

Padel Vuruşlarının Biyomekanik Analizi: Kinematik Prensipler ve Teknik Optimizasyon

Mevlüt Yıldız¹

Yavuz Öntürk²

Özet

Bu kitap bölümü, padel vuruşlarının biyomekanik analizini kinematik prensipler ışığında ele alarak teknik optimizasyon stratejilerini bilimsel temeller üzerinden sunmaktadır. Padel, dünya genelinde hızla popülerlik kazanan ve tenis, squash ile raketbol unsurlarını birleştiren dinamik bir raket sporudur. Oyunun en ayırıcı özelliği, topun duvarlardan sekerek oyuna devam edebilmesidir ve bu durum oyunun stratejik karmaşıklığını önemli ölçüde artırmaktadır. Çalışma, modern biyomekanik analiz yöntemlerini detaylı olarak incelemekte; üç boyutlu hareket analizi sistemleri, yüzeyel elektromiyografi ve ataletsel ölçüm birimleri gibi teknolojilerin padel araştırmalarındaki uygulamalarını açıklamaktadır. Optoelektronik sistemler, yansıtıcı işaretleyicilerin uzaydaki konumlarını yüksek hızlı kızıltötesi kameralar aracılığıyla milimetrik hassasiyette tespit etmekte ve saniyede yüzlerce kare ile karmaşık hareketlerin en ince detaylarını kaydetmektedir. Kinetik zincir kavramı, vücuttaki segmentlerin sıralı ve koordine bir şekilde harekete geçerek enerji transferinin proksimal bölgelerden distal bölgelere aktarılması süreci vurgulanarak ele alınmaktadır. Zincirin her bir segmenti, kendisinden önceki segmentin ürettiği hız ve momentumu temel alarak daha da hızlanmakta ve bu sıralı hızlanma süreci raketin maksimum hıza ulaşmasını sağlamaktadır. Temel vuruşların detaylı biyomekanik profilleri sunulmakta; forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç vuruşlarının eklem açıları, hareket aralıkları, kas aktivasyon paternleri ve raket kinematiği kapsamlı olarak incelenmektedir. Elektromiyografi çalışmaları, ekstansör karpi radialis kasının fleksör karpi radialis kasına göre anlamlı derecede daha aktif olduğunu ve bu durumun lateral epikondilit için risk faktörü oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Backhand vuruşlarında deltoid

1 Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, mevlutyildiz@mu.edu.tr, 0000-0002-1910-0330

2 Doç. Dr. Yalova Üniversitesi, yavuz.onturk@yalova.edu.tr, 0000-0001-5472-8652

kasının baskın aktivasyonu ve bu aktivitenin latissimus dorsi ile pektoralis major gibi antagonist kaslar tarafından yeterince dengelenmemesi, omuz ekleminde dengesizlik yaratmaktadır. Smaç vuruşunda raket başı hızının üst vücut fonksiyonel gücü, el kavrama kuvveti ve omuz rotasyon gücü ile güçlü pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Teknik optimizasyon stratejileri kapsamında, akıllı padel kortları ve giyilebilir teknolojilerin antrenman süreçlerine entegrasyonu, karbon fiber ve grafen gibi kompozit malzemelerin ekipman tasarımındaki kullanımı, aerodinamik raket tasarımı ve fiziksel kondisyon programlarının önemi detaylandırılmaktadır. Yaralanma önleme bölümünde, omuz, dirsek ve alt ekstremitte yaralanmalarının biyomekanik risk faktörleri incelenmekte; glenohumeral iç rotasyon eksikliği, subakromiyal sıkışma sendromu, lateral epikondilit ve ayak bileği burkulmaları gibi spesifik durumlar ele alınmaktadır. Bölüm, antrenörler, sporcular ve araştırmacılar için kanıta dayalı öneriler sunarak, performans artışı ve yaralanma önleme konularında bütüncül bir yaklaşım önermektedir.

GİRİş

Son yıllarda dünya genelinde hızlı bir popülarite kazanan padel, tenis, squash ve raketbol unsurlarını birleştiren ve her yaştan oyuncunun kolaylıkla erişebildiği dinamik bir raket sporudur. Çiftler halinde oynanan bu spor, etrafı cam ve tel örgülerle çevrili, tenise göre daha küçük boyutlu bir kortta icra edilmektedir. Oyunun en ayırıcı özelliği, topun duvarlardan sekerek oyuna devam edebilmesidir; bu durum, oyunun stratejik karmaşıklığını önemli ölçüde artırmakta ve oyuncuların çok yönlü teknik beceriler geliştirmelerini talep etmektedir (Instituto de Biomecánica de Valencia, 2025). Padelin küresel ölçekte yaygınlaşması, spor bilimleri araştırmacılarının ve uygulayıcılarının dikkatini bu alana yöneltmiş ve özellikle oyuncu performansının artırılması, teknik becerilerin optimize edilmesi ve yaralanma risklerinin minimize edilmesi konularında bilimsel çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Spor biyomekaniği, canlı organizmaların hareketlerini ve bu hareketlere neden olan ya da bu hareketlerden kaynaklanan iç ve dış kuvvetleri inceleyen multidisipliner bir bilim dalıdır. Padel özelinde biyomekanik analizler, vuruş tekniklerinin mekanik verimliliğini, oyuncuların hareket ekonomisini ve ekipman-sporcu etkileşiminin dinamiklerini anlamada merkezi bir rol oynamaktadır. Bu analizlerin temel hedefi, sporcunun optimal performansa ulaşmasını sağlarken, aynı zamanda kas-iskelet sisteminin sağlığını koruyarak sürdürülebilir bir kariyer sürecini desteklemektir. Biyomekaniğin alt dallarından biri olan kinematik, harekete sebep olan kuvvetleri dikkate almaksızın, yalnızca hareketin geometrik özelliklerini tanımlamaya odaklanır (Günay & Kaya, 2018). Kinematik parametreler, bir sporcunun veya ekipmanın uzaydaki pozisyonunu, hızını ve ivmesini zaman içinde nasıl değiştirdiğini nicel olarak

ortaya koyar. Padel vuruşlarının kinematik analizi, eklem açı değişimlerinin, hareket genliğinin, segment hızlarının ve vuruş sırasında vücut ile raketin izlediği yolların hassas bir şekilde ölçülmesini içermektedir. Bu veriler, antrenörlere ve sporculara bir vuruşun nasıl gerçekleştiğine dair objektif ve detaylı bilgiler sunarak, tekniğin zayıf noktalarını tespit etme ve düzeltme olanağı tanımaktadır (Sánchez-Alcaraz et al., 2020).

