

**Güncel Ortopedi
ve Travmatoloji
Çalışmaları VIII - Eklem
Biyomekaniğinde Son
Gelişmeler**

Editör

Ramadan ÖZMANEVRA
Nihat Demirhan DEMİRKIRAN



© Copyright 2025

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN	Sayfa ve Kapak Tasarımı
978-625-375-468-6	Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı	Yayıncı Sertifika No
Güncel Ortopedi ve Travmatoloji Çalışmaları VIII - Eklem Biyomekaniğinde Son Gelişmeler	47518
Editörler	Baskı ve Cilt
Ramadan ÖZMANEVRA ORCID iD: 0000-0003-0515-4001 Nihat Demirhan DEMİRKIRAN ORCID iD: 0000-0002-0724-9672	Vadi Matbaacılık
Yayın Koordinatörü	Bisac Code
Yasin DİLMEN	MED065000
	DOI
	10.37609/akya.3666

Kütüphane Kimlik Kartı

Güncel Ortopedi ve Travmatoloji Çalışmaları VIII - Eklem Biyomekaniğinde
Son Gelişmeler / ed. Ramadan Özmanevra, Nihat Demirhan Demirkıran.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2025.

158 s. : şekil, tablo. ; 160x235 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253754686

UYARI

Bu üründe yer alan bilgiler sadece lisanslı tıbbi çalışanlar için kaynak olarak sunulmuştur. Herhangi bir konuda profesyonel tıbbi danışmanlık veya tıbbi tanı amacıyla kullanılmamalıdır. Akademisyen Kitabevi ve alıcı arasında herhangi bir şekilde doktor-hasta, terapist-hasta ve/veya başka bir sağlık sunum hizmeti ilişkisi oluşurmaz. Bu ürün profesyonel tıbbi kararların eşleniği veya yedeği değildir. Akademisyen Kitabevi ve bağlı şirketleri, yazarları, katılımcıları, partnerleri ve sponsorları ürün bilgilerine dayalı olarak yapılan bütün uygulamalardan doğan, insanlarda ve cihazlarda yaralanma ve/veya hasarlardan sorumlu değildir.

İlaçların veya başka kimyasalların reçete edildiği durumlarda, tavsiye edilen dozunu, ilacın uygulanacak süresi, yöntemi ve kontraendikasyonlarını belirlemek için, okuyucuya üretici tarafından her ilaca dair sunulan güncel ürün bilgisini kontrol etmesi tavsiye edilmektedir. Dozun ve hasta için en uygun tedavinin belirlenmesi, tedavi eden hekimin hastaya dair bilgi ve tecrübelerine dayanak oluşturması, hekimin kendi sorumluluğundadır.

Akademisyen Kitabevi, üçüncü bir taraf tarafından yapılan ürüne dair değişiklikler, tekrar paketlemeler ve özelleştirmelerden sorumlu değildir.

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖN SÖZ

Akademisyen Yayınevi yöneticileri, yaklaşık 35 yıllık yayın tecrübesini, kendi tüzel kişiliklerine aktararak uzun zamandan beri, ticarî faaliyetlerini sürdürmektedir. Anılan süre içinde, başta sağlık ve sosyal bilimler, kültürel ve sanatsal konular dahil 3400’ü aşkın kitabı yayımlamanın gururu içindedir. Uluslararası yayınevi olmanın alt yapısını tamamlayan Akademisyen, Türkçe ve yabancı dillerde yayın yapmanın yanında, küresel bir marka yaratmanın peşindedir.

Bilimsel ve düşünsel çalışmaların kalıcı belgeleri sayılan kitaplar, bilgi kayıt ortamı olarak yüzlerce yılın tanıklarındır. Matbaanın icadıyla varoluşunu sağlam temellere oturtan kitabın geleceği, her ne kadar yeni buluşların yörüngesine taşınmış olsa da, daha uzun süre hayatımızda yer edineceği muhakkaktır.

Akademisyen Yayınevi, kendi adını taşıyan **“Bilimsel Araştırmalar Kitabı”** serisiyle Türkçe ve İngilizce olarak, uluslararası nitelik ve nicelikte, kitap yayımlama sürecini başlatmış bulunmaktadır. Her yıl mart ve eylül aylarında gerçekleşecek olan yayımlama süreci, tematik alt başlıklarla devam edecektir. Bu süreci destekleyen tüm hocalarımıza ve arka planda yer alan herkese teşekkür borçluyuz.

Akademisyen Yayınevi A.Ş.

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1	Yük Dağılımı, Stabilitate ve Mobilite İlişkisi	1
	<i>Göker YURDAKUL</i>	
Bölüm 2	Diz Eklemi Biyomekaniği ve Kıkırdak Üzerindeki Yük Dağılımı.....	7
	<i>Bedrettin AKAR</i>	
Bölüm 3	Kalça Eklemi Biyomekaniği ve Total Kalça Protezi Optimizasyonu.....	21
	<i>Çağdaş PAMUK</i> <i>Resul MUSAOĞLU</i>	
Bölüm 4	Omuz Eklemi Hareket Mekaniki ve İnstabilite Yönetimi	33
	<i>Mehmet Okan ATAHAN</i>	
Bölüm 5	Ayak Bileği Biyomekaniği ve Sporcularda Yüklenme Modelleri	39
	<i>Mehmet Akif YILMAZ</i>	
Bölüm 6	Spinal Biyomekanik ve Bel Fıtığı Üzerindeki Yüklenme Etkileri	49
	<i>Mustafa KARAL</i> <i>Bedirhan ALBAYRAK</i> <i>H. Sina COŞKUN</i>	
Bölüm 7	Menisküs Biyomekaniği ve Doku Mühendisliği ile Onarım Yaklaşımları..	69
	<i>Mesut KARIKSIZ</i>	
Bölüm 8	Yaşlanmanın Eklem Biyomekaniği Üzerine Etkileri	73
	<i>Bedirhan ALBAYRAK</i> <i>Furkan ERDOĞAN</i>	
Bölüm 9	Minimal İnvaziv Cerrahilerin Eklem Biyomekaniğine Etkileri	85
	<i>İsmail GÜZEL</i>	
Bölüm 10	Obezitenin Diz ve Ayakbileği Biyomekaniğine Etkisi	99
	<i>İdris PERKTAŞ</i>	
Bölüm 11	El Bileği Biyomekaniği ve Karpal Bağ Yaralanmalarının Patomekaniği..	111
	<i>Okyar ALTAŞ</i>	
Bölüm 12	Dirsek Biyomekaniği: Statik ve Dinamik Stabilizatörler	127
	<i>Alperen KORUCU</i>	
Bölüm 13	Akromiyoklaviküler Eklem Biyomekaniği ve İnstabilitesi	137
	<i>Sebatı Başer CANBAZ</i>	
Bölüm 14	Sakroiliak Eklem ve Biyomekaniği: Anatomik, Klinik ve Tedavi Açısından Değerlendirme	145
	<i>Okan YIĞIT</i>	

YAZARLAR

Uzm. Dr. Bedrettin AKAR

Sakarya Yenikent Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği

Dr. Bedirhan ALBAYRAK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Uzm. Dr. Okyar ALTAŞ

Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, El Cerrahisi Kliniği

Uzm. Dr. Mehmet Okan ATAHAN

Afyonkarahisar Devlet Hastanesi

Uzm. Dr. Sebati Başer CANBAZ

Kartal Dr. Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği

Doç. Dr. H. Sina COŞKUN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ortopedi ve Travmatoloji

Dr. Öğr. Üyesi Furkan ERDOĞAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Dr. Öğr. Üyesi İsmail GÜZEL

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Arş. Gör. Dr. Mustafa KARAL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Uzm. Dr. Mesut KARIKSIZ

Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji

Uzm. Dr. Alperen KORUCU

Özel Muayenehane

Dr. Resul MUSAOĞLU

Kocaeli Devlet Hastanesi

Dr. Öğr. Üyesi Çağdaş PAMUK

Rumeli Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Fizyoterapi Pr.

Uzm. Dr. İdris PERKTAŞ

Osmaniye Özel İbni Sina Hastanesi, Ortopedi Kliniği

Dr. Mehmet Akif YILMAZ

Özel Yüksek İhtisas Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Dr. Okan YİĞİT

Kartal Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği

Dr. Öğr. Üyesi Göker YURDAKUL

Yozgat Bozok Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD

Bölüm 1

YÜK DAĞILIMI, STABİLİTE VE MOBİLİTE İLİŞKİSİ

Göker YURDAKUL¹

GİRİŞ

İnsan kas-iskelet sistemi, biyomekanik prensiplere dayalı olarak çalışır ve bu sistemin en temel unsurları eklemlerdeki yük dağılımı, stabilite ve mobilite arasındaki dengedir. Kas-iskelet sisteminin sağlıklı bir şekilde işleyebilmesi için eklem yapılarının bu üç temel unsur arasında bir uyum oluşturması gerekir. Yük dağılımı eklemlere binen mekanik kuvvetlerin nasıl dağıldığını belirlerken, stabilite eklem bu kuvvetlere karşı dayanıklılığını ifade eder (1). Mobilite ise eklem hareket kapasitesini tanımlar. Bu üç kavram arasındaki ilişki ortopedi ve travmatoloji ile ilgili hastalıkların patofizyolojisini anlamada, cerrahi ve rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesinde kritik bir öneme sahiptir (2). Bu bölümde yük dağılımının biyomekanik temelleri, stabilite ve mobilitenin belirleyici faktörleri ile bu unsurların klinik uygulamalardaki önemi ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

YÜK DAĞILIMININ TEMEL PRENSİPLERİ

Eklemlerde yük dağılımı, eklem yüzeylerine binen kuvvetlerin nasıl dağıldığını ve bu yüklerin kemikler, bağlar ve kaslar aracılığıyla nasıl yönlendirildiğini ifade eder. Yük dağılımı, eklem yüzeylerinin morfolojisi, kıkırdak kalınlığı, ligamentlerin gerginliği ve kas aktivasyonu gibi birçok faktörden etkilenir (3).

Özellikle alt ekstremit eklemleri (kalça, diz ve ayak bileği) yük taşıma fonksiyonlarında önemli bir rol oynar. Diz eklemi üzerinde yapılan biyomekanik çalışmalar, yük dağılımının dizin stabilitesiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Menisküsler ve eklem kıkırdağı, yükün eklem yüzeylerine eşit şekilde dağılmasını sağlayarak aşırı noktasal basınç oluşumunu önler. Bu yapıların hasar görmesi durumunda, yük dağılımı dengesiz hale gelir ve dejeneratif hastalıkların gelişme riski artar (4).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD, drgoker44@gmail.com, ORCID iD: 0000-0001-6570-164X

korunmasını sağlarken, mobilitenin devamlılığını destekleyerek hastaların yaşam kalitesini artırır. Özellikle ortopedi ve travmatoloji alanında yapılan cerrahi girişimler ve rehabilitasyon süreçleri, bu dengeyi sağlamaya yönelik stratejiler üzerine inşa edilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Sarshari E, Mancuso M, Terrier A, et al. Muscle co-contraction in an upper limb musculoskeletal model: EMG-assisted vs. standard load-sharing. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2021;24(2):137-150. doi:10.1080/10255842.2020.1814755
2. Alsiri N, Alshatti SA, Al-Saffar M, et al. EMMATKA trial: the effects of mobilization with movement following total knee arthroplasty in women: a single-blind randomized controlled trial. *J Orthop Surg Res.* 2025;20(1):181. Published 2025 Feb 20. doi:10.1186/s13018-025-05568-8
3. Evans RJ, Battersby HS, Williams LE, et al. The influence of high-intensity interval running bouts on distal anterior femoral cartilage in competitive distance and middle-distance runners. *J Sports Sci.* Published online February 21, 2025. doi:10.1080/02640414.2025.2465943
4. Chatterjee A, Davis ZR, Lescun T, et al. Multiscale correlations between joint and tissue-specific biomechanics and anatomy in postmortem ovine stifles. *Sci Rep.* 2025;15(1):4630. Published 2025 Feb 7. doi:10.1038/s41598-025-87491-w
5. D'Lima DD, Steklou N, Fregly BJ, et al. In vivo contact stresses during activities of daily living after knee arthroplasty. *J Orthop Res.* 2008;26(12):1549-1555. doi:10.1002/jor.20670
6. Longo UG, Candela V, Pirato F, et al. Midflexion instability in total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(2):370-380. doi:10.1007/s00167-020-05909-6
7. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, et al. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1123-1130. doi:10.1177/0363546507301585
8. Bocheng C, Ziyang Y, Jiaxin W, et al. Effects of 16 weeks of plyometric training on knee biomechanics during the landing phase in athletes. *Eur J Sport Sci.* 2024;24(8):1095-1109. doi:10.1002/ejsc.12174
9. Bsat S, Frei H, Beaulé PE. The acetabular labrum: a review of its function [published correction appears in *Bone Joint J.* 2017 May;99-B(5):702-704. doi:10.1302/0301-620X.99B5.38086c.]. *Bone Joint J.* 2016;98-B(6):730-735. doi:10.1302/0301-620X.98B6.37099
10. Li J, Xiong L, Lei C, Wu X, Mao X. Is it reasonable to shorten the length of cemented stems? A finite element analysis and biomechanical experiment. *Front Bioeng Biotechnol.* 2023;11:1289985. Published 2023 Nov 17. doi:10.3389/fbioe.2023.1289985
11. Guenther D, Rahnama-Azar AA, Bell KM, et al. The Anterolateral Capsule of the Knee Behaves Like a Sheet of Fibrous Tissue. *Am J Sports Med.* 2017;45(4):849-855. doi:10.1177/0363546516674477
12. Loudon JK, Reiman MP, Sylvain J. The efficacy of manual joint mobilisation/manipulation in treatment of lateral ankle sprains: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2014;48(5):365-370. doi:10.1136/bjsports-2013-092763

13. Gschwind YJ, Kressig RW, Lacroix A, et al. A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength / power, and psychosocial health in older adults: study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 2013;13:105. Published 2013 Oct 9. doi:10.1186/1471-2318-13-105
14. Kusz D, Wojciechowski P, Cielinski LS, Iwaniak A, Jurkojc J, Gasiorek D. Stress distribution around a TKR implant: are lab results consistent with observational studies?. *Acta Bioeng Biomech.* 2008;10(4):21-26.
15. Tseng TH, Hung CC, Yen HK, et al. Higher nonunion rates with locking plates compared to dynamic compression plates in forearm diaphyseal fractures: a multicenter study. *J Orthop Traumatol.* 2025;26(1):10. Published 2025 Feb 21. doi:10.1186/s10195-025-00823-4
16. Antoranz Y, Sáez de Villarreal E, Del Campo Vecino J, et al. Sure Steps: Key Strategies for Protecting Basketball Players from Injuries-A Systematic Review. *J Clin Med.* 2024;13(16):4912. Published 2024 Aug 20. doi:10.3390/jcm13164912

