

# AKSİYAL ROTASYONAL DEFORMİTE İLE KAYNAMIŞ KLAVİKULA ORTA GÖVDE KIRIKLARININ AKROMİOKLAVİKULER VE KORAKOKLAVİKULER EKLEM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ; SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

## The Effect of Midshaft Clavicle Fractures on Acromioclavicular and Coracoclavicular Joint in Axial Malrotation; Finite Element Analysis

Emre CALIŞAL<sup>1</sup> (0000-0002-2824-669X), Levent UĞUR<sup>2</sup> (0000-0003-3447-3191)

### ÖZET

**Amaç:** Klavikula orta gövde kırıklarının cerrahi tedavisinde plak ve çivileme sık kullanılan yöntemlerdir. Genellikle cerrahi sırasında rotasyonel deformiteler göz ardı edilir. Çalışmadaki amacımız; klavikula orta gövde kırıklarındaki rotasyonel kaynamanın akromioklavikuler (AK) ve korakoklavikuler (KK) ekleme etkisini sonlu eleman analiz yöntemi ile incelemektir.

**Yöntem:** Bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak sağlam omuz kavşağı modellendi. Klavikula üzerinde orta gövde kırığı oluşturuldu. Oluşturulan kırıklar sırasıyla anterior ve posterior aksiyal rotasyonda 5°, 10°, 15° ve 20°'de kaynatılarak; malunion modelleri oluşturuldu. Elde edilen modeller sonlu elemanlar programı olan ANSYS (surum 18) kullanılarak non-lineer olarak yapıldı ve tüm modellerde aynı sınır şartları uygulandı.

**Bulgular:** Analizler sonucunda kırık hattının farklı rotasyonel derecelerinde anterior ve posterior aksiyal rotasyonda iken AK ve KK ekleme meydana gelen gerilmeler elde edildi. Aksiyal rotasyonda kaynamiş klavikula orta gövde kırıklarında AK ve KK ekleme binen yüklenme artar. Özellikle yüklenmeler; posterior aksiyal rotasyonda kaynamiş orta gövde klavikula kırıklarında anteriora göre daha fazladır.

**Çıkarımlar:** Klavikula orta gövde kırıklarının cerrahisinde rotasyonel deformiteler omuz eklem biyomekaniğini etkileyerek, özellikle AK ve KK ekleme binen yükte artışa neden olur. Bu da omuz ekleminde ağrıya, ilerleyen dönemlerde eklem dejenerasyonuna neden olabilir.

**Anahtar Sözcükler:** Klavikula kırıkları; Aksiyel malrotasyon; Sonlu elemanlar analizi

### ABSTRACT

**Purpose:** Plate-screw fixation and sprains are commonly used methods in the surgical treatment of midshaft clavicle fractures. Generally, rotational deformities are neglected during surgery. Main goal is; investigated the effect of malrotational midshaft clavicle deformity on acromioclavicular and coracoclavicular joint with finite element analysis method.

**Material methods:** The anatomical shoulder joint was modeled using computed tomography images. The midshaft fracture was formed on the clavicle. The fractures were rotated at 5°, 10°, 15° and 20° in the anterior and posterior axial rotation, respectively; malunion models were created. The resulting models were made non-linear using the finite element program ANSYS (version 18) and the same boundary conditions were applied in all models.

**Results:** At different rotational degrees of the fracture line, tensions were calculated in acromioclavicular and coracoclavicular joints. Anterior and posterior axial rotation in midshaft clavicle fracture increases the tension on acromioclavicular and coracoclavicular joints. Especially lodings in posterior axial rotation of midshaft clavicle fracture is more than the anterior.

**Conclusions:** Rotational deformities in the surgery of the midshaft clavicle fractures affect the shoulder joint biomechanics, resulting in an increase in the loading on AK and CC joints. This may cause pain in the shoulder joint, which may lead to joint degeneration later on.

**Keywords:** Clavicle fractures; Axial malrotation; Finite element analysis

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Tıp Fakültesi  
Ortopedi Ve Travmatoloji Bölümü  
Amasya

<sup>2</sup>Amasya Üniversite, Teknoloji  
Fakültesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Amasya

Emre CALIŞAL, Dr. Öğr. Üyesi  
Levent UĞUR, Doç. Dr.

