

AValiação NUMÉRICA DO TRATAMENTO CIRÚRGICO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE WEAVER-DUNN PARA LESÕES NO OMBRO

Gabriela Lima Menegaz, LPM - Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, gabriela.menegaz@gmail.com
Cleudmar Amaral Araújo, LPM - Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, cleudmar@mecanica.ufu.br
Leandro Cardoso Gomide, Hospital das Clínicas/UFU, leandro@orthomedcenter.com.br

Resumo. O ombro é composto pelas articulações esternoclavicular, acromioclavicular e glenoumeral. A articulação acromioclavicular se estabiliza através dos ligamentos acromioclavicular, coracoacromial e coracoclaviculares (trapezóide e conóide) e dos músculos deltóide e trapézio. As lesões da articulação acromioclavicular ocorrem devido à queda sobre o ombro ou sobre o membro superior estendido, sendo comuns em esportes de contato. As luxações são classificadas em diferentes tipos e existem tratamentos específicos para cada um deles. O tratamento cirúrgico através da técnica de Weaver-Dunn é um dos mais utilizadas e consiste na retirada do ligamento coracoacromial intacto do acrômio, seguida pela sua fixação direta na estrutura da clavícula. Nesse estudo, os modelos tridimensionais da técnica cirúrgica e da articulação intacta foram avaliados através do método dos elementos finitos, analisando as distribuições de tensões e deslocamentos obtidos para verificar se a estabilidade da estrutura seria mantida. Para as condições propostas, o ligamento trapezóide apresentou os maiores níveis de tensão na articulação acromioclavicular intacta. A distância entre a clavícula e o processo coracóide apresentou comportamento semelhante entre a técnica avaliada e a estrutura intacta. Assim, considerando as simplificações dos modelos, conclui-se que a técnica de Weaver-Dunn é um tratamento eficiente para o reestabelecimento da estabilidade da articulação acromioclavicular lesionada.

Palavras chave: Luxação acromioclavicular, Técnica de Weaver-Dunn, Método dos elementos finitos, Engenharia biomecânica, Ortopedia.

1. INTRODUÇÃO

Os membros superiores são caracterizados por sua mobilidade e destreza em agarrar e manipular, sendo compostos pelo ombro, o braço, o antebraço e a mão. O ombro faz a ligação entre o membro superior e o tronco, agindo em conjunto com o cotovelo para realizar o posicionamento específico e eficiente da mão. Ele é constituído pelas articulações esternoclavicular, acromioclavicular e glenoumeral, além das estruturas ósseas da escápula, clavícula e úmero. A ocorrência de falhas funcionais em qualquer uma das articulações compromete a movimentação de toda a estrutura (Nordin e Frankel, 2003). A articulação acromioclavicular, embora possua os ligamentos coracoclaviculares com grande resistência, pode ser lesionada facilmente, devido à queda direta sobre o ombro súpero-lateral com o braço na posição aduzida ou devido à queda sobre o membro superior estendido. As lesões da articulação acromioclavicular representam 40 a 50% das lesões do ombro relacionadas ao esporte (Kaplan *et al.*, 2005).

Atualmente, os principais tratamentos da luxação acromioclavicular são baseados na reparação do ligamento acromioclavicular através de pinos, parafusos, fios de sutura, placas e ganchos. Além disso, pode ser realizada a transferência do ligamento coracoacromial através da técnica de Weaver - Dunn e a reconstrução anatômica dos ligamentos com enxertos. Na técnica de Weaver - Dunn a estabilização da articulação acromioclavicular é baseada na retirada do ligamento coracoacromial intacto do acrômio, seguida pela sua fixação direta na estrutura da clavícula. Em uma etapa seguinte, são feitos os amarrilhos com os fios de sutura ligando o processo coracóide à clavícula, com o intuito de substituir os ligamentos coracoclaviculares lesionados (Mazzoca *et al.*, 2006).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar através de modelos tridimensionais de elementos finitos o comportamento da estabilização da articulação acromioclavicular através da técnica de Weaver - Dunn, em relação à articulação acromioclavicular intacta. A motivação para este estudo é possibilitar acrescentar informações e análises adicionais sobre o tratamento da luxação acromioclavicular, visando fornecer aos profissionais da área novos parâmetros para a escolha de um procedimento cirúrgico adequado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se a seguir os detalhes dos modelos tridimensionais, avaliados através do método dos elementos finitos, da articulação acromioclavicular intacta e do procedimento cirúrgico da transferência do ligamento coracoacromial pela técnica de Weaver - Dunn.

