

Características biomecânicas da articulação escapulotorácica no retorno da elevação dos membros superiores: uma revisão da literatura

Biomechanical characteristics of the scapulothoracic joint while lowering the arms: a literature review

Eva Guedes Cota¹, Christina Danielli Coelho de Moraes Faria²

RESUMO

Observações clínicas indicam que os indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro descrevem o movimento de retorno da elevação dos membros superiores (MMSS) como mais doloroso que a elevação. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura sobre as características biomecânicas da articulação escapulotorácica no retorno da elevação dos MMSS em indivíduos saudáveis e com disfunções no complexo articular do ombro. Para isso, foram realizadas pesquisas nas bases de dados MedLine (PubMed), LILACS, Scielo e PEDRo seguida de busca manual e, após análise de um total de 232 estudos encontrados, 14 foram selecionados por atenderem aos critérios de inclusão previamente estabelecidos. Desses, oito investigaram características cinemáticas, seis características eletromiográficas, sendo que dois estudos investigaram as duas características associadas e apenas dois apresentaram resultados relacionados a indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro. Os resultados desses estudos demonstraram que, durante o retorno, os movimentos tridimensionais

da articulação escapulotorácica envolvem a combinação de rotação inferior (eixo perpendicular ao plano da escápula), inclinação anterior (eixo medial-lateral) e rotação interna (eixo vertical) seja o retorno realizado no plano frontal (retorno da abdução), sagital (retorno da flexão) ou no plano escapular. Dessa forma, o retorno da elevação dos MMSS resulta em reversão dos movimentos escapulotorácicos que ocorrem durante a elevação, mas apresenta diferenças significativas nas posições angulares da articulação escapulotorácica em relação à elevação, principalmente para os movimentos de rotação interna e inclinação anterior. A escassez de estudos que avaliaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro limita a compreensão da cinemática e atividade muscular nessa população específica.

Palavras-chave: Biomecânica, Escápula, Membros Superiores, Eletromiografia

ABSTRACT

Clinical observations have shown that subjects with disorders of the shoulder joint complex describe the lowering of the arms to be more painful than their elevation. The relevance of the scapulothoracic joint is important in understanding the kinematics and muscle activity in the shoulder joint complex, as well as the specific features of the arm-lowering movement. Therefore, the aim of this study was to conduct a critical review of the biomechanical characteristics of the scapulothoracic joint during the lowering of the arms in healthy subjects and in subjects with shoulder disorders. A computerized search was performed in MEDLINE, SCIELO, LILACS and PEDRo databases. Manual searching was then done and, after analyzing the 232 studies that were found, 14 remained eligible to be included according to the inclusion criteria previously established. Of these, eight investigated kinematic characteristics and six, electromyographical characteristics. Two studies analyzed both characteristics, and only two gave results related to individuals with shoulder disorders. The results of these studies showed that during the lowering of the arms, the three-dimensional movements

of the scapulothoracic joint involved a combined movement of downward rotation (axis perpendicular to the scapular plane), anterior tilt (medial-lateral axis), and internal rotation (vertical axis) in the frontal (lowering of arm abduction), sagittal (lowering of arm flexion), and scapular planes. Thus, the lowering of the arms is considered to be a reverse movement of the scapulothoracic movements during arm elevation. However, there are significant differences in angular positions of the scapulothoracic joint when compared to arm elevation, especially in the downward rotation and tilt movements. The isolated muscular activity and the co-activation of the scapulothoracic muscles gradually lessen during the lowering of the arms and show lower magnitude than during the elevation phase. The scarcity of studies that assess the biomechanical characteristics of the scapulothoracic joint in individuals with shoulder disorders limits the understanding of kinematics and muscle activity in this specific population.

Keywords: Biomechanics, Scapula, Upper Extremity, Electromyography

¹ Fisioterapeuta, Especialista em Ortopedia pela Universidade Federal de Minas Gerais.

² Fisioterapeuta, Professora Adjunta do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Minas Gerais
Christina Danielli Coelho de Moraes Faria • Av. Antônio Carlos, 6627 • Belo Horizonte / MG • Cep 31270-901
E-mail: cdcmf@ufmg.br

INTRODUÇÃO

A articulação escapulotorácica compõe o complexo articular do ombro e consiste na escápula e nos músculos que cobrem a superfície da parede torácica posterior. Esses músculos atuam na escápula e auxiliam no controle de seus movimentos durante a realização de atividades funcionais que envolvem o uso dos membros superiores (MMSS).^{1,2} Essa estrutura é considerada uma articulação funcional por não apresentar as características anatômicas comuns às demais articulações, como união por tecidos cartilaginosos ou sinoviais.

Entretanto, a descrição dos movimentos da escápula em relação ao tórax são realizados como se fossem segmentos ósseos unidos devido à associação interdependente entre a escápula e as articulações esternoclavicular e acromioclavicular.²

A integração entre os MMSS e o tórax fornecida pelo complexo articular do ombro permite grande amplitude de movimento para realizar o alcance e posicionar as mãos para atender às demandas funcionais dos indivíduos.^{3,4} Essas demandas de mobilidade necessitam de uma base estável dinamicamente que é promovida pelas características de movimentos conjuntos que ocorrem entre as articulações do complexo do ombro e pela ação coordenada da musculatura. A estabilidade dinâmica do complexo articular do ombro é mantida pelo fato das estruturas dependerem mais da ação muscular do que da integridade das estruturas articulares.² A ativação simultânea dos músculos escapulotorácicos (como os músculos levantador da escápula, porções ascendente, transversa e descendente do trapézio, rombóides e serrátil anterior) contribui para a mobilidade e estabilidade do ombro as quais são necessárias durante atividades funcionais.^{1,2} Alterações na coordenação entre pares musculares sinérgicos podem conduzir a modificações na cinemática escapular e nos padrões de recrutamento muscular.⁵

Considerando observações clínicas de que os indivíduos com disfunções no complexo do ombro descrevem o movimento de retorno da elevação dos MMSS, principalmente em amplitude intermediárias, como mais dolorosos que a elevação, o estudo das características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o movimento de retorno dos MMSS pode contribuir para a tomada de decisões clínicas adequadas e específicas. Além disso, permite compreender a cinemática e a ação da musculatura estabilizadora da escápula durante a atividade muscular excêntrica que ocorre no retorno da elevação dos MMSS.⁶

Estudos prévios descreveram e encontraram diferenças significativas entre os movimentos de elevação e retorno dos MMSS, os quais se caracterizaram por reversão dos movimentos que ocorrem durante a elevação.^{6,7} Dessa forma, a compreensão das características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos MMSS é importante para ampliação do conhecimento sobre os movimentos humanos, principalmente, em uma região essencial ao desempenho funcional, como o complexo articular do ombro.^{1,2}

Vários estudos têm investigado as características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante a elevação dos MMSS⁵⁻⁸ e recentes revisões da literatura têm contribuído para a consolidação do conhecimento com relação às características biomecânicas, principalmente da cinemática e atividade muscular, durante a elevação dos MMSS.^{9,10} Entretanto, o movimento de retorno é tão importante quanto o de elevação, já que sucede o mesmo e apresenta associação com queixas específicas dos indivíduos.^{6,7}

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura sobre as características biomecânicas da articulação escapulotorácica no retorno da elevação dos MMSS em indivíduos saudáveis e com disfunções no complexo articular do ombro.

