmanuel Torres Cabido^{1,2}

DOI 10.5935/2595-0118.20220001

RESUMO

JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS: Exercícios de alongamento estão presentes em programas de treinamento físico e reabilitação muscular. Dentro do contexto da reabilitação de indivíduos com dor na região lombar (lombalgia), ainda existe uma lacuna sobre os mecanismos pelos quais esses exercícios reduzem dor e incapacidade nesses pacientes. O objetivo deste estudo foi descrever os possíveis mecanismos pelos quais o exercício de alongamento pode reduzir dor em indivíduos com lombalgia crônica.

CONTEÚDO: A dor na região lombar é uma das dores mais incapacitantes quando se trata de limitações para as funções no cotidiano. Por isso, é necessário investigar alternativas que possam proporcionar o seu alívio nesses pacientes. Considerando que a causa da lombalgia crônica não específica é multifatorial, o tratamento desta doença ocorre principalmente na tentativa de reduzir a sensação dolorosa. Como alternativa, o treinamento da flexibilidade por meio de exercícios de alongamento pode agir reduzindo a dor lombar por gerarem alterações biomecânicas e sensoriais que resultam em efeito analgésico. Adicionalmente, ainda é possível que esses dois efeitos possam atuar em conjunto para explicar a redução da dor lombar após a realização de exercícios de alongamento.

CONCLUSÃO: Existe suporte teórico na literatura para sustentar a realização dos exercícios de alongamento como estratégia não farmacológica para o tratamento da dor lombar crônica. Me-

canismos biomecânicos e neurofisiológicos poderiam ser apontados para explicar tais benefícios.

Descritores: Dor, Dor lombar, Exercícios de alongamento muscular.

ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Stretching exercises are present in physical training and muscle rehabilitation programs. Within the context of rehabilitation of patients with low back pain (lombalgia), there is still a gap about the mechanisms that these exercises should reduce pain and disability in these patients. The aim of this study was to investigate what are the possible mechanisms through which muscle stretching exercise could reduce pain in individuals with chronic low back pain.

CONTENTS: Pain in the lumbar region is one of the most disabling pains when it comes to limitations for daily functions, so it's necessary to investigate alternatives that provide relief for these patients. As the cause of non-specific chronic low back pain is multifactorial, the treatment of the pathology occurs mainly to reduce the sensation of pain. As an alternative, the flexibility training through stretching exercises can be efficient because they generate biomechanical and sensory changes, which would result in an analgesic effect. Additionally, it's still possible that these two effects occur together to explain the reduction in low back pain after performing stretching exercises.

CONCLUSION: There is theoretical basis in the literature to support the performance of stretching exercises as a non-pharmacological strategy for the treatment of chronic low back pain. Biomechanical and neurophysiological mechanisms can be pointed out to explain these benefits.

Keywords: Low back pain, Muscle stretching exercises, Pain.

INTRODUÇÃO

A dor é conceituada como uma experiência sensitiva e emocional desagradável que pode estar ou não associada a uma lesão real nos tecidos¹. É de caráter subjetivo e individual, visto que envolve aspectos sensitivos, culturais e influência do meio, sendo a lombalgia uma das mais comuns². Apesar da etiologia multifatorial, terapias físicas que resultam em efeitos analgésicos, como exercício de alongamento, poderiam ser alternativas viáveis como tratamento não farmacológico para redução da intensidade da dor em indivíduos com lombalgia³ através de mecanismos biomecânicos e neurofisiológicos⁴, além de melhorar a postura corporal, distúrbios musculoesqueléticos e dor muscular³.

Luís Felipe Câmara-Gomes – <https://orcid.org/0000-0003-2998-0666>;
Almir Vieira Dibai Filho – <https://orcid.org/0000-0001-5403-8248>;
Renata Rodrigues Diniz – <https://orcid.org/0000-0003-0647-1260>;
Poliane Dutra Alvares – <https://orcid.org/0000-0003-2110-1161>;
Christiano Eduardo Veneroso – <https://orcid.org/0000-0002-8291-3270>;
Christian Emmanuel Torres Cabido – <https://orcid.org/0000-0002-4800-0128>.