Padel sporunun biyomekanik karakteristiği, sürekli yön değiştirmeler, ani hızlanma ve yavaşlamalar, sıçramalar ve çok çeşitli vuruş tipleriyle karakterize edilmektedir. Forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç gibi her bir vuruş, farklı kinematik profiller ve kas aktivasyon paternleri sergilemektedir. Bu vuruşların her biri, oyun stratejisi içerisinde belirli bir işlev görmek ve birbirinden farklı biyomekanik talepler ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu vuruşların biyomekanik prensiplerinin derinlemesine anlaşılması, yalnızca performans gelişimi için değil, aynı zamanda yaralanma risklerinin azaltılması ve sporunun uzun vadeli sağlığının korunması için de kritik öneme sahiptir.

Bu kitap bölümünün temel amacı, padel vuruşlarının biyomekanik analizini kinematik prensipler ışığında kapsamlı bir şekilde ele almak ve teknik optimizasyon stratejilerini bilimsel temeller üzerinden sunmaktır. Hedef kitlesi olan antrenörler, spor bilimleri akademisyenleri ve profesyonel sporcular için hazırlanan bu bölüm, güncel bilimsel literatürden elde edilen bulgular temelinde şekillendirilmiştir. Bölümün ilk kısmında, padel biyomekaniği araştırmalarında kullanılan modern ölçüm yöntemleri ve kinematik analiz prensipleri tanıtılacaktır. İkinci kısımda, temel vuruş tiplerinin detaylı biyomekanik incelemeleri yapılacaktır; eklem açıları, hareket aralıkları, kas aktivasyonu, kinetik zincir, güç üretimi ve raket/top hızları gibi parametreler ele alınacaktır. Üçüncü kısımda, performans optimizasyonuna yönelik pratik stratejiler sunulacak ve son olarak yaralanma önleme konusunda biyomekanik risk faktörleri değerlendirilecektir.

1. BİYOMEKANİK ANALİZ YÖNTEMLERİ VE KİNEMATİK PRENSİPLER

1.1. Biyomekanik ve Kinematik Analizin Temelleri

Spor biyomekaniği, sporcuların hareketlerinin mekanik prensiplerini anlamak için fiziğin, mühendisliğin ve anatomi-fizyolojinin kesişim noktasında çalışan bir disiplindir. Kinematik analiz, bu disiplinin temel yapı taşlarından biridir ve hareketin “nasıl” gerçekleştiğini sorusuna cevap arar. Kinematik, bir cismin veya vücut segmentinin yer değiştirmesini, hızını ve ivmesini zaman ve uzay boyutlarında tanımlar (Günay & Kaya, 2018). Padel gibi karmaşık ve hızlı hareketler içeren sporlarda, kinematik veriler oyuncuların teknik becerilerini

objektif olarak değerlendirmek, performansı optimize etmek ve potansiyel yaralanma risklerini tespit etmek için vazgeçilmezdir.

Kinematik analiz, doğrusal kinematik (translasyon hareketi) ve açısall kinematik (rotasyon hareketi) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Doğrusal kinematik, bir noktanın veya kütle merkezinin düz bir yol boyunca hareketini ele alırken; açısall kinematik, bir cismin bir eksen etrafındaki dönme hareketini inceler. Padel vuruşlarında her iki tür hareket de kritik rol oynar. Örneğin, bir oyuncunun vücut kütle merkezinin kortta ileri-geri hareketi doğrusal kinematiğı; omuz, dirsek ve el bileğı eklemlerinin rotasyonları ise açısall kinematiğı temsil eder. Bu iki hareket türünün koordine edilmesi, etkili ve verimli bir vuruş mekanizmasının temelidir.

1.2. Üç Boyutlu Hareket Analizi Sistemleri

Modern spor biyomekanigi araştırmalarında en yaygın kullanılan teknolojilerden biri üç boyutlu (3D) hareket analizi sistemleridir. Bu sistemler, genellikle optoelektronik teknoloji kullanarak, sporcunun vücuduna ve ekipmanına (raket gibi) stratejik olarak yerleştirilen yansıtıcı işaretleyicilerin (marker) uzaydaki konumlarını yüksek hızlı kızılötesi kameralar aracılığıyla tespit eder (Sánchez-Alcaraz et al., 2020). Birden fazla kameradan alınan iki boyutlu görüntüler, gelişmiş kalibrasyon algoritmaları ve triangülasyon prensipleri kullanılarak üç boyutlu koordinatlara dönüştürülür. Bu işlem, milimetrik hassasiyette ve saniyede yüzlerce kare (genellikle 200-500 Hz) ile gerçekleştirilir, böylece hızlı ve karmaşık hareketlerin bile en ince detayları kaydedilebilir.

Toplanan ham konum verilerinden eklem merkezlerinin, segment açılarının ve kütle merkezinin hareketlerinin hesaplanması için biomedikal modelleme yazılımları kullanılır. Bu yazılımlar, insan vücudunu birbirine eklemlerle bağı rijit segmentler (kemikler) sistemi olarak modelleyerek, her bir eklemin açısall konumunu, hızını ve ivmesini hesaplar. Örneğin, bir smaç vuruşu sırasında omuz ekleminin fleksiyon-ekstansiyon, abdüksiyon-addüksiyon ve iç-dış rotasyon açılarının zamana bağı değışimi bu yöntemle detaylı bir şekilde ortaya konabilir (Courel-Ibáñez et al., 2020). Bu tür ayrıntılı kinematik analizler, elit sporcuların optimal hareket paternlerini belirlemede ve geliştirmekte olan sporcuların tekniklerini bu referans modellere göre değerlendirmede kritik önem taşıır.