MÉTODO

Foram realizadas pesquisas nas bases de dados MedLine (PubMed), LILACS, Scielo e PEDro para a busca de estudos que avaliaram características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos MMSS. Foram elaboradas estratégias de busca específicas para cada uma das bases de dados usando a combinação das seguintes palavras-chave: “*lowering of the arms*”, “*elevation of the arms*”, “*adduction of the arms*”, “*biomechanics*”, “*Kinematics*”, “*kinetics*”, “*electromyography*”, “*muscular activity*”, “*movement*”, “*motion analysis*”, “*scapulo-humeral rhythm*”, “*scapula*” e “*scapulothoracic*”.

Os critérios de inclusão dos estudos foram os seguintes: ter realizado a avaliação de alguma característica biomecânica da articulação escapulotorácica no retorno da elevação dos MMSS em indivíduos saudáveis e /ou com disfunções no complexo articular do ombro, ter sido publicado nos idiomas inglês, espanhol, francês ou português até agosto de 2010

nas bases de dados eletrônicas pesquisadas. Foram excluídos estudos em que a avaliação dos participantes foi realizada em decúbito, estudos em que os participantes apresentavam prótese no complexo articular do ombro e em que houve restrição do movimento da articulação escapulotorácica, como, por exemplo, pelo uso de “*tapping*.” Restrição do movimento consiste em não permitir que a articulação e músculos associados se movam através da amplitude completa de movimento.¹¹

A seleção dos estudos a serem incluídos na presente revisão foi realizada em cinco etapas distintas. A primeira etapa consistiu em realizar buscas nas bases de dados selecionadas. Na segunda etapa, foi realizada a leitura dos títulos de todos os estudos encontrados e excluídos aqueles que não atendiam aos critérios de inclusão previamente estabelecidos. Na terceira etapa, foi realizada a leitura crítica dos resumos dos artigos para confirmar se atendiam aos critérios de inclusão. A quarta etapa consistiu na leitura completa dos estudos selecionados nas etapas anteriores. A quinta e última etapa consistiu na busca manual, utilizando as referências de todos os artigos incluídos na etapa anterior. Todas as etapas foram realizadas por dois avaliadores independentemente, sendo ambos fisioterapeutas.

RESULTADOS

Na primeira etapa, a pesquisa realizada retornou 232 estudos no total, sendo 177 citados na base de dados Medline (PubMed), 21 na PEDro, 14 na Scielo e 20 na LILACS, sendo que 222 estudos eram diferentes. Na segunda etapa da seleção, foram excluídos 128, restando 94 estudos para leitura dos resumos. Após a terceira etapa, foram excluídos 79 estudos, restando 15 para leitura dos textos na íntegra. Desses estudos, foram excluídos três na quarta etapa. Na quinta etapa, foram selecionados três estudos através de busca manual, sendo excluído um por não estar disponível por nenhum método de acesso até o desenvolvimento desta revisão. Dessa forma, esta revisão foi realizada com um total de 14 estudos.

As características dos estudos selecionados foram apresentadas na Tabela 1. Como pode ser observado neste quadro, o primeiro estudo encontrado que investigou o retorno da elevação dos MMSS foi publicado em 1990.¹² Todos os estudos incluídos na presente revisão apresentaram avaliação do movimento de retorno da elevação dos MMSS de forma dinâmica.^{6-8,12-22} Além disso, em todos os estudos que apresentaram os desfechos cinemáticos,

foi utilizado o sistema eletromagnético para a avaliação^{6,7,8,18,16,20,21,19} e em todos os estudos que apresentaram os desfechos de atividade muscular foi utilizada a eletromiografia de superfície^{12-15,17,19,20,22} (Tabela 1).

Os dados eletromiográficos foram apresentados considerando a quantidade de ativação isolada dos músculos analisados a partir do percentual de contração isométrica voluntária máxima (% CIVM) em quatro estudos^{14,15,17,22} e a quantidade de ativação simultânea (co-ativação) entre músculos sinérgicos em três estudos.^{13,17,19}

Entretanto, a forma como a atividade simultânea foi operacionalizada foi diferente em um dos estudos¹⁹ que apresentou os dados eletromiográficos como percentual da atividade eletromiográfica integrada (%EMGI), sendo a atividade eletromiográfica calculada baseando-se na EMGI de 100% para cada músculo na amplitude de 120° ao máximo de elevação, enquanto os outros estudos utilizaram o percentual da contração isométrica voluntária máxima.^{14,15,17,22}

Cinemática e atividade muscular da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores em indivíduos saudáveis

A cinemática e/ou atividade muscular escapulotorácica durante o retorno da elevação dos MMSS em indivíduos saudáveis foi investigada em 10 estudos^{7,8,12-14,16,19-22} que são apresentados na Tabela 2, sendo que dois desses estudos avaliaram tanto a cinemática quanto a atividade muscular,^{19,20} quatro apenas a cinemática^{7,8,16,21} e quatro apenas a atividade muscular.^{12,13,14,22}

Seis estudos avaliaram a cinemática da articulação escapulotorácica e descreveram os movimentos tridimensionais da escápula durante o retorno da elevação dos MMSS.^{7,8,16,19-21}

Em síntese, todos esses estudos demonstraram que, durante o retorno, ocorreram os movimentos de rotação inferior, através do eixo perpendicular ao plano da escápula, inclinação anterior, pelo eixo medial-lateral, e rotação interna, através do eixo vertical, durante os movimentos realizados no plano frontal (retorno da abdução dos MMSS), sagital (retorno da flexão dos MMSS) e no plano escapular.^{7,8,16,19,21}

No início do retorno da elevação dos MMSS ocorre aumento da rotação interna escapular em relação ao tórax, através do eixo vertical, que se mantém ao longo do movimento, progredindo com leve aumento da rotação externa ao término do retorno.^{7,8,16}

