

Inibição muscular dos extensores do joelho em sujeitos acometidos por condromalácia patelar e osteoartrite do joelho - um estudo de revisão sistemática

Knee extensor muscle inhibition in subjects with chondromalacia patellae and knee osteoarthritis – a systematic review

Klauber Dalcerio Pompeo¹, Mônica de Oliveira Mello², Marco Aurélio Vaz¹

RESUMO | A inibição muscular (IM) tem sido reportada como um dos fatores associados à fraqueza muscular presente na osteoartrite (OA) e condromalácia patelar (CP), sendo inclusive associada com a etiologia e a progressão. Entretanto, parece existir uma lacuna na literatura em relação a estudos de revisão que avaliaram o grau de IM de sujeitos acometidos por CP e OA. O objetivo do estudo foi reunir os resultados de estudos que investigaram o grau de IM na OA e CP e identificar possíveis diferenças na IM que estejam associadas aos estágios do processo degenerativo. Foram incluídos nesta revisão sistemática estudos transversais e/ou experimentais publicados nas bases de dados PubMed, Scopus, SciELO e Cochrane entre 1990 e 2010 que avaliaram a IM por meio da técnica de interpolação de abalo publicados. Os dados referentes à população, protocolo de IM, qualidade dos estudos e resultados de IM foram resumidos e apresentados em Tabelas. Para análise da qualidade, utilizou-se a escala de PEDro. Após a aplicação dos critérios de inclusão, 13 artigos foram incluídos na revisão sistemática (OA=9 e CP=4). A partir da análise dos dados, observou-se uma IM maior na CP em comparação à OA. Contudo, a variabilidade metodológica e a falta de informações sobre os protocolos de IM indicam a necessidade de novos estudos experimentais a fim de que se possa determinar com maior precisão a relação entre a IM e as doenças degenerativas articulares.

Descritores | revisão sistemática; inibição muscular; condromalácia patelar; osteoartrite.

ABSTRACT | Muscle inhibition (MI) has been reported as one of the factors associated with muscle weakness present in osteoarthritis (OA) and chondromalacia patellae (CP), including being associated with the etiology and progression. However, there seems to be a gap in the literature regarding the review studies that assessed the degree of IM subjects affected by CP and OA. The main objective of study was bringing together the results of studies that investigated the degree of OA in the MI and CP and to identify possible differences in IM which are linked to stages of the degenerative process. We included cross-sectional and/or experimental studies published in the databases PubMed, Scopus, SciELO and Cochrane between 1990 and 2010 that evaluated the MI through interpolation twitch techniques. Data on population characteristics, MI protocol, quality of studies and MI results were summarized and presented in Tables. For quality analysis, it was used the scale PEDro. After applying the inclusion criteria, 13 articles were included in the systematic review (OA=9 and CP=4). Based on the analysis of the data, there MI>CP compared to OA. However, the variability of protocols, as well as the lack of information about the IM protocols, indicates the need for further experimental studies in order that we can determine more precisely the relationship between IM and degenerative joint diseases.

Keywords | systematic review; muscle inhibition; chondromalacia patellae; osteoarthritis.

Estudo desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre (RS), Brasil.

¹Especialista em Cinesiologia; Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre (RS), Brasil.

²Mestre; Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da UFRGS; Curso de Educação Física da Universidade de Caxias do Sul (UCS) - Caxias do Sul (RS), Brasil.

³Doutor; Professor da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre (RS), Brasil.

INTRODUÇÃO

A condromalácia patelar (CP) e a osteoartrite (OA) de joelho apresentam-se como condições crônicas degenerativas associadas à fraqueza e à inibição muscular¹. A CP caracteriza-se pelo amolecimento e degeneração da cartilagem articular². A aparência danificada da cartilagem na CP é citada como um dos pontos iniciais da OA³, que consiste na erosão cartilaginosa e do osso subcondral, com sintomas de fraqueza muscular^{4,5}.