1.3. Yüzeyel Elektromiyografi (sEMG)

Kinematik verilerin hangi kasların ne zaman ve ne kadar aktif olduğunu göstermemesi, biyomekanik analizin tamamlanması için yüzeyel

elektromiyografi (sEMG) gibi nörofizyolojik ölçüm tekniklerinin de entegre edilmesini gerekli kılar. sEMG, kasların kasılması sırasında ürettikleri elektriksel sinyalleri (motor ünite aksiyon potansiyelleri), cilt yüzeyi üzerine yerleştirilen yapışkan elektrotlar aracılığıyla non-invazif olarak kaydeder (Sánchez-Alcaraz et al., 2020; Prete et al., 2025). Bu sinyaller, bir kasın aktivasyon zamanlaması, aktivasyon büyüklüğü (ne kadar güçlü kasıldığı), kaslar arası koordinasyon ve yorgunluk gibi bilgileri içerir.

Padel özelinde yapılan sEMG çalışmaları, farklı vuruş tiplerinin kas aktivasyon profillerini ortaya koymuş ve önemli bulgular sunmuştur. Örneğin, forehand ve backhand vuruşlarında omuz çevresi kaslardan deltoid, pektoralis major, latissimus dorsi, trapezius; kol kaslarından biceps ve triceps braki; ön kol kaslarından ise fleksör karpi radialis ve ekstansör karpi radialis kaslarının aktivasyonları ölçülmüştür. Bulgular, ekstansör kasların fleksörlere göre anlamlı derecede daha fazla aktif olduğunu göstermiş; bu durum, lateral epikondilit (“tenisçi dirseği”) gibi yaralanmalar için bir risk faktörü olarak tanımlanmıştır (Berg et al., 2023). Ayrıca, backhand vuruşlarında deltoid kasının baskın aktivasyonu sergilemesi ve bunu karşı dengeleyici kasların yeterince desteklememesi, omuz ekleminde dengesizlik ve potansiyel yaralanma riski yaratmaktadır (Sánchez-Muñoz et al., 2023).

1.4. Ataletsel Ölçüm Birimleri ve Saha Uygulamaları

Laboratuvar ortamının kontrollü koşulları, yüksek hassasiyet sağlasa da, gerçek oyun koşullarının dinamikliğini tam olarak yansıtamayabilir. Bu sorunu aşmak için, son yıllarda ataletsel ölçüm birimleri (IMU - Inertial Measurement Units) giderek daha fazla kullanılmaktadır (Prete et al., 2025). IMU sensörleri, ivmeölçerler (accelerometers), jiroskoplar (gyroscopes) ve bazen manyetometreler (magnetometers) içeren küçük, hafif ve giyilebilir cihazlardır. Bu sensörler, vücudun farklı segmentlerine (örneğin, üst kol, ön kol, gövde, bacak) veya doğrudan raket üzerine yerleştirilebilir ve segmentlerin üç boyutlu oryantasyonunu, açısal hızını ve doğrusal ivmesini gerçek zamanlı olarak kaydedebilir.

IMU’ların en büyük avantajı, maç veya antrenman sırasında saha koşullarında veri toplanabilmesidir. Bu sayede, laboratuvar ortamında gözlemlenemeyen rakip baskısı, yorgunluk, psikolojik stres gibi faktörlerin biyomekanik parametreler üzerindeki etkileri incelenebilir. sEMG sistemleriyle entegre edildiğinde, IMU’lar sporcunun hem kinematik hem de kas aktivitesini eş zamanlı olarak izleyerek bütüncül bir performans değerlendirmesi sunabilir (Prete et al., 2025). Bu teknoloji, antrenörlerin ve spor bilimcilerin oyuncuların

gerçek zamanlı performansını izlemesine, yorgunluk seviyelerini takip etmesine ve antrenman yükünü optimize etmesine olanak tanır.

1.5. Kinetik Zincir Kavramı

Kinetik zincir (kinetic chain), raket sporlarındaki güç üretimi ve enerji transferinin en temel biyomekanik prensiplerinden biridir. Bu kavram, vücuttaki segmentlerin (ayak, bacak, kalça, gövde, omuz, kol, ön kol, el, raket) sıralı ve koordine bir şekilde harekete geçerek, enerjiyi ve momentumu proksimal (vücuda yakın) bölgelerden distal (uzak) bölgelere aktarması sürecini tanımlar (Martin et al., 2014). Etkili bir padel vuruşunda, bu zincir yerden başlar; ayaklar ve bacaklar, yer reaksiyon kuvvetlerini kullanarak vuruşa temel oluşturan gücü üretir. Bu güç, kalçaların rotasyonu ile gövdeye, gövdenin rotasyonu ile omuza, omuzun rotasyonu ile kola ve nihayetinde kol ve el bileği aracılığıyla rakete aktarılır (Babolat, 2024; Martin et al., 2014).

Kinetik zincirdeki her bir segment, kendisinden önceki segmentin ürettiği hız ve momentumu temel alarak daha da hızlanır. Bu sıralı hızlanma süreci, zincirin son halkası olan raket başının maksimum hıza ulaşmasını sağlar. Araştırmalar, kinetik zincirin doğru ve senkronize çalışmasının, minimum enerji harcamasıyla maksimum raket başı hızı üretilmesini mümkün kıldığını göstermektedir (Martin et al., 2014). Ancak, zincirdeki herhangi bir halkanın zayıf olması, zamanlamasının bozuk olması veya hareket aralığının kısıtlı olması durumunda, enerji transferi kesintiye uğrar. Bu durumda, distal segmentler (özellikle omuz, dirsek ve el bileği) eksik gücü telafi etmek için aşırı yüklenme riski altına girer; bu da tekrarlayan stres yaralanmalarının (örneğin, rotator manşet tendinopatisi, lateral epikondilit) önemli bir nedenidir (Martin et al., 2014).