McClure PW, et al⁷ compararam os movimentos de elevação e retorno dos MMSS, encontrando diferença na orientação escapular entre esses dois movimentos, sendo, em média, 5° maior no retorno para o

Tabela 1 – Características dos estudos que apresentaram investigação das características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores

Estudo	Método de Medida	Dados Cinemáticos	Desfechos Biomecânicos
Bull ML, et al (1990) ¹²	Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno do movimento de elevação máxima no plano escapular e no plano sagital	Atividade EMG do músculo TA e porção inferior do músculo SA
Filho JG, et al (1991) ¹³	Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno do movimento de elevação máxima no plano escapular e no plano sagital	Atividade EMG isolada dos músculos TT, TA e TD
Borstad JD, Ludewig PM (2002) ⁶	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno do movimento de elevação no plano escapular: ADM: 120°- 40° Ângulos de mensuração: 120°, 100°, 80°, 60° e 40°	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa
McClure PW, et al (2004) ⁷	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno do movimento de elevação no plano escapular ADM: 147°-11° Retorno do movimento de elevação no plano sagital: ADM: 153°-16°	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa
Faria CDCM, et al (2008) ¹⁴	Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno da elevação completa no plano escapular Fases: início-150°, 150°-120° 120°-90°, 90°-60° 60°-30°, 30° - final	Atividade EMG isolada (% CIVM) dos músculos SA, TT, TA e TD
Faria CDCM, et al (2008) ¹⁵	Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno da elevação completa no plano escapular Fases: início-150° 150°-120°, 120°-90° 90°-60°, 60°-30° 30° - final	Atividade EMG isolada (% CIVM) dos músculos SA, TT, TA e TD Coativação dos pares TA/ SA e TT/ SA
Braman JP, et al (2009) ¹⁶	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno da elevação para alcançar objeto em prateleira alta sem restrição do plano de movimento ADM: 150°- 0°	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa
Ludewig PM, et al (2009) ⁸	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno da elevação no plano escapular, no plano sagital (retorno da flexão) e no plano frontal (retorno da abdução) ADM: 120° - mínimo.	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa
Szucs K, et al (2009) ¹⁷	Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno da elevação máxima no plano escapular: pré e pós tarefa de fadiga Ângulos: 120°, 90°, 60° e 30°	Atividade normalizada pela CIVM dos músculos serrátil anterior, porção ascendente e descendente do músculo trapézio. Coativação (relação da ativação média entre SA/ TS, SA/ TI e TS/ TI)
Borstad JD, et al (2009) ¹⁸	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno da elevação máxima no plano escapular em tarefa de fadiga Ângulos: 120°, 90°, 60° e 30°	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa
Yoshizaki K, et al (2009) ¹⁹	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno da elevação completa no plano escapular	Rotação superior/inferior Atividade EMG (%EMG) dos músculos TS e TD e porção inferior do músculo SA
Ebaugh DD, Spinelli BA (2010) ²⁰	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético Eletromiografia de superfície durante o movimento dinâmico	Retorno da elevação completa no plano escapular em tarefa de alcance sentado em cadeira (sem contato com a escápula) Ângulos: 130°, 90°, 50° e 30°	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa Atividade EMG dos músculos TA, TD e SA
Yano Y, et al (2010) ²¹	Medida tridimensional dinâmica – Sistema eletromagnético	Retorno da elevação completa no plano escapular	Inclinação anterior/ posterior, rotação superior/ inferior, rotação interna/externa

GC: Grupo Controle; SI: síndrome do impacto; CIVM: contração isométrica voluntária máxima; SA: Serrátil Anterior; TT: Trapézio Transverso; TA: Trapézio Ascendente; TD: Trapézio Descendente; SI: síndrome do impacto, EMG: atividade eletromiográfica, EMGI: atividade eletromiográfica integrada

movimento de rotação superior durante amplitudes médias de retorno da elevação de 60° e 120° nos planos sagital e frontal. Braman et al,¹⁶ avaliaram a relação entre a elevação glenoumeral e a rotação superior escapular durante os movimentos de elevação e retorno dos MMSS. Esses autores encontra-

ram uma relação de 0.37° de rotação inferior escapulotorácica para cada grau de movimento umeral durante o retorno e 0.43° de rotação superior na elevação, indicando que maior contribuição da articulação escapulotorácica ocorreu durante a elevação quando comparado ao retorno.

Por outro lado, Ludewig PM, et al⁸ relataram maior inclinação posterior da escápula, em média de 2°, durante o retorno quando comparado à elevação. Esses autores também compararam os movimentos de retorno da elevação nos planos frontal, sagital e escapular, encontrando maior rotação interna da articulação escapulo-

Tabela 2 - Resultados dos estudos que apresentaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores em indivíduos saudáveis