O modelo tridimensional para o estudo da articulação acromioclavicular sem luxação foi constituído pela clavícula, escápula e úmero, além dos ligamentos coracoacromial, acromioclavicular e coracoclaviculares. As geometrias

simplificadas dos ligamentos foram desenhadas no software SolidWorks®, a partir das dimensões dos locais de inserção de cada estrutura ligamentar ao osso.

No modelo tridimensional representativo da técnica de Weaver - Dunn foram utilizadas as mesmas estruturas ósseas do modelo intacto: clavícula, úmero e escápula. A geometria da clavícula foi seccionada em uma distância de 2 cm de sua extremidade distal, onde foi fixado o ligamento coracoacromial transferido. Além disso, através de quatro furos na clavícula, foram passados os fios de sutura que complementam o procedimento, substituindo os ligamentos coracoclaviculares rompidos. A geometria dos fios de sutura foi dada de forma simplificada por cilindros com diâmetro de 0,5 mm. Os ligamentos foram considerados como um material hiperelástico e os ossos e fios como materiais com comportamento elástico linear.

Os contatos entre os ligamentos não lesionados e as estruturas ósseas foram determinados como “colados”, sem levar em consideração o contato mecânico e considerando a união completa desses componentes. Também foi considerado “colado” o contato entre o úmero e a escápula, para representar a ligação que o ligamento glenoumeral promove entre essas estruturas. Nos modelos dos procedimentos cirúrgicos, os fios de sutura foram dados como “colados” à clavícula e à escápula, pois a modelagem analisa a etapa após o pós-operatório, em que a cicatrização das estruturas foi finalizada. Para face superior do ligamento coracoacromial transferido para a clavícula, a propriedade mecânica do contato definiu-se também como “colada”, considerando que o ligamento teve uma fixação completa ao osso.

As Figuras 1(A) e 1(B) ilustram as condições de contorno consideradas na simulação do modelo intacto e da técnica de Weaver - Dunn, respectivamente. Nas simulações, a extremidade proximal da clavícula foi engastada em todas as direções, para representar a ligação existente com o osso esterno. Outra condição adotada foi a aplicação de uma força de 35 N no processo coracóide, para representar o peso do conjunto composto por braço, antebraço e mão. O movimento no sentido da abdução do braço foi simulado aplicando o deslocamento de 10 mm, na direção do eixo z local do úmero, em um ponto situado em sua extremidade. No modelo cirúrgico a força de 35 N seria uma forma de pré-carga de tração aos fios. Além disso, os fios foram engastados nas duas direções laterais, permitindo que houvesse a movimentação apenas no sentido da tração, ou seja, na direção x do eixo local determinado em cada um dos fios.

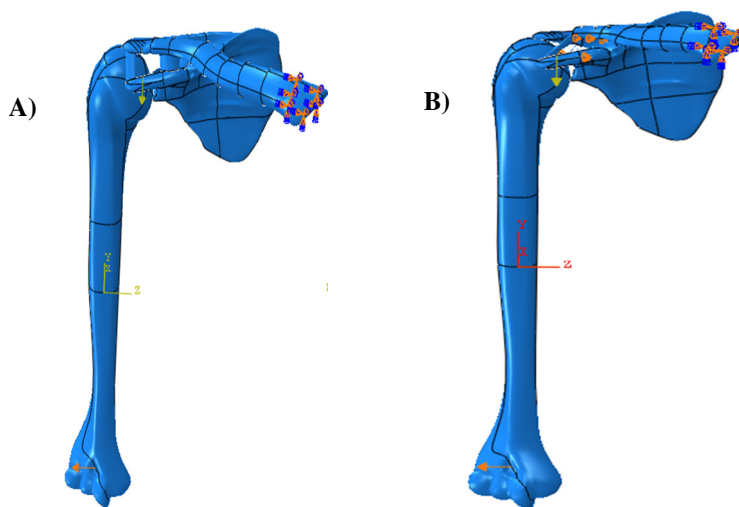


Figura 1- Condições de contorno aplicadas aos modelos numéricos. (A) Articulação acromioclavicular intacta, (B) Técnica cirúrgica de Weaver - Dunn.

