



# Sporcu omuzunda biyomekanik

## Biomechanics in athlete's shoulder

Mehmet Akif Akçal

Antalya Anadolu Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Antalya

Bu derlemede omuz hareketinin yönü, bileşenleriyle bu hareketi gerçekleştirmek için omuz kuşağı üzerinde harekete katılan kaslar açıklanmaktadır. Omuz kuşağında bulunan eklemlere etki eden kuvvetler, glenohumeral ve skapulotorasik eklemler boyunca var olan kas ve kuvvet çiftlerine odaklanılmakta, glenohumeral, sternoklaviküler ve akromioklaviküler eklemlerin stabilitesine katkıda bulunan çeşitli yapılar tanımlanmaktadır. Ek olarak bu derlemede, sporcu omuzunda meydana gelen biyomekanik değişiklikler yapılan benzer çalışmalarla anlatılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** omuz; omuz biyomekaniği; sporcu omuzu

In this review, the direction of the shoulder movement, its components and the muscles involved in the movement on the shoulder girdle to perform this movement are explained. In addition, the forces acting on the joints in the shoulder girdle are focused on the muscle force couples that exist along the glenohumeral and scapulothoracic joints, and various structures that contribute to the stability of the glenohumeral, sternoclavicular and acromioclavicular joints are defined. In addition, the review ends with the biomechanical changes that occur in the shoulder athletes are explained with the similar studies.

**Key words:** shoulder; shoulder biomechanic; athlete shoulder

Omuz eklemi, omuz kuşağında kol ve gövde arasındaki üst ekstremitede yer almakta ve birden fazla anatomik yapının katılmasıyla hareket fonksiyonunu gerçekleştirmektedir. Bu fonksiyonların çoğu, el vücudun önüne yerleştirilerek gerçekleştiği için omuz abduksiyonda daha çok öne kaldırılır.<sup>[1,2]</sup>

Omuz kuşağı eklemleri, glenohumeral, skapulotorasik, sternoklaviküler ve akromioklaviküler eklemlerin harekete katılmasıyla ortaya çıkan bireysel hareketlerin ortaklaşa hareketi sonucu meydana gelmektedir.<sup>[3]</sup> Humerus artiküler yüzeyi bikondiler eksene göre 30° ile 40° retroverttir ve yaklaşık 45° medial inklinasyonu vardır. Skapular düzleme göre glenoid 7° retroverttir ve yaklaşık 5° superior inklinasyonu mevcuttur.<sup>[4]</sup> (Şekil 1)

### GLENOHUMERAL EKLEM HAREKETİ

Glenohumeral eklem, humerus başında glenoid üzerinde aşağıdaki hareketlerle birlikte döndürme, kayma ve dönme hareketi yapar.<sup>[5,6]</sup>

- Elevasyon
- Fleksiyon-uzama

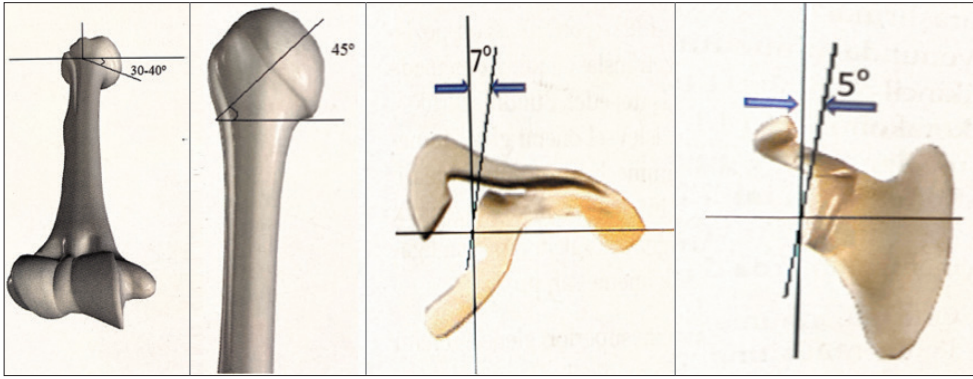
- Ekstansiyon
- İç-dış rotasyon
- Abduksiyon
- Adduksiyon

**Elevasyon:** Kol gövdeye paralel ve serbest konumda iken yukarı yönde 180° kaldırılmasıyla oluşan harekettir. Omuz fleksiyon hareketi sagittal planda olurken, abduksiyonu koronal planda oluşan elevasyon hareketidir. Nötral elevasyon skapula düzleminde açığa çıkan harekettir. Humerusun yatay planda vücut düzlemi ile birlikte 30°'lik açısı sonucunda skapula düzlemi oluşmaktadır.<sup>[7,8]</sup> Toplam elevasyon glenohumeral eklem ve skapulotorasik hareketin kombinasyonu ve koordinasyonu şeklindedir. Bu ortak hareket skapulohumeral ritim 2:1 olarak adlandırılmıştır. 2:1'in anlamı, hareket esnasında ortaya çıkan 3°'lik elevasyonun 2°'si glenohumeral eklemden, 1°'si skapulotorasik eklemden oluşmasıdır. Bununla birlikte glenohumeral eklem 60° fleksiyonu ve 30° abduksiyonu sonucu skapulada hareket açıklığı ortaya çıkar.<sup>[9]</sup>

**İletişim / Contact:** Doç. Dr. Mehmet Akif Akçal • **E-posta / E-mail:** akcalmd@gmail.com

**ORCID iD:** Mehmet Akif Akçal, 0000-0002-3851-4256

**Geliş / Received:** 27 Şubat 2023 • **Revizyon / Revised:** 9 Mart 2023, 3 Nisan 2023 • **Kabul / Accepted:** 5 Nisan 2023



**Şekil 1.** Humerus, troklea, glenoid, skapula oryantasyonu (Kanatlı U, *Omuz Artroskopisi*. İzmir: US Akademi Yayıncılık, 2020. izni ile).<sup>[4]</sup>