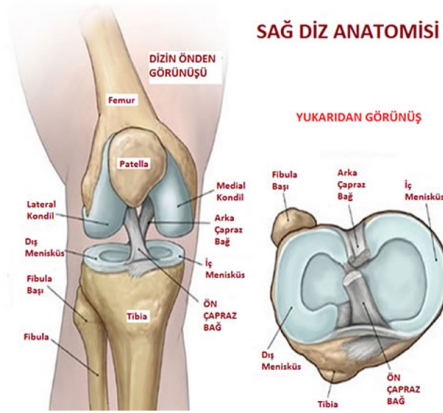
Bölüm 2

DİZ EKLEMİ BİYOMEKANİĞİ VE KIKIRDAK ÜZERİNDEKİ YÜK DAĞILIMI

Bedrettin AKAR¹

GİRİŞ

Diz eklemi, alt ekstremitenin ana eklemi olup vücut ağırlığının taşınması ve mobilitenin sağlanması gibi temel işlevleri yerine getirmektedir. Diz eklemi yapısal ve işlevsel olarak vücudumuzun en karmaşık eklemleridir. Diz eklemi; menteşe tipi sinovyal bir eklemdir. Bu eklem; tibio-femoral ve patello-femoral eklemlerden oluşmaktadır. Tibio-fibular eklem ise diz eklemi aktif hareketinde yer almamakla beraber stabiliteye katkı sağlayarak bağların yapışma bölgesi olarak görev alır. Ayak bileği ve kalça eklemlerinin kemiksel konfigürasyonu eklem stabilizasyonuna ciddi anlamda destek olurken, dizin kemiksel konfigürasyonu ise stabiliteye çok daha az düzeyde destek olmaktadır (Şekil 1). Diz kararlı dengesi kemik yapısından çok kapsül, bağ ve kaslar ile sağlanır. Kemik yapılar, kapsül, menisküs ve bağlar diz ekleminde statik kararlı dengeyi sağlarken kas ve tendonlar da dinamik kararlı dengeyi sağlamaktadır (1,2).



Şekil 1: Dizin anatomisi-I

¹ Uzm. Dr., Sakarya Yenikent Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, drbedrettin@gmail.com, ORCID iD: 0000-0001-7461-1777

medial artroz gibi patolojileri oluşturabilmektedir. Genu varum deformitesinin tersi ise Genu valgum (X Bain) deformitesidir. Bu deformitede alt ekstremité mekanik hattı diz merkezinin lateralinden geçer. Dizin lateral bölgesinde gelişen aşırı yük artışı dejeneratif değişiklere yol açarak artroz gelişimine zemin hazırlar. Genu recurvatum deformitesi dizin hiperekstansiyon deformitesidir. Bu deformitede dizin posterior kapsülü ve ön çapraz bağda aşırı stress gelişmektedir. Etiyolojisinde genellikle kas kuvvet dengesizliği bulunmaktadır. Tibial torsiyon ise daha çok konjenital görülen bir patoloji olup tibianın femura göre olması gereken dış rotasyonunun sağlanamaması ile gelişir (12).

SONUÇ

Dizdeki mekanik etkilerin, kişinin kilosuna, kas gücüne, eklemlerinin yapısına, kemiklerin dizilim ve birbirleriyle uyumuna bağlı olarak değişebileceği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Amis AA. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017 Apr; 25(4):1015-1023. doi: 10.1007/s00167-017-4494-x.
2. Kittl C, Inderhaug E, Williams A, Amis AA. Clin Sports Med. 2018 Jan;37(1):21-31. doi: 10.1016/j.csm.2017.07.004.
3. Liu X, Chen Z, Gao Y, Zhang J, Jin Z. J Healthc Eng. 2019 May 2;2019:8363128. doi: 10.1155/2019/8363128.
4. Putz R. Radiologe. 1995 Feb;35(2):77-86.
5. LaPrade MD, Kennedy MI, Wijdicks CA, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the medial side of the knee and their surgical implications. Sports Med Arthrosc Rev. 2015 Jun;23(2):63-70. doi: 10.1097/JSA.000000000000054.
6. Kas-iskelet sistemi biyomekaniği. Kitap İbrahim Deniz Akçalı, Mahir Gülşen, Kerem Ün. Adana .2009
7. Gürer G, Seçkim B. Diz Biyomekaniği .Romatoloji Dergisi. 2001.(16): 114-124.
8. Wen C, Cates HE, Weinhandl JT, Crouter SE, Zhang S. Knee biomechanics of patients with total knee replacement during downhill walking on different slopes. J Sport Health Sci. 2022 Jan;11(1):50-57. doi: 10.1016/j.jshs.2021.01.009.
9. Halewood C, Amis AA. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2015 Oct;23(10):2789-96. doi: 10.1007/s00167-015-3594-8.
10. Chao EY, Neluhani EV, Hsu RW, Paley D. Orthop Clin North Am. 1994 Jul;25(3):379-86.
11. Drew MD, Krammer SM, Brown TN. Effects of prolonged walking with body borne load on knee adduction biomechanics. Gait Posture. 2021 Feb;84:192-197. doi: 10.1016/j.gaitpost. 2020.12.004.
12. Moorman CT 3rd, LaPrade RF. J Knee Surg. 2005 Apr;18(2):137-45. doi: 10.1055/s-0030-1248172.

Bölüm 3

KALÇA EKLEMİ BİYOMEKANIĞI VE TOTAL KALÇA PROTEZİ OPTİMİZASYONU

Çağdaş PAMUK¹
Resul MUSAOĞLU²

1. GİRİŞ

Kalça eklemi, insan vücudundaki en büyük sinovyal eklemlerden biridir ve yürüme, oturma, koşma gibi günlük hareketlerde hayati bir rol oynar. Yük taşıma kapasitesi oldukça yüksek olup, vücut ağırlığının birkaç katı kadar kuvvetlere dayanabilir. Kalça eklemi biyomekaniğinin incelenmesi, protez tasarımı ve revizyon süreçlerinde önemli bir yere sahiptir. Biyomekanik analizler, protezlerin uzun ömürlü ve işlevsel olmasını sağlamaya yönelik önemli veriler sunar (1).

Kalça eklemindeki yük taşıma mekanizmalarının detaylı incelenmesi, protez tasarımındaki kritik faktörlerin anlaşılmasına yardımcı olur. Kalça eklemine binen kuvvetler, kas aktiviteleri ve yürüyüş fazlarına göre değişiklik gösterir. Bu bölümde kalça ekleminin biyomekaniği, total kalça protezlerinin temel tasarım ilkeleri ve optimizasyon yöntemleri ele alınacaktır (2).

2. KALÇA EKLEMİNİN BİYOMEKANIĞI

2.1 Kalça Ekleminin Anatomisi ve İşlevi

Kalça eklemi, femur başı ile pelvisin asetabulumu arasında yer alan küresel bir eklemdir. Bu eklem, büyük hareket açıklığına sahip olmasının yanı sıra, stabilite gereksinimleri nedeniyle güçlü kaslar, bağlar ve eklem kapsülü ile desteklenmektedir. Kalça ekleminin yapısı, dikey yük taşıma kapasitesini artırarak vücudun dengesini sağlamaya yardımcı olur.

Eklem yüzeyi, hiyalin kıkırdaktan oluşur ve sürtünmeyi azaltarak hareketin akıcı olmasını sağlar. Asetabulum, fibro-kıkırdaktan oluşan labrum ile çevrilidir ve bu yapı eklem stabilitesini artırarak femur başının eklem yuvasında daha iyi

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Rumeli Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Fizyoterapi Pr., cagdasпамuk@hotmail.com, ORCID iD: 0000-0001-6766-4969

² Medikal Doktor, Kocaeli Devlet Hastanesi, resulmusaoglu@hotmail.com, ORCID iD: 0009-0008-1894-8546

Gelecekte, total kalça protezi optimizasyonunda ileri düzey biyomekanik analizlerin, yapay zeka destekli hasta değerlendirme sistemlerinin ve yeni nesil biyomalzemelerin daha yaygın kullanılması beklenmektedir. Ayrıca, nanoteknoloji ve doku mühendisliği alanındaki ilerlemeler, biyoyumlu protezlerin daha uzun ömürlü olmasını ve hastaya özgü çözümler sunmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, kalça eklemi biyomekaniğinin detaylı olarak anlaşılması ve total kalça protezi optimizasyonuna yönelik yenilikçi yaklaşımlar, ortopedik cerrahların ve biyomedikal mühendislerin ortak çabalarıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu alandaki ilerlemeler, hem hasta konforunu hem de protezlerin dayanıklılığını artırarak daha başarılı klinik sonuçlara ulaşılmasını mümkün kılacaktır. Dolayısıyla, gelecekte biyomekanik verilerle desteklenen hasta bazlı protez tasarımlarının yaygınlaşması, total kalça protezi uygulamalarında daha yüksek başarı oranlarını beraberinde getirecektir.

KAYNAKÇA

1. Eser F. Total kalça artroplastisi rehabilitasyonu: Geleneksel derlemeler. Türkiye Klinikleri Fiziksel Tıp Ve Rehabilitasyon Bilimleri Dergisi. 2024;27(1):74-82.
2. Ferguson RJ, Palmer AJ, Taylor A, Porter ML, Malchau H, Glyn-Jones S. Hip replacement. Lancet. 2018 Nov 3;392(10158):1662-1671. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31777-X. PMID: 30496081.
3. Neumann DA. Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Physical Rehabilitation. St Louis, Mo: Mosby; 2002. p.387-433.
4. Simon SR, Alaranta H, An KN, et al. Kinesiology. In: Buckwalter JA, Einhorn TA, Simon SR, American Academy of Orthopaedic Surgeons, editors. Orthopaedic basic science: Biology and biomechanics of the musculoskeletal system, 2nd ed. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2000. p.782-8.
5. Luepingsak N, Amin S. The contribution of type of daily activity to loading across the hip and knee joints in the elderly. Osteoarthritis Cartilage 2002; 10(5): 353-59
6. Enloe LJ, Shields RK. Total hip and knee replacement treatment programs: a report using consensus. J Orthop Sports Phys Ther 1996; 23: 3-11
7. Fortin PR, Clarke AE. Outcomes of total hip and knee replacement. Arthritis&Rheumatism 1999; 42: 1722-1728
8. Karaca, F., Akmeşe, F., & Ünal, E. (2021). Ayaktan Oturma Hareketinde Alt Ekstremitenin Kinetik Ve Kinematik Analizi. International Journal of Innovative Engineering Applications, 5(1), 18-21. <https://doi.org/10.46460/ijiea.900830>
9. Thomas Byrd JW. Gross anatomy. In: Thomas Byrd JW, editor. Operative Hip Arthroscopy, 2nd ed. New York: Springer Science Business Media, Inc; 2005. p.100-9.
10. Macirowski T, Tepic S, Mann RW. Cartilage stresses in the human hip joint. J Biomech Eng 1994;116(1):10-8.
11. Kurtz S, Ong K, Lau E, Mowat F, Halpern M. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. J Bone Joint Surg [Am] 2007;89:780-5

12. Schulte KR, Callaghan JJ, Kelley SS, Johnston RC. The outcome of Charnley total hip arthroplasty with cement after a minimum twenty-year follow-up. The results of one surgeon. J Bone Joint Surg [Am] 1993;75:961-75.
13. Emerson RH Jr, Head WC, Emerson CB, Rosenfeldt W, Higgins LL. A comparison of cemented and cementless titanium femoral components used for primary total hip arthroplasty: a radiographic and survivorship study. J Arthroplasty 2002;17:584-91.
14. Huo MH, Stockton KG, Mont MA, Parvizi J. What's new in total hip arthroplasty J Bone Joint Surg [Am] 2010;92:2959-72.
15. Kaya, F., İnce, G., Avcar, M., Yünlü, L. (2021). Kalça protezi tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizi. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 9(1), 199-208. <https://doi.org/10.21923/jesd.839995>

Bölüm 4

OMUZ EKLEMİ HAREKET MEKANİĞİ VE İNSTABİLİTE YÖNETİMİ

Mehmet Okan ATAHAN¹

GİRİŞ

Omuz eklemi vücuttaki en hareketli eklem olup, geniş bir hareket açıklığına sahiptir. Bu geniş hareket açıklığı eklem stabilitesinin korunmasını zorlaştıran biyomekanik bir dezavantaj yaratmaktadır (1). Omuz eklemi humerusun glenoid fossaya temas ettiği oldukça yüzeysel bir eklem alanı ile karakterizedir. Bu özelliği yüksek eklem hareket açıklığı sağlarken stabilite açısından zayıflığa neden olur. Anatomik olarak oldukça karmaşık olan omuz eklemi statik ve dinamik stabilizatörler tarafından stabil çalışır. Labrum, eklem kapsülü ve bağlar statik stabilizatörler olarak görev yaparken, nöromüsküler yapı dinamik stabiliteyi sağlar. Omuz eklemine stabilitesini sağlamak için bu iki sistemin uyumlu çalışması gerekmektedir. Aksi halde instabilite gelişme riski artar (2).

OMUZ EKLEMİ ANATOMİSİ VE BİYOMEKANİĞİ

Omuz eklemi; glenohumeral eklem, akromioklavikular eklem, sternoklavikular eklem ve skapulotorasik eklem olmak üzere dört farklı eklemden oluşur. Glenohumeral eklem, omuz eklemine ana bileşenidir ve omuzun hareket genişliğini sağlayan yapıdır. Humerus başı ile skapulanın glenoid fossası arasında bulunur ve fleksiyon, ekstansiyon, abduksiyon, addüksiyon, rotasyon ve sirkümdüksiyon hareketlerini yapar (3). Bu geniş hareket açıklığı, eklem yüzeyleri arasındaki uyumun sınırlı olmasına neden olur. Glenohumeral eklemden stabilite, labrum glenoidale, eklem kapsülü, bağlar ve kas yapıları tarafından sağlanır. Labrum glenoidale, glenoid fossanın derinliğini artırarak humerus başının yerinde kalmasına yardımcı olur. Omuz eklem kapsülü, eklemi saran ve destekleyen fibröz bir yapı olup içindeki negatif basınç sayesinde humerus başının glenoid fossada kalmasını sağlar (4).

¹ Uzm. Dr., Afyonkarahisar Devlet Hastanesi, mehmetokanatahan@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2828-700X

Ancak açık cerrahi olması nedeniyle daha uzun iyileşme süresi ve daha yüksek morbiditeye neden olur (13).