4. RESULTADOS

Avaliou-se a distribuição dos deslocamentos totais resultantes [mm] e os níveis da tensão de von Mises [MPa] para cada modelo. A comparação entre a estabilidade original da articulação e a estabilidade resultante após o procedimento cirúrgico foi realizada a partir da medida da distância entre o processo coracóide e a clavícula. A convergência da malha dos modelos numéricos foi avaliada.

4.1. Avaliação numérica da articulação acromioclavicular intacta

Analisando os deslocamentos totais resultantes obtidos no modelo, observou-se o maior deslocamento, 19,69 mm, para o úmero. A escápula e a clavícula apresentaram deslocamentos máximos de 6,74 mm e 0,76 mm, respectivamente. O deslocamento resultante na clavícula é menor do que o encontrado nas outras estruturas ósseas, já que a extremidade da clavícula foi engastada. A máxima tensão de von Mises para o úmero foi de 0,77 MPa. Observou-se que os valores mais elevados estavam no ponto de aplicação do deslocamento e nas regiões da cabeça do úmero, onde se localizam os

contatos com a escápula. Esses valores máximos pontuais ocorreram devido às aproximações e condições de contorno adotadas na modelagem e não podem ser considerados como representativos para o comportamento geral do componente. Nota-se que os maiores valores de tensão na escápula foram encontrados em pontos específicos, que consistem no local de aplicação da carga de 35 N e no ponto de contato com o úmero. Assim, tem-se que os maiores valores de tensão foram obtidos nas regiões próximas aos locais de inserção dos ligamentos. É possível notar que os valores máximos de tensão alcançados nas estruturas ósseas são menores do que o limite de escoamento do osso cortical, de 110 MPa, proposto por Iwamoto *et al.* (2001), mostrando que não ocorreria a falha nessas condições.

Para uma melhor análise dos deslocamentos resultantes e tensão de von Mises nas estruturas ligamentares foram obtidos os resultados em diferentes regiões: borda superior, inferior, lateral direita e lateral esquerda de cada ligamento. Para as condições aplicadas, o ligamento acromioclavicular, responsável pela restrição primária das translações anterior e posterior da clavícula, apresentou o menor deslocamento máximo, de 0,8 mm. A máxima tensão de von Mises observada no ligamento foi de 46,38 MPa. Entretanto, encontrou-se esse elevado valor em uma região pontual do modelo, o que não representa um efeito real, sendo resultado de imperfeições na geometria ou irregularidades na malha gerada.

O ligamento conóide, principal responsável pela limitação do deslocamento superior, teve o deslocamento máximo de 1,95 mm. É possível notar, que os maiores níveis de deslocamento foram obtidos na borda inferior, local de inserção do ligamento na escápula. Entre as regiões laterais da estrutura, observou-se que a lateral direita teve maiores valores quando comparada à lateral esquerda. O gradiente de tensão de von Mises apresentou seu maior valor de tensão, 2,5 MPa, na região superior do ligamento. Na região inferior também existem locais de concentração de tensão, porém, os níveis encontrados foram menores. Santos *et al.* (1999) observaram a ruptura do ligamento nas bordas superior e inferior, que representa a inserção clavicular e a origem no processo coracóide, respectivamente, locais onde foram obtidos os maiores níveis de tensão nas simulações deste estudo. Observou-se que o maior deslocamento resultante, 1,96 mm, foi obtido no ligamento trapezóide, que tem a função de garantir a estabilidade vertical da articulação. Nota-se que os maiores valores de deslocamento estão localizados na lateral direita da estrutura e em sua porção inferior, onde existe o local de inserção do ligamento na escápula. Além de apresentar o maior deslocamento, o ligamento trapezóide também obteve os maiores níveis de solicitação entre os ligamentos que compõe o modelo sob as condições determinadas. A maior solicitação do componente ocorreu em regiões das bordas superior e inferior.