A fraqueza muscular presente nas doenças crônico-degenerativas pode ser em grande parte explicada pela presença da inibição muscular (IM) no quadríceps⁶⁻¹⁰. Definida como uma inabilidade do sistema central de ativar completamente todas as unidades motoras de um músculo durante o esforço voluntário^{11,12}, a IM tem sido apontada como fator precursor da doença, podendo inclusive ocorrer antes da manifestação da dor¹²⁻¹⁷.

Além disso, há dados de que a presença de fraqueza muscular associada à IM pode produzir mudanças na homeostase da biomecânica articular, constituindo, por sua vez, um dos principais fatores de risco que predis põem o desenvolvimento e a aceleração do processo degenerativo articular¹⁸. Apesar de existir um consenso entre os autores quanto à existência da fraqueza muscular na OA e CP, ainda existem divergências sobre a presença e magnitude da IM em ambas as patologias^{10,16,18-20}.

A redução da IM durante a reabilitação deve ser um dos alvos principais, pois é apontada como um dos marcos de efetividade e responsável pela não recuperação completa dos pacientes²¹⁻²⁵. Não foram encontrados estudos de revisão sistemática que avaliaram a IM na CP ou OA do joelho nas bases de dados consultadas. Acredita-se que umas das contribuições desse tipo de estudo seria a possibilidade de acompanhar a IM ao longo da patologia, possibilitando melhores intervenções, assim como analisar a qualidade dos estudos que estão sendo desenvolvidos.

Com base nessas informações, surgiu a seguinte hipótese: a magnitude da IM estaria relacionada ao grau de degeneração articular, pois nos estágios mais avançados a anormalidade dos sinais oriundos dos mecanorreceptores seria maior, com IM superior na OA. Considerando que essa informação seria útil para a prática clínica, o objetivo do estudo foi reunir os resultados de artigos que investigaram o grau de IM na OA e CP e identificar possíveis diferenças na IM associadas aos estágios de degeneração.

METODOLOGIA

Bases de dados e estratégia de busca

Para busca sistematizada dos artigos, foram utilizadas as bases de dados PubMed, Scopus, SciELO e Cochrane a partir das seguintes combinações de descritores: (1) *Chondromalacia patellae* e *muscle inhibition*; (2) *anterior knee pain* e *muscle inhibition*; (3) *patellofemoral pain syndrome* e *muscle inhibition*; (4) *osteoarthritis* e *muscle inhibition*; (5) *osteoarthritis*, *voluntary activation* e *quadriceps*; (6) *chondromalacia patellae*, *voluntary activation* e *quadriceps*; (7) *patellofemoral pain syndrome*, *voluntary activation* e *quadriceps*; (8) *anterior knee pain*, *voluntary activation* e *quadriceps*.

Seleção dos estudos

Foram selecionados estudos de língua inglesa publicados entre 1990 e 2010, selecionados por dois autores, durante o primeiro semestre de 2011, com base no título e resumo e, subsequentemente, a partir dos seguintes critérios de inclusão:

- (1) Desenho experimental – estudos transversais e/ou experimentais – no caso de haver ocorrido alguma forma de interferência dos autores sobre a IM, foram utilizados os dados referentes ao período pré-intervenção.
- (2) Tipo de população – adultos com diagnóstico clínico de CP ou OA de joelho.
- (3) Desfecho avaliado – IM avaliada por meio da Técnica de Interpolação de Abalo durante contração voluntária máxima isométrica em dinamômetro isocinético.

Extração de dados e análise da qualidade dos estudos

Foram extraídos dos estudos os valores de IM máxima. A análise da qualidade foi realizada descritivamente e por meio da escala de PEDro. Foram considerados, na avaliação descritiva, a qualidade na descrição dos protocolos de IM e resultados, apresentação do cálculo amostral e do poder observado, testes estatísticos, valores de média e, pelo menos, um dado de variabilidade e existência de Grupo Controle.