Estudo	Resultados
Bull ML, et al (1990) ¹²	Apenas análise descritiva: Diminuição gradativa da atividade EMG da porção ascendente do músculo trapézio e da porção inferior do músculo serrátil anterior. Retorno da elevação no plano escapular: TA: atividade EMG cessou no término do retorno em 13 participantes ou antes do término em 12 participantes Porção inferior de SA: atividade EMG cessou antes do término da adução Retorno da flexão no plano sagital: TA: a atividade EMG cessou no término da extensão em 13 participantes ou antes do término em 12 participantes Porção inferior de SA: atividade EMG cessou antes do término, com exceção de dois participantes. Nos casos em que ambos os músculos cessaram a atividade EMG antes do término, a atividade da porção inferior de SA cessou antes de TA nos movimentos de retorno da elevação no plano escapular e de retorno da flexão.
Filho JG, et al (1991) ¹³	Apenas análise descritiva: Diminuição gradativa da atividade EMG de todas as porções do músculo trapézio durante o retorno do movimento de elevação máxima no plano escapular e no plano sagital (retorno da flexão)
McClure PW, et al (2001) ⁷	Apenas análise descritiva: Reversão dos movimentos de rotação superior rotação externa e inclinação posterior durante o retorno da elevação no plano escapular, no plano sagital (retorno da flexão) e no plano frontal (retorno da abdução) Plano escapular: reversão dos movimentos de rotação superior Em média (DP): 50° (4,8), rotação externa em média: 24° (12,8) e inclinação posterior em média: 30° (13) no plano escapular Orientação escapular maior, em média de 5°, sendo maior para o movimento de rotação superior aos 120° e 60° de posicionamento umeral no retorno, independente do plano de realização do movimento
Faria CDCM, et al (2009) ²²	SA: atividade EMG média de 27,44 ± 10,21% da CIVM TA: atividade EMG média de 18,43 ± 8,0% da CIVM TT: atividade EMG média de 11,89 ± 7,0% da CIVM TD: atividade EMG média de 19,82 ± 16,98% da CIVM TA/TT/TD: média de 3,14 ± 1,31% da CIVM TA/SA: média de 6,86 ± 1,78% da CIVM TT/SA: média de 4,89 ± 1,92% da CIVM Diferença estatisticamente significativa entre quantidade de atividade EMG isolada e coativação (p<0,001) e diferença significativa entre cada par sinérgico (p<0,002). Descritivamente, houve diminuição progressiva da coativação no retorno e aumento durante a elevação. A quantidade de coativação foi significativamente diferente entre elevação e retorno (p<0,002).
Braman JP, et al (2009) ¹⁶	Descritivamente, houve aumento da rotação interna escapular do início do retorno até 130° de posicionamento glenoumeral, seguido por gradual redução da rotação interna escapular. Estatisticamente, não houve diferença significativa entre elevação e retorno para rotação interna e inclinação posterior. Valor mínimo de 33,2° ± 5,2 e máximo 42,8° ± 8,7 (p< 0,05) para rotação interna. Redução do movimento de inclinação posterior com inclinação anterior máxima de -11,8° ± 4,9 aos 15° e inclinação posterior máxima de 9,8° ± 7,5° aos 145° de posicionamento umeral.
Yoshizaki K, et al (2009) ¹⁹	Retorno do movimento de rotação superior em média de 32,2° ± 5,6° para o lado dominante e 31,8° ± 5,8° para o lado não dominante. Não houve diferença estatisticamente significativa para o movimento de rotação superior entre lados. Descritivamente, houve declínio gradual da atividade EMG de todos os músculos e atividade EMG menor, quando comparado à elevação. Houve diferença estatisticamente significativa na atividade EMG da porção descendente do músculo trapézio entre lado dominante e não dominante (p<0,049), sendo menor no lado não dominante.
Ebaugh DD, Spinelli BA (2010) ²⁰	Rotação externa escapular significativamente maior (p<0,01) em média 3,3° no retorno, quando comparado à elevação. Não houve diferença significativa entre as fases de elevação e retorno para rotação superior e inclinação posterior Quantidade de atividade EMG durante o retorno significativamente menor dos músculos serrátil anterior, em média 48,9±/- 6,1 mV, porção ascendente do trapézio, em média 71,8 +/- 13,2 mV e porção descendente do trapézio, em média 45,3 +/- 12,3 mV, em relação à elevação. Redução de 61%, 42% e 39% na atividade EMG para as porções ascendente e descendente do músculo trapézio e do músculo serrátil anterior, respectivamente.
Yano Y, et al (2010) ²¹	Reversão dos movimentos de rotação superior em média de 37,6 ± 7,2° no lado dominante e 44,8° ± 6,8° no lado não dominante; rotação interna em média de 37,9 ± 6,5° no lado dominante e 39,5 ± 5,9° no lado não dominante; inclinação posterior em média de 36,8 ± 12,2° para o lado dominante e de 37,1 ± 12° no lado não dominante. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os lados para rotação superior (p=0,24), inclinação posterior (p=0,07) e rotação interna (p=0,98) Fase terminal do retorno: Escápulas bilaterais rodaram superiormente em 9 participantes, ocorrendo mais movimento articular glenoumeral e menos movimento escapular (tipo glenoumeral). Escápulas bilaterais não rodaram inferiormente em 4 participantes, ocorrendo mais movimento articular escapular e menos movimento glenoumeral (tipo escapulotorácico). Em 8 participantes ocorreram movimentos distintos entre lado dominante e lado não dominante. Diferença significativa entre os dois tipos de movimento glenoumeral e escapulotorácico (p<0,02). Vinte e seis ombros tipo glenoumeral e dezesseis ombros tipo escapulotorácico.

DP: desvio padrão, EMG: eletromiografia, SA: Serrátil Anterior, TT: Trapézio Transverso; TA: Trapézio Ascendente; TD: Trapézio Descendente

torácica durante o retorno da flexão (diferença média de 7°) e menor rotação interna durante o retorno da abdução dos MMSS (diferença média de 7.5°) em relação ao plano escapular.

Yano Y, et al²¹ identificaram dois tipos distintos de movimento escapular no término do retorno em indivíduos saudáveis, que consistiram na presença de rotação superior e ausência de rotação superior escapular. Esses autores também identificaram dois tipos de movimentos durante a elevação e o retorno dos MMSS: escapulotorácico e glenoumeral. O primeiro tipo se caracterizou por mais movimento escapular e menos movimento glenoumeral, enquanto o tipo glenoumeral se caracterizou por menos movimento escapular e mais movimento glenoumeral.²¹ A atividade muscular escapulotorácica foi investigada em seis estudos.^{12-14,19,20,22}

Em síntese, todos eles demonstraram que ocorreu declínio gradual da quantidade de atividade eletromiográfica dos músculos estabilizadores da escápula (trapézio ascendente, transverso, descendente e serrátil anterior) durante o retorno da elevação dos MMSS no plano escapular, além de menor quantidade de atividade eletromiográfica quando comparado ao movimento de elevação.

Faria CDCM, et al¹⁴ não encontraram diferenças significativas na atividade muscular (% CIVM) da porção ascendente do músculo trapézio nas fases entre os ângulos de 150° e 90° na qual houve níveis similares de atividade muscular com redução significativa da atividade eletromiográfica nas demais fases do retorno da elevação dos MMSS. A porção transversa do músculo trapézio apresentou maior similaridade na quantidade de atividade muscular entre todas as fases durante o retorno, ocorrendo diferença significativa apenas nas fases entre início do retorno até o ângulo de 90° e de fases entre 60° e o término do movimento.