### İletişim:

Doç. Dr. Levent UĞUR  
Amasya Üniversite, Teknoloji  
Fakültesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, Amasya  
Tel: + (90) - (544) – 267 94 09  
e-mail:  
leventozge@gmail.com

Geliş tarihi/Received: 24.07.2018

Kabul tarihi/Accepted: 04.10.2018

DOI: 10.16919/bozoktip.447415

Bozok Tıp Derg 2019;9(1):50-7  
Bozok Med J 2019;9(1):50-7

## Giriş

Klavikula kırıkları tüm kırıkların % 2.6'sını oluştururken, omuz eklemi kırıklarının % 44'ünü oluşturur. Tüm klavikula kırıklarının %81 orta bölgede gözlenir (1). Klavikula kırıkları büyük oranda (80-90) konservatif tedavi edilir (2). Ancak ağrıyı ve fonksiyonel kısıtlılığı önlemek için %100 deplasman ve 1.5 cm üzeri kısalığı olan hastalarda, cerrahi tedavi gerektiğini savunan yazarlar vardır (3-8). Aynı zamanda yerçekimi ve kas kuvvetleri etkisiyle kırık hattında malpozisyon gelişebilir ve buna bağlı olarak da kırıkta kaynamama ya da yanlış kaynama gözlenebilir (9).

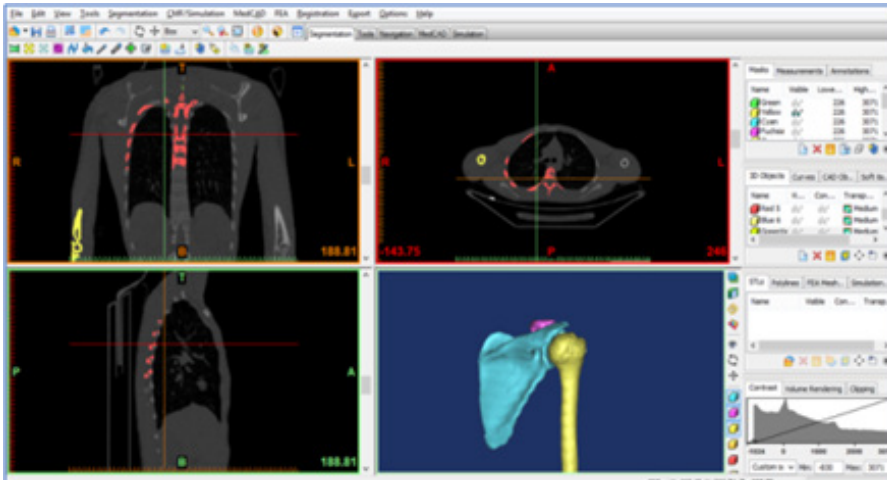
Kaynamış klavikula kırıklarında gelişen deformite üç boyutludur. Literatürde her üç planda yanlış kaynamış klavikula kırıklarını değerlendirendiren çok az çalışma vardır (10). Femur, tibia, humerus gibi uzun kemiklerin rotasyon deformiteleri birçok çalışmada incelenmiş olsa da izole rotasyon deformitesinin omuz eklemi üzerindeki etkisini inceleyen herhangi

bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmadaki amacımız rotasyonda kaynatılmış izole orta klavikula kırıklarının, akromioklavikular ve korakoklavikular eklem üzerindeki etkisini sonlu elemanlar analizi ile incelemektir.

## MATERYAL METOD

### 3 boyutlu modelin oluşturulması

Bu çalışmada ortalama boy ve kiloda 30 yaşındaki erkek hastanın sağ omuzu Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntüleri kullanılarak modellendi. BT görüntüsü; Amasya Üniversitesi Radyoloji bölümünde yüksek çözünürlüklü Toshiba Aquilion BT yardımıyla, yüzüstü pozisyonda, 0,891 mm piksel büyüklüğünde, 512x512 piksel çözünürlüğü ile tarama yapılarak elde edildi. BT görüntülerinden omuz eklemi oluşturulan kemik yapıların elde edilmesi için MIMICS® (Materialise's Interactive Medical Image Control System/ Materialise NV, Belgium) yazılımı kullanıldı (Şekil 1).