Remplissage prosedürü Hill-Sachs lezyonu bulunan hastalarda artroskopik bankart onarımına ek olarak stabiliteyi artırmak için tercih edilir. Posterior humeral başa yapılan artroskopik bir işlemdir. İnfraspinatus kası ve kapsül, Hill-Sachs defektini dolduracak şekilde humerus başına dikilir. Bu yöntem artroskopik olarak uygulanabilir ve glenohumeral eklemin stabilitesini artırarak nüks oranlarını azaltır. Ancak humeral baş rotasyonunu bir miktar sınırlayabilir (14). Kemik blok teknikleri özellikle glenoid defektinin fazla olduğu vakalarda, Latarjet prosedürünün kontrendike olduğu hastalarda, revizyon Latarjet vakalarında ve daha ciddi anterior kemik kaybı olan hastalarda uygulanır. İliak krest ya da distal klavikula gibi otojen kemik greftleri kullanılarak glenoid kenarına ek stabilizasyon sağlanır. Ancak greft alınan alanda ek cerrahi morbidite ve greft rezorpsiyonu bu yöntemin komplikasyonları arasında gösterilebilir (15).

SONUÇ

Omuz eklemi, geniş hareket açıklığına sahip olması nedeniyle stabilitesinin korunması zor olan bir eklemdir. Omuz instabilitesinin yönetimi, etiyojisine ve hastanın klinik özelliklerine bağlı olarak konservatif ya da cerrahi yöntemlerle sağlanabilir. Konservatif tedavi, skapular stabiliteyi koruyan ve omuz çevresi kaslarını güçlendiren rehabilitasyon programlarını içerirken, cerrahi tedavi tekrarlayan instabilite durumlarında daha etkili olabilir. Artroskopik bankart onarımı, Latarjet prosedürü ve kemik blok teknikleri gibi cerrahi yaklaşımlar uygun endikasyonlara göre tercih edilebilir. Doğru hasta seçimi ve uygun tedavi yöntemi ile başarılı klinik sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKÇA

1. Fox AJS, Fox OJK, Schär MO, et al. The glenohumeral ligaments: Superior, middle, and inferior: Anatomy, biomechanics, injury, and diagnosis. Clin Anat. 2021;34(2):283-296. doi:10.1002/ca.23717
2. Lugo R, Kung P, Ma CB. Shoulder biomechanics. Eur J Radiol. 2008;68(1):16-24. doi:10.1016/j.ejrad.2008.02.051
3. Halder AM, Itoi E, An KN. Anatomy and biomechanics of the shoulder. Orthop Clin North Am. 2000;31(2):159-176. doi:10.1016/s0030-5898(05)70138-3
4. Veeger HE, van der Helm FC. Shoulder function: the perfect compromise between mobility and stability. J Biomech. 2007;40(10):2119-2129. doi:10.1016/j.jbiomech.2006.10.016
5. Ludewig PM, Reynolds JF. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. J Orthop Sports Phys Ther. 2009;39(2):90-104. doi:10.2519/jospt.2009.2808

6. Bakhsh W, Nicandri G. Anatomy and Physical Examination of the Shoulder. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2018;26(3):e10-e22. doi:10.1097/JSA.000000000000020
7. Kibler WB, Sciascia A, Wilkes T. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(6):364-372. doi:10.5435/JAAOS-20-06-364
8. Hill B, Khodae M. Glenohumeral Joint Dislocation Classification: Literature Review and Suggestion for a New Subtype. *Curr Sports Med Rep.* 2022;21(7):239-246. Published 2022 Jul 1. doi:10.1249/JSR.0000000000000973
9. Hippensteel KJ, Uppstrom TJ, Rodeo SA, et al. Comprehensive Review of Multidirectional Instability of the Shoulder. *J Am Acad Orthop Surg.* 2023;31(16):871-880. doi:10.5435/JAAOS-D-22-00983
10. Alkhatib N, Abdullah ASA, AlNouri M, et al. Short- and long-term outcomes in Bankart repair vs. conservative treatment for first-time anterior shoulder dislocation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022;31(8):1751-1762. doi:10.1016/j.jse.2022.02.032
11. Sacolick DA, Williams RR, Wu SJ, et al. Surgical treatment of anterior glenohumeral instability: a historical review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2024;33(12):2766-2779. doi:10.1016/j.jse.2024.07.029
12. Rashid MS, Arner JW, Millett PJ, et al. The Bankart repair: past, present, and future. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(12):e491-e498. doi:10.1016/j.jse.2020.06.012
13. Latarjet J. Le refroidissement immédiat par l'eau: traitement d'urgence de la brûlure [Immediate cooling with water: emergency treatment of burns]. *Pediatric.* 1990;45(4):237-239.
14. Davis WH, DiPasquale JA, Patel RK, et al. Arthroscopic Remplissage Combined With Bankart Repair Results in a Higher Rate of Return to Sport in Athletes Compared With Bankart Repair Alone or the Latarjet Procedure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2023;51(12):3304-3312. doi:10.1177/03635465221138559
15. Bauer S, Collin P, Zumstein MA, et al. Current concepts in chronic traumatic anterior shoulder instability. *EFORT Open Rev.* 2023;8(6):468-481. Published 2023 Jun 8. doi:10.1530/EOR-22-0084.

Bölüm 5

AYAK BİLEĞİ BİYOMEKANİĞİ VE SPORCULARDA YÜKLENME MODELLERİ

Mehmet Akif YILMAZ¹

GİRİŞ

Ayak bileği eklem kompleksi, insanın hareket kabiliyetinin temelini oluşturan, karmaşık ve özelleşmiş bir biyomekanik yapıdır. Özellikle sporcularda, yüksek performansın sergilenebilmesi ve yaralanma riskinin yönetilebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (1, 2). Ayak bileği, yürüme sırasında vücut ağırlığının yaklaşık 1.5 katını, koşma gibi daha dinamik aktivitelerde ise 4-5 katını veya daha fazlasını taşıma kapasitesine sahiptir (2, 4). Bu yüksek yük taşıma kapasitesinin yanı sıra, zemindeki düzensizliklere uyum sağlama ve vücut dengesini koruma gibi hayati fonksiyonları da yerine getirir (1, 3). Spor aktivitelerinin doğası gereği maruz kalınan tekrarlayıcı ve yüksek şiddetteki yükler, bu eklem kompleksini yaralanmalara karşı oldukça duyarlı hale getirir (5). Tüm spor yaralanmaları içinde lateral ayak bileği burkulmaları, %25-40 gibi yüksek oranlarda görülmektedir (4, 6).

Bu bölümde, ayak bileği ve ilişkili eklemlerin fonksiyonel anatomisi detaylı bir şekilde incelenecek, temel kinematik ve kinetik prensipler açıklanacaktır. Yürüme ve koşma sırasındaki normal biyomekanik davranışlar, ayağın şok emici esnek bir yapıdan itme gücü sağlayan rijit bir kaldıraça dönüşüm mekanizmalarıyla birlikte ele alınacaktır. Ayrıca, sporcularda sıkça karşılaşılan çeşitli fonksiyonel aktiviteler (sıçrama, koşma, yön değiştirme, merdiven inip çıkma vb.) sırasında ayak bileği ligamentlerine binen yükler ve gerilimler (strain) analiz edilecektir. Bu yüklenme modellerinin, spesifik yaralanma mekanizmaları ve risk faktörleri ile ilişkisi, klinik yaklaşımlara ışık tutacak şekilde tartışılacaktır. Bölümün amacı, ayak bileği biyomekaniklerinin ve sporculardaki yüklenme modellerinin anlaşılmasının, tanı, tedavi ve rehabilitasyon stratejilerinin geliştirilmesindeki önemini vurgulamaktır.

¹ Dr., Özel Yüksek İhtisas Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD, yilmazmehmetakif01@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-7673-046X

SONUÇ

Ayak bileği ve ayak, karmaşık anatomik yapısı ve çok eksenli hareket yeteneği ile sporcularda hem yüksek performansın anahtarı hem de sık yaralanmaların kaynağıdır. Yürüme ve özellikle koşma gibi dinamik aktiviteler sırasında, bu kompleks yapı şok emiliminden rijit itme gücüne geçişi sağlayan sofistike biyomekanik mekanizmaları kullanır. Talokrural, subtalar ve transvers tarsal eklemlerin kinematik eşleşmesi, ligamentlerin pasif desteği ve kasların dinamik kontrolü bu süreçte kritik rol oynar. Sporcularda görülen yüksek ve tekrarlayıcı yükler, aktiviteye özgü yüklenme paternleri (sıçrama, kesme, koşma) ve bireysel biyomekanik farklılıklar (dizilim, kas gücü, esneklik) yaralanma riskini belirler. Lateral bağ yaralanmaları, sindesmoz burkulmaları ve aşırı kullanım sendromları gibi sık görülen patolojilerin altında yatan biyomekanik faktörlerin anlaşılması, uzman ortopedistler için tanısal doğruluğu artırır, tedavi (konservatif/cerrahi) seçimini yönlendirir, rehabilitasyon protokollerini kişiselleştirir ve etkili önleyici stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır. Ayak bileği biyomekaniği bilgisi, sporcuyu en kısa ve güvenli şekilde aktiviteye döndürme hedefinde vazgeçilmez bir temel oluşturur.

KAYNAKÇA

1. Haskell A. *Chapter 110: Foot and Ankle Biomechanics*. In: Miller MD, Thompson SR, eds. *DeLee, Drez, & Miller's Orthopaedic Sports Medicine*. 5th ed. Elsevier; 2020:1359-1369.e2.
2. Brockett CL, Chapman GJ. *Biomechanics of the ankle*. *Orthopaedics and Trauma*. 2016;30(3):232-238.
3. Dang DY. *Chapter 1: Biomechanics of the Foot and Ankle*. In: Coughlin MJ, Saltzman CL, Anderson RB, eds. *Mann's Surgery of the Foot and Ankle*. 10th ed. Elsevier; 2022:1-27.
4. Rothenberg P, Swanton E, Molloy A, Aiyer AA, Kaplan JR. *Chapter 117: Ligamentous Injuries of the Foot and Ankle*. In: Miller MD, Thompson SR, eds. *DeLee, Drez, & Miller's Orthopaedic Sports Medicine*. 5th ed. Elsevier; 2020:1444.e1-1461.e4.
5. Waldrop NE III. *Chapter 36: Athletic Soft Tissue Injuries of the Foot and Ankle*. In: Coughlin MJ, Saltzman CL, Anderson RB, eds. *Mann's Surgery of the Foot and Ankle*. 10th ed. Elsevier; 2022:1440-1542.
6. *Chapter 2: Anatomy and Biomechanics*. In: Pinney SJ, ed. *Core Knowledge in Orthopaedics: Foot and Ankle*. 2nd ed. Elsevier; 2018:3-9.
7. McGarvey WC, Greaser MC. *Chapter 6: Ankle and Midfoot Fractures and Dislocations*. In: Miller MD, Thompson SR, eds. *Essential Orthopaedics*. 2nd ed. Elsevier; 2019:105-124.
8. Donatelli R. *Normal biomechanics of the foot and ankle*. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1985;7(3):91-95.

9. Debski RE, Patel NK, Shearn JT. *Chapter 2: Basic Concepts in Biomechanics. In: Miller MD, Thompson SR, eds. DeLee, Drez, & Miller's Orthopaedic Sports Medicine. 5th ed. Elsevier; 2020:16-29.e1.*
10. Boey H, van Rossom S, Verfaillie S, Vander Sloten J, Jonkers I. *Maximal lateral ligament strain and loading during functional activities: Model-based insights for ankle sprain prevention and rehabilitation. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2022;94:105623.*

Bölüm 6

SPİNAL BİYOMEKANİK VE BEL FITIĞI ÜZERİNDEKİ YÜKLENME ETKİLERİ

Mustafa KARAL¹
Bedirhan ALBAYRAK²
H. Sina COŞKUN³

GİRİŞ

Omurga, insan vücudunun en önemli yapısal ve fonksiyonel sistemlerinden bir tanesidir. Toplam 33 vertebradan oluşan karmaşık bir yapıdır. Omurganın temel işlevleri; omuriliği korumak, gövdeye hareket kabiliyeti sağlamak ve yerçekimi etkisi ile oluşan kranial yükleri pelvise aktarmaktır.

Anatomik olarak sahip olduğu sagittal plandaki 'S' şeklindeki eğrilikler ve iki vertebra arasında yer alan esnek intervertebral diskler sayesinde omurga, kendisine yüklenen aksiyel yükü tolere edebilen uyumlu bir yapıdır. Omurganın bu sağlamlık ve stabilitesini, diskler ve diskler komşuluğundaki ligamentöz bağ dokuları statik olarak sağlar. Paraspinal kasları ile de bu stabiliteye dinamik destek verilmektedir.

Omurga yapısının servikal lordoz, torakal kifoz, lomber lordoz, sakral kifoz olmak üzere 4 ana eğriliği mevcuttur (Şekil 1). Hayatın ilk yıllarında, kifoz ana eğrilik iken, daha sonra bebeklerde baş kontrolü ile sekonder servikal lordoz gelişir. Çocuğun yürümeye başlaması ile ikinci lordoz eğriliği lomber bölgede gelişir.

Sagittal plandaki bu fizyolojik eğrilikler aksiyel yükün eşit dağıtılabilmesinde ve vücudun ağırlık merkezinin dengelenmesinde rol oynamaktadır.