Síntese e análise dos dados

Os resultados e metodologias dos estudos estão apresentados em duas tabelas. A primeira com estudos

de CP (Tabela 1) e a segunda, de OA (Tabela 2). Em razão da variedade de metodologias empregadas nos artigos, não foi desenvolvida análise estatística dos dados. Efetuou-se uma comparação direta dos resultados entre os grupos analisados.

RESULTADOS

Seleção dos estudos

Os resultados e etapas da seleção dos estudos estão apresentados no Diagrama.

Análise de qualidade dos artigos

Nas pesquisas com CP, dos quatro estudos^{14,25-27}, dois^{14,26} utilizaram os mesmos parâmetros no protocolo de IM. Suter et al.²⁶ foram os únicos que se valeram de impulsos duplos. Somente Drover et al.²⁵ avaliaram a 90° de flexão de joelho, os demais utilizaram 30° e 60° de flexão^{14,26,27}. Tais diferenças angulares dificultaram a comparação dos dados, pois a força muscular utilizada na determinação da IM é dependente do comprimento muscular, alterado pelo ângulo articular.

Nos estudos OA, observou-se que em dois^{7,8} não foi descrita a técnica de avaliação da IM. No entanto, com base nas informações disponíveis, assumiu-se a

Tabela 1. Características e resultados dos estudos sobre condromalácia patelar

Primeiro autor	Desenho	Classificação da patologia	n	Idade	Protocolo de IM	Resultados de IM
Suter ²⁶	MA x MCS	UNI	30	37,3±7,2	AA: 30° e 60°; VE: 240 v; NE: 3 em rep. e 1 na CVM; DE: 0,8 ms	MA: 30° ± 28%, 60° ± 37%; MCS: 30° 16% e 60° ± 30%
Suter ¹⁴	MA x MCS/MA x GC	UNI	42	35,6±8,4	AA: 30° e 60°; VE: 240 v; NE: 3 em rep. e 1 na CVM; DE: 0,8 ms	MA: 30° ± 32%, 60° ± 38%; MCS: 30° ± 28%, 60° ± 32%; GC: 30° ± 10%, 60° ± 15%
Suter ²⁶	MA x MC/MA x GCA	UNI e BI	28	GA: 37±12 e GC: 31±14	AA: 30°; VE: 240 v; NE: 3 em rep. e 2 na CVM (duplos); IE: 0,8 ms; DE: 0,8 ms	MA: ± 32,5%, MC: 22%; GCA: MA: 35%, MC: 25%
Drover ²⁵	MA x MCS	UNI	9	25,7±3,5	AA: 90°; NE: 3 em rep; 1 na CVM e 3 após CVM; IE: 0,8 ms; DE: 0,8 ms	MA: 18,3% (±9,6); MCS: 19% (± 7,2)

MA: membro afetado; MCS: membro contralateral saudável; MC: membro contralateral; AA: ângulo articular; GC: grupo controle saudável; GCA: grupo controle também afetado; UNI: unilateral; BI: bilateral; máx.: máximo; GA: grupo acometido; VE: Voltagem do estímulo; NE: número de estímulos; DE: duração do estímulo; IE: intervalo interpulso; rep.: repouso; CVM: contração voluntária máxima.