A atividade da porção descendente do músculo trapézio também foi estudada pelos autores, demonstrando redução significativa na quantidade de atividade eletromiográfica nas fases entre o início do retorno até 90° e do ângulo de 90° ao término do movimento de retorno e nas fases entre 90° ao término do movimento. O músculo serrátil anterior apresentou a maior redução na quantidade de atividade eletromiográfica, sendo o único músculo que apresentou diminuição significativa dos níveis de atividade eletromiográfica entre todas as fases analisadas.¹⁴

A coativação entre pares sinérgicos formados pelos músculos serrátil anterior e as porções ascendente, descendente e transversa do músculo trapézio foi investigada em outro estudo dos mesmos autores citados anterior-

mente.²² A quantidade de coativação foi significativamente menor que a atividade muscular isolada, com diminuição progressiva de ambas durante o movimento de retorno. Além disso, os níveis de coativação de cada grupo sinérgico foram significativamente diferentes durante o retorno dos MMSS.²²

Um dos estudos evidenciou que a atividade muscular da porção ascendente do músculo trapézio e da porção inferior do músculo serrátil anterior cessou antes do término do retorno em alguns participantes. Nesses casos a atividade do músculo serrátil anterior cessou antes da porção ascendente do músculo trapézio.¹²

Em três estudos^{14,19,21} houve a comparação da cinemática e da quantidade de atividade muscular da articulação escapulotorácica entre lados dominante e não dominante. Em dois estudos^{14,21} não foi encontrada diferença significativa entre lados com relação à cinemática²¹ e à atividade muscular,¹⁴ mas em um estudo¹⁹ houve diferença significativa entre o lado dominante e o não dominante para a atividade eletromiográfica. A atividade da porção descendente do músculo trapézio foi menor no lado não dominante quando comparado ao lado dominante durante o retorno.¹⁹

Cinemática e atividade muscular da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores após tarefa de fadiga

De acordo com a literatura pesquisada, dois estudos^{17,18} avaliaram o retorno da elevação dos MMSS em uma condição especial de avaliação da cinemática¹⁸ e da atividade muscular¹⁷ após uma tarefa de fadiga da musculatura escapulotorácica. A tarefa de fadiga que precedeu a avaliação das características biomecânicas durante o retorno da elevação consistiu em manter isometricamente a posição de "push-up", modificada por apoiar os pés em "step" com a intenção de manter a relação angular de 90° entre a posição do úmero e o tronco.^{17,18}

Borstad et al, evidenciaram que a tarefa de fadiga contribuiu significativamente para o aumento na quantidade de rotação interna e redução da quantidade de inclinação posterior nos maiores ângulos de posicionamento glenoumeral durante o retorno da elevação dos MMSS. Os autores também encontraram efeito significativo do tempo nesses movimentos, indicando que a tarefa contribuiu para aumentar a taxa de rotação interna e inclinação da articulação escapulotorácica durante o retorno. Entretanto, não houve interação ou efeitos principais significativos entre a tarefa de fadiga e o movimento de rotação inferior da escápula.¹⁸

Cinemática e atividade muscular da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro

Dois estudos^{6,15} investigaram características biomecânicas, sendo que um deles investigou a cinemática⁶ e o outro a atividade muscular escapulotorácica,¹⁵ durante o retorno da elevação dos MMSS em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro (Tabela 3). Os dois estudos^{6,15} que investigaram esses desfechos durante o retorno da elevação dos MMSS compararam indivíduos saudáveis com indivíduos com síndrome do impacto no ombro.

Borstad & Ludewig⁶ avaliaram a cinemática escapular durante o retorno dos MMSS em trabalhadores sintomáticos e assintomáticos com exposição a realização de trabalho acima da cabeça. Os autores desse estudo compararam a orientação escapular em diferentes posições glenoumerais (120°, 100°, 80°, 60° e 40°) e evidenciaram diferenças significativas na rotação interna escapular durante o retorno aos 100° de posicionamento umeral, ocorrendo, em média, 1,2° a mais desse movimento em ambos os grupos. O grupo com síndrome do impacto apresentou alteração significativa na cinemática da articulação escapulotorácica quando comparado ao grupo de indivíduos assintomáticos, em média, 1,8° a mais de rotação interna apenas no posicionamento glenoumeral de 120° quando comparado ao grupo controle durante o retorno da elevação dos MMSS.⁶

Faria et al¹⁵ compararam a atividade muscular isolada dos músculos serrátil anterior e porções ascendente, transversa e descendente do músculo trapézio e a coativação dos pares sinérgicos serrátil anterior / porções ascendente e serrátil anterior / porção transversa do músculo trapézio durante o retorno entre indivíduos saudáveis e com síndrome do impacto no ombro durante o retorno. Os autores não encontraram diferença significativa entre grupos na atividade eletromiográfica isolada de todos os músculos avaliados e na coativação da porção ascendente do músculo trapézio / serrátil anterior.

Foram evidenciadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos na coativação entre os músculos trapézio transverso / serrátil anterior, sendo significativamente menor no grupo com síndrome do impacto. Houve redução na atividade eletromiográfica durante o movimento completo de retorno dos membros superiores em ambos os grupos e lados, exceto entre as fases de 150° e 120° e 120° e 90°.¹⁵

Tabela 3 - Resultados dos estudos que apresentaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos membros superiores em indivíduos com disfunções do complexo articular do ombro

Estudo	Resultados
Borstad JD & Ludewig PM (2002) ²	Não houve diferença estatisticamente significativa para rotação superior/ inferior entre elevação e retorno. Grupo sintomático apresentou aumento estatisticamente significativo na rotação inferior aos 40° e 60° do posicionamento glenoumeral na fase excêntrica (p<0,05), quando comparado ao grupo assintomático. Nenhum grupo apresentou efeito de fase ou de interação com fase para os ângulos de 40°, 60° ou 80°. Aumento significativo da rotação interna no posicionamento umeral aos 100° em ambos os grupos (1,2°, erro padrão de 0,5°; p<0,05) e no ângulo de 120° somente no grupo sintomático (1,8°, erro padrão de 0,5°; p<0,05). Redução significativa na inclinação anterior em ambos os grupos aos 120 (p<0,0001), 100° (p< 0,0001) e 80° (p<0,001). Com redução média de 2,7°, 2,5°, 1,3° e erro padrão médio de 0,45°, 0,45° e 0,35°, respectivamente. Não houve diferença significativa entre grupos para inclinação anterior.
Faria CDCM, et al (2008) ¹⁵	Não houve diferença estatisticamente significativa entre grupos, entre lados e entre grupos e lados para a atividade EMG de todos os músculos. Nenhuma diferença significativa da atividade EMG isolada dos músculos serrátil anterior e porções descendente, transversa e ascendente do músculo trapézio. Diferenças estatisticamente significativas entre grupos para coativação de TT/SA (p=0,02). Nenhuma diferença significativa entre lados e nenhuma interação significativa entre grupos e lados. Descritivamente, houve redução gradual da coativação TT/SA com diferenças estatisticamente significativas entre fases (p<0,013), exceto entre as fases 2 e 3 (p=0,06). Nenhuma diferença significativa na coativação da porção ascendente do músculo trapézio e do músculo serrátil anterior. Não houve diferenças entre lados, nem interação significativas entre grupos e fases, lados e fases ou grupos, lados e fases.