¹ Arş. Gör., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji AD, mustafakaral@gmail.com, ORCID iD: 0009-0007-7728-5576

² Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD, bedirhan.albayrak@omu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-0420-226X

³ Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ortopedi ve Travmatoloji, sina.coskun@omu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-2965-3112

Toplum sağlığını etkileyen önemli nedenlerden ve ülkelerin sağlık maliyetlerini önemli ölçüde arttıran önemli nedenlerden biri olan disk hernisinin biyomekaniği hakkında yapılacak ileri çalışmalar, bu sorunun çözümünün kolaylaşmasında önemli katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

1. Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, Pope MH. Etiology of spondylolisthesis: assessment of the role played by lumbar facet joint morphology. *Spine*. 1993;18(1):80-91.
2. ZHAO, Wei-Ping, et al. Histochemistry and morphology of the multifidus muscle in lumbar disc herniation: comparative study between diseased and normal sides. *Spine*, 2000, 25.17: 2191-2199.
3. SCHOENFELD, Brad J. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24.12: 3497-3506.
4. CAPPOZZO, Aurelio, et al. Lumbar spine loading during half-squat exercises. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 1985, 17.5: 613-620.
5. MYRTOS, C. Danny. Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 2012, 56.1: 76.
6. DOLAN, P., et al. Forces acting on the lumbar spine. *Lumbar Spine Disorders: Current Concepts*, 1995, 1: 15.
7. MCGILL, S. M.; NORMAN, R. W.; SHARRATT, M. T. The effect of an abdominal belt on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure during squat lifts. *Ergonomics*, 1990, 33.2: 147-160.
8. DONNELLY, David V.; BERG, William P.; FISKE, Darryn M. The effect of the direction of gaze on the kinematics of the squat exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2006, 20.1: 145-150.
9. Kalichman L, Hunter DJ, editors. *Lumbar facet joint osteoarthritis: a review. Seminars in arthritis and rheumatism*; 2007: Elsevier.
10. KIRKALDY-WILLIS, W H MA, MD, FRCS. The Relationship of Structural Pathology to the Nerve Root. *Spine* 9(1):p 49-52, January 1984. .
11. WAHLSTRÖM, Jens, et al. Exposure to whole-body vibration and hospitalization due to lumbar disc herniation. *International archives of occupational and environmental health*, 2018, 91: 689-694.
12. XU, Xian; LI, Xu; WU, Wei. Association between overweight or obesity and lumbar disk diseases: a meta-analysis. *Clinical Spine Surgery*, 2015, 28.10: 370-376.
13. MEREDITH, Dennis S., et al. Obesity increases the risk of recurrent herniated nucleus pulposus after lumbar microdiscectomy. *The Spine Journal*, 2010, 10.7: 575-580.
14. DOU, Yiming, et al. Intervertebral disk degeneration: the microenvironment and tissue engineering strategies. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 2021, 9: 592118.
15. KELSEY, JENNIFER L., et al. An epidemiological study of acute prolapsed cervical intervertebral disc. *JBJS*, 1984, 66.6: 907-914.
16. MCINERNEY, James; BALL, Perry A. The pathophysiology of thoracic disc disease. *Neurosurgical focus*, 2000, 9.4: 1-8.

17. BROWN, Courtney W., et al. The natural history of thoracic disc herniation. Spine, 1992, 17.6: S97-S102.
18. SAMINI, Fariborz, et al. The etiologies of low back pain in patients with lumbar disk herniation. Iranian Red Crescent Medical Journal, 2014, 16.10: e15670.

Bölüm 7

MENİSKÜS BİYOMEKANİĞİ VE DOKU MÜHENDİSLİĞİ İLE ONARIM YAKLAŞIMLARI

Mesut KARIKSIZ¹

GİRİŞ

Menisküsler, diz eklemine biyomekaniğinde kritik bir rol oynayan C şeklindeki fibrokartilaj yapılardır. Medial ve lateral olmak üzere iki ana bölümden oluşur ve her biri farklı şekil ve boyutlara sahiptir. Yük dağılımı, şok absorpsiyonu, eklem stabilitesi, derin duyu üzerine etkisi, kıkırdak beslenmesi ve sürtünmenin azaltılması gibi işlevleriyle diz sağlığı için kritik öneme sahiptir (1,2). Ancak menisküs yaralanmaları, özellikle sporcularda ve yaşlı popülasyonda sık görülmekte, ağrı ve hareket kısıtlılığı ile başvurmakta ve tedavi edilmediğinde osteoartrit gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir (3). Bu bölümde, menisküs biyomekaniği, doku mühendisliği prensipleri ve menisküs onarımına yönelik güncel yaklaşımlar detaylı bir şekilde incelenecektir.

MENİSKÜS BİYOMEKANİĞİ

Menisküsler, temel olarak tip I kollajen, proteoglikanlar ve diğer ekstraselüler matris proteinlerinden oluşur. Bu yapı, menisküslere yüksek yük taşıma ve deformasyona karşı direnç özelliklerini kazandırır (1-2). Menisküsün biyomekanik özellikleri, yapısını oluşturan kollajen liflerin özel düzenlenmesi ve ekstraselüler matriks (ECM) bileşenleri tarafından belirlenir. Menisküs, radyal ve sirkumferansiyel liflerin birleşiminden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Bu lifler, yük taşıma sırasında gerilme ve basınç kuvvetlerine karşı direnç sağlar (4). Biyomekanik çalışmalar, menisküsün periferik bölgelerinin daha yüksek kanlanma ve sinir iletimi nedeniyle iyileşme potansiyelinin daha yüksek olduğunu göstermektedir (5). Menisküslerin biyomekanik özellikleri, yükün diz eklemine eşit olarak dağıtılmasını sağlayarak kıkırdak üzerindeki stresi azaltır. Ayrıca, menisküsler, diz eklemine stabilitesine katkıda bulunarak anormal hareketleri engeller.

¹ Uzm. Dr., Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji, mesutkariksiz@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-9632-7694

KAYNAKÇA

1. Wojtys EM, Chan DB Meniscus structure and function. Instr Course Lect 2005; 54:323-30.
2. Fox, A. J., Bedi, A., & Rodeo, S. A. (2012). The basic science of human knee menisci: structure, composition, and function. *Sports Health*, 4(4), 340-351.
3. Makris, E. A., Hadidi, P., & Athanasiou, K. A. (2011). The knee meniscus: structure-function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. *Biomaterials*, 32(30), 7411-7431.
4. Petersen, W., & Tillmann, B. (1998). Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. *Anatomy and Embryology*, 197(4), 317-324.
5. Arnoczky, S. P., & Warren, R. F. (1982). Microvasculature of the human meniscus. *The American Journal of Sports Medicine*, 10(2), 90-95.
6. Salata MJ, Gibbs AE, Sekiya JK. A systematic review of clinical outcomes in patients undergoing meniscectomy. *Am J Sports Med* 2010;38(9):1907-16.
7. Englund, M., Roos, E. M., & Lohmander, L. S. (2008). Impact of type of meniscal tear on radiographic and symptomatic knee osteoarthritis: a sixteen-year followup of meniscectomy with matched controls. *Arthritis & Rheumatism*, 48(8), 2178-2187.
8. Kon, E., Filardo, G., Di Martino, A., & Marcacci, M. (2012). Clinical results and MRI evolution of a nano-composite multilayered biomaterial for osteochondral regeneration at 5 years. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(1), 158-165.
9. Zellner, J., Mueller, M., Berner, A., Grechenig, S., & Kruttsch, W. (2013). Role of mesenchymal stem cells in tissue engineering of meniscus. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 101(11), 3460-3470.
10. Aufderheide, A. C., & Athanasiou, K. A. (2007). Comparison of scaffolds and culture conditions for tissue engineering of the knee meniscus. *Tissue Engineering*, 13(7), 1905-1916.

Bölüm 8

YAŞLANMANIN EKLEM BİYOMEKANİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Bedirhan ALBAYRAK¹

Furkan ERDOĞAN²

GİRİŞ

Yaşlanma bir süreç olup, bireylerin yaşam sürecinin doğal bir getirisi olarak ortaya çıkmaktadır. Gerontoloji'nin spesifik olarak ilgilendiği bu süreç, aynı zamanda insan vücudunun tüm sistemlerine yansıyan etkileriyle tıbbın tüm alt dallarını ilgilendirmektedir. Biyomekanik analiz özellikle yürüme, zıplama, atış, yakalama, koşma gibi motor beceriler esnasında değerlendirmeler yaparak inceleme sağlamaktadır. Yaşlanmayla beraber doğal bir süreç olarak kemikler, kaslar, kıkırdaklar ve eklemlerin etkilenmesi yürüyüş, merdiven çıkma/inme, sandalyeden kalkma/oturma gibi günlük yaşam aktiviteleri etkilenmekte ve yaşlanma sürecindeki eklem biyomekanikliği hususu şekillenmektedir (1).

Yaşlanmayla beraber değişen kas gücü, eklem hareket açıklığında azalmalar ve kardiyovasküler/pulmoner sistemlerin etkilenimi ile beraber azalmış efor kapasitesi ve bunlarla uyumlu çalışan nöromusküler sistemin etkilenimine bağlı değişiklikler günlük yaşam aktivitelerinde değişikliğe yol açarlar (2). Bu değişiklikler mobilite durumunu da etkiler ve yaşlılarda morbidite ve mortalitede önemli rol oynayabilir (3).

Yaşlanmanın eklem biyomekanikliği üzerine olan etkileri omurga, alt ekstremitte ve üst ekstremitayı kapsayan bir bütün olarak değerlendirilmelidir ancak her alt başlığın kendi içerisinde özellikli değişken biyomekanik parametreleri de mevcuttur. Bu değişikliklerin yaşlanan bir organizmadaki en önemli göstergesi ise yürüme biyomekanikliğindeki ve vücut postüründeki değişikliklerdir. Yürüme mekanikliğindeki ve vücut postüründeki olumsuz değişiklikler yaşlanan hastalarda

¹ Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD, bedirhan.albayrak@omu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-0420-226X

² Dr. Öğr. Üyesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD, furkan.erdogan@omu.edu.tr, ORCID iD: 0009-0007-7728-5576

de nedeniyle kas-iskelet sistemi yaralanmaları konusunda daha tedbirli olmaları gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (33).

Tek bacakla zıplamanın aktif yaşlı ve genç bireylerde etkilerini inceleyen bir çalışmada, yaşlı sporcuların genç sedanter bireylerle benzer performans sergileyebildiği gösterilmiştir (34).

Yaşlı bireylerde merdiven inip çıkmanın biyomekanik analizinde, kalça ve diz kasları üzerine çok fazla yük bindiği, bu yükün de denge bozulmasına karşı reaksiyon kapasitesini daraltıp düşme ya da yaralanma riskini arttırabileceği öngörülmüştür (35).

SONUÇ

Yaşlanma doğal bir süreç olup diğer organ sistemlerinde olduğu gibi eklemlerde de dejenerasyon oluşturup eklem biyomekaniğine çeşitli etkiler oluşturmaktadır. Başta kardiyovasküler, kas-iskelet ve nörolojik sistemlerin uyum içerisinde çalışması yaşlılarda sağlıklı bir yürüme biyomekaniğinin oluşumu için gereklidir.

Yaşlılıkta sıkça rastladığımız düşme etkenli morbidite/mortalite sonuçlarının azaltılması, ülkelerin ekonomisine olan olumsuz maliyetlerinin azaltılması için gerekli çevresel düzenlemeler, egzersiz programları, yaşlıların sosyal hayata kazandırılması, düşme hasarını azaltıcı ekipmanların yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

Yaşlanma sürecinin doğurduğu kas-iskelet sistemi değişikliklerini daha doğru analiz etmek için ileri biyomekanik çalışmalar yapılması gerekmektedir, bu çalışmalar aynı zamanda çözüm yollarını da beraberinde getirecektir.

KAYNAKÇA

1. Stergiou N. Biomechanics and gait analysis: Academic Press; 2020.
2. JudgeRoy JO, Davis III B, Öunpuu S. Step length reductions in advanced age: the role of ankle and hip kinetics. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 1996;51(6):M303-M12.
3. Perera S, Patel KV, Rosano C, Rubin SM, Satterfield S, Harris T, et al. Gait speed predicts incident disability: a pooled analysis. Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences. 2016;71(1):63-71.
4. Murphy SL. Deaths: final data for 1998. National vital statistics reports. 2000;48(11):n11.
5. McGibbon CA, Krebs DE. Age-related changes in lower trunk coordination and energy transfer during gait. Journal of neurophysiology. 2001;85(5):1923-31.
6. Cofré LE, Lythgo N, Morgan D, Galea MP. Aging modifies joint power and work when gait speeds are matched. Gait & posture. 2011;33(3):484-9.
7. Bohannon RW. Number of pedometer-assessed steps taken per day by adults: a descriptive meta-analysis. Physical Therapy. 2007;87(12):1642-50.

8. Boyer KA, Andriacchi TP, Beaupre GS. The role of physical activity in changes in walking mechanics with age. *Gait & posture*. 2012;36(1):149-53.
9. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2005;60(3):324-33.
10. Maden-Wilkinson T, Degens H, Jones D, McPhee J. Comparison of MRI and DXA to measure muscle size and age-related atrophy in thigh muscles. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*. 2013;13(3):320-8.
11. Francis P, Lyons M, Piasecki M, Mc Phee J, Hind K, Jakeman P. Measurement of muscle health in aging. *Biogerontology*. 2017;18:901-11.
12. Morfis P, Gkaraveli M. Effects of aging on biomechanical gait parameters in the healthy elderly and the risk of falling. *Journal of Research & Practice on the Musculoskeletal System (JRPMS)*. 2021;5(2).
13. Sudarsky L. Gait disorders: prevalence, morbidity, and etiology. *Advances in neurology*. 2001;87:111-7.
14. Hollman JH, McDade EM, Petersen RC. Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait & posture*. 2011;34(1):111-8.
15. Kozakai R, Tsuzuku S, Yabe K, Ando F, Niino N, Shimokata H. Age-related changes in gait velocity and leg extension power in middle-aged and elderly people. *Journal of epidemiology*. 2000;10(1sup):77-81.
16. Ko S-u, Tolea MI, Hausdorff JM, Ferrucci L. Sex-specific differences in gait patterns of healthy older adults: results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of biomechanics*. 2011;44(10):1974-9.
17. DeVita P, Hortobagyi T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *Journal of applied physiology*. 2000;88(5):1804-11.
18. Kerrigan DC, Todd MK, Della Croce U, Lipsitz LA, Collins JJ. Biomechanical gait alterations independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1998;79(3):317-22.
19. Lanza IR, Towse TF, Caldwell GE, Wigmore D, Kent-Braun JA. Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *Journal of applied physiology*. 2003;95(6):2361-9.
20. Benoist M. Natural history of the aging spine. *European Spine Journal*. 2003;12:S86-S9.
21. Freemont A, Peacock T, Goupille P, Hoyland J, O'brien J, Jayson M. Nerve ingrowth into diseased intervertebral disc in chronic back pain. *The lancet*. 1997;350(9072):178-81.
22. Boos N, Weissbach S, Rohrbach H, Weiler C, Spratt KF, Nerlich AG. Classification of age-related changes in lumbar intervertebral discs: 2002 Volvo Award in basic science. *Spine*. 2002;27(23):2631-44.
23. Panjabi MM, GOEL VK, TAKATA K. Physiologic Strains in the Lumbar Spinal Ligaments: An: In Vitro: Biomechanical Study. *Spine*. 1982;7(3):192-203.
24. Florence CS, Bergen G, Atherly A, Burns E, Stevens J, Drake C. Medical costs of fatal and nonfatal falls in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2018;66(4):693-8.
25. Cabell L, Pienkowski D, Shapiro R, Janura M. Effect of age and activity level on lower extremity gait dynamics: an introductory study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(6):1503-10.