Tabela 2. Características e resultados dos estudos sobre osteoartrite do joelho

Primeiro autor	Desenho	Classificação da patologia	n	Idade	Protocolo de IM	Resultados de IM
Pap ⁹	MA x MA/MA x GC	KG ⁴⁰ II e IV UNI	307	>58	AA: 90°; AMP: 100 mA; NE: 1 na CVM; DE: 500 µs,	Estágio II: 29,2% (±16%); Estágio IV: 22,8% (±13,2%)
Hurley ³¹	MA x MCS	UNI	10	56 (23-70)	AA: 90°; DE: 50 µs; FE: 1 hz	MA: 19% (±7); MCS: 6% (±3)
Hassan ⁷	MA x GC	KG ⁴⁰ ≥ II	140	63 (60,1-65,5)	AA: 90°; VE: 20% da CVM; NE: 3 em rep. e 3 na CVM; IE: 1 s; AMP: 1A; DE: 50 ms	GC: 12,6%; OA: 34,0%
Kean ²⁴	MA x MA	com e sem dor	20	53,6±9,0	AA: 90°; VE: 400v; NE: 1 na CVM; DE: 100-200 µs; AMP: 1 hz	1º dia: 11,08% (±10,6); 2º dia: 12,42% (±11,1)
O'Reilly ⁸	MA x GCA	MA, KG ⁴⁰ III e MCA, KG ⁴⁰ ≤II	600	60 (40-79)	AA: 90°; VE: 20% da CVM; NE: 3 em rep. e 3 na CVM; AMP: 1A; DE: 50 ms	MA: 22,9% (com dor); GCA: 6,5% (sem dor)
Machner ¹⁸	MA x MCA	KG ⁴⁰ III ou IV	18	67,3 (58-73)	AA: 90°; NE: 1 na CVM; AMP: 100 mA; DE: 500 µs	MA: 33,6% (±19,0); MCA: 33,4% (±16,6)
Gapeyeva ²⁸	MA x MCA/MA x GC	KG ⁴⁰ III ou IV	20	>63 (52-74)	AA: 90°; DE: 1 ms	MA: ±4%; MCA: 2%; GC: 1%
Berth ²⁹	MA x MCS/MA x GC	BI, KG ⁴⁰ III ou IV	73	>63 (52-75)	AA: 90°; NE: 1 na CVM; AMP: 100 mA; DE: 500 µs	MA: 23,8% (±13,1); MCS: 20,7% (±13,4); GC: 9,1% (±5,4)
Berth ³⁰	MA x MCA		20	71,2±5,7	AA: 90°; NE: 1 na CVM; AMP: 100 mA; DE: 500 µs	MA: 18,16% (±10,47); MCA: 23,71% (±12,73)

MA: membro afetado; MCS: membro contralateral saudável; MC: membro contralateral; AA: ângulo articular; GC: grupo controle saudável; GCA: grupo controle também afetado; UNI: unilateral; BI: bilateral; máx.: máximo; GA: grupo acometido; VE: voltagem do estímulo; NE: número de estímulos; DE: duração do estímulo; IE: intervalo interpulso; FE: frequência de estímulos; AMP: amplitude; rep.: repouso; CVM: contração voluntária máxima; KG: Classificação de Kellgren e Lawrence (1957)³⁷