**Fleksiyon:** Üç fazdan oluşan omuz fleksiyonu toplamda 180°'den oluşmaktadır. Birinci fazda deltoid kasının ön lifleri, korakobrakiyalis ve pektoralis majörden oluşan klaviküler lifler aktif hâlde bulunmaktadır. Fleksiyonun ortaya çıkmasını sağlayan birincil kas deltoid kasıdır. İkinci fazda skapulada rotasyon hareketi ortaya çıkar. Bu hareket skapulada 50-60°'den sonra trapez ve serratus anterior kaslarının aktivasyonu şeklindedir. Üçüncül ve son fazda spinal kaslar 120°'den sonra harekete katılır ve lomber lordozun artmasıyla hareket 180°'ye tamamlanmaktadır.<sup>[10]</sup>

**Ekstansiyon:** Toplam 60°'de oluşan ekstansiyon, öncelikli olarak deltoid arka lifleri ve latissimus dorsi kaslarının hareketi ile oluşmaktadır. Ayrıca teres majör ve teres minör kasları hareketin oluşmasına yardımcı kaslardır. Ekstansiyon için rhomboid majör ve minör kasları, trapezin orta transvers lifleri ve latissimus dorsi kaslarının kasılması ve skapular addüksiyon hareketi gereklidir.<sup>[10]</sup>

**İç ve dış rotasyon:** Dirseğin 90° fleksiyonuyla:

- Kol 90° abdüksiyon hâlindeyken iç ve dış rotasyon 90°'de,
- Kol 0° abdüksiyon hâlindeyken, iç rotasyon 90-95°'de, dış rotasyon için 70-80°'de meydana gelir.

Pektoralis majör, subskapularis, latissimus dorsi, teres majör kasları omuz iç rotasyonu esnasında çalışır. Deltoid kasının ön lifleri omuz iç rotasyon hareketine katkı sağlar. Kol, vücuda paralel serbest konumda iken yani, subskapularis kasının hareketi en üst düzeyde iken, omuz abdüksiyonu artar. Bu artış ile birlikte diğer iç rotator kasların hareket seviyesi de artmaktadır. İnfraspinatus ve teres minör kasları omuz dış rotasyonu için öncelikli olarak çalışır. Teres minör kasına göre infraspinatus daha güçlü bir dış rotatördür. Ek olarak, dış rotasyona deltoid arka lifleri de katkıda bulunmaktadır.<sup>[11]</sup>

**Abdüksiyon:** Toplam 170-180°'de oluşan abdüksiyon, üç fazda meydana gelmektedir. Sıfır-30° abdüksiyon

birinci fazda glenohumeral eklemden meydana gelirken, skapulanın buradaki hareketi en az seviyededir. Hareketi açığa çıkaran kaslar deltoid ve supraspinatus kaslarıdır. Otuz-90° abdüksiyon ikinci fazda ortaya çıkmakta, skapula ile 20° rotasyon yapmaktadır. Humerusta 40° elevasyon gerçekleşmesi skapulanın protraksiyonu ve elevasyonu ile oluşmaktadır. Doksan-180° abdüksiyon üçüncü fazda trapez ve serratus anterior kaslarının çalışmasıyla oluşmaktadır. 2:1 skapulohumeral ritim ikinci faz ortasında oluşmaya başlar, skapulanın rotasyonu ile skapular elevasyonu meydana gelir. Bu fazda, klavikula uzun eksenini ile 30-50° dış rotasyon yaptığı gibi 15°'den fazla elevasyon da yapar. Humerusun 90° dış rotasyonu büyük tüberkülün akromiyon ile temasını önler.<sup>[12]</sup> Eğer klaviküler rotasyonla elevasyonda kısıtlılık meydana gelirse glenohumeral eklemden abdüksiyon 120°'de sınırlanır. Glenohumeral eklem abdüksiyonu sırasında humerus dış rotasyonu gerçekleşmediğinde omuz kompleksinde toplam 120°'lik hareket açıklığı meydana gelir ve bu hareket açıklığının 60°'si glenohumeral eklemden, diğer 60°'si ise skapulotorasik eklemden oluşmaktadır.<sup>[13]</sup>

**Addüksiyon:** Toplam 30-45° olan addüksiyon hareketinin birincil kasları; pektoralis majör ve latissimus dorsi'dir. Teres majör ve subskapularis yardımcı kaslardır.<sup>[13]</sup>

## SKAPULAR EKLEM HAREKETİ

Skapulotorasik eklem gerçek bir eklem değildir. Skapulanın içbükey ön yüzünün göğüs duvarının posterolateral kısmı üzerinde bulunur. Skapulanın ön yüzü subskapularis ile göğüs duvarına karşılık gelen kısmı, skapular hareketler sırasında birbiri üzerinde kayan serratus anterior ile kaplıdır.<sup>[14]</sup>

Skapular eklem aşağıdaki hareketleri yapar:<sup>[15,16]</sup>

- Yukarı ve aşağı dönüş hareketi, yukarı dönüşünde glenoid yukarı bakar, aşağı dönüşünde glenoid aşağı bakar.

- Yukarı ve aşağı çevirme hareketi (yükselme/alçalma hareketi) omuzları silkip dinlenme pozisyonunda döndürme pozisyonudur.

- Medial ve lateral döndürme hareketi-uzatma: Kürek kemiğinin medial sınırı omuzdan uzaklaşır, kolları öne doğru çaprazlama hareketidir. Geri çekme; kürek kemiğinin medial sınırı vertebral kolona doğru hareket etmesi, skapulaları birbirine doğru çekme hareketi.

- Ön ve arka eğim-anterior eğim, skapulanın medial sınırının öne doğru hareketi, posterior eğim, skapulanın medial sınırı arkaya doğru hareket eder (göğüs kafesinden uzaktadır).