1. Universidade Federal do Maranhão, Laboratório do Grupo de Pesquisa em Exercício Físico: Saúde e Desempenho Humano, Departamento de Educação Física, São Luís, MA, Brasil.
2. Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Luís, MA, Brasil.
3. Faculdade Pitágoras, Departamento de Educação Física, São Luís, MA, Brasil.
4. Universidade Federal do Maranhão, Grupo de Pesquisa em Reabilitação, Exercício e Movimento, Departamento de Educação Física, São Luís, MA, Brasil.

Apresentado em 22 de novembro de 2020.

Aceito para publicação em 22 de dezembro de 2021.

Conflito de interesses: não há – Fontes de fomento: não há.

Correspondência para:

Luís Felipe Câmara Gomes

E-mail: felipesacower@hotmail.com

© Sociedade Brasileira para o Estudo da Dor

A lombalgia provoca absenteísmo e incapacidade, dor e limitações no dia a dia⁵. Pode afetar entre 60 e 80% da população no mundo, sendo comum que as pessoas experimentem este episódio de dor em algum momento da vida⁶. A maior parte dos casos de dor na região lombar, cerca de 85%, não apresenta um fator causal único e facilmente identificável, sendo considerada inespecífica e com repercussões psicossociais atreladas ao quadro clínico^{3,5,6}.

As alterações no tecido conjuntivo que envolve tendões, ligamentos e fâscias musculares causadas por fatores que influenciam diretamente a amplitude de movimento (ADM) de uma articulação (envelhecimento, trabalho, imobilizações, lesões, distúrbios do metabolismo ou deficiências nutricionais) podem predispor um indivíduo à dor lombar (DL)^{7,8}. Adicionalmente, baixos níveis de flexibilidade das estruturas passivas musculares (tendões, ligamentos e fâscias), podem estar associados à lombalgia⁹.

Nas condições de dor na região lombar, os músculos tornam-se espasmódicos mesmo em repouso e o acúmulo de metabólitos pode ocasionar irritação nas terminações nervosas da região, gerando espasmo reflexo e aumento de dor^{5,6}. O tratamento para dor lombar crônica (DLC) pode ser realizado por meio de exercícios físicos, fármacos, injeções, tratamento fisioterapêutico e, em último caso, intervenção cirúrgica^{10,11}. No que se refere à utilização de exercícios físicos, apesar da carência de ensaios clínicos, há suporte teórico para sugerir a realização de exercícios de alongamentos como uma alternativa eficaz no tratamento da DLC^{3-6,12}.

Apesar da existência de estudos mostrando os efeitos positivos de exercícios de alongamento na DL¹³⁻¹⁸, a maioria combinou tais exercícios com outras intervenções terapêuticas¹⁴⁻¹⁶, sendo poucos os que avaliaram somente o exercício de alongamento^{17,18}. Dentro deste contexto, estudos são necessários para revisar as evidências teóricas disponíveis sobre os mecanismos fisiológicos que poderiam explicar como o exercício de alongamento, exclusivamente, poderia reduzir a DL. Tais informações poderiam auxiliar profissionais da saúde na adequada utilização dessa estratégia não farmacológica de tratamento da lombalgia. No entanto, no melhor do conhecimento, não foram encontrados estudos que realizaram essa análise.

O objetivo deste estudo foi analisar os mecanismos que podem explicar como os exercícios de alongamentos poderiam reduzir a intensidade DL.

CONTEÚDO

Dor lombar

A experiência dolorosa é multidimensional, com diferenças na sensação, qualidade e/ou intensidade, podendo ser influenciada por aspectos afetivos e emocionais do indivíduo. Também é proposta como mecanismo de proteção, visto que é um alerta de lesão tecidual, fazendo com que o indivíduo reaja a determinado estímulo doloroso^{2,3,6}. A dor pode ser avaliada por estratégias uni e multidimensionais¹⁹. Para a primeira possibilidade, a análise é feita a partir de escalonamento ou valores medidos por instrumentos unidimensionais, mensurando a intensidade da dor, como a escala numérica de dor^{19,20}. Por outro lado, a avaliação multidimensional busca investigar outros aspectos relacionados à dor, como seu significado e/ou influência na vida de um indivíduo, com a participação da equipe multiprofissional^{19,20}. A avaliação adequada da sensação dolorosa

é fundamental para proceder da melhor forma possível no diagnóstico, prognóstico, planejamento e controle da dor²⁰.

