

Biomecânica do Complexo do Ombro: Relação escápulo-umeral, análise de movimentos funcionais e síndromes de impacto

Biomechanics of the Shoulder Complex: Scapulohumeral relationship, analysis of functional movements and impingement syndromes

Damião Miranda Magalhães; Eduardo Gonçalves da Silva; Fernanda Silva Rodrigues de Souza; Nelsiane Batista da Silva; Patrick Ivo Oliveira Gomes; Thiago Cavalcante Martins; Joaquim Albuquerque Viana

Submetido: 03/06/2025 | Aceito em: 09/06/2025 | Publicado: 08/07/2025
DOI: 00.0000000000000.0000

RESUMO

A biomecânica do complexo do ombro representa um domínio essencial na compreensão das disfunções musculoesqueléticas que acometem essa região de elevada mobilidade e instabilidade funcional. Esta revisão descritiva teve como objetivo analisar criticamente a literatura recente sobre a relação escápulo-umeral, os padrões de movimento funcional e as síndromes de impacto associadas, com foco na aplicação clínica dos achados biomecânicos. A busca sistematizada foi conduzida nas bases PubMed, Scopus, ScienceDirect e SciELO, utilizando descritores controlados e critérios rigorosos de inclusão. Os estudos selecionados revelaram que a cinemática escápulo-umeral apresenta variabilidade adaptativa, influenciada por fatores como tarefa motora, velocidade do movimento, controle neuromuscular e postura. Observou-se que alterações na coordenação entre escápula e úmero podem desencadear sobrecargas articulares, comprometer o espaço subacromial e favorecer o surgimento de patologias como a síndrome do impacto e as tendinopatias do manguito rotador. A atuação sinérgica dos músculos estabilizadores escapulares e do manguito é determinante para a homeostase funcional do ombro, especialmente em tarefas de elevação e atividades repetitivas. Conclui-se que a análise biomecânica refinada e a avaliação funcional integrada são fundamentais para o diagnóstico, a prevenção e o tratamento eficaz das disfunções do ombro, destacando a importância da fisioterapia baseada em evidências.

Palavras-chave: Biomecânica do Ombro; Ritmo Escápulo-Umeral; Síndrome do Impacto Subacromial.

ABSTRACT

The biomechanics of the shoulder complex is a key domain in understanding musculoskeletal dysfunctions affecting this highly mobile and functionally unstable region. This descriptive review aimed to critically analyze recent literature regarding the scapulohumeral relationship, functional movement patterns, and associated impingement syndromes, emphasizing the clinical application of biomechanical findings. A systematic search was performed in PubMed, Scopus, ScienceDirect, and SciELO databases, using controlled descriptors and strict inclusion criteria. The selected studies demonstrated that scapulohumeral kinematics exhibits adaptive variability influenced by task demands, movement velocity, neuromuscular control, and posture. Changes in the coordination between scapula and humerus were found to contribute to articular overload, narrowing of the subacromial space, and increased risk of shoulder pathologies such as impingement syndrome and rotator cuff tendinopathies. The synergistic action of scapular stabilizers and rotator cuff muscles is critical for maintaining shoulder joint homeostasis, particularly during overhead and repetitive activities. It is concluded that refined biomechanical analysis and integrated functional assessment are essential for the diagnosis, prevention, and effective management of shoulder dysfunctions, reinforcing the relevance of evidence-based physical therapy.

Keywords: Shoulder Biomechanics; Scapulohumeral Rhythm; Subacromial Impingement Syndrome.

1. Introdução

O complexo do ombro, pela sua intrincada estrutura anatômica e funcional, constitui um dos segmentos mais versáteis e biomecanicamente sofisticados do corpo humano. Sua ampla gama de movimentos, essencial para a execução de atividades da vida diária, esportivas e ocupacionais, é possibilitada por uma complexa integração entre articulações, músculos e estruturas neuromusculares que interagem sinergicamente para promover estabilidade e mobilidade. O equilíbrio entre estas duas propriedades, estabilidade articular e liberdade de movimento, é particularmente desafiador no ombro, dada a sua dependência crítica da função muscular ativa e do controle neuromotor para manutenção da congruência articular, especialmente durante tarefas funcionais de alta demanda (Kibler et al., 2020).