Yukarıda sayılan hareketler Şekil 2'de gösterilmiştir.

Kolun öne kaldırılması veya arkaya doğru hareketi sırasında skapulotorasik ve glenohumeral hareketler arasındaki ilişki konusunda tartışmalar bulunmaktadır. Inman ve ark. tarafından önerilen skapular hareket modellerinden ikisi bu bölümde alınmıştır. Bu iki hareket modeli şunlardır:<sup>[17]</sup>

1. Kolun 90°'ye kadar öne yükselmesi veya arkaya doğru hareketinde, glenohumeral ekleme hareket eder ve skapulotorasik ekleme skapulanın dönmesiyle daha fazla yükselme meydana gelir,

2. İlk 30-60° kol elevasyonu glenohumeral ekleme meydana gelir, bu sırada skapula sabit kalır veya göğüs duvarında yan yana hareket eder (sertleşme aşaması).

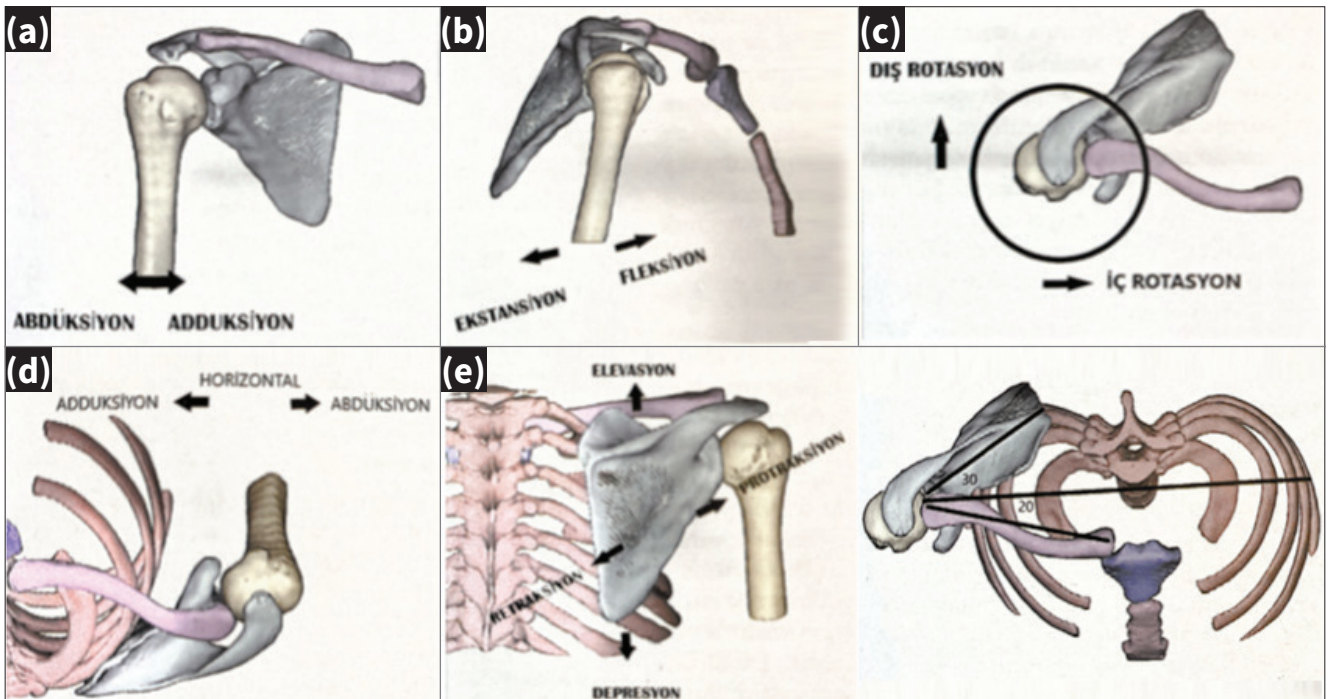
Yukarıdaki hareketlere ek olarak, değişken skapular ritim paternlerinden de bahsetmek doğru olacaktır. Glenohumeral ve skapulotorasik hareketlerin birlikte hareket paternleri bilinse de tam hareketin kişiden kişiye değişebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, tek taraflı omuz patolojisini değerlendirirken, önceden belirlenmiş kuralları da göz önünde bulundurarak, kişinin etkilenen tarafını diğer omuzu ile karşılaştırmak tercih edilir.<sup>[18,19]</sup>

Skapulanın harekete katılmasıyla meydana gelen hareketin birkaç işlevi bulunmaktadır. Bu işlevler:<sup>[20]</sup>

1. Skapula göğüs duvarındaki dönüşüyle omuz hareketine katkıda bulunur ve yalnızca glenohumeral ekleme mümkün olandan daha fazla hareket açıklığına izin verir,

2. Humerus başı ile koordinasyon içinde dönerek kolun arkaya hareketi veya öne yükseltilmesi sırasında akromiyonun alt yüzeyine çarpan humerus başını durdurur.

Glenoidin kol hareketi aralığı boyunca humerus başını takip etmesine ve ona dönük kalması glenohumeral stabiliteyi iyileştirir. Optimum işlevi kolaylaştıran rotator manşet kaslarının ve tendonlarının bükülmesini önler. Skapulanın hareketi, sternoklaviküler ekleme ve akromioklaviküler ekleme hareketleri ile ortaya çıkar.<sup>[19-21]</sup>



Şekil 2. Omuz eklemi hareketleri (a-e), skapulanın gövdeye göre yerleşimi (Kanatlı U, *Omuz Artroskopisi*. İzmir: US Akademi Yayıncılık, 2020. izni ile).<sup>[4]</sup>

### STERNOKLAVİKÜLER EKLEM HAREKETLERİ

Sternoklaviküler eklemdeki hareket, sternuma göre klavikula açısından tanımlanır. Bunlar:

- Ön-arka eksen etrafında yükselme/alçalma,
- Dikey bir eksen etrafında uzatma/geri çekme,
- Yatay bir eksen etrafında ön/arka dönüş, yaklaşık 50° dönüş.