SA: Serrátil Anterior, TT: Trapézio Transverso; TA: Trapézio Ascendente; TD: Trapézio Descendente

DISCUSSÃO

As características biomecânicas da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos MMSS reportadas pelos estudos incluídos nesta revisão da literatura foram a cinemática e a atividade muscular. A cinemática permite a descrição dos movimentos, podendo incluir variáveis como tipo de movimento (rotação ou translação), localização (planos frontal, sagital ou transverso), direção e quantidade de movimento (deslocamentos ou velocidade angular).² A atividade muscular avaliada por meio da eletromiografia permite registrar e quantificar a ação muscular isolada e os padrões de contração e relaxamento de vários músculos agindo simultaneamente durante os movimentos. Quando usada em combinação com medidas cinéticas e/ou cinemáticas, como instrumentação para mensuração de torque e sistemas de análise do movimento, esses estudos fornecem maior compreensão da função muscular.²³

Apenas em 1990 foi publicado o primeiro estudo¹² sobre o retorno da elevação dos MMSS, enquanto o primeiro estudo sobre a elevação dos MMSS foi publicado em 1944,²⁴ o que ilustra um atraso importante na investigação das especificidades relacionadas ao retorno da elevação. Apesar da escassez de estudos que avaliaram as características bio-

mecânicas da articulação escapulotorácica no retorno da elevação dos MMSS, nos últimos anos, têm crescido o número de estudos que avaliaram ambos os movimentos de elevação e retorno da elevação dos MMSS. Possivelmente, este aumento no interesse pelo movimento de retorno da elevação dos MMSS possa ser justificado pelo fato de que observações clínicas indicam mudanças perceptíveis na cinemática da articulação escapulotorácica e que indivíduos com disfunções no complexo do ombro descrevem o movimento de retorno da elevação dos MMSS como mais doloroso que a elevação.^{6,7,15}

Segundo os resultados dos 14 estudos^{6,7,8,12-22} incluídos nesta revisão, os movimentos tridimensionais da articulação escapulotorácica durante o retorno da elevação dos MMSS envolvem a combinação de rotação inferior, inclinação anterior e rotação interna.

O movimento predominante foi a rotação inferior da escápula^{6-8,16} e foi observada grande variabilidade entre os estudos na descrição do movimento de rotação interna da escápula,^{6-8,20,21} possivelmente pelas características dos participantes, planos em que foram avaliados os movimentos e as fases selecionadas durante o movimento de retorno da elevação dos membros superiores.^{7,8,16,19-21}

A atividade muscular e co-ativação dos músculos escapulotorácicos reduz gradual-

mente durante o movimento de retorno da elevação dos MMSS.^{12-14,19,20,22}

A quantidade de atividade eletromiográfica durante o retorno foi menor quando comparado a fase de elevação.^{14,19,20,22}

Os estudos que avaliaram os movimentos tridimensionais da articulação escapulotorácica em indivíduos saudáveis evidenciaram que as suas posições angulares entre os movimentos de elevação e retorno apresentam diferenças, principalmente para os movimentos de rotação interna e inclinação anterior, e o retorno resulta em reversão dos movimentos que ocorrem durante a elevação dos MMSS.^{7,8,16} Em indivíduos com síndrome do impacto no ombro foram encontradas diferenças significativas no movimento de rotação interna e rotação inferior durante o retorno da elevação dos MMSS.⁶

Borstad & Ludewig⁶ evidenciaram aumento significativo na rotação interna escapular no ângulo glenoumeral de 120° e na rotação inferior nos ângulos 40° e 60° de posicionamento glenoumeral em trabalhadores sintomáticos com síndrome do impacto expostos a realização de atividade ocupacionais acima da cabeça quando comparados a indivíduos assintomáticos. Esses resultados sugerem que mecanismos biomecânicos que alteram os movimentos da articulação escapulotorácica durante o retorno estão presentes em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro. O movimento do acrômio em direção anterior é um mecanismo que favorece o impacto de tecidos e redução do espaço subacromial, como ocorre no movimento de rotação interna escapular.⁶

A atividade dos músculos serrátil anterior e porções transversa, descendente e ascendente do músculo trapézio declinou gradualmente durante o retorno, apresentando padrões específicos de atividade eletromiográfica.^{14,15,22} A quantidade de atividade muscular na fase de retorno foi menor quando comparado a fase de elevação.

De acordo com Faria et al,¹⁴ esses resultados podem estar relacionados com a diferença no tipo de contração muscular. Durante o movimento de retorno da elevação, a contração excêntrica que ocorre tem parte da energia proveniente de componentes elásticos, os quais não são quantificados pela eletromiografia de superfície. Além disso, durante a atividade muscular concêntrica, as forças gravitacionais estão resistindo ao movimento, enquanto na atividade muscular excêntrica elas assistem o movimento dos MMSS, reduzindo a demanda de atividade muscular.¹⁴

A atividade eletromiográfica de todos os músculos no início da elevação parece ser diferente da atividade no término do retorno,

apresentando um padrão reverso ao da elevação com maior ativação muscular no início e menor ativação no final do retorno.¹⁴ De acordo com Faria et al,¹⁴ isso pode estar relacionado ao tipo de contração muscular em cada movimento, a diferenças cinemáticas, às relações entre o comprimento do braço de força rotatória muscular e o centro instantâneo de rotação descritos por Bagg & Forrest.²⁵

Considerando as descrições biomecânicas realizadas por Bagg & Forrest,²⁵ durante a elevação, o centro instantâneo de rotação inicialmente localiza-se próximo à raiz da espinha da escápula e gradualmente, com a elevação dos membros superiores, desloca-se em direção à região da articulação acromioclavicular. Essa mudança altera o comprimento do braço de força rotatória dos músculos escapulotorácicos. O músculo serrátil anterior é o único que se mantém em vantagem mecânica durante todo o movimento de elevação, o que pode explicar o aumento progressivo em sua atividade eletromiográfica²⁵ ao longo da elevação dos MMSS.