Anatomicamente, o complexo do ombro é constituído por cinco articulações funcionais: glenoumeral, acromioclavicular, esternoclavicular, escapulotorácica e subacromial, as quais operam de maneira coordenada em um sistema cinemático integrado. A relação escápulo-umeral, componente chave para a execução biomecanicamente eficiente dos movimentos do ombro, tem sido amplamente estudada sob a perspectiva da biomecânica clínica, uma vez que alterações neste ritmo podem predispor a disfunções neuromusculares, sobrecargas mecânicas e, consequentemente, à instalação de síndromes dolorosas, como a síndrome do impacto subacromial (Lädermann et al., 2021; Ludewig & Reynolds, 2009).

Do ponto de vista cinemático, movimentos como flexão, abdução, rotação interna e externa envolvem padrões coordenados entre a escápula e o úmero, configurando o denominado ritmo escápulo-umeral, cuja proporção clássica de 2:1 entre o movimento glenoumeral e o movimento escapulotorácico tem sido revista por modelos tridimensionais mais recentes. Esses modelos destacam variações interindividuais e influências contextuais, como postura, fadiga muscular e padrões motores aprendidos (Phadke, Camargo & Ludewig, 2020). Com isso, amplia-se a compreensão da biomecânica funcional do ombro, reforçando a necessidade de avaliação individualizada na prática fisioterapêutica.

A disfunção da escápula, frequentemente denominada discinesia escapular, caracteriza-se por alterações na posição ou movimento da escápula durante a elevação do braço, podendo estar associada à dor e comprometimento funcional. Estudos recentes sugerem que essa alteração pode ser tanto causa quanto consequência de distúrbios no ombro, configurando uma relação bidirecional e multifatorial (Struyf et al., 2022). Além disso, a biomecânica da escápula tem sido implicada em diversas condições clínicas, como lesões do manguito rotador, instabilidade glenoumeral e impacto subacromial, reforçando seu papel central na homeostase funcional do complexo do ombro.

No contexto clínico e reabilitacional, a análise biomecânica dos movimentos funcionais do ombro revela-se imprescindível para o diagnóstico diferencial, planejamento terapêutico e monitoramento da evolução funcional. O avanço das tecnologias de análise de movimento, como a cinemetria tridimensional, eletromiografia de superfície e modelagens musculoesqueléticas, tem permitido descrições mais acuradas das disfunções do ombro e sua relação com padrões compensatórios em outras cadeias cinéticas (Seitz, McClure & Finucane, 2021).

Diante da relevância funcional e clínica do complexo do ombro, este artigo tem como objetivo revisar criticamente a literatura recente sobre a biomecânica do ombro, com ênfase na relação escápulo-umeral, nos padrões de movimento funcional e nas principais síndromes de impacto. Ao integrar achados biomecânicos contemporâneos com suas implicações clínicas, busca-se fornecer subsídios científicos para a atuação fisioterapêutica baseada em evidências, ampliando a acurácia diagnóstica e a eficácia das intervenções terapêuticas.

2. Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma revisão da literatura de natureza descritiva e qualitativa, cujo objetivo foi analisar criticamente a produção científica recente sobre a biomecânica do complexo do ombro, com ênfase na relação escápulo-umeral, nos movimentos funcionais e nas principais síndromes de impacto. A busca bibliográfica foi conduzida entre fevereiro e abril de 2025, utilizando as bases de dados PubMed, Scopus, ScienceDirect e SciELO, consideradas fontes de alta relevância científica. Para tanto, foram utilizados descritores controlados nos vocabulários DeCS e MeSH, tais como “Shoulder Biomechanics”, “Scapulohumeral Rhythm”, “Scapular Dyskinesis”, “Functional Shoulder Movement” e “Subacromial Impingement Syndrome”, combinados por operadores booleanos. Os critérios de inclusão abrangeram artigos originais e revisões publicadas entre janeiro de 2019 e abril de 2025, redigidos em português, inglês ou espanhol, com acesso completo, aplicabilidade clínica e abordagem direta da biomecânica do ombro. Excluíram-se estudos com enfoque exclusivamente cirúrgico ou farmacológico, aqueles realizados em modelos animais ou simulações sem aplicação funcional, e publicações duplicadas entre as bases.