Kol abdüksiyonu veya ileri elevasyon sırasında, sternoklaviküler eklemde klavikulanın elevasyonu, retraksiyonu ve posterior rotasyonu artar.<sup>[22]</sup>

### AKROMİOKLAVİKÜLER EKLEM HAREKETLERİ

Akromioklaviküler eklemdeki hareket, klavikulaya göre skapula açısından tanımlanır. Skapular düzlemde kol abdüksiyonu sırasında akromioklaviküler eklemde aşağıdaki hareketlerin meydana geldiği gösterilmiştir.<sup>[23]</sup>

- Yukarı doğru döndürme-skapular düzleme dik bir eksen etrafında yaklaşık 15°,
- İç dönüş-dikey bir eksen etrafında yaklaşık 4°,
- Posterior eğim-medialden lateral yöne yönlendirilmiş bir eksen etrafında yaklaşık 7°.

### OMUZDA HAREKET ARALIĞI

Omuz kuşağındaki hareket aralığı, belirli bir yönde meydana gelebilecek olan anatomik hareket aralığı olarak tanımlanabilir. Bu hareket aralıkları:<sup>[24]</sup>

- Öne elevasyon yaklaşık 170°,
- Ekstansiyon yaklaşık 60°,
- Abdüksiyon yaklaşık 180°,
- Kol 90° yaklaşık 100°'de abdüksiyondayken dış rotasyon.

Ancak gerçek hayatta hem anatomik özellikler hem de eşlik eden diğer durumlar nedeniyle sağlıklı omuzları olan kişilerin hareketlerinde büyük farklılıklar olabileceği bilinmektedir. Bu nedenle, tek taraflı omuz patolojisini değerlendirirken mutlaka sağlıklı olan diğer omuzla karşılaştırmak tanı koymada daha anlamlıdır ve değerlendirmeyi kolaylaştıracaktır.

Diğer taraftan hareket aralığı, işlevsel hareket aralığı olarak da bilinmektedir. İşlevsel hareket aralığından kasıt, günlük yaşam aktivitelerini rahat ve etkili bir şekilde gerçekleştirmek için gerekli olan minimum hareket aralığıdır ve genellikle anatomik hareket aralığından çok daha azdır. Bu hareket aralıkları pozisyonlara göre aşağıdaki açılarda gerçekleşmektedir:<sup>[25]</sup>

- İleri yükseklik yaklaşık 120°

- Ekstansiyon yaklaşık 45°
- Abdüksiyon yaklaşık 130°,
- Kol abdüksiyonda dış rotasyon yaklaşık 60°,
- İç rotasyon yaklaşık 100°.

Omuzda tam harekete ulaşmak omuz patolojilerinin tedavisinin önemli bir hedefi olsa da günlük yaşam aktivitelerinin birçoğunu gerçekleştirmek ve verimli işlev elde etmek için daha küçük bir hareket aralığının gerekli olduğu kabul edilmelidir. Bununla birlikte, fonksiyonel aralığın bireye, özel koşullara ve bireyin hangi işlevsel hareketleri yapacağına bağlı olacağı unutulmamalıdır. Bazı kişilerin ihtiyaç duyabileceği mesleği gereği veya spor gibi hobi amaçlı hareketlerinden dolayı günlük yapması gereken hareket sınırından çok daha fazla hareket etmeleri gerekebilir.

### HAREKETİ SAĞLAYAN KASLAR

Kaslar, tendonlar aracılığıyla kemiklere bağlanır. Kasılma üzerine, kas orijini bölgesi, kas lifi oryantasyonu ve tendonların olduğu bölge tarafından etkilenen yönde kuvvet uygulanmaktadır. Bir kas kasılma yoluyla şunları yapabilir:<sup>[8]</sup>

- Çekme yönüne doğru hareket:
  - Kol elevasyonunda, supraspinatus kasılır, humerus başını yukarıya doğru döndürür ve onu mediale doğru çeker.
  - Kolu yüksek bir pozisyondan aşağı indirirken, supraspinatus yer çekiminin etkisine karşı kontrakte olur ve kolun kontrolsüz bir şekilde düşmesini engeller.
- Zıt yönde hareket eden bir kasa karşı koyma ve belirli bir pozisyonda sabitleme hareketi,
  - Başka bir kasın hareketiyle dönme ve sabitleme hareketi. Bu hareket, tekerleğe etki eden bir kuvvete eş değerdir. Kuvvete karşı çıkılmazsa, tekerlek döner ama aynı zamanda uygulanan kuvvet yönünde de itilebilir. Bununla birlikte, tekerleğe aynı anda zıt bir kuvvet uygulanırsa, tekerleği çevirmek yerine basitçe dönecek şekilde dengelenebilir. Bu kuvvet, tekerleğin itilmesine neden olacak şekilde, dağıtma kuvvetine ters yönde veya başka herhangi bir yönde (örneğin, dağıtma kuvvetine dik olarak) uygulanabilir. Bu yöntem, kas gücü değerlendirilmesi ile omuz hareketi veya omuz stabilitesi bozulduğunda tanı koyarken kullanılır. Omuz hareketini göz önünde bulundururken, bir kasın büyük bir işleve sahip olarak tanımlanabilmesine rağmen şunları aşağıdakileri göz önünde bulundurmamak önemlidir:
    - Kasın farklı bölümleri, bir vücudun bir bölümünü hareket ettirme veya sabitleme konusunda farklı etki-



lere sahip olabilir (ön ve orta ve arka deltoid, üst trapezius ve alt trapezius gibi)