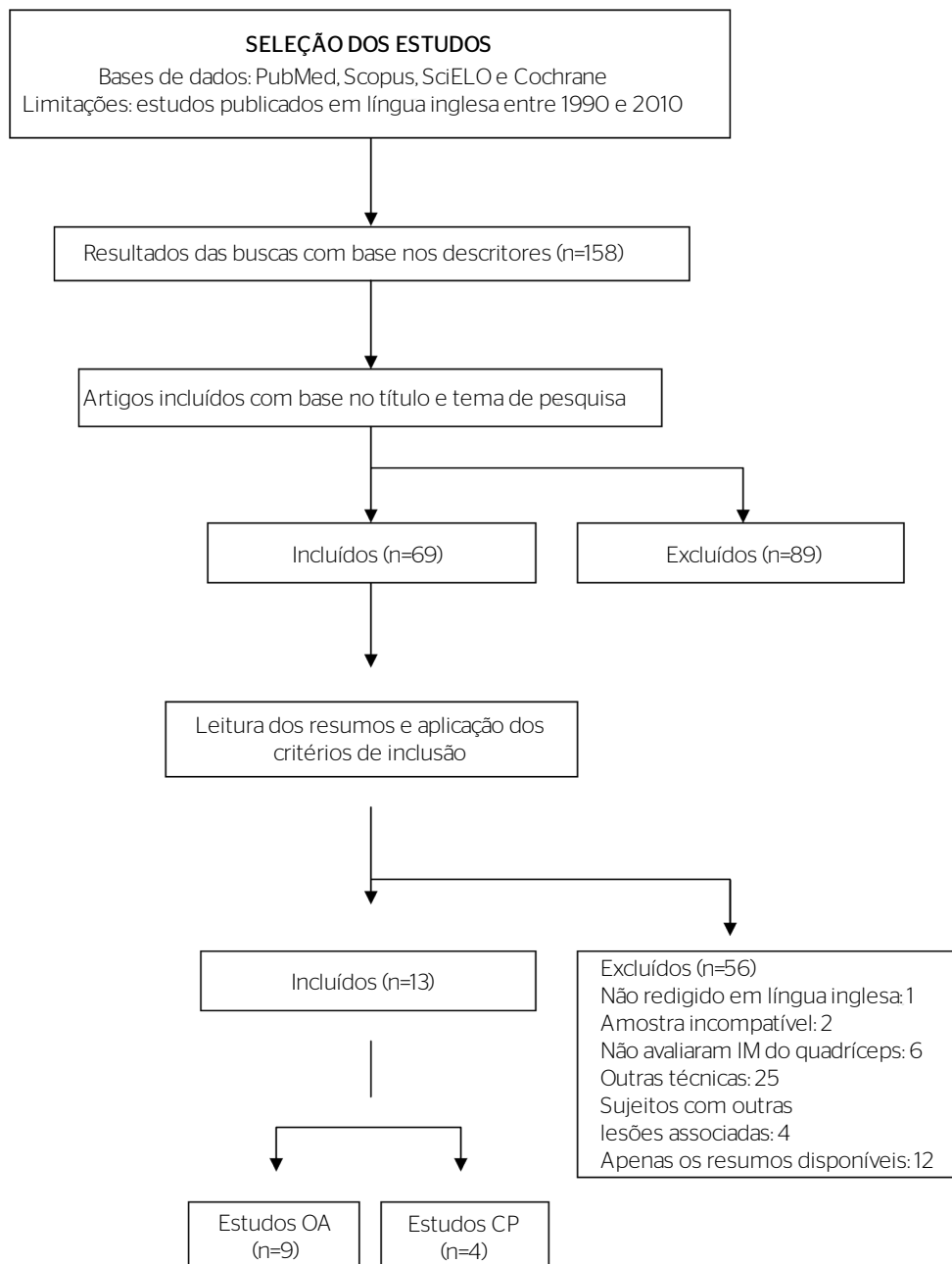


Diagrama. Seleção dos estudos

técnica de interpolação de abalo. Observou-se, nos estudos de OA, uma conformidade referente ao ângulo articular, 90°. Apenas um estudo⁹ definiu precisamente o estágio da OA. Outros^{8,24,28-31} apenas descreveram se a OA era grau II ou superior, ou simplesmente se era diagnosticada^{7,31}.

Verificou-se a ausência de cálculo amostral e dos valores do poder observado em todos os estudos revisados, demonstrando não haver critérios claros e estabelecidos para essas variáveis. Com relação à exposição dos dados, observou-se que quatro artigos^{14,26-28} apresentam os dados somente em gráficos, dificultando a identificação precisa dos resultados.

Utilizando-se a escala de PEDro para avaliar a qualidade dos estudos, obteve-se um escore entre 5 e 8 para os estudos OA e entre 3 e 8 para os CP (Tabela 3).

Resultados de inibição muscular

Nos resultados da CP, observou-se a presença de IM em todos os sujeitos avaliados, com valores entre 18²² e 38%²⁴. Os resultados foram semelhantes em três estudos^{14,26,27}. A IM foi estatisticamente superior nos membros afetados pela CP em três artigos^{14,26,27}. Somente Drover et al.²⁵ obtiveram dados similares nos membros contralateral (19%) e afetado ($\pm 18\%$).