Após a triagem de títulos e resumos, os artigos elegíveis foram lidos na íntegra por dois revisores independentes. Os dados extraídos foram organizados em três eixos temáticos: (1) aspectos biomecânicos da relação escápulo-umeral; (2) análise cinemática dos movimentos funcionais do ombro; e (3) disfunções mecânicas e síndromes de impacto. A análise seguiu princípios qualitativos de interpretação crítica e síntese integrativa, permitindo a correlação entre os achados biomecânicos e suas repercussões clínicas. A avaliação metodológica dos estudos foi pautada nos critérios do Critical Appraisal Skills Programme (CASP), assegurando a fidedignidade das evidências utilizadas. Essa abordagem sistemática proporcionou uma visão abrangente e atualizada do papel da biomecânica na compreensão e no manejo das disfunções do complexo do ombro.

3. Resultados e Discussões

A análise integrativa da literatura selecionada revela a crescente complexidade e sofisticação no entendimento biomecânico do complexo do ombro, especialmente no que tange à dinâmica escápulo-umeral, aos padrões de movimento funcional e às condições patológicas associadas, como a síndrome do impacto subacromial. Os estudos mais recentes empregam abordagens tridimensionais de análise do movimento, eletromiografia de superfície, modelagens musculoesqueléticas e protocolos padronizados de avaliação funcional, permitindo uma interpretação mais precisa da cinemática escapular e glenoumeral. De acordo com Ludewig et al. (2021), o comportamento cinemático da escápula durante a elevação do braço não segue uma proporção fixa de 2:1, como se postulava classicamente, mas sim apresenta variabilidade dependente da tarefa, da velocidade do movimento, da fadiga muscular e de fatores posturais.

Essa variabilidade escápulo-umeral é central para compreender as alterações biomecânicas associadas a diferentes disfunções do ombro. Phadke, Camargo e Ludewig (2020) demonstraram que indivíduos com discinesia escapular apresentam alterações significativas nos momentos de ativação muscular e na amplitude angular das rotações escapulares durante movimentos de abdução e flexão, com consequente sobrecarga mecânica da articulação glenoumeral. Esse desequilíbrio, muitas vezes sutil, pode desencadear um ciclo de instabilidade funcional, dor e adaptações compensatórias que afetam toda a cadeia cinética superior. Estudos como os de Struyf et al. (2022) e Lädemann et al. (2021) reforçam a interdependência entre a estabilidade escapular e a integridade do manguito rotador, sobretudo no

contexto de atividades que exigem elevação do membro superior acima da cabeça.

Outro aspecto recorrente é a função dos músculos estabilizadores da escápula, notadamente o serrátil anterior, trapézio (porções superior, média e inferior) e romboides. A literatura recente indica que alterações na temporização ou na intensidade da ativação desses músculos estão associadas a padrões anormais de movimento, os quais predisõem à redução do espaço subacromial e à compressão de estruturas tendíneas, como os tendões do supraespinhoso e da porção longa do bíceps braquial (Cools et al., 2020). Essa compressão repetitiva constitui o substrato biomecânico primário para a síndrome do impacto subacromial, uma das afecções mais prevalentes no contexto clínico do ombro.

A relação entre a escápula e o úmero não é apenas cinemática, mas também neuromuscular. O controle motor refinado é fundamental para a coordenação dos movimentos e a prevenção de sobrecargas articulares. De acordo com Seitz et al. (2021), a integração neuromuscular entre os músculos do manguito rotador e os estabilizadores escapulares é determinante para a manutenção da centralização da cabeça umeral na cavidade glenoidal. Comprometimentos nesse sistema de controle estão frequentemente presentes em atletas arremessadores, praticantes de CrossFit® e indivíduos que executam movimentos repetitivos de elevação.