1.6. Eklem Açıları ve Hareket Aralıkları

Eklem açıları ve hareket aralıkları (Range of Motion - ROM), kinematik analizin temel değişkenleridir ve bir sporcunun teknik kalitesini belirlemede kritik rol oynarlar. Her padel vuruşu, belirli eklemlerde karakteristik açısal değişimler ve hareket paternleri sergiler. Örneğin, bir smaç vuruşunun hazırlık fazında, omuz ekleminin geniş bir abdüksiyon (yaklaşık 90-110 derece) ve maksimal dış rotasyon (yaklaşık 150-180 derece) konumuna gelmesi gerekir. Bu pozisyon, omuz iç rotator kaslarında elastik enerji depolanmasını sağlar ve ivmelenme fazında bu enerjinin patlayıcı bir şekilde serbest bırakılmasına olanak tanır (Sánchez-Alcaraz et al., 2020).

Eklem açılarının ölçümü ve analizleri, elit sporcuların optimal hareket paternlerini tanımlamak için kullanılır ve bu veriler bir referans model

oluşturur. Genç veya gelişmekte olan sporcuların vuruş teknikleri bu modelle karşılaştırılarak, hareketin verimsiz veya potansiyel olarak riskli olduğu noktalar tespit edilebilir. Örneğin, hazırlık fazında dizlerin yeterince bükülmemesi (küçük diz fleksiyon açısı), bacaklardan üretilecek gücü sınırlar ve kinetik zincirin başlangıcını zayıflatır (North Padel Club, 2024). Benzer şekilde, smaç sırasında omuzda yetersiz dış rotasyon, vuruşun gücünü azaltırken; aşırı dış rotasyon ise omuz eklemine anterior stabilizatör yapılarına aşırı yük bindirebilir (Sánchez-Muñoz et al., 2023).

1.7. Vücut Kütle Merkezi ve Raket Kinematigi

Vücut kütle merkezi (Center of Mass - COM), vücudun ortalama konumunu temsil eden ve tüm vücut kütlelerinin yoğunlaştığı varsayılan bir noktadır. Kütle merkezinin hareketi, sporcunun genel dengesi, stabilitesi ve hareket verimliliği hakkında önemli bilgiler verir. Padel vuruşlarında, kütle merkezinin dikey ve yatay hareketleri, güç üretimi ve denge kontrolü açısından kritik öneme sahiptir (North Padel Club, 2024). Etkili bir vuruş için, oyuncunun genellikle hazırlık fazında kütle merkezini alçalttığı (dizleri bükerek) ve vuruş anında yükselterek yer reaksiyon kuvvetlerinden maksimum fayda sağladığı gözlemlenir.

Raket kinematigi, yani raketin kendisinin hareket özellikleri, vuruşun sonucunu doğrudan belirleyen bir diğer kritik parametredir. Raket başı hızı (racket head velocity), topun çıkış hızının en önemli belirleyicisidir; çünkü çarpışma fiziği gereği, raket hızı arttıkça topa aktarılan momentum da artar (Tennis Warehouse University, 2024). Raketin yörüngesi ve vuruş anındaki yüzey açısı ise topun yönünü, falso miktarını ve top kontrolünü belirler. Padelin kendine özgü özelliği olan duvar kullanımı, oyuna ek bir kinematik karmaşıklık katar; topun duvardan sekme açısı, hızı ve falsosu, oyuncunun bir sonraki vuruşa hazırlanırken pozisyon, zamanlama ve raket kinematigini anlık olarak adapte etmesini gerektirir (Pradas et al., 2021).

2. TEMEL VURUŞLARIN BİYOMEKANİK ANALİZİ

Padel, taktiksel çeşitlilik sunan ve farklı biyomekanik profillere sahip olan çok sayıda vuruş tipini içerir. Bu vuruşların etkinliği, doğru kinetik zincir kullanımı, optimal eklem kinematigi, hassas kas aktivasyon zamanlaması ve sonuçta üretilen raket ve top hızının bir kombinasyonuna dayanır. Bu bölümde, padelin temel vuruşları olan forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç detaylı bir biyomekanik perspektiften incelenecektir.

2.1. Forehand Vuruşu

Forehand, padeldeki en sık kullanılan ve genellikle en güçlü zemin vuruşlarından biridir. Oyuncuların tercih ettiği “doğal” taraf olması nedeniyle, forehand vuruşunda genellikle daha fazla güç ve kontrol sergilenir. Biyomekanik olarak, forehand vuruşu dört ana fazdan oluşur: hazırlık, geriye salınım (backswing), ivmelenme ve takip etme (follow-through).

Hazırlık Fazı: Oyuncu, topu erkenden okuyarak yan duruş pozisyonuna geçer. Bu fazda, vücudun ağırlığı arka ayağa aktarılır ve gövde, vuruş yönünün tersine doğru döner. Raketin geriye alınmasıyla birlikte omuz eklemi yatay abduksiyon ve dış rotasyona girer. Bu rotasyon, pektoralis major, latissimus dorsi ve ön deltoid gibi kaslarda ekzantrik yükleme ve elastik enerji birikimi sağlar.

İvmelenme Fazı: Bu faz, vuruşun gücünün üretildiği kritik aşamadır ve kinetik zincirin etkin kullanımına dayanır. Hareket, arka ayağın yerden kuvvet alması ve ağırlığın ön ayağa transferiyle başlar. Kalçanın öne doğru hızlı rotasyonu, gövdeyi peşinden sürükler; bu sırada karın ve sırt kasları yüksek aktivasyon gösterir. Gövdenin rotasyonel momentumu omuza aktarılır ve omuz iç rotasyona girmeye başlar. Dirsek hızla açılır ve ön kol pronasyona girer. Bu sıralı hızlanma, enerjiyi raket başına yoğunlaştırır.