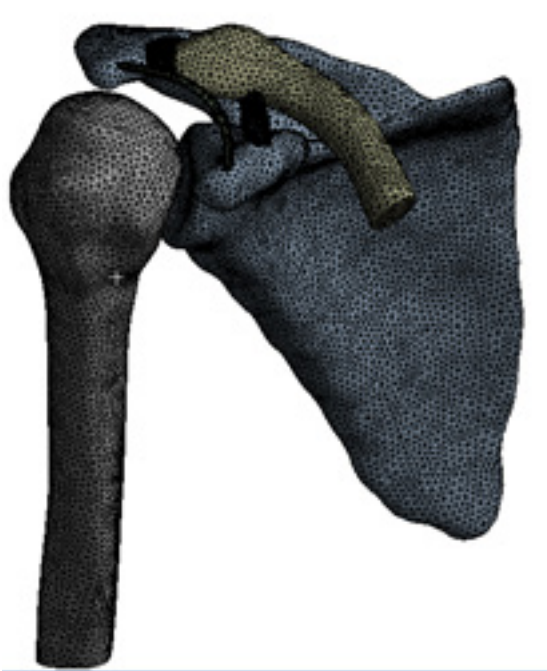
Şekil 1. BT görüntüleri kullanılarak modellerin oluşturulması

Kemik yapılar MIMICS® yazılımı kullanılarak STL (stereolithography) formatına dönüştürüldü. Tersine mühendislik yazılımı olan Geomagic® Studio (Raindrop Geomagic programına Inc.) programına görüntüler gönderildi ve CAD (Computer Aided Design) modeller elde edildi.

Omuz kavşağını meydana getiren akromioklavikular (AK), korakoklaviküler (KK) ; trapezoid ve konoid bağlar SolidWorks® 2017 ( Dassault Systems, USA) programı kullanılarak modellendi. Ayrıca klavikulada orta gövde kırığı oluşturuldu.

### Sonlu elemanlar modeli

Aksiyal rotasyonel deformite ile kaynamış klavikulanın, akromioklavikuler eklem üzerindeki etkisini incelemek için elde edilen modeller ANSYS Workbench (Version 19.0) programına gönderildi. Ansys programında ağ yapısı oluşturuldu (Şekil 2). Kemik yapılarda tetrahedral mesh kullanılmıştır. Ağ yapısındaki kemik yapılar için 2 mm'lik boyutlar tanımlanırken, bağlar için 0,5 mm'lik boyutlar tanımlandı. Modelde eleman sayısı 106304, nod sayısı ise 151719'dir. Analizler Newton-Raphson metoduna göre non-lineer olarak yapıldı.



Şekil 2. Sonlu elemanlar modeli ağ yapısı

### Malzeme özellikleri:

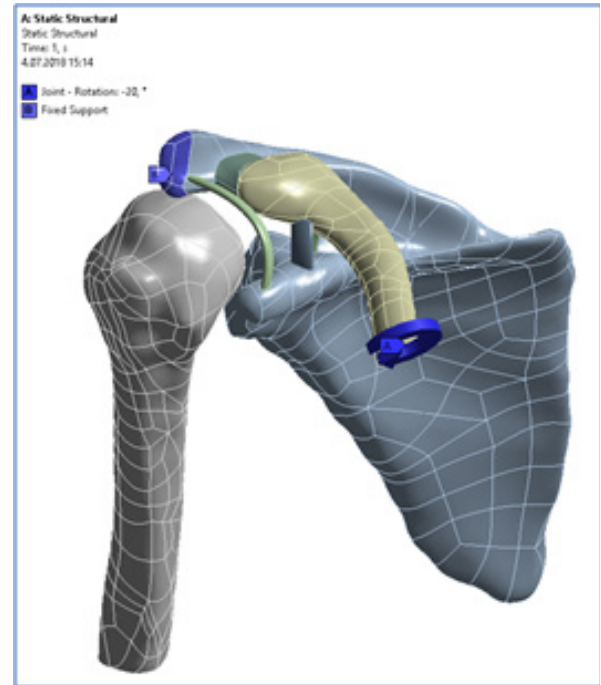
Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterildiği gibi izotropik malzeme olarak tanımlandı (11, 12).

Tablo 1. Kemik ve diğer malzeme özellikleri (11, 12)

	Young Modulus (E) (MPa)	Poisson Ratio (ν)
Kortikal Kemik	11,000	0.3
Kanselloz Kemik	500	0.1
AK eklem	10,4	0,3
Bağlar ve Kapsül	9,6	0,3

### Sınır şartları

Malzeme özelliklerinin belirlenmesinden sonra kemik yapılar ile ligamentler arasında yapışkan (bonded) kontakt tanımlaması yapıldı. Ayrıca akromiyonun alt yüzeyi sabit olarak belirlendi. Klavikulaya kırık hattından anterior ve posterior aksiyal rotasyon yönünde sırasıyla 5° 10° 15° ve 20° derece rotasyon verilerek kaynadığı simüle edildi (Şekil 3).