Tabela 3. Resultados referentes à análise da qualidade dos estudos segundo a escala de qualidade de PEDro

Critérios	Estudos OA						Estudos CP						
	Pap ⁹	Hurley ³¹	Hassan ⁷	Kean ²⁴	O'Reilly ⁸	Machner ¹⁸	Gapeyeva ²⁸	Berth ²⁹	Berth ³⁰	Suter	Suter	Suter ²⁶	Drover ²⁵
Critérios de elegibilidade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
Distribuição aleatória	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Distribuição cega	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
Grupos semelhantes	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Sujeitos cegos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Terapeutas cegos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Avaliadores cegos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Resultados-chave	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Intenção de tratamento	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
Comparação intergrupos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados de variabilidade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pontuação total	5	6	5	5	5	5	5	3	8	8	3	8	6

Dentre os estudos com OA, quatro^{8,7,14,24} apresentaram uma IM estatisticamente superior para os indivíduos ou membros afetados. Assim como nos estudos CP, foi unânime a presença de IM na OA, com valores entre 4²⁸ e 33,6%¹⁸ nos membros afetados. Em dois estudos^{28,29}, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos avaliados.

Comparando os grupos OA e CP qualitativamente, observaram-se valores de IM superiores na CP. No entanto, esses resultados precisam ser avaliados com cautela em razão da diversidade de protocolos utilizados e da ausência de melhor caracterização da OA nos estudos revisados e de análise estatística nesta revisão. (Tabelas 1 e 2)

DISCUSSÃO

A IM é reportada como um dos fatores que acompanham as doenças degenerativas, como a OA e a CP. O conhecimento em âmbito clínico sobre o tema pode permitir uma melhor compreensão da patologia e subsidiar a elaboração de programas de reabilitação. O objetivo do presente estudo foi, a partir de uma revisão da literatura existente, levantar resultados de estudos que avaliaram a IM na OA e na CP, e identificar possíveis diferenças no grau de IM associadas aos estágios do processo degenerativo.

Identificou-se nos artigos a falta de informações sobre os protocolos de avaliação da IM^{7,8,14}. Ademais, a ausência de critérios claros na definição da amostra e o baixo número de sujeitos utilizados nos estudos revisados prejudicaram a interpretação dos resultados.

Outro aspecto importante está relacionado aos ângulos articulares nos estudos sobre CP. A maioria dos artigos^{14,26,27} valeu-se de 30° e 60°, enquanto um estudo²⁵ optou por 90° de flexão do joelho. Tal alteração pode explicar os valores inferiores de IM obtidos nesse estudo²⁵. Como o grupo muscular avaliado se encontrava mais alongado, de acordo com a relação força-comprimento, nas posições mais alongadas do músculo quadríceps é que ele apresenta maior capacidade de produção de força³². Portanto, o comprimento muscular deve ser controlado na avaliação da IM. Sugere-se a utilização de um ângulo de 60° a 70° de flexão do joelho por ser o comprimento ótimo de produção de força.

Em dois estudos^{28,30}, não foram encontradas diferenças significativas entre os sujeitos com OA e saudáveis. Na comparação qualitativa entre os resultados de IM dos grupos CP e OA, foi possível observar que a IM é relativamente superior na CP. Esses resultados não confirmaram a hipótese inicial e levantam o questionamento de não existir uma relação direta entre o grau de degeneração articular e a IM.

Uma das possíveis explicações para esses achados pode estar associada aos ângulos articulares.