Erkek oyuncular üzerinde yapılan kinematik çalışmalarda, forehand sırasında kadın oyunculara göre daha yüksek skapular tilt (kürek kemiğinin eğimi) sergiledikleri gözlemlenmiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Bu durum, erkeklerin gövde ve omuz rotasyonunu daha geniş bir aralıkta kullanarak daha fazla güç üretme potansiyeline sahip olduklarını gösterir. sEMG analizleri, deltoid kasının forehand sırasında yaklaşık %19'luk bir aktivasyon gösterdiğini tespit etmiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023).

Temas ve Takip Etme Fazı: Raket-top teması, ivmelenme fazının sonunda ve raket başı hızının maksimuma ulaştığı anda gerçekleşir. Temas sonrası, raket ön tarafa ve yukarıya doğru devam eder (follow-through); bu hareket, eklemlerin aşırı stres altında ani durmasını önleyerek deselerasyon kuvvetlerini güvenli bir şekilde dağıtır. Takip etme fazındaki uygun hareket, omuz ve dirsek yaralanmalarının önlenmesinde önemli rol oynar.

2.2. Backhand Vuruşu

Backhand vuruşu, vücudun rakip tutulan el tarafında gerçekleştirilen zemin vuruşudur ve tek el veya çift el ile yapılabilir. Her iki versiyonun da farklı biyomekanik profilleri vardır; ancak rekreasyonel ve profesyonel padel

oyuncuları arasında çift elli backhand daha yaygındır çünkü daha fazla stabilite ve güç üretimi sunar.

Tek Elli Backhand: Daha geniş bir hareket aralığı ve daha fazla gövde rotasyonu gerektirir. Bu vuruşta, omuz eklemi yatay addüksiyon (kolun vücuda yaklaşması) ve iç rotasyon hareketleri sergiler. Hazırlık fazında omuz dış rotasyonda iken, ivmelenme fazında iç rotasyona geçiş yapar. Bu geçiş sırasında, posteriyor rotator manşet kasları eksantrik yüklenmeye maruz kalır.

Çift Elli Backhand: Baskın olmayan el, raketi destekleyerek daha fazla stabilite ve kontrol sağlar. Bu versiyonda, gövde rotasyonu ve bacak gücü kullanımı daha belirgindir. Her iki kol da vuruşa katkıda bulunduğu için, omuz üzerindeki yük daha dengeli dağıtılır.

Biyomekanik analizler, backhand vuruşlarında kas aktivasyon dengesizliği sorununa işaret etmektedir. sEMG çalışmaları, deltoid kasının aktivasyonunun ($\%20 \pm 12$) trapezius aktivasyonuna göre belirgin şekilde baskın olduğunu göstermiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Daha kritik olarak, bu deltoid aktivitesinin, humerus başının eklem içinde optimal merkezlenmesini sağlaması gereken latissimus dorsi ve pektoralis major gibi antagonist kaslar tarafından yeterince dengelenmediği bulunmuştur (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Bu kas dengesizliği, tekrarlayan backhand vuruşlarında omuz ağrısı ve subakromiyal sıkışma sendromu gibi yaralanmalar için bir risk faktörü oluşturmaktadır.

Ön kol kasları açısından, hem forehand hem de backhand vuruşlarında ekstansör karpi radialis (ECR) kasının, fleksör karpi radialis (FCR) kasına göre anlamlı derecede daha aktif olduğu bulunmuştur (Berg et al., 2023). ECR'nin bu baskın aktivasyonu, el bileğini stabilize etmek ve raket pozisyonunu kontrol etmek için gereklidir; ancak kronik olarak devam ettiğinde, lateral epikondilit (“tenisçi dirseği”) gelişimi için bir risk faktörü oluşturabilir (Berg et al., 2023).

2.3. Servis

Padel servisi, tenisten farklı olarak alt el servisi (underhand serve) ile yapılır. Tenis'te olduğu gibi topun havaya atılıp baş üstünden vurulması yerine, padelde top yerde bir kez sektirildikten sonra bel hizasının altından vurulur. Bu kural, servisin biyomekanik profilini temelden değiştirir ve onu daha çok bir kontrol ve hassasiyet vuruşu haline getirir.

Biyomekanik Faz Analizi: Padel servisi, “kaşık tekniği” (spoon technique) olarak da adlandırılan bir hareketle yapılır (Babolat, 2024). Oyuncu, topun önüne yan duruş pozisyonunda durur. Top, zemine serbest bırakılarak sektirildikten sonra, yukarı doğru yükselişi sırasında vurulur. Hareket, vücut ağırlığının arka ayaktan ön ayağa transferiyle başlar. Bu ağırlık transferi, kalça

ve gövde rotasyonu için gerekli momentum yaratır. Kalçanın öne dönmesi, omuzun vuruş yönüne doğru hareket etmesini tetikler (Babolat, 2024).

Kinetik zincir, serviste de aktif rol oynar; ancak güç üretiminden ziyade kontrol ve yerleştirme önceliklidir (Martin et al., 2014). Bacaklar ve gövde, zincirin motor gücü olarak işlev görür ve kolun kompakt hareketi ile topa istenilen yön ve efekt verilir. Servis sonrası oyuncunun hızla file önüne çıkarak ofansif pozisyon alması hedeflendiğinden, servisin yalnızca teknik değıl, aynı zamanda stratejik bir başlangıç hareketi olduğı unutulmamalıdır (Babolat, 2024).

2.4. Voley Vuruşları

Voley, topun zemine değmeden önce havada vurulduğı, genellikle file kenarında gerçekleştirilen hızlı reaksiyon vuruşlarıdır. Voleyler, padelin ofansif oyun stiline temel taşlarından biridir ve başarılı file dominasyonu, yüksek seviye rekabet için kritik öneme sahiptir. Voley vuruşları, zemin vuruşlarına göre çok daha kısa bir hazırlık fazına sahiptir ve kompakt bir hareket gerektirirler.