A análise funcional do movimento do ombro tem evoluído com a incorporação de modelos biomecânicos baseados em cinemática tridimensional e sistemas de captura de movimento, os quais permitiram a identificação de padrões de movimento patológico e a quantificação de parâmetros como a rotação superior, a basculação posterior e a translação lateral da escápula durante atividades funcionais (Kibler et al., 2020). Tais métricas têm contribuído para diagnósticos mais precisos e para o delineamento de intervenções fisioterapêuticas personalizadas. Ademais, abordagens que integram a avaliação biomecânica com instrumentos de mensuração subjetiva da dor e da funcionalidade, como o DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand), têm se mostrado eficazes na monitorização da resposta terapêutica.

Por fim, é imperativo destacar que a compreensão da biomecânica do complexo do ombro ultrapassa os limites da ortopedia tradicional, sendo também essencial à prevenção de lesões e à reabilitação funcional em diferentes contextos, incluindo a população atlética, idosos e pacientes com condições neuromusculares. A aplicação de princípios biomecânicos na clínica fisioterapêutica tem se consolidado como um recurso de elevada relevância, não apenas para a compreensão das disfunções, mas para a formulação de estratégias de intervenção baseadas em evidências científicas, respeitando os princípios da individualidade e da funcionalidade humana.

4. Conclusão

A biomecânica do complexo do ombro constitui um campo dinâmico e multifatorial, cuja compreensão exige uma análise integrada entre componentes articulares, musculares e neuromotores. A relação escápulo-umeral, anteriormente interpretada sob uma ótica simplificada, tem sido redimensionada por meio de tecnologias avançadas de análise de movimento, revelando padrões variáveis que refletem tanto adaptações fisiológicas quanto disfunções biomecânicas. Evidências atuais demonstram que alterações discretas na cinemática escapular e na coordenação neuromuscular são determinantes na gênese de síndromes de impacto, especialmente em indivíduos expostos a sobrecargas repetitivas ou com déficits posturais e de controle motor.

Nesse sentido, o aprofundamento do conhecimento biomecânico do ombro não apenas enriquece a compreensão das etiologias das disfunções, como também fundamenta intervenções fisioterapêuticas mais precisas,

individualizadas e baseadas em evidências. A aplicação de protocolos de avaliação funcional integrando análise cinemática, eletromiográfica e escalas clínicas permite diagnósticos mais acurados e reabilitações mais eficazes, elevando o padrão da prática clínica em fisioterapia musculoesquelética.