Inicialmente, o músculo serrátil anterior e a porção ascendente do músculo trapézio apresentam comprimento adequado do braço de força para realizar rotação superior da escápula. Entretanto, a mudança do centro instantâneo de rotação em direção a articulação acromioclavicular após 90° de elevação umeral reduz o comprimento do braço de força da porção ascendente do músculo trapézio e aumenta o da porção descendente do músculo trapézio. Portanto, o pareamento de forças entre os músculos serrátil anterior/porção ascendente do trapézio no início da elevação altera gradualmente para o pareamento entre serrátil anterior/ porção descendente do trapézio ao final do movimento completo de elevação umeral em pessoas saudáveis.²⁵ A atividade eletromiográfica apresenta-se similar quando o músculo não tem braço de força rotatória.²⁵

O músculo serrátil anterior apresenta vantagem mecânica durante todas as fases do movimento de retorno, mesmo com a mudança do centro instantâneo de rotação. Isso explica a diminuição significativa da atividade eletromiográfica entre todas as fases do retorno.¹⁴ O comprimento do braço de força das diferentes porções do músculo trapézio difere devido à mudança na localização do centro instantâneo de rotação. A porção ascendente do músculo trapézio apresenta atividade muscular similar nas fases entre os ângulos de 150° e 90° nas quais sua posição não apresenta vantagem mecânica, com redução significativa nas demais fases do retorno da elevação dos MMSS.¹⁴ A porção descendente do músculo trapézio apresentou redução significativa na atividade eletromiográfica entre as fases do início do retorno até 90° e do ângulo de 90° ao término do movimento.¹⁴ De acordo com a localização do centro instantâneo de rotação, o trapézio descendente tem maior braço de força rotatória acima do ângulo de 90° de posicionamento glenoumeral.

Entretanto, Faria et al,¹⁴ encontraram diferenças significativas da atividade eletromiográfica da porção descendente entre as fases de 90° ao término do retorno, indicando a ação da porção descendente até o término do movimento de retorno da elevação dos MMSS. A porção transversa do músculo trapézio apresentou longo platô, indicando maior similaridade entre as fases. Diferenças significativas de atividade eletromiográfica da porção transversa do músculo trapézio foram encontradas entre fases do início ao ângulo de 90° e entre 60° e o término do movimento de retorno dos MMSS.¹⁴

O único estudo encontrado que comparou atividade muscular isolada e coativação entre indivíduos com e sem síndrome do impacto foi realizado por Faria CDCM, et al¹⁵ Os autores evidenciaram diferenças significativas entre grupos somente na quantidade de coativação do par de músculos trapézio transverso/serrátil anterior, cuja coativação foi significativamente menor durante o movimento de retorno nos indivíduos com síndrome do impacto, exceto entre os ângulos de 150° e 90°.¹⁵ Entretanto, os autores do estudo não avaliaram a coativação entre os músculos serrátil anterior e trapézio descendente.

Borstad & Ludewig⁶ encontraram aumento significativo da rotação interna em indivíduos com síndrome do impacto no ângulo de 120° de posicionamento glenoumeral, que leva a maior deslocamento posterior da borda medial. Esses autores também evidenciaram aumento significativo da rotação inferior aos 40° e 60° de posicionamento glenoumeral no grupo sintomático, quando comparado ao grupo assintomático.

A rotação inferior da escápula durante o retorno da elevação dos MMSS é realizada, principalmente, pelos músculos trapézio ascendente e serrátil anterior.² Em condições em que são avaliados os movimentos funcionais como no retorno da elevação dos MMSS, os músculos não se contraem isoladamente.

De acordo com Faria et al,¹⁵ a coativação eletromiográfica de pares sinérgicos deve ser considerada ao comparar grupos de indivíduos com e sem síndrome do impacto, pois a atividade muscular isolada pode não representar características clínicas e funcionais relevantes. Um estudo¹² evidenciou que a atividade muscular ao término do retorno varia entre indivíduos saudáveis e evidenciou que em alguns

indivíduos a atividade do músculo serrátil anterior cessou antes da porção ascendente do músculo trapézio ascendente. Dessa forma, a atividade muscular reduzida ou ausente desses músculos pode contribuir para aumentar a rotação inferior no término do retorno.

A fadiga muscular é uma condição que pode contribuir para o desequilíbrio na ação dos músculos da articulação escapulotorácica e disfunções cinemáticas associadas.¹⁸ Ela reduz a capacidade do músculo de produzir força e a atividade eletromiográfica costuma aumentar a medida que o músculo se fadiga porque, na tentativa de manter o nível de tensão ativa no músculo, outras unidades motoras são recrutadas para compensar a força de contração diminuída das fibras fatigadas.²³

Dois estudos avaliaram a cinemática¹⁸ e atividade muscular¹⁷ após tarefa de fadiga em indivíduos saudáveis, que consistiu em manter isometricamente a posição de "push-up". A tarefa de fadiga aumentou a quantidade de rotação interna e reduziu a inclinação posterior nos maiores ângulos glenoumerais durante o movimento de retorno da elevação dos MMSS.¹⁸

A tarefa contribuiu para o aumento na atividade eletromiográfica do músculo trapézio ascendente nos ângulos glenoumerais de 120°, 90° e 60° durante o retorno da elevação dos MMSS e houve redução significativa na coativação do par sinérgico serrátil anterior/trapézio descendente após a tarefa.¹⁷

Considerando a literatura pesquisada nesta revisão, é evidente a necessidade de padronização da terminologia usada para a descrição dos movimentos da articulação escapulotorácica devido à variabilidade entre os estudos.

A Sociedade Internacional de Biomecânica²⁶ apresenta recomendações para a padronização desses termos, considerando o movimento da escápula em relação ao tórax. Recentes estudos que avaliaram a cinemática escapulotorácica têm utilizado essas recomendações,^{8,16} enquanto outros estudos consideraram o movimento da articulação escapulotorácica em relação à coluna vertebral.^{21,19}

Devido à variação da terminologia, deve-se discernir corretamente a referência usada para descrição dos movimentos de rotação interna e rotação externa da escápula. Esta revisão da literatura utilizou as recomendações da Sociedade Internacional de Biomecânica²⁶ para a descrição dos movimentos da articulação escapulotorácica. Outra limitação encontrada nos estudos incluídos nesta revisão foi a variabilidade das posições de avaliação e planos de movimento, que foram padronizados em alguns estudos^{14,15,22} enquanto em outros estudos^{16,20} não houve padronização e consistiu na

realização de atividades funcionais. A ausência de padronização nas posições de avaliação e planos de movimento limita a comparação dos resultados dos estudos.

Além disso, é importante apontar que a escassez de estudos que avaliaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro limita a compreensão da cinemática e atividade muscular nessa população específica. Além de terem sido encontrados apenas dois estudos^{6,15} que investigaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro, ambos incluíam indivíduos com síndrome do impacto do ombro, enquanto indivíduos com outras condições de saúde relacionadas a disfunções no complexo do ombro ainda não foram incluídos nos estudos.