Şekil 3. Sonlu elemanlar modeli sınır şartları

## BULGULAR

Anatomik kaynama modelinde gerilme 'sıfır' dır. Gerilme analizleri sonucunda AK eklemde meydana gelen gerilme değerleri anterior ve posterior aksiyal rotasyonda arttığı gözlemlendi ve artış değerleri posterior aksiyal rotasyon kaynamasında daha fazla bulundu (Tablo 2).

**Tablo 2.** Sonlu elemanlar Analiz Sonuçları

Rotasyon Derece (°)	AK Eklem Meydana Gelen Von Mises Gerilmeler (MPa)	
	Anterior Aksiyal Rotasyon	Posterior Aksiyal Rotasyon
5°	1,8387	2,0328
10°	3,6508	4,0046
15°	5,4171	6,2959
20°	6,7242	8,1876

Anterior ve posterior aksiyal rotasyonda bağlarda meydana gelen von Mises gerilim değerleri tablo 3'de gösterilmektedir. Anterior ve posterior aksiyal rotasyonda, konoid ve trapezoid bağlarda meydana gelen maksimum gerilimde artmış olmakla beraber, konoid bağdaki artış daha azdır.

**Tablo 3.** Analiz sonucunda bağlarda meydana gelen gerilmeler

Rotasyon Derece	Anterior Aksiyal Rotasyon		Posterior Aksiyal Rotasyon	
	Konoid Bağda Meydana Gelen Gerilme (MPa)	Trap-ezoid Bağda Meydana Gelen Gerilme (MPa)	Konoid Bağda Meydana Gelen Gerilme (MPa)	Trapezoid Bağda Meydana Gelen Gerilme (MPa)
5	0,69623	1,7971	0,74115	1,9403
10	1,388	3,4518	1,5913	4,1477
15	1,7219	4,3174	2,1065	5,143
20	2,2084	5,3428	3,4056	6,6598

### İstatistiksel analiz

Tüm modellerin zamana bağlı değerleri istatistiksel analiz için kaydedildi. Bağlarda meydana gelen gerilmelerin anterior ve posterior aksiyal rotasyon ile ilişkileri bağımsız örnekleme testi kullanılarak, hareket yönüne göre Varyans Analizi (ANOVA) ile karşılaştırıldı.

Homojenlik testi yapıldı (Tablo 4). İstatistiksel analizlerin değerlendirilmesinde SPSS 21.0 yazılımı (SPSS, Inc., Chicago, IL, ABD) kullanıldı.

**Tablo 4.** Varyansların homojenlik testi

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ac	341308 318061 83308,0 00	3	92	,000
trap-ezoid	289308 264308 826620, 000	3	92	,000
konoid	191886 608400 55688,0 00	3	92	,000

Homojenlik test sonuçlarına göre sig değeri 0,05 den küçük bulundu. Varyanslar homojen olmadığı için post-hoc Tamhane's T2 testi kullanıldı. Anova analiz sonuçlarına göre sig değeri 0,05 veya daha az olduğu için modeller ile bağlar arasında anlamlı bir ilişki olduğu kabul edildi (Tablo 5).

**Tablo 5.** Anova Analiz sonuçları

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ac	Between Groups	415,571	3	138,524	690,364	,000
	Within Groups	18,460	92	,201		
	Total	434,031	95			
konoid	Between Groups	54,584	3	18,195	171,732	,000
	Within Groups	9,747	92	,106		
	Total	64,332	95			
trapezoid	Between Groups	217,943	3	72,648	381,367	,000
	Within Groups	17,525	92	,190		
	Total	235,468	95			

Modeller ile bağlar arasında korelasyon analizi yapıldı. Bağlar arasındaki değerin 0.9 ile 1 arasında ve pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu görüldü (Tablo 6).

**Tablo 6.** Korelasyon analizi

Correlations						
		model	Rotasyon	Ac	trapezoid	konoid
model	Pearson Correlation	1	,000	,977**	,951**	,914**
	Sig. (2-tailed)		1,000	,000	,000	,000
Rotasyon	Pearson Correlation	,000	1	-,170	-,238*	-,279**
	Sig. (2-tailed)	1,000		,098	,020	,006
Ac	Pearson Correlation	,977**	-,170	1	,986**	,966**
	Sig. (2-tailed)	,000	,098		,000	,000
trapezoid	Pearson Correlation	,951**	-,238*	,986**	1	,976**
	Sig. (2-tailed)	,000	,020	,000		,000
konoid	Pearson Correlation	,914**	-,279**	,966**	,976**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,006	,000	,000	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