26. Gratza SK, Chocano-Bedoya PO, Orav E, Fischbacher M, Freystätter G, Theiler R, et al. Influence of fall environment and fall direction on risk of injury among pre-frail and frail adults. *Osteoporosis international*. 2019;30:2205-15.
27. Komisar V, Robinovitch SN. The role of fall biomechanics in the cause and prevention of bone fractures in older adults. *Current osteoporosis reports*. 2021;19:381-90.
28. Dragomir-Daescu D, Rossman TL, Rezaei A, Carlson KD, Kallmes DF, Skinner JA, et al. Factors associated with proximal femur fracture determined in a large cadaveric cohort. *Bone*. 2018;116:196-202.
29. Grzelczyk D, Biesiacki P, Mrozowski J, Awrejcewicz J. Dynamic simulation of a novel "broomstick" human forward fall model and finite element analysis of the radius under the impact force during fall. *Journal of theoretical and applied mechanics*. 2018;56(1):239-53.
30. Yu W-Y, Hwang H-F, Chen C-Y, Lin M-R. Situational risk factors for fall-related vertebral fractures in older men and women. *Osteoporosis international*. 2021;32:1061-70.
31. Court-Brown CM, Garg A, McQueen MM. The epidemiology of proximal humeral fractures. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 2001;72(4):365-71.
32. Laing AC, Feldman F, Jalili M, Tsai CMJ, Robinovitch SN. The effects of pad geometry and material properties on the biomechanical effectiveness of 26 commercially available hip protectors. *Journal of biomechanics*. 2011;44(15):2627-35.
33. Kim J, Park S-K. Differences in physical characteristics of the lower extremity and running biomechanics between different age groups. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(7):4320.
34. Sanchez-Trigo H, Zange J, Sies W, Böcker J, Sañudo B, Rittweger J. Effects of aging and fitness on hopping biomechanics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(20):13696.
35. Samuel D, Rowe P, Hood V, Nicol A. The biomechanical functional demand placed on knee and hip muscles of older adults during stair ascent and descent. *Gait & posture*. 2011;34(2):239-44.

Bölüm 9

MİNİMAL İNVAZİV CERRAHİLERİN EKLEM BİYOMEKANİĞİNE ETKİLERİ

İsmail GÜZEL¹

1. GİRİŞ

Minimal invaziv cerrahi (MİC), küçük insizyonlar kullanılarak gerçekleştirilen ve çevre dokulara minimal zarar veren cerrahi teknikleri kapsar. Ortopedik cerrahide, artroskopik prosedürlerden robotik yardımcı diz ve kalça protezlerine kadar geniş bir yelpazede MİC teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler, geleneksel açık cerrahiye kıyasla daha az postoperatif ağrı, daha hızlı fonksiyonel iyileşme, daha düşük enfeksiyon oranları ve daha kısa hastane yatış süresi gibi avantajlar sunar (1).

Eklem biyomekaniği, eklem stabilitesini, hareket açıklığını, yük taşıma kapasitesini ve fonksiyonel adaptasyonlarını içeren kompleks bir sistemdir. Bir eklemde gerçekleştirilen cerrahi müdahale, eklemi oluşturan kemikler, kıkırdak, bağlar, kaslar ve sinovyal yapıların dengesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Geleneksel açık cerrahiler genellikle çevre yumuşak dokuların geniş çaplı disseksiyonunu gerektirirken, minimal invaziv tekniklerde kas, tendon ve bağların korunmasına daha fazla önem verilir (2).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, MİC'nin eklem biyomekaniği üzerindeki etkilerini araştırarak, bu cerrahi tekniklerin eklem stabilitesi, yük dağılımı ve postoperatif hareket açıklığı gibi parametreleri nasıl etkilediğini değerlendirmektedir (3). Özellikle diz ve kalça protezi ameliyatlarında minimal invaziv yaklaşımlar, kas bütünlüğünün korunmasını sağlayarak erken mobilizasyon ve daha iyi postoperatif eklem fonksiyonu ile ilişkilendirilmiştir (4).

Ancak, minimal invaziv cerrahiler bazı dezavantajları da beraberinde getirebilir. Görüş alanının daralması, cerrahi öğrenme eğrisinin uzun olması ve belirli durumlarda eklem stabilitesinin olumsuz etkilenme riski gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (5). Bu bölümde, minimal invaziv cerrahilerin

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Ortopedi ve Travmatoloji AD, dr.ismailguzel@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2740-4139

Ancak, minimal invaziv cerrahiler ile geleneksel açık cerrahiler arasındaki uzun vadeli sonuçların karşılaştırıldığı geniş ölçekli klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Her hasta için en uygun cerrahi yaklaşımın belirlenmesi, cerrahin deneyimi, hastanın anatomik özellikleri ve prosedüre özgü biyomekanik faktörler dikkate alınarak yapılmalıdır.

Sonuç olarak, minimal invaziv cerrahiler ortopedik cerrahide önemli bir dönüşüm yaratmış olup, gelecekte daha ileri teknikler ve teknolojilerle daha iyi biyomekanik sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Kim TK, Chang CB, Kang YG, Kim SJ, Seong SC. The effectiveness of minimally invasive total knee arthroplasty to improve quadriceps recovery: A randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(7):1166-1171.
2. Howell SM, Howell SJ. Measuring ligament function in knee arthroplasty: The role of robotics and navigation. *Orthop Clin North Am.* 2020;51(4):387-396.
3. Della Valle CJ, Berger RA, Paprosky WG. Minimally invasive total hip arthroplasty: Current concepts and review of the literature. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(5):1486-1496.
4. Han SB, Kim HJ, Kang SB, Kim TK. Robot-assisted versus conventional total knee arthroplasty: A meta-analysis. *J Arthroplasty.* 2022;37(1):45-55.
5. Grassi A, Ardern CL, Marcheggiani Muccioli GM, Neri MP, Marcacci M, Zaffagnini S. An updated overview of clinical outcomes, return to sport and rehabilitation in competitive athletes after ACL reconstruction: What has changed over the last 20 years? *Br J Sports Med.* 2020;54(7):462-468.
6. Tanaka MJ, Kerlan RK, McCarty EC. Return to play following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(19):e885-e892.
7. Goyal N, Chen AF, Padgett SE, Tan TL, Kheir MM, Purtill JJ. Newer technologies in total knee arthroplasty: A step forward or a marketing gimmick? *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(2):140-150.
8. Smith TO, Jepson P, Beswick AD, Sands G, Drummond A, Davis ET. Surgical approaches and patient-reported outcomes in total hip replacement: Systematic review and meta-analysis. *BMC Med.* 2012;10:174.
9. Domb BG, El Bitar YF, Stake CE, Trindade CA, Botser IB. Arthroscopic labral reconstruction in the hip using a direct head graft technique: Surgical technique and early outcomes. *Orthop J Sports Med.* 2014;2(4):2325967114533619.
10. Parratte S, Pagnano MW, Coleman-Wood K, Kaufman KR, Berry DJ. The biomechanical effect of total knee arthroplasty component malrotation. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(5):1131-1139.
11. Kumar D, Wisniewski SJ, Marcelino AM, Depaul MA, Madan SM. Meniscus repair versus partial meniscectomy: A systematic review and meta-analysis of functional outcomes. *Am J Sports Med.* 2021;49(10):2795-2805.
12. Zaffagnini S, Marcheggiani Muccioli GM, Serra M, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(6):1370-1378.

13. Johal P, Williams A, Wragg P, Hunt D, Gedroyc W. Tibiofemoral movement in the living knee: A study of weight bearing and non-weight bearing knee kinematics using “interventional” MRI. *J Biomech.* 2005;38(2):269-276.
14. Milgram C, Mao J, Lee Q, Diao X. Biomechanical considerations for total knee arthroplasty: A systematic review. *Knee.* 2018;25(3):403-413.
15. Krych AJ, Sousa PL, Morgan JA, Levy BA, Stuart MJ. Does ligament balancing influence the midterm outcomes of total knee arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res.* 2019;477(4):846-857.
16. Pitto RP, Hofstetter W, Draenert K, Draenert Y. Biomechanics of the hip and total hip replacement: Current knowledge, concepts and perspectives. *J Biomech.* 2018;82:75-91.
17. Zhang H, Guo L, Xie J, Chen G, Wang L. Robot-assisted versus conventional total hip arthroplasty: A systematic review and meta-analysis of clinical outcomes. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):406.
18. Laboute E, Potage D, Tourne Y. Evolution of foot and ankle surgery: The rise of minimally invasive techniques. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(1S):S1-S9.
19. Hodgson RJ, O'Connor PJ, Grainger AJ. Tendon and ligament imaging. *Br J Radiol.* 2012;85(1016):1157-1172.
20. Liow MH, Goh GS, Tay DK, Yeo SJ, Lo NN. Digital technology in total knee arthroplasty: The current state of robotic-assisted, computer-navigated, and patient-specific instruments. *J Knee Surg.* 2022;35(1):39-50.
21. Schwarzkopf R, Brodke DS, Holt GE. The future of orthopaedic surgery: Enhancing precision through technology and innovation. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(18):e73.
22. Sharma A, Abouljoud MM, Dabija DI, Montgomery SR, Patel NN. The role of artificial intelligence in orthopedic surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2021;14(3):211-218.
23. Goyal D, Goyal A, Khanduja V. Trends and future perspectives in knee arthroscopy: Artificial intelligence, augmented reality, and personalized medicine. *J Arthrosc Surg Sports Med.* 2021;2(4):195-206.
24. Assal M, Darms K, Stern R, Regazzoni P. Minimally invasive surgery for calcaneal fractures: A systematic review of outcomes. *Foot Ankle Int.* 2012;33(6):524-530.
25. Kim HS, Park DH, Lee JH, Kim HS. Minimally invasive spinal fusion surgery: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Spine J.* 2021;21(6):940-950.
26. Ponnusamy KE, Iyer S, Khanna AJ. Minimally invasive spine surgery: Evolution and its future. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2017;10(1):17-23.
27. González MH, Hall RF Jr. Biomechanics of orthopedic implants: A critical review of emerging trends. *J Orthop Sci.* 2020;25(2):197-212.
28. Sledge CB. The future of joint replacement. *Am J Med.* 2003;114(5):455-462.
29. Mahomed NN, Barrett JA, Katz JN, et al. Epidemiology of total knee replacement in the United States: Results from the National Hospital Discharge Survey, 1990-2000. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(6):1222-1228.
30. Lee GC, Marconi D. Complications of total hip arthroplasty. *Clin Geriatr Med.* 2012;28(2):323-334.
31. Hube R, Pfizner T, Perka C. Minimally invasive techniques in total knee arthroplasty. *Orthopade.* 2018;47(5):385-394.

32. Fehring TK, Mason JB, Moskal J, Kindsfater K, Springer BD. When computer-assisted knee replacement is the best option. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(4):312-319.
33. Rajgopal A, Vasdev A, Dahiya V, Gupta H. Enhanced recovery after surgery in total knee arthroplasty: Current concepts and future directions. *Indian J Orthop.* 2021;55(1):285-293.
34. Smith WB, Steinberg J, Scholtes S, Stulberg SD. The role of patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(11):624-632.
35. Pivec R, Johnson AJ, Mears SC, Mont MA. Hip arthroplasty. *Lancet.* 2012;380(9855):1768-1777.
36. Domb BG, Stake CE, Finch NA, Cramer TL, Giordano BD. Minimally invasive hip surgery: A review of the evidence on approaches and techniques. *Orthop Clin North Am.* 2016;47(3):387-394.
37. Meneghini RM, Ziemba-Davis M, Ishmael MK, Berend ME, Ritter MA. Safe surgical dissection in total hip arthroplasty: An anatomic comparison of the direct anterior versus the posterior approach. *J Arthroplasty.* 2016;31(6):1218-1222.
38. Jones CW, Jerabek SA. Current role of computer navigation in total hip and total knee arthroplasty. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2017;10(1):57-65.
39. Schotanus MG, Kort NP. Computer-assisted surgery and patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty: Where do we stand today? *World J Orthop.* 2021;12(6):355-370.
40. Perets I, Mu BH, Chen AW, Domb BG. Robot-assisted total hip arthroplasty: Current concepts, techniques, and review of the literature. *SICOT J.* 2017;3:57.
41. Parratte S, Ollivier M, Lunebourg A, Flecher X, Argenson JN. Surgical approaches in total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(1S):S9-S16.
42. Springer BD, Odum SM, Vegari DN, Ullrich BP, Fehring TK. Implementing a rapid recovery program for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2019;34(7S):S67-S71.
43. Gobbi A, Karnatzikos G, Scotti C, Mahajan V, Mazzucco L, Grigolo B. The effect of platelet-rich plasma in cartilage repair: A prospective study. *Arthroscopy.* 2011;27(5):e222.
44. Goh GS, Tay DK, Yeo SJ, Lo NN, Liow MH. The role of technology in total knee arthroplasty: From computer navigation to robotic assistance. *J Knee Surg.* 2022;35(5):511-523.
45. Zhu Z, He Q, Wang J, Zhang Y. Artificial intelligence in orthopedics: Applications and perspectives. *J Orthop Translat.* 2022;31:36-47.
46. Ponnusamy KE, Iyer S, Gupta G, Khanna AJ. Minimally invasive spinal surgery: Emerging trends and future directions. *J Clin Orthop Trauma.* 2017;8(1):1-6.
47. Schwarzkopf R, Schnabel C, Hoang A, Shah RP. 3D printing and custom implants for orthopaedic applications. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(12):1045-1052.

Bölüm 10

OBEZİTENİN DİZ VE AYAKBİLEĞİ BİYOMEKANİĞİNE ETKİSİ

İdris PERKTAŞ¹

GİRİŞ

Alt ekstremit eklemlerinin, özellikle diz ve ayak bileğinin biyomekaniği, günümüzün en önemli sağlık sorunlarından biri olan obeziteden önemli ölçüde etkilenmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) obeziteyi, vücutta sağlığı tehdit eden anormal veya aşırı yağ birikimi olarak tanımlamakta ve vücut kitle indeksi (VKİ) 30 kg/m^2 ve üzerindeki bireyleri obez olarak sınıflandırmaktadır (1). DSÖ'nün bu sınıflandırması, obezitenin üç farklı kategoride değerlendirilmesini öngörmektedir: VKİ 30-34.9 arası Sınıf I, 35-39.9 arası Sınıf II ve 40'ın üzeri Sınıf III obezite olarak tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma sistemi, klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmakta olup, tedavi yaklaşımlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (1).