○ Bir kas, kol pozisyonuna bağlı olarak farklı etkiler gösterebilir (deltoid, glenohumeral eklem hem iç rotatoru hem de dış rotatoru olarak hareket edebilir ve kesin etki, humeral abduksiyon ve rotasyonun derecesinden etkilenir).<sup>[26,27]</sup>

### Glenohumeral Eklem Hareketini Kontrol Eden Kaslar

Aşağıdaki kaslar glenohumeral eklemden aşağıdaki hareketleri sağlar.<sup>[28]</sup>

- Fleksiyon: Deltoid (ön kısım), pektoralis majör, biceps, korakobrakialis,
- Abduksiyon: Deltoid (orta kısım), supraspinatus,
- Dış rotasyon: İnfraspinatus, teres minör, deltoid (arka kısım),
- İç rotasyon: Subskapularis, pektoralis majör, latissimus dorsi, deltoid,
- Adduksiyon: Pektoralis majör, latissimus dorsi, teres majör, teres minör,
- Ekstansiyon: Deltoid (arka kısım), latissimus dorsi, teres majör omuz abduksiyonunun başlatılması.

Supraspinatusun fleksiyon hareketini başlattığı yaygın olarak belirtilmektedir. Hem supraspinatus hem de deltoidin koronal ve skapular düzlemlerde omuz abduksiyonu sırasında benzer aktivasyon sürelerine sahip olduğu pek çok çalışmada gösterilmiştir, bu da bu harekete katılan her iki kasın eşit rol oynadığını düşündürmektedir.

### Skapular Eklem Hareketini Kontrol Eden Kaslar

Skapular eklem hareketi çok karmaşıktır. Bu kasın hareketini daha iyi anlamak için skapular eklem hareketine katılan kasların etkisi düşünülebilir. Kasların anatomik yapısı düşünüldüğünde bu kasların birbirine bağlanması ve etkileri hesaplanarak bu kasların harekete katılma düzeyleri anlaşılabilir. Skapulayı aksiyel iskelette bağlayan tüm kaslar (trapezius ve pektoralis minör kaslarının üst kısmı hariç) skapulanın medial kenarına veya yakınına yerleşmiş durumdadır. Bu kaslar serratus anterior, levator skapula kası ve trapeziusun alt kısmını içerir.<sup>[28]</sup> Aşağıda bu kasların harekete katılma durumları gösterilmiştir:

- Elevasyon: Trapeziusun üst kısmı,
- Retraksiyon: Trapeziusun üst kısmı,
- Protraksiyon: Serratus anterior,

- Yukarı rotasyon: Trapeziusun üst kısmı, serratus anterior,

- Aşağı rotasyon: Trapeziusun alt kısmı.

### OMUZ TARAFINDAN AKTARILAN KUVVETLER

Omuz, ağırlık taşıyan kalça ve dizden farklı olarak genellikle ağırlık taşımayan bir eklem olarak bilinse de omuzun glenohumeral eklem yoluyla büyük miktarda kuvveti iletebileceği unutulmamalıdır. Bir eklem boyunca iletilen kuvvetler aşağıda gösterilmiştir:<sup>[19,29]</sup>

- İletilen ağırlık, kolun ağırlığı ve kol tarafından taşınan ağırlık,
- Kolun boşluktaki konumunu korumak ve aynı zamanda eklem stabilitesini sağlamak için kasılan çevredeki kaslar tarafından üretilen kuvvetler,
- Eklem yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvveti,
- Glenohumeral eklemden çalışan sıkıştırma (rotator manşet tarafından uygulanan) ve kesme kuvvetleri (anterior ve orta deltoid tarafından uygulanan). Glenohumeral eklem üzerinde etkili olan kuvvetlerde kolun ağırlığı, vücut ağırlığının yaklaşık %5'i kadardır, 90° kol abduksiyonunda, glenohumeral eklemden etki eden bileşke kuvvet, toplam vücut ağırlığının 0,9 katı kadar fazla olabilir, elinizde 1 kg'lık bir ağırlık tutmak bileşke kuvveti %60'a kadar artırabilir.<sup>[30]</sup>

Bu nedenle, normal aktiviteler sırasında glenohumeral eklem yoluyla büyük kuvvetler iletilmektedir.<sup>[30,31]</sup>

### SPORCU OMUZUNDA BİYOMEKANİK DEĞİŞİKLİKLER

Profesyonel ya da bireysel spor yapan bireyler yapmayanlara kıyasla daha fazla hareket etmekte, bu durum normal omuz fonksiyonlarının daha fazla aktivasyonunu gerektirmektedir. Sporcular için omuz biyomekaniğini anlamak, onların omuz yaralanmaları riskini azaltmaya yardımcı olabilir. Üst ekstremitte hareketinin sıklıkla ve yoğun olarak tekrarlandığı voleybol, basketbol, yüzme gibi baş üstü aktivite sporları, kol germe hareketi gerektiren tenis, beyzbol, hentbol gibi fırlatma sporları ve omuza ekstra kuvvet uygulanan halter gibi sporlarda omuz anatomik olarak doğru bir pozisyonda kalmalıdır.