## TARTIŞMA

Orta bölge klavikula kırıkları yüksek oranda konservatif tedavi edilir (2). Konservatif takip edilen klavikula kırıkları malpozisyonda kaynayabilir ve klinik sonuçlar hastanın yaşam kalitesini etkiler (9). Klavikular malunion değişkenlik gösterebilir, genellikle dikkati alınan en önemli deformite kısıklıktır. Gelişen deformitede distal fragman aşağıya ve öne döner (13, 14). Latissimus dorsi ve pectoralis major kasları distal fragmanı mediale çekerek klavikular kısıklığa neden olur (15). Deltoidin anterior lifleri traksiyon kuvveti yaparak distal fragmanı anteriora çevirir (16). Kısalmaya ise tartışmalı olsa da kas dengesizliğine neden olarak, özellikle abduksiyon hareketinde güç kaybına neden olur (7, 17). Kısıklık miktarının klinik yansımaları tartışmalıdır. Hill et al. 2 cm

üzeri kısıklığın klinik sonuçlarının daha kötü olduğunu göstermiştir (4). Parry ve ark. ise kısıklığın klinik sonuçları etkilemediğini savunur (17).

Klavikula orta bölge kırıklarında gelişen üç boyutlu deformitenin analizini inceleyen çalışma sayısı azdır. Oki ve ark. orta klavikula kırığı nedeniyle konservatif tedavi edilen 21 hastayı retrospektif olarak incelemiştir. Malunionda kaynamış klavikula orta bölge kırıkları BT yardımı ile klinik ve radyolojik olarak değerlendirerek, 5 derece anterior aksiyal rotasyonunun klinik rezidüel semptomlara yol açmadığını göstermiştir. Yazar klavikuladaki kısıklık miktarı ile aksiyal anterior rotasyon arasında negatif korelasyon saptamış ve

klavikulanın kısıltıkça daha az anterior rotasyonel yer değiştirdiğini gözlemiştir. Buna rağmen kısılğın herhangi bir yöne rotasyonel açılanma ile korelasyonunu bulamamıştır (10).

Ayrıca kısılıkla beraber rotasyonel deformiteler de skapular kinematığı etkileyerek omuz biyomekaniğini etkiler. Kadavra çalışmalarıyla özellikle klavikular kısılğın skapulada iç rotasyona ve posterior eğimde azalmaya neden olduğunu gösterilmiştir (18, 19). Skapular eğimdeki azalma subakromial stresi artırarak omuz eklemi etkiler (20, 21).

Klavikula orta bölge kırıklarında cerrahi endikasyonlar tartışmalıdır. Kırıktaki deplasman nedeniyle mediastinal yapılar risk altında ve “yüzen omuz” mevcut ise mutlak cerrahi endikedir (22). Bugün ise cerrahi ile hızlı bir iyileşme ve erken dönemde işe dönüş sağlandığı için özellikle genç aktif hastalara ameliyat önerilir (23). Sıklıkla kullanılan cerrahi teknik ise açık redüksiyon, plak-vida ile fiksasyondur (24). Cerrahi sırasında kısılık ve kırık hattındaki açılanma düzeltilirken, rotasyon deformiteleri sıklıkla göz ardı edilir. Göz ardı edilen bu izole malrotasyonların ise uzun dönem klinik ve radyolojik sonuçları ise bilinmemektedir.

Omuz eklemi vücudun en karmaşık eklemidir. Bu nedenle bu bölgede deneysel çalışma yapmak zordur (25). Bu çalışmada cerrahi tespit sırasında izole rotasyonel deformite ile kaynatılmış klavikula orta bölge kırıklarının eklem bağları üzerindeki etkisini incelemektir. Bağlarda meydana gelen gerilmeler her iki rotasyon yönünde artmış olup posterior aksiyal rotasyonda eklem binen stressin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın limitasyonu ise omuz eklemine binen yükü etkileyebilecek, özellikle kas kuvvetleri gibi yumuşak doku komponentleri göz ardı etmemizdir.

## ÇIKARIMLAR

Cerrahi sırasında gözardı edilen rotasyonel deformiteler uzun dönemde özellikle AK ve KK eklemde artan strese bağlı erken dejenerasyona neden olarak omuz kinematığını etkiler. Bu nedenle bu bölge kırıklarında kısılık gibi rotasyonel deformitelerde dikkate alınarak düzeltilmelidir. Özellikle posterior aksiyal rotasyonel deformitelerden kaçınılmalıdır.