Obezite, son yarım yüzyılda küresel bir sağlık sorunu haline gelmiş ve prevalansı pandemi seviyelerine ulaşmıştır. Dünya genelinde 1980'den 2015'e kadar obezite ve aşırı kilo prevalansı iki katına çıkmış, 2015 yılı verilerine göre dünya nüfusunun %39'u aşırı kilolu veya obez olarak sınıflandırılmıştır (2). Bu artış trendi, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin olarak gözlenmektedir. 2016 yılı itibarıyla küresel obezite prevalansı erkeklerde %10.8, kadınlarda %14.9 olarak bildirilmiş olup, bu oranlar bölgesel farklılıklar göstermektedir. Örneğin, ABD'de obezite oranı %38.2 iken, Japonya'da bu oran sadece %3.7'dir (3). Ayrıca, VKİ kullanılarak yapılan obezite tahminlerinin düşük duyarlılığa sahip olabileceği ve gerçek obezite oranlarını olduğundan düşük gösterebileceği de belirtilmektedir (4).

Obezitenin kas-iskelet sistemi üzerindeki etkileri, sadece mekanik yüklenme ile sınırlı değildir ve kompleks bir patogeneze sahiptir. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar, vücut yağ oranındaki artışın özellikle diz, ayak bileği ve bel ağrılarıyla

¹ Uzm. Dr., Osmaniye Özel İbni Sina Hastanesi, Ortopedi Kliniği, drperktas@yahoo.com, ORCID iD: 0009-0005-4582-1560

KAYNAKÇA

1. Nuttall FQ. Body Mass Index, Obesity, BMI, and Health: A Critical Review. *Nutr Today*. 2015;50(3):117-128. doi:10.1097/NT.0000000000000092
2. Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism*. 2019;92:6-10. doi:10.1016/j.metabol.2018.09.005
3. Blüher M. Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nat Rev Endocrinol*. 2019;15(5):288-298. doi:10.1038/s41574-019-0176-8
4. Reilly JJ, El-Hamdouchi A, Diouf A, et al. Determining the worldwide prevalence of obesity. *Lancet*. 2018;391(10132):1773-4. doi:10.1016/S0140-6736(18)30794-3
5. Walsh TP, Arnold JB, Evans AM, et al. The association between body fat and musculoskeletal pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(233). doi:10.1186/s12891-018-2137-0
6. Higgins DM, Buta E, Heapy AA, et al. The relationship between body mass index and pain intensity among veterans with musculoskeletal disorders: findings from the MSD cohort study. *Pain Med*. 2020;21(10):2563-72. doi:10.1093/pm/pnaa032
7. Onyemaechi NOC, Anyanwu GE, Obikili EN, et al. Impact of overweight and obesity on the musculoskeletal system using lumbosacral angles. *Patient Preference and Adherence*. 2016;10:291-296. doi:10.2147/PPA.S96334
8. MacLean KFE, Callaghan JP, Maly MR. Effect of obesity on knee joint biomechanics during gait in young adults. *Cogent Medicine*. 2016;3(1):1173778. doi:10.1080/2331205X.2016.1173778
9. Pau M, Capodaglio P, Leban B, Porta M, Galli M, Cimolin V. Kinematics Adaptation and Inter-Limb Symmetry during Gait in Obese Adults. *Sensors*. 2021;21(17):5980. doi:10.3390/s21175980
10. Capodaglio P, Gobbi M, Donno L, Fumagalli A, Buratto C, Galli M, Cimolin V. Effect of obesity on knee and ankle biomechanics during walking. *Sensors*. 2021;21(21):7114. doi:10.3390/s21217114
11. Maktouf W, Durand S, Boyas S, Beaune B. Interactions among obesity and age-related effects on the gait pattern and muscle activity across the ankle joint. *Exp Gerontol*. 2021;143:111136. doi:10.1016/j.exger.2020.111136
12. Chen L, Zheng JY, Li G, Yuan J, Ebert JR, Li H, et al. Pathogenesis and clinical management of obesity-related knee osteoarthritis: Impact of mechanical loading. *J Orthop Translat*. 2021;26:3-12. doi:10.1016/j.jot.2020.07.004
13. Luo X, Wang Q, Tan H, Zhao W, Yao Y, Lu S. Digital assessment of muscle adaptation in obese patients with osteoarthritis: Insights from surface electromyography. *Digital Health*. 2025;11:1-14. doi:10.1177/20552076211033456
14. Bollinger LM, Ransom AL. The Association of Obesity With Quadriceps Activation During Sit-to-Stand. *Phys Ther*. 2020;100(12):2134-2143. doi:10.1093/ptj/pzaa161
15. Das PR, Yadav S, Ankita, Rijwi MR, Saini P, Sharma D. Gender specific effect of obesity on knee proprioception in weight bearing and non-weight bearing position. *JK-Practitioner*. 2020;25(1-4):21-26. doi:10.1016/j.jksus.2020.03.012
16. Li JS, Tsai TY, Clancy MM, Li G, Lewis CL, Felson DT. Weight loss is associated with improved gait kinematics in obese individuals with knee pain. *Gait Posture*. 2019;68:461-465. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.12.038
17. Sarkar A, Sawhney A. Effects of Body Mass Index on Biomechanics of Adult Female Foot. *MOJ Anat & Physiol*. 2017;4(1):00124. doi:10.15406/mojap.2017.04.00124

18. Neri SGR, Gadelha AB, Correia ALM, et al. Obesity is Associated With Altered Plantar Pressure Distribution in Older Women. *J Appl Biomech.* 2017;33(4):323-329. doi:10.1123/jab.2016-0274
19. Catan L, Amaricai E, Onofrei RR, et al. The Impact of Overweight and Obesity on Plantar Pressure in Children and Adolescents. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(18):6600. doi:10.3390/ijerph17186600
20. Koushyar H, Nussbaum MA, Davy KP, et al. Relative Strength at the Hip, Knee, and Ankle Is Lower Among Younger and Older Females Who Are Obese. *J Geriatr Phys Ther.* 2017;40(3):143-149. doi:10.1519/JPT.0000000000000083
21. Maktouf W, Durand S, Boyas S, et al. Combined effects of aging and obesity on postural control, muscle activity and maximal voluntary force of muscles mobilizing ankle joint. *J Biomech.* 2018;79:198-206. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.08.018
22. Magtouf E, Chortane SG, Chortane OG, et al. Influence of Concurrent Exercise Training on Ankle Muscle Activation during Static and Proactive Postural Control on Older Adults with Sarcopenic Obesity. *Eur J Investig Health Psychol Educ.* 2023;13(12):2779-94. doi:10.3390/ejihpe13120192
23. Chen B, Ma H, Qin LY, et al. Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. *J Orthop Translat.* 2016;5:26-37. doi:10.1016/j.jot.2015.09.007
24. Safaei M, Sundararajan EA, Driss M, et al. A systematic literature review on obesity: Understanding the causes & consequences of obesity and reviewing various machine learning approaches used to predict obesity. *Comput Biol Med.* 2021;137:104754. doi:10.1016/j.combiomed.2021.104754
25. Paterson KL, Gates L. Clinical assessment and management of foot and ankle osteoarthritis: a review of current evidence and focus on pharmacological treatment. *Rheumatology.* 2019;58:v103-v111. doi:10.1093/rheumatology/kez448
26. Webster JB, Crunkhorn A, Sall J, et al. Clinical Practice Guidelines for the Rehabilitation of Lower Limb Amputation: An Update from the Department of Veterans Affairs and Department of Defense. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019;98:820-829. doi:10.1097/PHM.0000000000001213
27. Bouchard M, Amin A, Pinsker E, et al. The Impact of Obesity on the Outcome of Total Ankle Replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97:904-10. doi:10.2106/JBJS.N.00877
28. Roos EM, Arden NK. Strategies for the prevention of knee osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2016;12:92-101. doi:10.1038/nrrheum.2015.135
29. Sun AR, Udduttula A, Li J, Liu Y, Ren P-G, Zhang P. Cartilage tissue engineering for obesity-induced osteoarthritis: Physiology, challenges, and future prospects. *J Orthop Translat.* 2021;26:3-15. doi:10.1016/j.jot.2020.07.003
30. Francisco V, Pérez T, Pino J, López V, Franco E, Alonso A, et al. Biomechanics, obesity, and osteoarthritis. The role of adipokines: When the levee breaks. *J Orthop Res.* 2018;36(2):594-604. doi:10.1002/jor.23759
31. Molina-Garcia P, Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Esteban-Cornejo I, Mora-Gonzalez J, Rodriguez-Ayllon M, et al. A systematic review on biomechanical characteristics of walking in children and adolescents with overweight/obesity: possible implications for the development of musculoskeletal disorders. *Obes Rev.* 2019;20(9):1333-1349. doi:10.1111/obr.12877
32. Collins AT, Kulvaranon ML, Cutcliffe HC, Utturkar GM, Smith WAR, Spritzer CE, et al. Obesity alters the in vivo mechanical response and biochemical properties of car-

- tilage as measured by MRI. Arthritis Res Ther. 2018;20(1):232. doi:10.1186/s13075-018-1727-4
33. Adouni M, Aydelik H, Faisal TR, Hajji R. Obesity impact on knee joint passive-active structure and cartilage loading based on subject-specific finite element-musculoskeletal approach. Sci Rep. 2024;14(1):12345. doi:10.1038/s41598-024-56789-4
34. Yang L, Sinsurin K, Shen F, Zhao B, Gao T. Biomechanical changes in lower extremity in individuals with knee osteoarthritis in the past decade: A scoping review. Heliyon. 2024;10(6):e32642 . doi:10.1016/j.heliyon.2024.e32642

Bölüm 11

EL BİLEĞİ BİYOMEKANİĞİ ve KARPAL BAĞ YARALANMALARININ PATOMEKANİĞİ

Okyar ALTAŞ¹

GİRİŞ VE TARİHÇE

El bileği, iki eklemi birbirine bağlayan oldukça hareketli bir kompozit eklemdir. Ön kol kemikleri ile el arasındaki bağlantı, önemli bir yükü eğilmeden taşıyabilme kabiliyeti ile karakterize edilir. Bu kabiliyet, el bileği tendonları, eklem yüzeyleri ve yumuşak doku kısıtlamaları arasındaki mükemmel etkileşim sayesinde başarılıdır ve karmaşık bir nöromüsküler kontrol sistemi tarafından koordine edilir. Geçtiğimiz 125 yıl boyunca, el bileğinin karmaşık mekanizmalarını açıklamak için farklı teoriler önerilmiştir, ancak el bileği kinematığının “evrensel” bir teorisi konusunda fikir birliği sağlanamamıştır (1).

El bileğinin nasıl hareket ettiğini (karpal kinematik) açıklamak için önerilen teoriler şunlardır;

Bryce (2) Karpal kemikler, her biri iki transvers eklem (radiokarpal ve midkarpal) etrafında rijit bir fonksiyonel birim olarak hareket eden iki karpal sıra (proksimal ve distal) halinde düzenlenmiştir.

- Navarro (3) Karpal kemikler üç dikey, birbirine bağlı kolon halinde düzenlenmiştir: (1) merkezi kolon (lunat, kapitat ve hamat) bileğin fleksiyon-ekstansiyonunu kontrol eder; (2) lateral kolon (skafoïd, trapezium ve trapezoid) bilek boyunca yük transferini kontrol eder ve (3) medial veya rotasyonel kolon (triquetrum ve pisiform) pronosupinasyonu kontrol eder.
- Gilford ve arkadaşları (4) El bileğinin merkezi kolonu (radius-lunat-kapitat) mekanik olarak bir “bağlantı eklemi” olarak düzenlenmiştir ve skafoïd kırıldığında ya da skafolunat bağ yaralanmasıyla lunattan ayrıldığında deformasyona uğrar.
- Landsmeer (5) “İnterkale kemiği”, bir parmağın orta falanksı gibi, komşu falankslerden ve falanksı kapsayan muskulotendinöz ünitelerden gelen

¹ Dr. ,Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, El Cerrahisi Kliniği , okyaraltas@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-1262-6073

16 kadavra el bileğinde ekstansiyon-radyal deviasyon ekseninde aydınlatılmıştır (39).

SONUÇ

El bileği, ön kol kemikleri ile el arasındaki bağlantıyı sağlayan oldukça hareketli bir kompozit eklemdir. El bileğinin karmaşık mekanizmalarını açıklamak için farklı teoriler önerilmiştir, ancak el bileği kinematığının “evrensel” bir teorisi konusunda fikir birliği sağlanamamıştır. El bileği esasen, proksimal karpal sıranın oldukça hareketli kemikleri etrafında eli ön kola bağlayan iki eklemlili bir sistem olarak düşünülebilir. El bileğinin hareketi, ele harici bir kuvvet uygulandığında pasif olarak veya ön kol kasları kasıldığında aktif olarak gerçekleşebilir. Proksimal karpal sıranın üç kemiği daha az sıkıca bağlı olması nedeniyle distal karpal sıradaki kemiklere göre birbirlerine daha yakındır. El bileğinin radyalden ulnara rotasyonu sırasında, proksimal ve distal karpal sıralar farklı düzlemlerde hareket eder. Kaslar, el bileğinin stabilizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. İki yaralanma mekanizması karpal disfonksiyona neden olabilir: doğrudan ve dolaylı. Karpal instabilitenin tipik bir doğrudan mekanizması, transvers karpal arkın ezilmesiyle ortaya çıkar. Dorsal perilunat çıkıklarının çoğu ise dolaylı bir yaralanma mekanizmasının sonucudur. Progresif karpal instabilitenin dört aşaması tanımlanmıştır: SL ayrışması/skafoid kırığı, LC çıkığı, LT bozulması/triquetrum kırığı ve lunatum çıkığı. El bileğinin biyomekaniğinin anlaşılması, karpal patolojinin tam olarak anlaşılması ve başarılı bir şekilde tedavi edilmesi için çok önemlidir.

KAYNAKÇA

1. Rainbow MJ, Wolff AL, Crisco JJ, Wolfe SW. Functional kinematics of the wrist. *J Hand Surg Eur.* 2016;41(1):7–21.
2. Bryce TH. Certain points in the anatomy and mechanism of the wrist-joint reviewed in the light of a series of Röntgen ray photographs of the living hand. *J Anat Physiol.* 1896;31:59–79.
3. Navarro A. Anatomia y fisiologia del carpo. In: *Anales del Instituto de Clinica Quirurgica y Cirugia Experimental*. Montevideo: Imprenta Artistica de Dornaleche; 1935.
4. Gilford WW, Bolton RH, Lambrinudi G. The mechanism of the wrist joint with special reference to fractures of the scaphoid. *Guy's Hosp Report.* 1943;92:529.
5. Landsmeer JMF. Studies in the anatomy of articulation. I. The equilibrium of the “intercalated” bone. *Acta Morphol Neerl-Scand.* 1961;3:287–321.
6. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54(8):1612–1632.