Comparando estudos de CP²⁵ e OA^{8,9,28-30} que utilizaram o mesmo ângulo articular, os dados foram semelhantes. Outras hipóteses seriam a diferença nas idades dos sujeitos e o efeito da camada adiposa subcutânea sobre a transmissão do impulso elétrico. A idade dos indivíduos incidiria sobre os percentuais dos tipos de fibras musculares. Com o avançar da idade, as fibras do tipo II sofrem redução quantitativa^{32,33}, diminuindo a capacidade de produção de força³⁴⁻³⁶.

Esta revisão traz como principal limitação a ausência de análise estatística dos dados. Como principais contribuições, ilustra a magnitude da IM durante o processo degenerativo articular e apresenta uma análise qualitativa dos estudos desenvolvidos sobre o tema.

CONCLUSÃO

Com base nos estudos selecionados e seus resultados, chegou-se à seguinte conclusão: desde o surgimento da CP até a OA, a IM se faz presente, sendo inferior no grupo OA. A diversidade de metodologias utilizadas prejudicou a comparação direta dos resultados entre os artigos. Sugere-se que mais estudos experimentais sejam desenvolvidos, com maior casuística e utilizando critérios bem definidos na metodologia, a fim de que no futuro se possa determinar com mais precisão a relação entre a IM e as doenças degenerativas articulares.

REFERÊNCIAS

- Vasconcelos KSS, Dias JMD, Dias RC. Relação entre intensidade de dor e capacidade funcional em indivíduos obesos com osteoartrite de joelho. *Rev Bras Fisioter*. 2006;10(2):213-8.
- Cailliet R. *Dor no joelho*. 3a ed. Porto Alegre: Artmed; 2001.
- Bentley G. Chondromalacia Patellae. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52(2):221-32.
- Ritzel CH. Desequilíbrio muscular e qualidade de vida de indivíduos com osteoartrite e artroplastia total do joelho [dissertação]. Porto Alegre: Escola de Educação Física, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS; 2008.
- Hurley MV, Scott DL, Ress J, Newham DJ. Sensorimotor changes and functional performance in patients with knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 1997;56(11):641-8.
- Becker R, Berth A, Nehring M, Awiszus F. Neuromuscular quadriceps dysfunction prior to osteoarthritis of the knee. *J Orthop Res*. 2004;22(4):768-73.
- Hassan BS, Mockett S, Doherty M. Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects. *Ann Rheum Dis*. 2001;60(6):612-8.
- O'Reilly S, Jones A, Muir KR, Doherty M. Quadriceps weakness in knee osteoarthritis: the effect on pain and disability. *Ann Rheum Dis*. 1998;57(10):588-94.
- Pap G, Machner A, Awiszus F. Strength and voluntary activation of the quadriceps femoris muscle at different severities of osteoarthritic joint damage. *J Orthop Res*. 2004;22(1):96-103.
- Lewek MD, Rudolph KS, Mackler LS. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res*. 2004;22(1):110-5.
- Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum*. 2010;40(3):250-66.
- Segal NA, Glass NA, Torner J, Yang M, Felson DT, Sharma L, et al. Quadriceps weakness predicts risk for knee joint space narrowing in the MOST cohort. *Osteoarthritis Cartilage*. 2010;18(6):769-75.
- Stokes M, Young A. The contribution of reflex inhibition to arthrogenous muscle weakness. *Clin Sci (Lond)*. 1984;67(1):7-14.
- Suter E, Herzog W, Bray R. Quadriceps inhibition following arthroscopy in patients with anterior knee pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1998;13(4-5):314-9.
- Thomas AC, Sowers MF, Karvonen-Gutierrez C, Palmieri-Smith RM. Lack of quadriceps dysfunction in women with early knee osteoarthritis. *J Orthop Res*. 2010;28(5):595-9.
- Segal NA, Glass NA. Is quadriceps muscle weakness a risk factor for incident or progressive knee osteoarthritis? *Phys Sportsmed*. 2011;39(4):44-50.
- Pietrosimone BG, Hertel J, Ingersoll CD, Hart JM, Saliba SA. Voluntary quadriceps activation deficits in patients with tibiofemoral osteoarthritis: a meta-analysis. *PMR*. 2011;3(2):153-62.
- Machner A, Pap G, Awiszus F. Evaluation of quadriceps strength and voluntary activation after unicompartmental arthroplasty for medial osteoarthritis of the knee. *J Orthop Res*. 2002;20(1):108-11.
- Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazzuca S, Braunstein EM, Katz BP, et al. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Ann Intern Med*. 1997;127(2):97-104.
- Slemenda C, Heilman DK, Brandt KD, Katz BP, Mazzuca SA, Braunstein EM, et al. Reduced quadriceps strength relative to body weight: a risk factor for knee osteoarthritis in women? *Arthritis Rheum*. 1998;41(11):1951-59.
- Shield A, Zhou S. Assessing voluntary muscle activation with the interpolation technique. *Sports Med*. 2004;34(4):253-67.
- Fitzgerald G, Piva SR, Irrgang JJ, Bouzubar F, Starz TW. Quadriceps activation failure as a moderator of the relationship between quadriceps strength and physical function in individuals with knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2004;51(1):40-8.
- Hurley MV, Scott DL. Improvements in quadriceps sensorimotor function and disability of patients with knee osteoarthritis following a clinically practicable exercise regime. *Br J Rheumatol*. 1998;37(11):1181-7.
- Kean CO, Birmingham TB, Garland SJ, Bryant DM, Giffin JR. Minimal detectable change in quadriceps strength and voluntary activation in patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(9):1447-51.