## REFERANSLAR

1. Postacchini F, Gumina S, De Santis P, Albo F. Epidemiology of clavicle fractures. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2002;11(5):452-6.
2. Klönz A, Hockertz T, Reilmann H. Klavikulafrakturen. *Der Chirurg*. 2002;73(1):90-101.
3. Brinker MR, Edwards TB, O'connor DP. Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. *JBJS*. 2005;87(3):676-7.
4. Hill JM, Mcguire MH, Crosby LA. Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1997;79(4):537-8.
5. Lazarides S, Zafropoulos G. Conservative treatment of fractures at the middle third of the clavicle: the relevance of shortening and clinical outcome. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2006;15(2):191-4.
6. Ledger M, Leeks N, Ackland T, Wang A. Short malunions of the clavicle: an anatomic and functional study. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2005;14(4):349-54.
7. McKee MD, Pedersen EM, Jones C, Stephen DJ, Kreder HJ, Schemitsch EH, et al. Deficits following nonoperative treatment of displaced midshaft clavicular fractures. *JBJS*. 2006;88(1):35-40.
8. Nowak J, Holgersson M, Larsson S. Sequelae from clavicular fractures are common: a prospective study of 222 patients. *Acta orthopaedica*. 2005;76(4):496-502.
9. Smekal V, Oberladstaetter J, Strube P, Krappinger D. Shaft fractures of the clavicle: current concepts. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2009;129(6):807-15.
10. Oki S, Matsumura N, Kiriya Y, Iwamoto T, Sato K, Nagura T. Three-Dimensional Deformities of Nonoperative Midshaft Clavicle Fractures: A Surface Matching Analysis. *Journal of orthopaedic trauma*. 2017;31(11):e385-e9.
11. Meskers C, Van der Helm FC, Rozendaal L, Rozing P. In vivo estimation of the glenohumeral joint rotation center from scapular bony landmarks by linear regression. *Journal of biomechanics*. 1997;31(1):93-6.
12. Marie C. Strength analysis of clavicle fracture fixation devices and fixation techniques using finite element analysis with musculoskeletal force input. *Medical & biological engineering & computing*. 2015;53(8):759-69.
13. McKee M, Schemitsch E, Stephen DJ, Kreder H, Yoo D, Harrington J. Functional outcome following clavicle fractures in polytrauma patients. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1999;47(3):616.
14. Chan K, Jupiter J, Leffert R, Marti R. Clavicle malunion. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 1999;8(4):287-90.
15. Pecci M, Kreher JB. Clavicle fractures. *American family physician*. 2008;77(1):65.
16. Carry PM, Koonce R, Pan Z, Polousky JD. A survey of physician opinion: adolescent midshaft clavicle fracture treatment preferences among POSNA members. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2011;31(1):44-9.
17. Parry JA, Van Straaten M, Luo TD, Simon A-L, Ashraf A, Kaufman K, et al. Is there a deficit after nonoperative versus operative treat-

ment of shortened midshaft clavicular fractures in adolescents?  
*Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2017;37(4):227-33.

**18.** Matsumura N, Ikegami H, Nakamichi N, Nakamura T, Nagura T, Imanishi N, et al. Effect of shortening deformity of the clavicle on scapular kinematics: a cadaveric study. *The American journal of sports medicine*. 2010;38(5):1000-6.

**19.** Hillen RJ, Burger BJ, Pöll RG, van Dijk CN. The effect of experimental shortening of the clavicle on shoulder kinematics. *Clinical biomechanics*. 2012;27(8):777-81.

**20.** Ludewig PM, Cook TM. Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Physical therapy*. 2000;80(3):276-91.

**21.** Ludewig PM, Reynolds JF. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2009;39(2):90-104.

**22.** Van der Meijden OA, Gaskill TR, Millett PJ. Treatment of clavicle fractures: current concepts review. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2012;21(3):423-9.

**23.** Daniilidis K, Raschke MJ, Vogt B, Herbort M, Schliemann B, Günther N, et al. Comparison between conservative and surgical treatment of midshaft clavicle fractures: outcome of 151 cases. *Technology and Health Care*. 2013;21(2):143-7.

**24.** Canadian OTS. Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2007;89(1):1.

**25.** Taylor PR, Day RE, Nicholls RL, Rasmussen J, Yates PJ, Stoffel KK. The comminuted midshaft clavicle fracture: a biomechanical evaluation of plating methods. *Clinical biomechanics*. 2011;26(5):491-6.