Sporcuların aşırı ve zorlayıcı hareketlere bağlı olarak sıklıkla omuz yaralanmalarından muzdarip oldukları bilinmektedir. Özellikle fırlatma sporlarında kol gerilir, maksimum dış rotasyon oluşur ve hemen arkasından hızla iç rotasyon hareketi başlar. Dış rotasyonu sonlandırmak, iç rotasyonu başlatmak, abduksiyon ve adduksiyonu kontrol etmek için büyük kuvvetler gerekir. Bu kuvvetler sporcu uygun olmayan atış tekniğini kullanırsa çok

tehlikeli olduğu gibi kalıcı sakatlığa neden olabilir. Baş üstü spor yapan sporcularda da vuruş hareketleri sırasında hareket açıklığı meydana gelir, uygun olmayan ya da aşırı kullanımda omuz biyomekaniği değişikliğe uğrar.<sup>[32]</sup>

Omuz biyomekaniğinde değişiklikler ve omuz yaralanmalarının meydana geldiği pek çok çalışmada bildirilmiştir. Bildirilen omuz yaralanmalarının çoğu, yaralanmaya yol açan spora bağlı aşırı yükten ve zaman içinde bu yükün tekrarlanmasından kaynaklanmaktadır.<sup>[33]</sup> Baş üstü aktivite gerektiren spor yapan sporcularda tekrarlayan hareketler, sadece glenohumeral ekleme değil, aynı zamanda kinetik zincirin diğer halkalarında da spora özgü kuvvet, esneklik ve postürdeki değişikliklere neden olabilmektedir. Sporcu omuzunda spora bağlı aşırı yüklenme özellikle glenohumeral iç rotasyon eksikliği, rotator manşet kuvveti dengesizliği, skapular diskinezi, omuz instabilitesi gibi değişikliklere neden olmaktadır.<sup>[34]</sup> Bununla birlikte pek çok çalışmada özellikle fırlatma sporları oyuncularının omuzlarında biyomekanik değişiklikler meydana geldiği bildirilmiş, glenohumeral iç rotasyon eksikliği, rotator manşet kuvveti eksikliği ve skapular diskinezi olası risk faktörleri olarak tanımlanmıştır.<sup>[33,35-39]</sup>

Bezbol oyuncularının atış pozisyonu ve atış şekli incelendiğinde topa vuruş esnasında kolun gerilmesi nedeniyle üst ekstremitede baskı oluşur ve bu durum omuz biyomekaniğinin değişmesine sebep olur. Lintler ve ark. bir bezbol oyuncusunun topu yüksek hızda fırlatmak için tekrar tekrar atış yaptığını bu atışların üst ekstremiteye muazzam bir baskı uyguladığını ve omuz biyomekaniğini değiştirdiğini hatta omuz yaralanmalarına neden olduğunu bildirmişlerdir.<sup>[40]</sup> Westrick ve ark., profesyonel bezbol oyuncularında glenohumeral fonksiyonda asimetrik gözlemlendiğini ve bu popülasyonda ek performans testleri yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.<sup>[35]</sup>

Tenis, biyomekanik olarak raketin topla buluşma anı ve raketle beraber topsuz rotasyonel hareketlerin biyomekaniği olarak iki ayrı fazda incelenebilir. Örneğin, "forehand" vuruşta dört geleneksel tutuş pozisyonu vardır ve oluşabilecek yaralanmanın tüm üst ekstremiteye yansımaları lateral veya medial ağırlıklı olması vuruş pozisyonuna göre değişebilir. Raketi kavrama gücünün azaltılması biyomekanik olarak üst ekstremitedeki titreşim yükünü azalttığı için sakatlanmaları en aza indirebilecektir.<sup>[41]</sup> Kibler, tenis oyuncusunun topa vurmaya için kolunun geniş aralıklarla germe hareketi yaptığını ve vuruşlar sırasında omuz ve kola ciddi baskı uygulandığını, omuza kuvvet aktarımının üst ekstremitede yük oluşturduğunu bildirmiştir.<sup>[42]</sup> Charalambous ve Eastwood tenisçilerde atıcı omuz ile diğer omuz karşılaştırıldığında, skapular ve glenohumeral eklemlerde değişiklikler görüldüğünü, atıcı omuz ve diğer omuz arasındaki değişikliklerde kaslar arasında kuvvet

dengelessizlikleri ve yaralanmalar görülebileceğini bildirmişlerdir.<sup>[29]</sup>

Profesyonel ve amatör golfçüler arasında golfe özgü salınım hareketine bağlı biyomekanik farklılıklar gözlenir. Bu biyomekanik farklılıklar yaralanma riskini arttırabilir. Amatör golfçüler salınım esnasında üst ekstremitede gücünü gövde rotasyonuna nispeten daha çok kullanırlar bu sayede topa daha hızlı vurmaya çalışırlar. Profesyonel golfçüler ise golf sopasının topla buluşma anına kadar salınım hareketini biyomekanik olarak gövde ve omurga rotasyonu ile sağlayarak daha dengeli, esnek bir vuruş yapar ve daha büyük açılma hızı elde ederler. Benzer şekilde kaya tırmanışı esnasında biyomekanik yüklenme gövde ve alt ekstremitede yerine omuz ve üst ekstremitede doğru olursa labral rotator manşet ve diğer omuz yaralanmalarında artış izlenebilir.<sup>[43]</sup>

Yüzme esnasında özellikle kulaç hareketlerinde de üst ekstremitede baskı uygulanmaktadır. Yüzmenin omuza biyomekanik etkileri nedeniyle posterior kapsül gerginliğinden dolayı omuz iç rotasyonu azalmaktadır. Yüzücülerde tek taraflı gelişen bu patolojinin açıklanması bilateral omuz aktivitesi olması tartışmalı olmakla beraber yüzücülerin dominant taraflarından nefes almayı tercih etmelerine bağlanmaktadır. Pek çok çalışmada asemptomatik yüzücülerde 10° ile 15° rotasyon kısıtlılığı olduğu bildirilmektedir. Posterior kapsül sertliğine bağlı internal rotasyon kısıtlılığı yaklaşık 25°'ye ulaşırsa semptomatik hâle gelebilir ve bu üst ekstremitede ağrı ve labral patolojilere sebep olabilir.<sup>[44]</sup>