A dor pode ser dividida, principalmente, em aguda ou crônica. A primeira está diretamente ligada à lesão tecidual em resposta a defesa do organismo, com duração menor de seis semanas e regredindo com a cicatrização tecidual⁶. Já a dor crônica tem origem multifatorial, persiste por tempo superior a 12 semanas e requer abordagem multidisciplinar no tratamento⁶. Neste aspecto, alguns fatores levam a cronificação de dor aguda para a crônica, como baixo nível de atividade física, envelhecimento, má postura no trabalho e esforço repetitivo.

Neste contexto, as diferentes etiologias também resultam em diferentes estratégias de tratamento. Na dor aguda, busca-se recuperação tecidual e alívio da dor, além do tratamento conservador para a melhora do processo inflamatório^{6,21}. Em contrapartida, na dor crônica, o objetivo do tratamento é focado nos aspectos psicossociais, fisiológicos e culturais, redução da tensão muscular e da fadiga, assim como a incapacidade que foi gerada nesse indivíduo^{20,21}. Assim, os resultados provenientes dos exercícios de alongamento na redução da dor, alteração da rigidez das estruturas passivas e aumento da flexibilidade fazem com que a sua utilização seja promissora enquanto estratégia de tratamento não farmacológico da lombalgia.

Flexibilidade, alongamento e lombalgia

A flexibilidade é uma capacidade física importante para a aptidão física relacionada à saúde, podendo estar diretamente ligada à postura corporal e distúrbios musculoesqueléticos^{4,22}. Essa capacidade física pode ser avaliada por meio da amplitude máxima de movimento ($ADM_{máx}$) atingida por uma ou mais articulações e é comumente treinada em exercícios de alongamento²². Tais exercícios podem ser realizados com diferentes organizações possíveis quanto às técnicas de alongamento utilizadas, principalmente passivo-estático²², passivo-dinâmico²³, ativo dinâmico²⁴ e de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP)²⁵.

Nesse sentido, como parece não haver superioridade dos efeitos de uma técnica de alongamento em detrimento da outra^{26,27}, os mecanismos abordados no presente estudo serão aqueles que são amplamente utilizados para explicar os efeitos dos exercícios de alongamento na $ADM_{máx}$ e que estão relacionados a modificações biomecânicas e/ou sensoriais^{4,22}.

Embora os mecanismos responsáveis pelo aumento da $ADM_{máx}$ e consequente melhora da flexibilidade não estejam claramente elucidados, duas principais abordagens são propostas⁴ e podem ser analisadas quanto aos efeitos benéficos na DL. Uma aponta para alterações nas propriedades biomecânicas da unidade músculo tendão (UMT), como redução da rigidez passiva (RP)^{4,22}. Outra abordagem sugere modificações na tolerância ao alongamento, proveniente de uma alteração na percepção de dor pelo indivíduo⁴. Em conjunto, essas duas abordagens podem contribuir para explicar os benefícios dos exercícios de alongamento na redução da intensidade da dor na lombalgia.

Dentro de uma perspectiva biomecânica, a flexibilidade de uma articulação também é determinada pela resistência causada pelos tecidos que a envolvem²⁸ e pode ser reduzida devido a encurtamento adaptativo dos tecidos moles^{29,30}. Este encurtamento pode ser causado por imobilizações, sedentarismo e processo de enve-

lhçamento do colágeno, que leva a menor elasticidade das fâscias próximas à coluna²⁹.

Uma das estruturas básicas dos tecidos é o colágeno, que perde a sua elasticidade com o envelhecimento³⁰. Dentro da matriz do colágeno, há aumento na formação de *cross-links*, afetando a biomecânica dos discos, predispondo as falhas mecânicas com aumento da viscosidade e redução na elasticidade do tecido³⁰. Portanto, a redução da elasticidade da fâscia, que pode afetar a ADM alcançada pela articulação, estaria relacionada à tensão muscular e DL por gerar uma compressão das raízes nervosas^{3,5,9}.