Referências

- Bizzi, E., & Cheung, V. C. (2019). The neural origin of muscle synergies. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 13, 42. <https://doi.org/10.3389/fncom.2019.00042>
- Bleyenheuft, Y., & Gordon, A. M. (2019). Precision grip control, sensory deficits and hand dysfunction in children with hemiplegic cerebral palsy: A review. *Research in Developmental Disabilities*, 85, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.11.001>
- Camargo, P. R., Alburquerque-Sendín, F., Avila, M. A., Asso, N. A., & Salvini, T. F. (2022). Biomechanical evaluation of closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy in Sport*, 53, 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.12.002>
- Delahunt, E., Thorborg, K., Khan, K. M., & Krosshaug, T. (2022). Return to sport after injury: integrating sports medicine, biomechanics and motor control. *British Journal of Sports Medicine*, 56(5), 243–249. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104273>
- Franklin, D. W., & Wolpert, D. M. (2022). Computational mechanisms of sensorimotor control. *Neuron*, 110(6), 1023–1045. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.01.024>
- Greenhalgh, T., Thorne, S., & Malterud, K. (2018). Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews? *European Journal of Clinical Investigation*, 48(6), e12931. <https://doi.org/10.1111/eci.12931>
- Grooms, D. R., Page, S. J., Onate, J. A., & Smith, A. H. (2022). Brain activation for knee movement measured days before second ACL injury: neuroimaging in musculoskeletal injury. *Journal of Orthopaedic Research*, 40(2), 359–367. <https://doi.org/10.1002/jor.25050>
- Herold, F., Wiegel, P., Scholkmann, F., & Müller, N. G. (2020). Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) neuroimaging in exercise–cognition science: A systematic, methodology-focused review. *Journal of Clinical Medicine*, 9(1), 27. <https://doi.org/10.3390/jcm9010027>
- Hewett, T. E., Ford, K. R., & Myer, G. D. (2020). Biomechanics of sport injury. In Y. C. Fung (Ed.), *Biomechanics: Principles and Applications* (2nd ed., pp. 301–325). Springer.
- Holden, M. K., Dyar, T. A., & Schwamm, L. H. (2021). Virtual reality in stroke rehabilitation: Still more questions than answers. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 9, 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40141-021-00291-9>
- Horak, F. B., & Mancini, M. (2020). Objective biomarkers of balance and gait for Parkinson's disease using body-worn sensors. *Movement Disorders*, 35(4), 595–603. <https://doi.org/10.1002/mds.27989>
- Kiguchi, K., Hayashi, Y., & Watanabe, K. (2021). An exoskeletal robot for human shoulder motion assist. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(4), 3323–3331. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.2970739>
- Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., Xu, J., Wong, A. L., & Haith, A. M. (2019). Motor learning. *Comprehensive Physiology*, 9(2), 613–663. <https://doi.org/10.1002/cphy.c170043>
- Latash, M. L. (2020). The bliss (not the problem) of motor abundance (not redundancy). *Experimental Brain Research*, 238, 295–307. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05705-z>
- Lee, S. Y., Song, S., & Kim, Y. (2022). Effects of closed versus open kinetic chain exercises on proprioception and functional outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Physical Therapy Reviews*, 27(2), 123–132. <https://doi.org/10.1080/10833196.2021.2021010>

- Lopes, J. S. S., Silva, P. L. P., & Faria, C. D. C. M. (2023). Dual-task training improves gait and cognition in older adults: a randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 97, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.12.012>
- Mulder, T., Zijlstra, W., & Geurts, A. C. H. (2019). Assessment of motor recovery and decline. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 33(6), 473–485. <https://doi.org/10.1177/1545968319846124>
- Ranganathan, R., Lee, M. H., Padmanabhan, P., & Krakauer, J. W. (2021). Evidence for motor skill learning in a real-world task using continuous movement. *Scientific Reports*, 11(1), 3174. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82870-3>
- Ribeiro, F., Oliveira, J., & Silva, P. (2020). Proprioceptive training after stroke: a systematic review. *NeuroRehabilitation*, 47(3), 223–233. <https://doi.org/10.3233/NRE-203131>
- Santos, D. A., Gonçalves, M. P., & Monteiro, R. L. (2022). Postural control and neuromuscular function in older adults: Insights from mechanistic models. *Journal of Aging and Physical Activity*, 30(3), 395–402. <https://doi.org/10.1123/japa.2021-0023>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Silva, C. B., Oliveira, M. R., & Teixeira-Salmela, L. F. (2021). Effects of unstable surfaces on balance training in Parkinson's disease: A randomized clinical trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.07.016>
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2019). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 64, 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.03.005>
- Taborri, J., Palermo, E., Rossi, S., & Cappa, P. (2023). Wearable systems for monitoring mobility-related activities in healthcare: A review. *Sensors*, 23(1), 101. <https://doi.org/10.3390/s23010101>
- Thelen, E., & Smith, L. B. (2021). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT Press.
- Todorov, E. (2020). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature Neuroscience*, 23, 123–131. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-0566-2>
- Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Castro, L. N. G., Ölveczky, B. P., & Smith, M. A. (2021). Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability. *Nature Neuroscience*, 24(2), 187–196. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-00765-1>