O ligamento coracoacromial, responsável por limitar o movimento superior excessivo da cabeça do úmero, apresentou 1,08 mm de deslocamento máximo, Fig. 2 (A). A máxima tensão de von Mises observada no ligamento foi de 0,05 MPa, como mostra a Fig. 2 (B). Encontrou-se o máximo valor em uma região concentrada da borda inferior e percebe-se que apesar da maior concentração de tensão se localizar na porção inferior do componente, também existe regiões de concentração na borda superior. De acordo com Santos *et al.* (1999), a ruptura no ligamento coracoacromial ocorre nesses locais, que são a inserção acromial e a origem no processo coracóide.

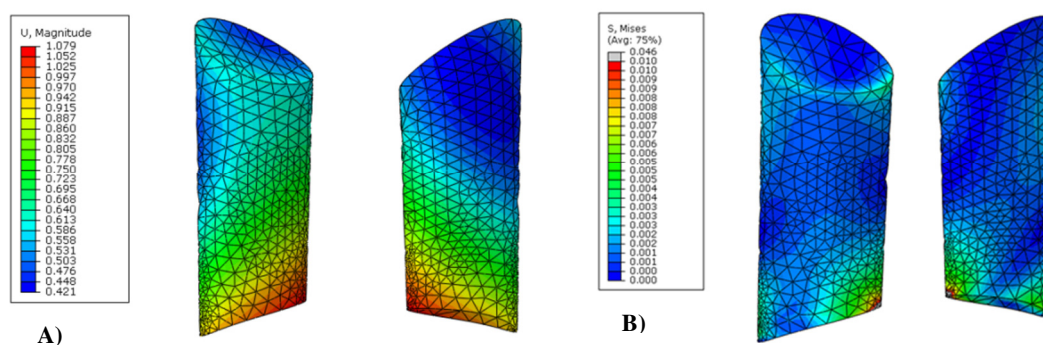


Figura 2 – Gradientes no ligamento coracoacromial. (A) Valores de deslocamento resultante [mm], (B) Valores de tensão de von Mises [MPa].

4.2. Avaliação numérica da técnica cirúrgica de Weaver-Dunn

O ligamento coracoacromial transferido para a clavícula e os fios de sutura utilizados nos amarrilhos tiveram seus comportamentos analisados a partir de pontos específicos determinados em diferentes regiões das estruturas. No ligamento a análise foi realizada em pontos situados na borda superior, inferior e lateral, enquanto nos fios observaram-se pontos ao longo do seu comprimento nas regiões direita, esquerda e inferior. O ligamento coracoacromial em sua nova configuração apresentou deslocamento resultante máximo de 0,73 mm, localizado em sua borda inferior, Fig. 3 (A). A tensão de von Mises teve seu máximo valor, de 0,32 MPa, também na borda inferior, Fig. 3(B). O valor máximo de tensão atingido pelo ligamento nas condições propostas é menor do que a tensão máxima de ruptura de aproximadamente 20 MPa, obtida para o ligamento glenoumeral no trabalho de Ticker *et al.* (2006), assim, pode-se verificar que não ocorreria a falha do ligamento após a transferência no procedimento cirúrgico.

Para os fios, observou-se que os maiores deslocamentos resultantes, de 0,25 mm e 0,26mm, estavam localizados na região inferior, que passa sob o processo coracóide, como pode ser visto na Fig. 4 (A). Os elevados deslocamentos nessas áreas ocorrem, pois a escápula se descola e os fios, que são responsáveis por garantir a estabilidade da articulação, se movimentam juntamente com ela. Os valores máximos de tensão foram observados em regiões específicas da geometria dos fios, onde ocorreu concentração de tensão devido à existência de imperfeições na geometria, como pode ser visto na Fig. 4 (B).