CONCLUSÃO

Os movimentos tridimensionais que ocorrem durante o retorno da elevação dos MMSS envolvem a combinação de rotação inferior (eixo perpendicular ao plano da escápula), inclinação anterior (eixo mediolateral) e rotação interna (eixo vertical), seja no plano frontal (retorno da abdução), sagital (retorno da flexão) ou no plano escapular. O retorno da elevação dos MMSS resulta em reversão dos movimentos da articulação escapulotorácica que ocorrem durante a elevação dos MMSS, mas apresenta diferenças significativas nas posições angulares em relação à elevação, principalmente para os movimentos de rotação inferior e inclinação posterior. A atividade dos músculos escapulotorácicos reduz gradualmente durante o retorno da elevação. A quantidade de atividade eletromiográfica de todos os músculos foi menor no retorno da elevação dos MMSS quando comparada à elevação.

A escassez de estudos que avaliaram as características biomecânicas da articulação escapulotorácica em indivíduos com disfunções no complexo articular do ombro limita a compreensão da cinemática e atividade muscular. As mensurações da atividade muscular isolada e coativação em indivíduos com e sem síndrome do impacto foram similares, exceto pela coativação de trapézio transverso e serrátil anterior. Esses resultados evidenciam que medidas de coativação muscular podem ser mais sensíveis para detectar diferenças entre grupos de indivíduos saudáveis e com

disfunções no complexo articular do ombro, além de fornecer informações objetivas sobre sinergias musculares presentes durante os movimentos funcionais.

A ausência de padronização das posições de avaliação da articulação escapulotorácica, terminologias para descrever os movimentos, planos de movimento e métodos de análise representam limitações para avaliação dos movimentos escapulares e limita a comparação entre os estudos. Além disso, os métodos de avaliação da cinemática escapular têm custo elevado, dificultando sua utilização na clínica. Futuras pesquisas devem padronizar a posição de avaliação, os planos de movimento e realizar a avaliação associada da cinemática com a ativação muscular em indivíduos saudáveis e com disfunções no complexo articular no ombro.

REFERÊNCIAS

1. Magee DJ. Avaliação musculoesquelética. 5a ed. Barueri: Manole; 2010.
2. Norkin CC, Levangie PK. Complexo do ombro. In: Norkin CC, Levangie PK. Articulações estrutura e função: uma abordagem prática e abrangente. 2a ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2001. p. 204-35.
3. Lin JJ, Hanten WP, Olson SL, Roddey TS, Soto-quijano DA, Lim HK, et al. Functional activity characteristics of individuals with shoulder dysfunctions. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15(6):576-86.
4. Magee DJ, Mattison R, Reid DC. Shoulder instability and impingement syndrome. In: Magee DJM, Zachazewski JE, Quillen WS. Pathology and intervention in musculoskeletal rehabilitation. St Louis: Saunders Elsevier. 2009. p. 125-60
5. Ludewig PM, Cook TM. Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Phys Ther.* 2000;80(3):276-91.
6. Borstad JD, Ludewig PM. Comparison of scapular kinematics between elevatio and lowering of the arm in the scapular plane. *Clin Biomech.* 2002; 17(9-10):650-9.
7. McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(3):269-77.
8. Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cieminski CJ, LaPrade RF. Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91(2):378-89.
9. Phadke V, Camargo PR, Ludewig PM. Scapular and rotator cuff muscle activity during arm elevation: a review of normal function and alterations with shoulder impingement. *Rev bras fisioter.* 2009; 13(1):1-9.
10. Ludewig PM, Reynolds JF. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. *J Orthop Sports Ther.* 2009; 39(2):90-104.
11. Matzkin E, Zachazewski JE, Garret WE, Malone TR. Skeletal muscle: deformation, injury, repair and treatment considerations. In: Magee DJM, Zachazewski JE, Quillen WZ. Scientific foundations and principles of practice in musculoskeletal rehabilitation. St Louis: Saunders Elsevier; 2007. p. 97-121.
12. Bull ML, Freitas V, Vitti M. Eletromyographic study of the trapezius (pars superior) and serratus anterior (pars inferior) in free movements of the arm. *Anat Anz.* 1990; 171(2):125-33.

13. Guazzelli Filho J, Furlani J, Freitas V. Electromyographic of the trapezius muscle in free movements of the arm. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1991;31(2):93-8.
14. Faria CD, Teixeira-Salmela LF, Goulart FR, Gomes PF. Comparisons of electromyographic activity of scapular muscles between elevation and lowering of the arms. *Physiother Theory Pract.* 2008; 24(5):360-71.
15. Faria CDM, Teixeira-Salmela LF, Goulart FRP, Moraes GFS. Scapular muscular activity with shoulder impingement syndrome during lowering of the arms. *Clin J Sport Med.* 2008; 18(2):130-6.
16. Braman JP, Engel SC, LaPrade RF, Ludewig PM. In vivo assessment of scapulohumeral rhythm during unconstrained overhead reaching in asymptomatic subjects. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009; 18(6):960-7.
17. Szucs K, Navalgund A, Borstad JD. Scapular muscle activation and co-activation following a fatigue task. *Med Biol Eng Comput.* 2009; 47(5):487-95.
18. Borstad JD, Szucs K, Navalgund A. Scapula kinematic alterations following a modified push-up plus task. *Hum Mov Sci.* 2009;28(6):738-51.
19. Yoshizaki K, Hamada J, Tamai K, Sahara R, Fujiwara T, Fujimoto T. Analysis of the scapulohumeral rhythm and electromyography of the shoulder muscles during elevation and nondominant shoulders. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009;18(5):756-63.
20. Ebaugh DD, Spinelli BA. Scapulothoracic motion and muscle activity during the raising and lowering phases of an overhead reaching task. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010; 20(2): 199-205.
21. Yano Y, Hamada J, Tamai K, Yoshizaki K, Sahara R, Fujiwara T, et al. Different scapular kinematics in healthy subjects during arm elevation and lowering: glenohumeral and scapulothoracic patterns. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010; 19(2): 209-15.
22. Faria CD, Teixeira-Salmela LF, Gomes PF. Applicability of the coactivation method in assessing synergies of the scapular stabilizing muscles. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009;18(5):764-72.
23. Portney GP, Roy SH. Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. In: O'Sullivan SB, Schmitz TJ. Fisioterapia avaliação e tratamento. 4a ed. São Paulo: Manole; 2004. p. 213-50.
24. Inman VT, Saunders JB, Abbott LC. Observations of the function of the shoulder joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(330):3-12.
25. Bagg SD, Forrest WJ. A biomechanical analysis of scapular rotation during arm abduction in the scapular plane. *Am J Phys Med Rehabil.* 1988; 67(6):238-45.
26. Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, Marthous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint - Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech.* 2005; 38(5):981-92.