Dentro desse contexto, a partir de uma abordagem biomecânica, realizar exercícios de alongamento poderia agir reduzindo a tensão muscular sobre as raízes nervosas, minimizando a DL. Estudos tem mostrado redução da rigidez passiva muscular²² na resistência da UMT ao alongamento³¹ e aumento da ADM_{máx}^{4,22,31}. A redução da rigidez passiva poderia ser resultado da deformação elástica gerada pela carga mecânica do exercício de alongamento nas estruturas da UMT, como proteínas intrasarcoméricas não contráteis; tecido conjuntivo intramuscular, principalmente o perimísio; e matriz extracelular³⁰. Ainda, é proposto que, cronicamente, o alongamento muscular reduziria a quantidade de *cross-links* nas fibras de colágeno, aumentando a elasticidade do tecido passivo³¹⁻³³. Em conjunto, esses efeitos biomecânicos poderiam indiretamente explicar como os exercícios de alongamento reduziriam a DL^{34,35}.

Além da abordagem biomecânica, a abordagem sensorial⁴ poderia auxiliar no entendimento do efeito analgésico do exercício de alongamento na DL. Apesar desse efeito ainda não ser completamente explicado, é sugerido que a tensão mecânica estimularia terminações nervosas livres sensíveis a estímulos mecânicos^{36,37}. Esses, transmitidos por vias aferentes de grosso calibre e maior velocidade de condução em relação às vias aferentes nociceptivas, chegariam primeiro ao corno posterior da medula, na substância gelatinosa, gerando inibição pré-sináptica, mecanismo conhecido como teoria da comporta³⁸. Estimulada pelo impulso nervoso dos mecanorreceptores, a substância gelatinosa modularia a transmissão sináptica do impulso nervoso entre as fibras aferentes periféricas e as centrais, agindo como um sistema de comporta, reduzindo a passagem do estímulo doloroso³⁸.

Além disso, o alongamento da UMT também poderia alongar fibras nervosas, reduzindo a fibrose e a adesão entre o tecido conjuntivo circundante e os tecidos neurais, permitindo melhor deslizamento intrafascicular³⁸ e bombeamento/lavagem de fluido intraneural, facilitando o fluxo axoplasmático, minimizando a deposição de sensibilizantes químicos, resultando em alívio da dor³⁹⁻⁴¹. Conjuntamente, esses mecanismos neurofisiológicos poderiam explicar como o exercício de alongamento agiria reduzindo a DL e permitindo melhora da função⁴².

Dessa maneira, os exercícios de alongamento poderiam diminuir a DL por meio de mecanismos biomecânicos e neurofisiológicos, os quais também precisam ser analisados em conjunto, pois alterações biomecânicas nas propriedades musculares podem influenciar na quantidade de tensão que é transmitida aos tecidos nervosos e receptores sensoriais pelo tecido conectivo⁴³. Assim, uma UMT menos rígida transmitiria menos tensão às demais estruturas nervosas, fazendo com que maiores ADM articulares possam ser atingidas sem sensação dolorosa⁴³.

No entanto, a prescrição do exercício de alongamento precisa ser adequadamente organizada, pois estudos anteriores mostraram que os efeitos do exercício de alongamento nas variáveis biomecânicas dependem, por exemplo, da técnica utilizada²² e da duração realizada⁴⁴. Assim sendo, o presente estudo apresentou como foco a análise dos mecanismos e a plausibilidade biológica para o uso do exercício de alongamento em pacientes com DLC. Com base nos mecanismos aqui identificados, estudos clínicos randomizados devem ser realizados, sobretudo com tamanho amostral adequado, definição do tipo de alongamento empregado e consistência interna adequada.

CONCLUSÃO

Existe suporte teórico para propor que a realização de exercícios de alongamento pode reduzir a intensidade de dor por meio de alterações biomecânicas e neurofisiológicas. Tal efeito é fundamental para que os indivíduos possam retornar às suas atividades funcionais e laborais.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos grupos de pesquisa em Genética e Esportes (GENES) e Exercício Físico: Saúde e Desempenho Humano (ExeF: SDH) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Luís Felipe Câmara-Gomes

Conceitualização, Gerenciamento de Recursos, Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Preparação do original, Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Visualização

Almir Vieira Dibai Filho

Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Visualização

Renata Rodrigues Diniz

Coleta de Dados, Conceitualização, Gerenciamento de Recursos, Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Preparação do original, Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Visualização

Poliane Dutra Alvares

Conceitualização, Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Preparação do original, Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Visualização

Christiano Eduardo Veneroso

Conceitualização, Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Visualização

Christian Emmanuel Torres Cabido

Conceitualização, Gerenciamento do Projeto, Metodologia, Redação - Preparação do original, Supervisão, Visualização

REFERÊNCIAS

1. DeSantana JM, Perissinotti DM, Oliveira Júnior JO, Correia LM, Oliveira CM, Fonseca PR. Definição da dor revisada após quatro décadas. BrJP. 2020;3(3):197-8
2. Shariat A. Musculoskeletal disorders and their relationship with physical activities among office workers: a review. Malaysian J Public Health Med. 2016;16(1):62-74.
3. Hayden JA, van Tulder MW, Malmivaara AV, Koes BW. Meta-analysis: exercise therapy for nonspecific low back pain. Ann Intern Med. 2005;142(9):765-75.