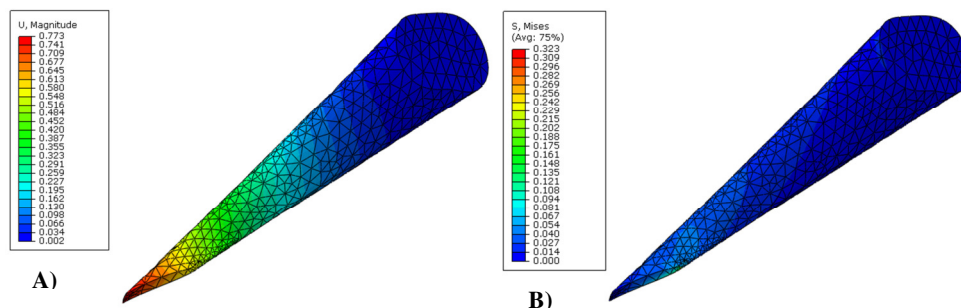


Figura 3 - Distribuição no ligamento coracoacromial transferido. (A) Valores de deslocamento resultante [mm], (B) Valores de tensão de von Mises [MPa].

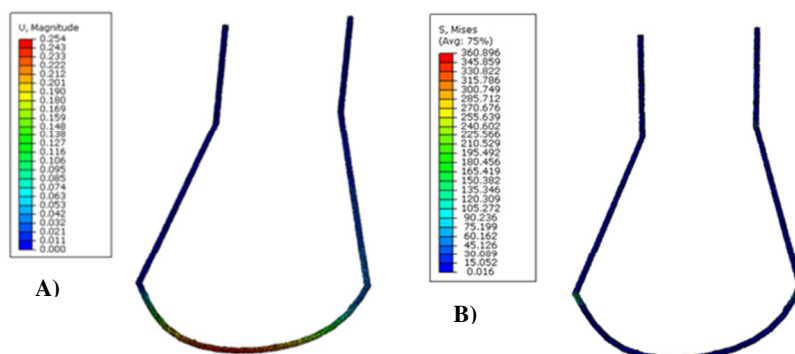


Figura 4 – Gradientes obtidos no fio de sutura. (A) Valores de deslocamento resultante [mm], (B) Valores de tensão de von Mises [MPa].

4.3. Avaliação da estabilidade do modelo numérico da técnica de Weaver-Dunn

Os pacientes que sofrem luxação acromioclavicular e necessitam dos tratamentos cirúrgicos realizam avaliações radiográficas durante o período pré-operatório e pós-operatório. Com essas radiografias é avaliada a distância entre a clavícula e o processo coracóide. A distância considerada normal pelos médicos ortopedistas é a de aproximadamente 12 mm (Assunção *et al.*, 2011). Nos modelos estudados foi medida a distância entre um ponto localizado na clavícula e um ponto no processo coracóide, assim como mostra a Fig. 5. O valor encontrado no modelo intacto foi comparado ao modelo cirúrgico, para verificar se a técnica de Weaver - Dunn garante as condições de estabilidade da articulação semelhante a original. A distância medida para a articulação intacta, sem aplicação das condições de contorno, foi de 9,9 mm. Após a aplicação do deslocamento foi de 10,3 mm e para o modelo cirúrgico foi de 10,2 mm. Assim, foi possível verificar que os valores determinados entre a clavícula e o processo coracóide nos modelos numéricos se encontram inseridos no padrão de aproximadamente 12 mm, aceito pela comunidade médica.

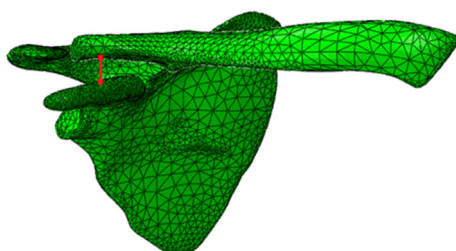


Figura 5 - Pontos selecionados para a medida da distância entre a clavícula e o processo coracóide.