Sporcularda omuz biyomekaniğinin değişimi ve spora bağlı tekrarlanan hareketlerin üst ekstremitede nasıl etkilediğini ortaya koymak önemlidir. Baş üstü atletlerin muayenesi için skapulotorasik hareketin değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle skapular diskinezi ve omuz ağrısı ve disfonksiyonu arasında anlamlı ilişki olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Buna ek olarak skapulunun göğüs duvarına göre dinlenme pozisyonu baş üstü atletlerde dominant omuz ile dominant olmayan omuz arasında farklı olduğu da gösterilmiştir. Bununla birlikte rotasyonel farkların artışı rotasyon kısıtlılığı olan omuz riskli hâle getirir ve disfonksiyona neden olabilir.<sup>[45]</sup>

## SONUÇ

Omuz biyomekaniği, omuz eklemi ve kaslarının hareket üretmek için birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğinin incelenmesidir. Çeşitli spor dallarında sporcuların stabilite ve verimlilik sağlamak için omuz eklemi ve kaslarının nasıl birlikte çalıştığını anlamaya odaklanılır. Bu, omuz eklemi sabit ve güvenli bir konumda tutmaya yardımcı olur.

Omuz biyomekaniği, stabiliteye ek olarak, sporcuların antrenmanları sırasında güç, koordinasyon ve verimliliği geliştirmelerine de yardımcı olabilir. Uygun biyomekanik ilkeler, sporcuların daha verimli hareket etmelerine ve hareketlerini daha güçlü ve doğru olacak şekilde kontrol etmelerine yardımcı olabilir. Ek olarak, biyomekanik, omuzun güvenli ve sabit bir konumda olmasını sağlayarak sporcuların daha az yaralanma riskiyle hareketler yapmasına yardımcı olabilir. Sporcularda omuz eklemi aşırı kullanımına bağlı biyomekanik değişiklikler meydana gelmekte, bu değişiklikler omuzda yaralanma ve sakatlığa varan ciddi problemlere sebep olmaktadır. Sporcularda omuz yaralanmalarının doğru tedavisi için sporcularda omuz biyomekaniğini anlamak hekimler için çok önemlidir. Bu biyomekaniği anlamak spor kaynaklı yaralanmaları en aza indirebileceği gibi bazı durumlarda yaralanma ve sakatlıkları önleyebileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Kanatlı U, Bolukbasi S, Ekin A, Ozkan M, Simsek A. Anatomy, biomechanics, and pathophysiology of instability of the glenohumeral joint. *AOTT* 2006;39(0):4-13.
- Maria MMG, Giada L, Alberto G, Federico R, Giuseppe C, Stefano Z, et al. Shoulder biomechanics. In: Huri G, Paschos NK, eds. *The Shoulder, Orthopaedic Study Guide Series*. Switzerland: Springer International Publishing; 2017. p.25-33. [Crossref](#)
- Walker PS. Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Jt Surg Am* 1976;58(2):195-201. [Crossref](#)
- Kanatlı U. Omuz Artroskopisi. İzmir: US Akademi Yayıncılık, 2020. <https://doi.org/10.52511/usakademi.21.003>
- An KN, Browne AO, Korinek S, Tanaka S, Morrey BF. Three-dimensional kinematics of glenohumeral elevation. *J Orthop Res* 1991;9(1):143-9. [Crossref](#)
- Halder A, Itoi E, An KN. Anatomy and biomechanics of the shoulder. *Orthop Clin North Am* 2000;31(2):159-76. [Crossref](#)
- Hartsell HD. The effects of body position and stabilization on isokinetic torque ratios for the shoulder rotators. *Isokinet Exerc Sci* 1998;7(4):161-70. [Crossref](#)
- Leroux JL, Codine P, Thomas E, Pocholle M, Mailhe D, Blotman F. Isokinetic evaluation of rotational strength in normal shoulders and shoulders with impingement syndrome. *Clin Orthop Relat Res* 1994;304:108-15. [Crossref](#)
- Magee DJ. *Orthopedic Physical Assessment*. Philadelphia, 2002.
- Demirhan M, Göksan M. Omuz eklemi biyomekaniği ve kas kontrolü. *Acta Orthop Traumatol Turc* 1993;27(1):212-7.
- McCully SP, Kumar N, Lazarus MD, Karduna AR. Internal and external rotation of the shoulder: Effects of plane, end-range determination and scapular motion. *J Shoulder Elb Surg* 2005;14(6):602-10. [Crossref](#)
- Ellis MD, Sukal-Moulton T, Dewald JPA. Progressive shoulder abduction loading is a crucial element of arm rehabilitation in chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23(8):862-9. [Crossref](#)
- Gutiérrez S, Comiskey CA 4<sup>th</sup>, Luo ZP, Pupello DR, Frankle MA. Range of impingement-free abduction and adduction deficit after reverse shoulder arthroplasty. Hierarchy of surgical and implant-design-related factors. *J Bone Jt Surg* 2008;90(12):2606-15. [Crossref](#)
- Fleisig GS, Dun S, Kingsley D. Biomechanics of the shoulder during sports (2<sup>nd</sup> ed.) In: *The Athlete's Shoulder*. Churchill Livingstone: Elsevier Inc; 2009. p.365-84. [Crossref](#)
- McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR. Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elb Surg* 2001;10(3):269-77. [Crossref](#)
- Struyf F, Nijs J, Baeyens JP, Mottram S, Meeusen R. Scapular positioning and movement in unimpaired shoulders, shoulder impingement syndrome, and glenohumeral instability. *Scand J Med Sci Sport* 2011;21(3):352-8. [Crossref](#)
- Inman VT, Saunders JD, Abbott LC. Observations on the function of the shoulder joint. *JBSJ* 1944;26(1):1-30.
- Bagg SD, Forrest WJ. A biomechanical analysis of scapular rotation during arm abduction in the scapular plane. *Am J Phys Med Rehabil* 1988;67(6):238-45.
- Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cieminski CJ, Laprade RF. Motion of the shoulder complex during multi-planar humeral elevation. *J Bone Jt Surg* 2009;91(2):378-89. [Crossref](#)
- Flatow EL. The biomechanics of the acromioclavicular, sternoclavicular, and scapulothoracic joints. *Instr Course Lect* 1993;42:237-45.
- Teece RM, Lunden JB, Lloyd AS, Kaiser AP, Cieminski CJ, Ludewig PM. Three-dimensional acromioclavicular joint motions during elevation of the arm. *J Orthop Sports Phys Ther* 2008;38(4):181-90. [Crossref](#)
- Robinson CM, Jenkins PJ, Markham PE, Beggs I. Disorders of the sternoclavicular joint. *J Bone Jt Surg* 2008;90(6):685-96. [Crossref](#)
- Malik SS, Malik SS. *Orthopaedic Biomechanics Made Easy*. Cambridge: Cambridge University Press; 2015. [Crossref](#)
- Greene WB, Heckman JD. *The Clinical Measurement of Joint Motion (1<sup>st</sup> ed.)* Rosemont IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 1994.
- Namdari S, Yagnik G, Ebaugh DD, Nagda S, Ramsey ML, Williams GR Jr, et al. Defining functional shoulder range of motion for activities of daily living. *J Shoulder Elb Surg* 2012;21(9):1177-83. [Crossref](#)
- Alizadehkhayat O, Hawkes DH, Kemp GJ, Frostick SP. Electromyographic analysis of the shoulder girdle musculature during external rotation exercises. *Orthop J Sport Med* 2015;3(11):1-9. [Crossref](#)
- Bitter NL, Clisby EF, Jones MA, Magarey ME, Jaberzadeh S, Sandow MJ. Relative contributions of infraspinatus and deltoid during external rotation in healthy shoulders. *J Shoulder Elb Surg* 2007;16(5):563-8. [Crossref](#)
- Peat M, Culham E, Wilk KE. *The Athlete's Shoulder (2<sup>nd</sup> ed.)* Elsevier; 2009;18(1): p.3-16. [Crossref](#)