7. 255. Taleisnik J. Wrist: anatomy, function and injury. *Instr Course Lect.* 1978;27:79–94.
8. Weber ER. Concepts governing the rotational shift of the intercalated segment of the carpus. *Orthop Clin North Am.* 1984;15(2):193–207.
9. Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GR. Ulnar midcarpal instability-clinical and laboratory analysis. *J Hand Surg Am.* 1981;6(5):515–523.
10. Craigen MA, Stanley JK. Wrist kinematics. Row, column or both? *J Hand Surg Br.* 1995;20(2):165–170.
11. Crisco JJ, Coburn JC, Moore DC, Akelman E, Weiss AP, Wolfe SW. In vivo radiocarpal kinematics and the dart thrower's motion. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(12):2729–2740.
12. Crisco JJ, Heard WM, Rich RR, Paller DJ, Wolfe SW. The mechanical axes of the wrist are oriented obliquely to the anatomical axes. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(2):169–177.
13. Sandow MJ, Fisher TJ, Howard CQ, Papas S. Unifying model of carpal mechanics based on computationally derived isometric constraints and rules-based motion—the stable central column theory. *J Hand Surg Eur.* 2014;39(4):353–363.
14. Li ZM, Kuxhaus L, Fisk JA, Christophel TH. Coupling between wrist flexion-extension and radial-ulnar deviation. *Clin Biomech.* 2005;20(2):177–183.
15. Viegas SF, Patterson RM, Todd PD, McCarty P. Load mechanics of the midcarpal joint. *J Hand Surg Am.* 1993;18(1):14–18.
16. Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ. In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *J Hand Surg Am.* 2000;25(5):860–869.
17. Crisco JJ, Wolfe SW, Neu CP, Pike S. Advances in the in vivo measurement of normal and abnormal carpal kinematics. *Orthop Clin North Am.* 2001;32(2):219–231 (vii).
18. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJ, Venema HW, Kauer JM, Bos KE. In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. *J Hand Surg Am.* 2003;28(1):81–87.
19. Best GM, Mack ZE, Pichora DR, Crisco JJ, Kamal RN, Rainbow MJ. Differences in the rotation axes of the scapholunate joint during flexion-extension and radial-ulnar deviation motions. *J Hand Surg Am.* 2019;44(9):772–778.
20. Abe S, Moritomo H, Oka K, et al. Three-dimensional kinematics of the lunate, hamate, capitate and triquetrum with type 1 or 2 lunate morphology. *J Hand Surg Eur.* 2018;43(4):380–386.
21. Kamal RN, Starr A, Akelman E. Carpal kinematics and kinetics. *J Hand Surg Am.* 2016;41(10):1011–1018.
22. Ritt MJ, Linscheid RL, Cooney 3rd WP, Berger RA, An KN. The lunotriquetral joint: kinematic effects of sequential ligament sectioning, ligament repair, and arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1998;23(3):432–445.
23. Wolfe SW, Garcia-Elias M, Kitay A. Carpal instability nondissociative. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(9):575–585.
24. Brigstocke GH, Hearnden A, Holt C, Whatling G. In-vivo confirmation of the use of the dart thrower's motion during activities of daily living. *J Hand Surg Eur.* 2014;39(4):373–378.
25. Rainbow MJ, Wolff AL, Crisco JJ, Wolfe SW. Functional kinematics of the wrist. *J Hand Surg Eur.* 2016;41(1):7–21.

26. Moritomo H, Murase T, Arimitsu S, Oka K, Yoshikawa H, Sugamoto K. Change in the length of the ulnocarpal ligaments during radiocarpal motion: possible impact on triangular fibrocartilage complex foveal tears. *J Hand Surg Am.* 2008;33(8):1278–1286.
27. Moritomo H, Apergis EP, Garcia-Elias M, Werner FW, Wolfe SW. International Federation of Societies for surgery of the hand 2013 Committee's report on wrist dart-throwing motion. *J Hand Surg Am.* 2014;39(7):1433–1439.
28. Rohde RS, Crisco JJ, Wolfe SW. The advantage of throwing the first stone: how understanding the evolutionary demands of Homo sapiens is helping us understand carpal motion. *J Am Acad Orthop Surg.* 2010;18(1):51–58.
29. Akhbari B, Morton A, Moore D, Weiss AC, Wolfe SW, Crisco J. Kinematic accuracy in tracking total wrist arthroplasty with biplane videoradiography using a CT-generated model. *J Biomech Eng.* 2019;141(4):0445031–0445037.
30. Singh HP, Brinkhorst ME, Dias JJ, Moojen T, Hovius S, Bhowal B. Dynamic assessment of wrist after proximal row carpectomy and 4-corner fusion. *J Hand Surg Am.* 2014;39(12):2424–2433.
31. Fenton RL. The Naviculo-Capitate Fracture Syndrome. *JBJS.* 1956;38A(3):681–684.
32. Henle J. 2. *Handbuch der systemmatischen Anatomie des Menschen.* Vol. 1. Braunschweig: Friedrich Vieweg; 1871.
33. Sandow MJ. Computer modelling of wrist biomechanics: translation into specific tasks and injuries. *Curr Rheumatol Rev.* 2020;16(3): 178–183.
34. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Hagert E. Scapholunate instability: proprioception and neuromuscular control. *J Wrist Surg.* 2013;2(2):136– 140.
35. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Leon-Lopez MT, Llusa-Perez M, Rodríguez-Baeza A. Effects of forearm muscles on carpal stability. *J Hand Surg Eur.* 2011;36(7):553–559.
36. Majima M, Horii E, Matsuki H, Hirata H, Genda E. Load transmission through the wrist in the extended position. *J Hand Surg Am.* 2008;33(2):182–188.
37. Garcia-Elias M. Definition of carpal instability. The anatomy and biomechanics Committee of the International Federation of Societies for Surgery of the Hand. *J Hand Surg Am.* 1999;24(4):866–867.
38. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. *J Hand Surg Am.* 1980;5(3):226–241.
39. Murray PM, Palmer CG, Shin AY. The mechanism of ulnar-sided perilunate instability of the wrist: a cadaveric study and 6 clinical cases. *J Hand Surg Am.* 2012;37(4):721–728.

Bölüm 12

DİRSEK BİYOMEKANİĞİ: STATİK VE DİNAMİK STABİLİZATÖRLER

Alperen KORUCU¹

GİRİŞ

Dirsek ekleminin karmaşık yapısı, stabilite için kemik, yumuşak doku ve dinamik stabilizatörlerin etkileşimine dayanır. Dirsek üç eklemden oluşur: humerus-ulna menteşe eklemi ve radyal baş ile hem distal humerus hem de proksimal ulna arasındaki iki eklem. Birincil osseöz stabilizatör içbükey ulna-dışbükey humerus eklemidir ve koronoid proçes posterior dirsek subluksasyonunu önlemede çok önemlidir. Radyokapitellar eklem, kompresif yükleri ileterek ve lateral ulnar kollateral ligamente gerilim sağlayarak katkıda bulunur. Dinamik stabilizatörler, humerus ve ön kol kasları, kemik stabilitesini artırır ve stabilize edici bağlar üzerindeki yükü azaltır. Yumuşak doku stabilizatörleri, özellikle medial ulnar kollateral ligament (MUCL) ve onun anterior demeti (AMCL), dirseği varus veya valgus momentlerine maruz bırakan aktiviteler sırasında stabilite için kritik öneme sahiptir. Lateral ligamentöz kompleks de stabilitede rol oynar. Bu stabilizatörlerin biyomekaniğini anlamak, yumuşak doku hasarını önlemek, stabil olmayan dirsekleri tedavi etmek ve uygun bağ rekonstrüksiyon yöntemlerini belirlemek için gereklidir. Rekonstrüksiyon sırasında uygun gerdirme, kıkırdak hasarını veya rezidüel gevşekliliği önlemek için çok önemlidir. AMCL mekanik bütünlüğü ile ilişkili kinematik bağlantı oranı, valgus gevşekliliğini etkiler ve bozulursa artan instabilite yaratabilir.

DİRSEK BİYOMEKANİĞİNDE KEMİK VE EKLEM STABİLİZATÖRLER

Dirsek eklemi temel olarak humerus ve ulna arasında bir menteşe işlevi görür ve trokleanın dışbükey proksimal yüzeyinin troklear çentik içbükey yüzeyi ile eklemlenmesiyle oluşan merkezi bir eksen etrafında döner. Bu dönme eksenini, troklea ve kapitellum tarafından ana hatları çizilen eş merkezli yayların

¹ Uzm. Dr., Özel Muayenehane, dralperenkorucu@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-2861-1749

rahatsızlığı yaşayan atıcılarda medial önkol kas aktivasyonunun azalmasında görüldüğü gibi hafif olabilir. Bu alanda daha iyi bir anlayış, çeşitli aktiviteler sırasında belirli kuvvetlere maruz kalan bölgeleri stabilize etmek için uygun kasların güçlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Dirsek yumuşak doku stabilizatörleri, dirsek stabilitesine karmaşık ve kritik katkıda bulunur. Dirseklerin maruz kaldığı önemli varus ve valgus kuvvetleri nedeniyle anatomileri ve biyomekanikleri hakkında kapsamlı bir anlayış esastır. Güncel araştırmalar, dirseğin medial tarafında gerçekleştirilen bağ rekonstrüksiyonlarının artan sayısı tarafından yönlendirilmektedir. Ulnar iç rotasyon ve daha büyük moment kolları ile sonuçlanan valgus gevşekliğinin artması döngüsüne yol açan medial yumuşak doku hasarını önlemek, dengesiz bir dirseği tedavi etmek için en uygun bağ rekonstrüksiyon yöntemini belirlemek kadar önemlidir.

KAYNAKÇA

1. London JT. Kinematics of the elbow. J Bone Joint Surg Am. 1981;63(4):529e535.
2. Graham KS, Golla S, Gehrmann SV, Kaufmann RA. Quantifying the center of elbow rotation: implications for medial collateral ligament reconstruction. Hand (N Y). 2019;14(3):402e407.
3. Armstrong AD, Ferreira LM, Dunning CE, Johnson JA, King GJ. The medial collateral ligament of the elbow is not isometric: an in vitro biomechanical study. Am J Sports Med. 2004;32(1):85e90.
4. Morrey BF, An KN. Functional anatomy of the ligaments of the elbow. Clin Orthop Relat Res. 1985;201:84e90.
5. Miyake J, Moritomo H, Masatomi T, et al. In vivo and 3-dimensional functional anatomy of the anterior bundle of the medial collateral ligament of the elbow. J Shoulder Elbow Surg. 2012;21(8): 1006e1012.
6. Morrey BF, An KN. Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. Am J Sports Med. 1983;11(5):315e319.
7. Safran M, Ahmad CS, Elattrache NS. Ulnar collateral ligament of the elbow. Arthroscopy. 2005;21(11):1381e1395.
8. Kincaid BL, An KN. Elbow joint biomechanics for preclinical evaluation of total elbow prostheses. J Biomech. 2013;46(14): 2331e2341.
9. Inhofe PD, Howard TC. The treatment of olecranon fractures by excision of fragments and repair of the extensor mechanism: historical review and report of 12 fractures. Orthopedics. 1993;16(12): 1313e1317.
10. McKee FM, Buck RM. Fracture of the olecranon process of the ulna: treatment by excision of fragment and repair of triceps tendon. JAMA. 1947;135(1):1e5.
11. An KN, Morrey BF, Chao EY. The effect of partial removal of proximal ulna on elbow constraint. Clin Orthop Relat Res. 1986;209: 270e279.
12. Morrey BF, An KN, Stormont TJ. Force transmission through the radial head. J Bone Joint Surg Am. 1988;70(2):250e256.

13. Van Glabbeek F, Van Riet RP, Baumfeld JA, et al. Detrimental effects of overstuffing or understuffing with a radial head replacement in the medial collateral ligament-deficient elbow. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(12):2629e2635.
14. Hotchkiss RN, Weiland AJ. Valgus stability of the elbow. *J Orthop Res.* 1987;5(3):372e377.
15. Morrey BF, Tanaka S, An KN. Valgus stability of the elbow a definition of primary and secondary constraints. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;265:187e195.
16. Beingessner DM, Dunning CE, Gordon KD, Johnson JA, King GJ. The effect of radial head excision and arthroplasty on elbow kinematics and stability. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(8):1730e1739.
17. De Vos MJ, Wagener ML, Hendriks JCM, Eygendaal D, Verdonshot N. Linking of total elbow prosthesis during surgery: a biomechanical analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(9): 1236e1241.
18. Ferreira LM, King GJ, Johnson JA. Development of an active elbow flexion simulator to evaluate joint kinematics with the humerus in the horizontal position. *J Biomech.* 2010;43(11):2114e2119.
19. Ettema GCJ, Styles G, Kippers V. The moment arms of 23 muscle segments of the upper limb with varying elbow and forearm positions: implications for motor control. *Hum Mov Sci.* 1998;17(2): 201e220.
20. Werner SL, Fleisig GS, Dilman CJ, Andrews JR. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;17(6):274e278.
21. Cohen SB, Woods DP, Siegler S, Dodson CC, Namani R, Ciccotti M. Biomechanical comparison of graft fixation at 30 and 90 of elbow flexion for ulnar collateral ligament reconstruction by the docking technique. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(2): 265e272.
22. Pomianowski S, O'Discroll SW, Neale PG, Park MJ, Morrey BF, An KN. The effect of forearm rotation on laxity and stability of the elbow. *Clin Biomech.* 2001;16(5):401e407.
- 23- Floris S, Olsen BS, Dalstra M, Sojbjerg JO, Sneppen O. The medial collateral ligament of the elbow joint: anatomy and kinematics. *J Shoulder Elbow Surg.* 1998;7(4):345e351.
24. Regan WD, Korinek SL, Morrey BF, An KN. Biomechanical study of ligaments around the elbow joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(271):170e179.
25. Sherman SL, Chalmers PN, Yanke AB, et al. Graft tensioning during knee ligament reconstruction: principles and practice. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(10):633e645.
26. Pichora JE, Fraser GS, Ferreira LF, Brownhill JR, Johnson JA, King GJ. The effect of medial collateral ligament repair tension on elbow joint kinematics and stability. *J Hand Surg Am.* 2007;32(8): 1210e1217.
27. Cohen SB, Woods DP, Siegler S, Dodson CC, Namani R, Ciccotti M. Biomechanical comparison of graft fixation at 30 and 90 of elbow flexion for ulnar collateral ligament reconstruction by the docking technique. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(2): 265e272.
28. Pomianowski S, O'Discroll SW, Neale PG, Park MJ, Morrey BF, An KN. The effect of forearm rotation on laxity and stability of the elbow. *Clin Biomech.* 2001;16(5):401e407.
29. O'Driscoll SW, Bell DE, Morrey BF. Posterolateral rotatory instability of the elbow. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(3): 440e446.