Forehand Voley: Bu vuruşta, omuz ve kol gücü kinetik zincirde daha baskın rol oynar; çünkü vuruşun hızlı doğası, geniş gövde rotasyonu için yeterli zamanı sınırlar. Kinematik çalışmalar, erkek oyuncuların forehand voley sırasında kadın oyunculara göre daha yüksek omuz dış rotasyonu sergilediğini göstermiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Bu daha geniş rotasyon aralığı, vuruşa daha fazla “snap” veya ani hız katma potansiyeli sunar.

Backhand Voley: Özellikle omuz stabilizatör kasları için zorlayıcı bir vuruştur. sEMG çalışmaları, backhand voley sırasında deltoid, trapezius ve pektoralis major kaslarının aktif olduğunu göstermiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Voley vuruşlarında, el bileğı stabilitesi kritik önem taşır; çünkü raket yüzünün açısını sabit tutmak ve topun kontrolsüz bir şekilde yükselmesini veya ağı düşmesini önlemek gerekir. Bu stabilite, ön kol kaslarının (özellikle ECR ve FCR) ko-kontraksiyonu (eş zamanlı kasılması) ile sağlanır (Berg et al., 2023).

2.5. Bandeja

Bandeja (İspanyolca “tepsi”), padele özgü bir baş üstü vuruştur ve genellikle defansif bir lobu nötralize etmek veya ofansif bir pozisyon oluşturmak için kullanılır. Smaçtan farklı olarak, bandeja maksimum güç yerine kontrol ve stratejik yerleştirmeye odaklanır. Amaç, topun duvarların arkasına çarparak alçak sekmesini sağlamak ve rakibin hücum etmesini zorlaştırmaktır.

Teknik ve Biyomekanik Özellikler: Bandeja sırasında, oyuncu yana döner ve raket, başı yukarı bakacak şekilde (adını aldığı tepsi pozisyonu) bir tepsi gibi tutulur. Vuruş, topun yanında veya hafifçe arkasında, genellikle omuz seviyesinde gerçekleştirilir. Bandeja, daha çok bir kesme (slice) hareketidir; raketin alta ve öne doğru hareketiyle topa arka falso verilir. Bu vuruş, önemli bir omuz abdüksiyonu ve elevasyonu gerektirir.

sEMG analizleri, bandeja sırasında trapezius kasının aktivasyonunun (11 ± 3) diğer vuruşlara göre daha düşük olduğunu, deltoid kasının ise 23 ± 11 civarında aktif olduğunu göstermiştir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Bandeja, tekrarlı olarak yapıldığında, omuz ekleminin subakromiyal boşluğunu daraltarak sıkışma sendromu riskini artırabilir. Bu nedenle, doğru teknik ve yeterli omuz mobilite-stabilitesi, bandeja yapan oyuncular için yaralanma önlemede kritik önem taşır (Sánchez-Muñoz et al., 2023).

2.6. Vibora

Vibora (İspanyolca “engerek yılanı”), bandejadan daha agresif bir baş üstü vuruştur ve topa önemli miktarda yan falso (sidespin) vermek için kullanılır. Teknik açıdan, vibora smaç ile bandeja arasında bir yerdedir. Oyuncu topun daha altına girer ve vuruş, dirseğin ve ön kolun aktif bir şekilde kullanıldığı bir “kırbaç” hareketiyle gerçekleştirilir; raket adeta topa “fırça atar”.

Biyomekanik Karmaşıklık: Vibora, bandejaya göre daha fazla omuz iç rotasyonu ve ön kol pronasyonu içerir. Bu karmaşık üç boyutlu hareket, yüksek düzeyde eklem koordinasyonu ve nöromüsküler kontrol gerektirir. Vuruş sonrası top, duvardan beklenmedik bir açı ve alçak sekme ile döner; bu durum rakibi defansif pozisyona zorlar. Ancak, vibora’nın yüksek teknik talebi ve omuz ile dirsek eklemleri üzerinde yarattığı karmaşık stres paternleri, bu vuruşun yalnızca ileri seviye oyuncular tarafından güvenli bir şekilde yapılabileceğini gösterir.

2.7. Smaç (Smash)

Smaç, padeldeki en güçlü, en spektaküler ve genellikle puanı bitirici ofansif vuruştur. Temel amacı, topa maksimum hız ve güç vererek rakibin cevap vermesini imkansız hale getirmektir. Smaç, kinetik zincirin en patlayıcı ve eksiksiz bir şekilde kullanıldığı vuruştur.

Hazırlık Fazı: Oyuncu, topun altına pozisyon alır ve vücudunu bir yay gibi kurar. Dizler bükülür, kalçalar hafifçe geriye gider ve vücut ağırlığı arka ayağa yüklenir. Omuzlar geriye döner ve raket, başın arkasına veya sırtta doğru düşer; bu pozisyon, omuzda maksimal dış rotasyon yaratır (yaklaşık 150-180 derece). Bu pozisyon, pektoralis major, latissimus dorsi, subskapularis ve

omuz iç rotator kaslarında önemli bir gerilme ve elastik enerji depolanması sağlar (Martin et al., 2014).

İvmelenme Fazı: Bu faz, smaçteki güç üretiminin kalbini oluşturur. Bacakların patlayıcı dikey itmesi (plantar fleksiyon ve diz ekstansiyonu) ile başlar. Bu itme, vücudun kütle merkezini yukarı doğru hızlandırır ve yer reaksiyon kuvvetlerinden maksimum fayda sağlar. Kalça ve gövde, hızlı bir rotasyon ile enerjiye katkıda bulunur. Omuz, dış rotasyondan hızla iç rotasyona geçer; bu geçiş sırasında, omuz iç rotator kasları (subskapularis, pektoralis major, latissimus dorsi, teres major) maksimal konsantrik kasılma sergiler. Dirsek, kapalı pozisyondan açık pozisyona hızla geçer (ekstansiyon) ve ön kol pronasyona girer. Bu sıralı hızlanma zinciri, raket başı hızını maksimize eder.