29. Charalambous CP, Eastwood S. Normal and abnormal motion of the shoulder. In: *Classic Papers in Orthopaedics*. London: Springer; 2014. p.331-3. **Crossref**
30. Poppen NK, Walker PS. Forces at the glenohumeral joint in abduction. *Clin Orthop Relat Res* 1978;135:165-70. **Crossref**
31. McMahon PJ, Debski RE, Thompson WO, Warner JJ, Fu FH, Woo SL. Shoulder muscle forces and tendon excursions during glenohumeral abduction in the scapular plane. *J Shoulder Elb Surg* 1995;4(3):199-208. **Crossref**
32. Wilk KE, Obma P, Simpson CD, Cain EL, Dugas J, Andrews JR. Shoulder injuries in the overhead athlete. *J Orthop Sports Phys Ther* 2009;39(2):38-54. **Crossref**
33. Kibler WB, Safran MR. Musculoskeletal injuries in the young tennis player. *Clin Sports Med* 2000;19(4):781-92. **Crossref**
34. Cools AM, Johansson FR, Borms D, Maenhout A. Prevention of shoulder injuries in overhead athletes: A science-based approach. *Brazilian J Phys Ther* 2015;19(5):331-9. **Crossref**
35. Westrick RB, Miller JM, Carow SD, Gerber JP. Exploration of the y-balance test for assessment of upper quarter closed kinetic chain performance. *Int J Sports Phys Ther* 2012;7(2):139-47.
36. Clarsen B, Bahr R, Andersson SH, Munk R, Myklebust G. Reduced glenohumeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesis are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: A prospective cohort study. *Br J Sport Med* 2014;48(17):1327-33. **Crossref**
37. Shanley E, Rauh MJ, Michener LA, Ellenbecker TS, Garrison JC, Thigpen CA. Shoulder range of motion measures as risk factors for shoulder and elbow injuries in high school softball and baseball players. *Am J Sports Med* 2011;39(9):1997-2006. **Crossref**
38. Wilk KE, Macrina LC, Fleisig GS, Porterfield R, Simpson CD 2<sup>nd</sup>, Harker P, et al. Correlation of glenohumeral internal rotation deficit and total rotational motion to shoulder injuries in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2011;39(2):329-35. **Crossref**
39. Byram IR, Bushnell BD, Dugger K, Charron K, Harrell FE Jr, Noonan TJ. Preseason shoulder strength measurements in professional baseball pitchers: Identifying players at risk for injury. *Am J Sport Med* 2010;38(7):1375-82. **Crossref**
40. Lintner D, Noonan TJ, Kibler WB. Injury patterns and biomechanics of the athlete's shoulder. *Clin Sports Med* 2008;27(4):527-51. **Crossref**
41. Dines JS, Bedi A, Williams PN, Dodson CC, Ellenbecker TS, Altchek DW, et al. Tennis injuries: Epidemiology, pathophysiology, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23(3):181-9. **Crossref**
42. Kibler WB. Pathophysiology of tennis injuries-an overview. In: Per A.F.H. Renström ed. *Handbook of Sports Medicine and Science: Tennis*. Berlin: Blackwell Publishing; 2002: p.147-54.
43. Zouzias IC, Hendra J, Stodelle J, Limpivasthi O. Golf injuries: Epidemiology, pathophysiology, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26(4):116-23. **Crossref**
44. Matzkin E, Suslavich K, Wes D. Swimmer's shoulder: Painful shoulder in the competitive swimmer. *J Am Acad Orthop Surg* 2016;24(8):527-36. **Crossref**
45. Sheean AJ, Kibler WB, Conway J, Bradley JP. Posterior labral injury and glenohumeral instability in overhead athletes: Current concepts for diagnosis and management. *J Am Acad Orthop Surg* 2020;28(15):628-37. **Crossref**