5. CONCLUSÃO

Avaliou-se a influência da transferência do ligamento coracoacromial para a estabilização da articulação acromioclavicular, após sofrer uma luxação. Concluiu-se que na articulação acromioclavicular intacta, para as condições propostas, o ligamento trapezóide apresentou os maiores níveis de tensão, seguido pelos ligamentos conóide, acromioclavicular e coracoacromial. Os níveis de tensão resultantes nas estruturas ósseas e ligamentares do modelo não superaram os limites de ruptura, indicando que não ocorreria falha estrutural. Observou-se ainda que em cada ligamento os níveis de tensão obtidos não atingem a tensão máxima de ruptura de aproximadamente 20 MPa. Analisando as distâncias coracoclaviculares medidas, concluiu-se que a técnica de Weaver-Dunn, para as condições propostas, é eficiente na estabilização da luxação acromioclavicular.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assunção, H., Ferreira Neto, A., Benegas, E., Malavolta, A., Gracitelli, M. E. C. e Andrade e Silva, F.B. Reconstrução Coracoclavicular com Enxerto Tendíneo na Luxação Acromioclavicular Crônica. *Acta Ortopédica Brasileira*, v. 19, n. 5, p. 299-304, 2011.
- Iwamoto, M., Miki, K. e Yang, H. K. Development of a Finite Element Model of the Human Shoulder to Investigate the Mechanical Responses and Injuries in Side Impact. *JSME International Journal Series C*, v.44, p. 1072-1081, 2001.
- Kaplan, L. D., Flanagan, D. C., Norwing, J., Jost, P. e Bradley, J. Prevalence and Variance of Shoulder Injuries in Elite Collegiate Football Players. *The American Journal of Sports Medicine*, v. 33, n. 8, 2005.
- Mazzoca, A. D., Santangelo, S. A., Johnson, S. T., Rios, C. G., Dumonski, M. L. e Arciero, R. A. A Biomechanical Evaluation of a Anatomical Coracoclavicular Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, v. 34, p. 236-246, 2006.
- Nordin, M. e Frankel, V. H. *Biomecânica Básica do Sistema Muscoesquelético*. Editora Guanabara Koogan S.A., 3ª. ed., 2003.
- Santos, S. M., Faloppa, F., Nicoletti, S. e Volpon, J. B. Ensaios de tração nos ligamentos coracoacromiais e coracoclaviculares de cadáveres humanos. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 34, p. 63-68, 1999.
- Ticker, J. B.; Flatow, L.; Pawluk, J.; Soslowsky, J.; Ratcliffe, ; Arnoczky, S. P.; Mow, C. and Bigliani, L. U. The inferior glenohumeral ligament: A correlative investigation. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, v.15, p. 665-674, 2006.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento (FAPEMIG, CNPq e CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica/UFU pelo apoio financeiro. Agradecem também à Sala FEMEC/CIMNE, ao Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) e ao Núcleo de Habilitação e Reabilitação em Esportes Paralímpicos (NH/RESP).

8. ABSTRACT

The shoulder consists of the sternoclavicular, acromioclavicular and shoulder joints. The acromioclavicular joint is stabilized by ligaments acromioclavicular, coracoacromial and coracoclavicular (trapezoid and conoid) and deltoid and trapezius muscles. The joint can be injured due to the direct fall on shoulder or on extended upper limb and are common in sports with hard contact. The acromioclavicular dislocation is classified into different types and there are specific treatments for each one. The Weaver-Dunn technique is one of the most common and consists in removing the intact coracoacromial ligament of the acromion, followed by its direct attachment to the structure of the clavicle. In this study, three-dimensional models of the surgical technique and the intact joint were evaluated using the finite element method, analyzing the distributions of stresses and displacements obtained to verify the stability of the structure would be maintained. In intact acromioclavicular joint, considering the proposed conditions, the trapezoid ligament showed higher stress values. The distance between the clavicle and the coracoid process showed similar behavior among the technique evaluated and the intact joint. Thus, considering the simplifications, it was concluded that the transfer of the coracoacromial ligament is an efficient technique to stabilize the acromioclavicular dislocation injured.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.