Raket Hızı ve Performans İlişkisi: Raket başı hızı, smaçın etkinliğindeki en kritik parametredir ve doğrudan top hızını belirler. Araştırmalar, raket başı hızının üst vücut fonksiyonel gücü (örneğin, sağlık topu fırlatma performansı), el kavrama kuvveti ve omuz rotasyon gücü ile güçlü pozitif korelasyonlar gösterdiğini ortaya koymuştur (Sánchez-Alcaraz et al., 2025). Cinsiyetler arasında belirgin farklar mevcuttur; erkek oyuncular, daha yüksek üst vücut güç seviyeleri sayesinde kadın oyunculara göre anlamlı derecede daha yüksek smaç hızları üretmektedirler (Sánchez-Alcaraz et al., 2025). Örneğin, yarı profesyonel erkek oyuncuların smaç hızları, amatör oyunculara göre belirgin şekilde daha yüksektir. Smaç, kazanılan puanların önemli bir yüzdesini oluşturur ve bu vuruşta ustalaşmak, bir oyuncunun performans seviyesini belirleyen temel göstergelerden biridir (Courel-Ibáñez et al., 2023).

Deselerasyon ve Takip Etme: Raket-top teması sonrası, raket hızlı bir şekilde yavaşlatılmalıdır. Bu deselerasyon fazı, omuz posteriyor kaslarının (infraspinatus, teres minor, posteriyor deltoid) eksantrik kasılmasıyla gerçekteşir. Uygun bir takip etme hareketi, bu deselerasyon kuvvetlerini güvenli bir şekilde dağıtarak omuz yaralanmalarını önler.

3. TEKNİK OPTİMİZASYON STRATEJİLERİ

Padelde zirve performansa ulaşmak, yalnızca doğuştan gelen yeteneğe değıl, aynı zamanda bilimsel temelli antrenman metodolojilerine, teknolojik araçların etkin kullanımına, uygun ekipman seçimine ve kapsamlı fiziksel kondisyonlanmaya dayanır. Teknik optimizasyon, sporcunun biyomekanik verimliliğini artırmayı, yaralanma risklerini azaltmayı ve performans tutarlılığını sağlamayı hedefler. Bu bölümde, performans artışı için kanıta dayalı stratejiler ele alınacaktır.

3.1. Teknik-Taktik Gelişim ve Antrenman Metodolojileri

Teknik optimizasyonun temeli, antrenman ortamının maç koşullarını olabildiğince gerçekçi bir şekilde simüle etmesidir. “Oynadığın gibi antrenman yap” (train as you play) prensibi, spor bilimlerinde geniş kabul görmüş bir pedagojik yaklaşımdır. Bu prensip, oyuncuların baskı altında karar verme, hata yönetimi ve etkili vuruş seçimi gibi becerilerini geliştirmeleri için kritik öneme sahiptir. Yüksek seviyeli oyuncular üzerinde yapılan çalışmalar, baskı altında yapılan antrenmanlar ile resmi müsabakalarda sergilenen teknik-taktik performans arasında yüksek bir benzerlik olduğunu göstermiştir (Villena-Serrano et al., 2025). Bu bulgular, ekolojik ve realistik antrenman senaryolarının beceri transferinde ne kadar etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Antrenörler, görev zorluğunu artırarak (örneğin, hedef alanları daraltarak, zaman baskısı ekleyerek) veya hataların sonuçlarını ağırlaştırarak (örneğin, belirli hedeflere vuramama durumunda ek egzersizler yaptırarak) maç baskısını simüle eden uygulamalar tasarlamalıdır. Performans analizi, bu süreçte önemli bir rol oynar. Maç sırasında yapılan son vuruşların (kazanan vuruş, zorunlu hata, basit hata) sistematik analizi, oyuncunun güçlü ve zayıf yönlerini objektif olarak ortaya koyar. Örneğin, profesyonel erkek padelinde kazanan vuruşların büyük kısmının smaçlardan geldiği; hataların ise genellikle file önü forehand ve backhand voleylerde yapıldığı tespit edilmiştir (Villena-Serrano et al., 2025). Bu tür performans verileri, antrenmanların hangi teknik ve taktik unsurlara odaklanması gerektiğini belirlemede kritik yol göstericidir.

3.2. Teknolojik İlerlemeler ve Veri Odaklı Optimizasyon

Teknoloji, modern padel antrenman ve performans analizinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Akıllı padel kortları, entegre sensörler ve otomatik video analiz sistemleriyle donatılmaktadır. Bu sistemler, vuruş hızı, top yörüngesi, oyuncunun kort içindeki konum ve hareket mesafeleri gibi parametreleri otomatik olarak kaydederek gerçek zamanlı geri bildirim sağlar (Padel Net Setters, 2025). Oyuncular ve antrenörler, antrenman veya maç sonrası bu verileri ve video kayıtlarını inceleyerek vuruş tekniği, pozisyon alma, taktiksel kararlar ve fiziksel yük gibi konularda detaylı analizler yapabilirler.

Giyilebilir teknolojiler, performans takibini bireysel düzeye taşımaktadır. Akıllı bileklikler, sensörlü giysiler veya raketlere takılan akıllı cihazlar, vuruş hızı, vuruş tipi, raket-top temas noktası, harcanan kalori, kalp atış hızı gibi metrikleri ölçer (Padel Net Setters, 2025). Bu veriler, oyuncunun antrenman yükünü objektif olarak izlemesine, teknik ayarlamalar yapmasına ve gelişimini nicel olarak takip etmesine olanak tanır. Video analiz yazılımları, yüksek çözünürlüklü ve yüksek kare hızlı kameralarla çekilen görüntüleri yavaşlatarak,

dondurarak ve üzerine aç, yörünge gibi grafiksel açıklamalar çizerek hareketin en ince ayrıntılarını bile inceleme imkanı sunar. Bu araçlar, biyomekanik prensiplerin saha uygulamalarına dönüştürülmesinde paha biçilmezdir (Padel Net Setters, 2025).