Bölüm 13

AKROMİYOKLAVİKÜLER EKLEM BİYOMEKANİĞİ VE İNSTABİLİTESİ

Sebati Başer CANBAZ¹

GİRİŞ

Akromiyoklaviküler (AK) eklem, klavikulanın lateral ucu ile skapulanın akromiyon çıkıntısının medial kenarı arasındaki plana tipinde sinoviyal bir eklemdir. Eklem yüzeyleri fibrokartilaj bir doku ile kaplıdır ve genellikle tamamlanmamış bir intra-artiküler disk içerir (1). AK eklem hem kapsüler hem de ekstrakapsüler bağlar ve dinamik kas kuvvetleri tarafından desteklenir (1, 2). Skapula ve klavikula arasındaki hareketlerin senkronize bir şekilde gerçekleşmesinden sorumludur. Ayrıca üst ekstremitayle aksiyel iskelet arasındaki kuvvet iletimini sağlar (3, 4). Normal AK eklem anatomisinin ve biyomekaniğinin bozulması omuzda fonksiyon kaybına ve çeşitli ağrılı durumlara neden olabilir.

Akromiyoklaviküler eklem instabilitesi sık karşılaşılan bir durumdur. Yaralanmalar sıklıkla direk travmatik darbelerden kaynaklanır (5, 6). Uygun tedavi yaklaşımlarını belirleyebilmek, eklem normal fonksiyonlarını koruyabilmek ve uzun vadeli komplikasyonları önleyebilmek için AK eklem biyomekaniğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması gerekir.

AKROMİYOKLAVİKÜLER EKLEM BİYOMEKANİĞİ

Akromiyoklaviküler eklem, omuz eklem kompleksindeki diğer eklemlerle birlikte omuz hareketlerinin koordinasyonuna katkıda bulunur. Biyomekanik olarak eklem stabilitesini sağlayan birçok unsur bulunmaktadır.

HAREKET BİYOMEKANİĞİ

Akromiyoklaviküler eklemden hareket, skapulanın klavikulaya göre hareketi olarak tanımlanır ve birbirine dik üç temel eksen etrafında gerçekleşir. Skapular düzleme dik bir eksen etrafında yukarı ve aşağı rotasyon, dikey bir eksen etrafında iç ve dış rotasyon, mediyalden laterale yönlendirilmiş bir eksen etrafında öne ve

¹ Uzm. Dr., Kartal Dr. Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, basercanbaz@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-9197-2942

rekonstrüksiyonu, AK kapsül onarımı ve DTF tamiri önerilmektedir. Anatomik KK bağ rekonstrüksiyonu, biyomekanik olarak en stabil yöntemlerden biri olarak kabul edilir (10, 22).

Tedavi belirlenirken yaralanmanın tipi ve akut olup olmadığı değerlendirilmeli, hastanın beklentileri de göz önüne alınarak seçim yapılmalıdır.

SONUÇ

Akromiyoklaviküler eklem, omuz eklem kompleksinin kritik bir bileşeni olup stabilitesinin korunması fonksiyonel bütünlük açısından büyük önem taşımaktadır. AK eklem yaralanmalarının doğru şekilde tedavi edilebilmesi için eklem anatomisinin ve biyomekaniğinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Güncel literatür, tedavide vertikal stabiliteyle beraber horizontal ve rotasyonel stabilitenin de sağlanmasının önemli olduğunu vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, eklem doğal fizyolojik ve biyomekanik özelliklerini en iyi şekilde geri kazandıracak tedavi yöntemlerine odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Renfree, K.J. and T.W. Wright, *Anatomy and biomechanics of the acromioclavicular and sternoclavicular joints. Clinics in sports medicine*, 2003. 22(2): p. 219-237.
2. Fukuda, K., et al., Biomechanical study of the ligamentous system of the acromioclavicular joint. *JBJS*, 1986. 68(3): p. 434-440.
3. Wong, M. and J. Kiel, *Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Acromioclavicular Joint*, in *StatPearls [Internet]*. 2023, StatPearls Publishing.
4. Rockwood Jr, C., *Injuries to the acromioclavicular joint. Fractures in adults*, 1984. 1: p. 860.-910.
5. Bontempo, N.A. and A.D. Mazzocca, *Biomechanics and treatment of acromioclavicular and sternoclavicular joint injuries. British journal of sports medicine*, 2010. 44(5): p. 361-369.
6. Fraser-Moodie, J., N. Shortt, and C. Robinson, *Injuries to the acromioclavicular joint. The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 2008. 90(6): p. 697-707.
7. Ludewig, P.M., et al., Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *JBJS*, 2009. 91(2): p. 378-389.
8. Debski, R.E., et al., Ligament mechanics during three degree-of-freedom motion at the acromioclavicular joint. *Annals of biomedical engineering*, 2000. 28: p. 612-618.
9. Sahara, W., et al., 3D kinematic analysis of the acromioclavicular joint during arm abduction using vertically open MRI. *Journal of orthopaedic research*, 2006. 24(9): p. 1823-1831.
10. Berthold, D.P., et al., Current concepts in acromioclavicular joint (AC) instability—a proposed treatment algorithm for acute and chronic AC-joint surgery. *BMC musculoskeletal disorders*, 2022. 23(1): p. 1078.

11. Klimkiewicz, J.J., et al., The acromioclavicular capsule as a restraint to posterior translation of the clavicle: a biomechanical analysis. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 1999. 8(2): p. 119-124.
12. Fraipont, G.M., et al., *Acromioclavicular joint biomechanics: a systematic review*. JSES Reviews, Reports, and Techniques, 2024.
13. Debski, R.E., et al., Effect of capsular injury on acromioclavicular joint mechanics. *JBJS*, 2001. 83(9): p. 1344-1351.
14. Mazzocca, A.D., et al., Biomechanical and radiographic analysis of partial coracoclavicular ligament injuries. *The American journal of sports medicine*, 2008. 36(7): p. 1397-1402.
15. LeVasseur, M.R., et al., Three-dimensional footprint mapping of the deltoid and trapezius: Anatomic pearls for acromioclavicular joint reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 2022. 38(3): p. 701-708.
16. Czerwonatis, S., et al., Nameless in anatomy, but famous among surgeons: The so called "deltotrapezoid fascia". *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 2020. 231: p. 151488.
17. Trudeau, M.T., et al., The role of the trapezius in stabilization of the acromioclavicular joint: A biomechanical evaluation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2022. 10(9): p. 23259671221118943.
18. Hawthorne, B.C., et al., Deltotrapezial stabilization of acromioclavicular joint rotational stability: A biomechanical evaluation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2023. 11(1): p. 23259671221119542.
19. Schöbel, T., et al., *The deltotrapezial fascia stabilizes the AC-joint and its reconstruction restores the horizontal stability in AC-joint separations: a biomechanical comparison*. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 2024.
20. Chronopoulos, E., et al., Diagnostic value of physical tests for isolated chronic acromioclavicular lesions. *The American journal of sports medicine*, 2004. 32(3): p. 655-661.
21. Mazzocca, A.D., R.A. Arciero, and J. Bicos, *Evaluation and treatment of acromioclavicular joint injuries*. *The American journal of sports medicine*, 2007. 35(2): p. 316-329.
22. Albishi, W., et al., Acromioclavicular joint separation: Controversies and treatment algorithm. *Orthopedic Reviews*, 2024. 16: p. 94037.

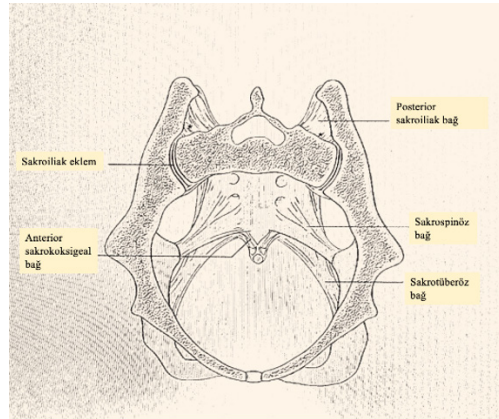
Bölüm 14

SAKROİLİAK EKLEM VE BİYOMEKANİĞİ: ANATOMİK, KLİNİK VE TEDAVİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Okan YİĞİT¹

Anatomi

Sakroiliak eklem (SİE), pelvis yerleşimli olup sakrum ve ileum komşuluğunda diartrodial sinoviyal eklemdir [1]. Tanımlamada anatomik olarak simfiz yapıda isimlendirilse de sinoviyal eklem özellikleri iliak kemik bölgesindeki distal kıkırdak yapı ile sınırlayıcı olmaktadır. Yapı itibarıyla birçok bağ dokusu ve etraf fasya ile kompleks yapıda bir oluşuma sahiptir (Şekil 1). Sakroiliak eklem stabil yapısının altındaki önemli bağlantılar arasında anterior, interosseöz, dorsal sakroiliak bağlar dışında iliolumbal, sakrotüberöz ve sakrospinöz bağlar yer alır(Şekil 2). Bunun yanında bu yapıya bağlantılı olduğu fasya ile birlikte kas dokuları ek bir katkı sağlar. Kompleks yapı olmasından dolayı sadece kendi başına değil, lumbosakral ve pelvisle yakın bağlantılar içeren bir yapı olarak görülmektedir. SİE omurga tabanı ile pelvis arasında posteriorda bağlantı sağlayan bir kilit taşı kemeri gibi davranır[2].



Şekil 1: Sakroiliak eklem ve bağ yapılarının aksiyel kesitten görüntüsü.

¹ Op. Dr., Kartal Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, okanyigit0@gmail.com, ORCID iD: 0000-0001-9708-5351

KAYNAKÇA

1. Ashby K, Yilmaz E, Mathkour M, Olewnik L, Hage D, Iwanaga J, Loukas M, et al. Ligaments stabilizing the sacrum and sacroiliac joint: a comprehensive review. *Neurosurg Rev* 2022;45: 357-64. <https://doi.org/10.1007/s10143-021-01625-y>
2. Cardwell MC, Meinerz CM, Martin JM, Beck CJ, Wang M, Schmeling GJ. Systematic review of sacroiliac joint motion and the effect of screw fixation. *Clin Biomech (Bristol)* 2021;85: 105368. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105368>
3. Phillips AT, Pankaj P, Howie CR, Usmani AS, Simpson AH. Finite element modelling of the pelvis: inclusion of muscular and ligamentous boundary conditions. *Med Eng Phys* 2007;29: 739-48. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2006.08.010>
4. DonTigny RL. Anterior dysfunction of the sacroiliac joint as a major factor in the etiology of idiopathic low back pain syndrome. *Phys Ther* 1990;70: 250-65; discussion 62-5. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.4.250>
5. Kemper AR, McNally C, Duma SM. Dynamic compressive response of the human pelvis axial loading of the sacroiliac joint. *Biomed Sci Instrum* 2008;44: 171-6.
6. Goode A, Hegedus EJ, Sizer P, Brismee JM, Linberg A, Cook CE. Three-dimensional movements of the sacroiliac joint: a systematic review of the literature and assessment of clinical utility. *J Man Manip Ther* 2008;16: 25-38. <https://doi.org/10.1179/106698108790818639>
7. Hammer N, Scholze M, Kibsgård T, Klima S, Schleifenbaum S, Seidel T, Werner M, et al. Physiological in vitro sacroiliac joint motion: a study on three-dimensional posterior pelvic ring kinematics. *J Anat* 2019;234: 346-58. <https://doi.org/10.1111/joa.12924>
8. Vleeming A, Stoeckart R. The role of the pelvic girdle in coupling the spine and the legs: A clinical-anatomical perspective on pelvic stability. *Movement, Stability & Lumbopelvic Pain* 2007;10.1016/B978-044310178-6.50010-4113-37. <https://doi.org/10.1016/B978-044310178-6.50010-4>
9. Kiapour A, Abdelgawad AA, Goel VK, Souccar A, Terai T, Ebraheim NA. Relationship between limb length discrepancy and load distribution across the sacroiliac joint--a finite element study. *J Orthop Res* 2012;30: 1577-80. <https://doi.org/10.1002/jor.22119>
10. Zheng N, Watson LG, Yong-Hing K. Biomechanical modelling of the human sacroiliac joint. *Med Biol Eng Comput* 1997;35: 77-82. <https://doi.org/10.1007/bf02534134>
11. Cher D, Polly D, Berven S. Sacroiliac joint pain: burden of disease. *Med Devices (Auckl)* 2014;7: 73-81. <https://doi.org/10.2147/mder.S59437>
12. Adhia DB, Milosavljevic S, Tumilty S, Bussey MD. Innominate movement patterns, rotation trends and range of motion in individuals with low back pain of sacroiliac joint origin. *Man Ther* 2016;21: 100-8. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.06.004>
13. Pantè S, Bufalo M, Aprato A, Nardi M, Giai Via R, Bosco F, Rollero L, et al. Surgical management and outcomes of pure sacroiliac joint dislocations: A systematic review. *J Orthop* 2025;66: 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2025.01.005>
14. Schwarzer AC, Aprill CN, Bogduk N. The sacroiliac joint in chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995;20: 31-7. <https://doi.org/10.1097/00007632-199501000-00007>

15. Rashbaum RF, Ohnmeiss DD, Lindley EM, Kitchel SH, Patel VV. Sacroiliac Joint Pain and Its Treatment. Clin Spine Surg 2016;29: 42-8. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000359>
16. Buchowski JM, Kebaish KM, Sinkov V, Cohen DB, Sieber AN, Kostuik JP. Functional and radiographic outcome of sacroiliac arthrodesis for the disorders of the sacroiliac joint. Spine J 2005;5: 520-8; discussion 29. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2005.02.022>
17. Wise CL, Dall BE. Minimally invasive sacroiliac arthrodesis: outcomes of a new technique. J Spinal Disord Tech 2008;21: 579-84. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e-31815ecc4b>
18. Joukar A, Shah A, Kiapour A, Vosoughi AS, Duhon B, Agarwal AK, Elgafy H, et al. Sex Specific Sacroiliac Joint Biomechanics During Standing Upright: A Finite Element Study. Spine (Phila Pa 1976) 2018;43: E1053-e60. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002623>
19. Shen FH, Mason JR, Shimer AL, Arlet VM. Pelvic fixation for adult scoliosis. Eur Spine J 2013;22 Suppl 2: S265-75. <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2525-3>