25. Drover JM, Forand DR, Herzog W. Influence of active release technique on quadriceps inhibition and strength: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther.* 2004;27(6):408-13
26. Suter E, McMorland G, Herzog W, Bray R. Conservative lower back treatment reduces inhibition in knee-extensor muscles: a randomized controlled trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 2000;23(2):76-80.
27. Suter E, Herzog W, De Souza K, Bray R. Inhibition of the quadriceps muscles in patients with anterior knee pain. *J App Biomech.* 1998;14(4):360-73
28. Gapeyeva H, Buht N, Peterson K, Erelina J, Haviko T, Pääsuke M. Quadriceps femoris muscle voluntary isometric force production and relaxation characteristics before and 6 months after total knee arthroplasty in women. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002;15(2):202-11.
29. Berth A, Urbach D, Awiszus F. Improvement of voluntary quadriceps muscle activation after total knee arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(10):1432-6.
30. Berth A, Urbach D, Neumann W, Awiszus F. Strength and voluntary activation of quadriceps femoris muscle in total knee arthroplasty with midvastus e subvastus approaches. *J Arthroplasty.* 2007;22(1):83-8.
31. Hurley MV, Newham, Di J. The influence of arthrogenous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees. *Br J Rheumatol.* 1993;32(2):127-31.
32. Herzog W, Guimarães AC, Anton MG, Carter-Erdman KA. Moment-length relations of rectus femoris muscles of speed skaters/cyclists and runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(11):1289-96.
33. Chelly MS, Chamari K, Verney J, Denis C. Comparison of muscle mechanical and histochemical properties between young and elderly subjects. *Int Journal Sports Med.* 2006;27(11):885-93
34. Kryger AI, Andersen JL. Resistance training in the oldest old: consequences for muscle strength, fiber type, fiber size, and mhc isoforms. *Scand J Med Sci Sports.* 2007;17(4):422-30.
35. Karamandis K, Arampatzis A. Mechanical and morphological properties of human quadriceps femoris and triceps surae muscle-tendon unit in relation to aging and running. *J Biomech.* 2006;39(3):406-17.
36. Karamandis K, Arampatzis A. Mechanical and morphological properties of different muscle-tendon units in the lower extremity and running mechanics: effect of aging and physical activity. *J Exp Biol.* 2005;208(Pt 20):3907-23.
37. Kellgreen JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteoarthrosis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502