4. Weppeler CH, Magnusson SP. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther.* 2010;90(3):438-49.
5. Chou R. In the clinic. *Low back pain.* *Ann Intern Med.* 2014;160(11):ITC6-1.
6. Urits I, Burshtein A, Sharma M, Testa L, Gold PA, Orhurhu V, et al. Low back pain, a comprehensive review: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Curr Pain Headache Rep.* 2019;11:23(3):23.
7. Vassilaki M, Hurwitz EL. Insights in public health: perspectives on pain in the low back and neck: global burden, epidemiology, and management. *Hawaii J Med Public Health.* 2014;73(4):122-6.
8. Reme SE, Shaw WS, Steenstra IA, Woiszwillow MJ, Pransky G, Linton SJ. Distressed, immobilized, or lacking employer support? A sub-classification of acute work-related low back pain. *J Occup Rehabil.* 2012;22(4):541-52.
9. Nepomuceno P, Schmidt LS, Glänzel MH, Reckziegel MB, Pohl HH, Reuter EM. Low back pain, anthropometric indexes and range of motion of rural workers. *BrJP.* 2019;2(2):117-22.
10. Chaparro LE, Furlan AD, Deshpande A, Mailis-Gagnon A, Atlas S, Turk DC. Opioids compared with placebo or other treatments for chronic low back pain: an update of the Cochrane Review. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(7):556-63.
11. Yang JH, Suk KS, Lee BH, Jung WC, Kang YM, Kim JH, et al. Efficacy and safety of different aceclofenac treatments for chronic lower back pain: prospective, randomized, single center, open-label clinical trials. *Yonsei Med J.* 2017;58(3):637-43.
12. Foster NE, Anema JR, Cherkin D, Chou R, Cohen SP, Gross DP, et al. Low Back Pain Series Working Group. Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *Lancet.* 2018;391(10137):2368-83.
13. Lee JH, Kim TH. The treatment effect of hamstring stretching and nerve mobilization for patients with radicular lower back pain. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(9):1578-82.
14. Keane LG. Comparing AquaStretch with supervised land-based stretching for chronic low back pain. *J Bodyw Mov Ther.* 2017;21(2):297-305.
15. Lawand P, Lombardi Júnior I, Jones A, Sardim C, Ribeiro LH, Natour J. Effect of a muscle stretching program using the global postural reeducation method for patients with chronic low back pain: A randomized controlled trial. *Joint Bone Spine.* 2015;82(4):272-7.
16. Puppini MAFL, Marques AP, Silva AG, Futuro Neto HA. Stretching in nonspecific chronic low back pain: a strategy of the GDS method. *Fisioter Pesqui.* 2011;18(2):116-21.
17. França FR, Burke TN, Caffaro RR, Ramos LA, Marques AP. Effects of muscular stretching and segmental stabilization on functional disability and pain in patients with chronic low back pain: a randomized, controlled trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 2012;35(4):279-85.
18. Sherman KJ, Cherkin DC, Wellman RD, Cook AJ, Hawkes RJ, Delaney K, et al. A randomized trial comparing yoga, stretching, and a self-care book for chronic low back pain. *Arch Intern Med.* 2011;171(22):2019-26.
19. Sousa FAEF, Pereira LV, Cardoso R, Hortense P. Multidimensional pain evaluation scale. *Rev Latino-Am Enfermagem.* 2010;18(1):3-10.
20. Chimenti RL, Frey-Law LA, Sluka KA. A mechanism-based approach to physical therapist management of pain. *Phys Ther.* 2018;98(5):302-14.
21. Derry S, Wiffen PJ, Kalso EA, Bell RE, Aldington D, Phillips T, et al. Topical analgesics for acute and chronic pain in adults - an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;(5):CD008609.
22. Cabido CE, Bergamini JC, Andrade AG, Lima FV, Menzel HJ, Chagas MH. Acute effect of constant torque and angle stretching on range of motion, muscle passive properties, and stretch discomfort perception. *J Strength Cond Res.* 2014;28(4):1050-7.
23. Ramos M, Cruz CA, Laurentino MF, Ashmawi HA, Santos FM, Chacur M. Effects of neural mobilization on individuals with chronic low back pain. *BrJP.* 2020;3(3):205-12.
24. Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, Hatano G, Miyazaki M, Fukaya T, et al. Dynamic stretching has sustained effects on range of motion and passive stiffness of the hamstring muscles. *J Sports Sci Med.* 2019;18(1):13-20.
25. Wanderley D, Lemos A, Moretti E, Barros MMB, Valença MM, de Oliveira DA. Efficacy of proprioceptive neuromuscular facilitation compared to other stretching modalities in range of motion gain in young healthy adults: a systematic review. *Physiother Theory Pract.* 2019;35(2):109-29.
26. Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(1):1-11.
27. Konrad A, Stafiliadis S, Tilp M. Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27(10):1070-80.
28. Magnusson SP, Aagaard P, Simonsen E, Bojsen-Møller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sports Med.* 1998;19(5):310-6.
29. Stathokostas L, Little RM, Vandervoort AA, Paterson DH. Flexibility training and functional ability in older adults: a systematic review. *J Aging Res.* 2012;2012:306818.
30. Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2001;16(2):87-101.
31. McNair PJ, Stanley SN. Effect of passive stretching and jogging on the series elastic muscle stiffness and range of motion of the ankle joint. *Br J Sports Med.* 1996;30(4):313-8.
32. Gosselin LE, Adams C, Cotter TA, McCormick RJ, Thomas DP. Effect of exercise training on passive stiffness in locomotor skeletal muscle: role of extracellular matrix. *J Appl Physiol.* 1998;85(3):1011-6.
33. De Deyne PG. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys Ther.* 2001;81(2):819-27.
34. Wattananon P, Prasertkul W, Sakulsriprasert P, Laskin JJ. Effect of increased relative stiffness of the lumbar spine on hamstring muscle stretching in individuals with a history of low back pain suspected to have a clinical lumbar instability: a randomized crossover design. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020;75:104996.
35. Shamsi M, Mirzaei M, Shahsavari S, Safari A, Saeb M. Modeling the effect of static stretching and strengthening exercise in lengthened position on balance in low back pain subject with shortened hamstring: a randomized controlled clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):809.
36. Hayes SG, Kindig AE, Kaufman MP. Comparison between the effect of static contraction and tendon stretch on the discharge of group III and IV muscle afferents. *J Appl Physiol.* 2005;99(5):1891-6.
37. Von Duvillard SP, Carvalho LP, Rodrigues SA, Cabido CE, Peixoto GH, Bell JW, et al. Assessment of the maximal range of motion from initial sensation of stretching to the limits of tolerance. *J Sports Sci Med.* 2021;20(3):492-9.
38. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science.* 1965;150(3699):971-9.
39. Brown CL, Gilbert KK, Brismee JM, Sizer PS, Roger James C, Smith MP. The effects of neurodynamic mobilization on fluid dispersion within the tibial nerve at the ankle: an unembalmed cadaveric study. *J Man Manip Ther.* 2011;19(1):26-34.
40. Neto T, Freitas SR, Marques M, Gomes L, Andrade R, Oliveira R. Effects of lower body quadrant neural mobilization in healthy and low back pain populations: a systematic review and meta-analysis. *Musculoskelet Sci Pract.* 2017;27:14-22.
41. Millesi H, Zöch G, Reihnsner R. Mechanical properties of peripheral nerves. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;(314):76-83.
42. Pourahmadi M, Hesarikia H, Keshtkar A, Zamani H, Bagheri R, Ghanjal A, et al. Effectiveness of Slump Stretching on Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Pain Med.* 2019;20(2):378-96.
43. Guissard N, Duchateau J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve.* 2004;29(2):248-55.
44. Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM, Beck TW, Stout J, Cramer JT. Determining the minimum number of passive stretches necessary to alter musculotendinous stiffness. *J Sports Sci.* 2009;27(9):957-61.