Sanal koçluk platformları ve mobil uygulamalar, uzman antrenörlere erişimi kolaylaştırır ve kişiselleştirilmiş geri bildirimlerle oyuncuların gelişimini destekler (Padel Net Setters, 2025). Yapay zeka destekli analiz sistemleri, büyük veri setlerinden öğrenerek oyuncuların teknik hatalarını otomatik olarak tespit edebilir ve düzeltici öneriler sunabilir. Bu teknolojik araçların entegrasyonu, antrenman süreçlerini daha objektif, ölçülebilir ve etkili hale getirmektedir.

3.3. Ekipman Tasarımı ve Materyal Bilimi

Ekipman, özellikle raket, oyuncunun performansını doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Modern padel raketleri, ileri teknoloji malzeme biliminin ürünüdür. Karbon fiber (3K, 12K, 18K gibi farklı dokuma yoğunluklarında), grafen, cam elyafı ve kevar gibi kompozit malzemeler, raketin dayanıklılığını, güç aktarım verimliliğini ve titreşim sönümleme özelliklerini optimize etmek için kullanılmaktadır (Nexpadel, 2024; Padel39, 2024). Karbon fiber, yüksek mukavemet-ağırlık oranı sayesinde hem hafif hem de sağlam raketler üretilmesini sağlar. Grafen eklenmesi, raketin sertliğini ve güç transferini artırırken titreşimi azaltır; bu da el, el bileği ve dirsek üzerindeki stresi minimize ederek yaralanma riskini düşürür (Nexpadel, 2024).

Raketin aerodinamik tasarımı, hava direncini azaltarak vuruş hızını (swing speed) artırır. Raket yüzeylerindeki 3D dokular (roughened surfaces), topa temasın süresini ve sürtünmeyi artırarak oyuncuya daha fazla falso (spin) verme imkanı tanır; bu da vuruş çeşitliliğini ve taktiksel seçenekleri genişletir (Nexpadel, 2024).

Raket şekli de performans üzerinde doğrudan etkilidir ve oyun stiline göre seçilmelidir:

- **Elmas (Diamond) Şekli:** Ağırlık merkezi raketin üst kısmında yer alır; bu da daha fazla kaldırma ve dolayısıyla daha fazla güç üretimi sağlar. Genellikle ileri seviye, ofansif oyuncular ve özellikle smaç odaklı oyun tarzı sergileyen sporcular tarafından tercih edilir (Nexpadel, 2024).
- **Yuvarlak (Round) Şekli:** Ağırlık merkezi raket merkezine yakındır, bu da daha geniş bir tatlı nokta (sweet spot) ve üstün manevra kabiliyeti sunar. Maksimum kontrol ve hata toleransı sağladığı için defansif oyuncular ve yeni başlayanlar için idealdir (Nexpadel, 2024).

- **Gözyaşı (Teardrop) Şekli:** Güç ve kontrol arasında bir denge sunar. Orta seviye oyuncular ve her iki oyun stilini de kullanmak isteyen sporcular için uygundur (Nexpadel, 2024).

Raket gücünün fiziki, raketin sertliği, darbe noktasındaki etkin kütlesi ve esneklik katsayısı gibi parametrelere bağlıdır (Tennis Warehouse University, 2024). Oyuncular, kendi fiziksel özelliklerine, oyun stillerine ve teknik becerilerine en uygun malzeme, şekil ve ağırlıktaki raketi seçerek performanslarını optimize edebilirler.

3.4. Fiziksel Performans ve Kondisyon

Teknik ne kadar mükemmel olursa olsun, bunu maç boyunca sürdürebilmek için gerekli fiziksel altyapı olmadan zirve performansa ulaşılamaz. Padel, patlayıcı kuvvet, çeviklik, dayanıklılık, esneklik ve koordinasyon gerektiren yüksek yoğunluklu ve aralıklı (intermittent) bir spordur. Bu nedenle, kapsamlı fiziksel kondisyon programları, performans artışının ve yaralanma önlemenin temel taşıdır.

Kuvvet ve Kondisyon Antrenmanları: Bacak ve merkez (core) bölgesi kuvveti, kinetik zincirin temelini oluşturur. Squat, lunge, deadlift gibi temel kuvvet egzersizleri ile plyometrik sıçramalar (box jumps, lateral bounds), kort içinde hızlı hareket etme, yön değiştirme ve yerden güç üretme kapasitesini artırır. Güçlü bir merkez bölgesi, gövde stabilitesi sağlayarak enerji transferini optimize eder ve alt ekstremiteden üst ekstremiteye etkin güç iletimini mümkün kılar (Valderrama, 2024). Üst vücut için yapılan direnç bandı egzersizleri, özellikle omuz stabilizatör kaslarının (rotator manşet) kuvvetlendirilmesi ve omuz sağlığının korunması için önemlidir (Valderrama, 2024).

Çeviklik ve Hız: Padel kortunun küçük boyutu, hızlı reaksiyon ve çeviklik gerektirir. Merdiven drilleri, koni drilleri ve yön değiştirme egzersizleri, nöromüsküler koordinasyonu ve ayak hızını geliştirir.

Esneklik ve Mobilite: Yeterli eklem hareket aralığı, optimal teknik için ve yaralanmaların önlenmesi için kritiktir. Özellikle omuz, kalça ve ayak bileği mobilite çalışmaları düzenli olarak yapılmalıdır.

Antrenman Yüğü İzleme: Antrenman yükünün (iç yük: kalp atış hızı, laktat seviyeleri, algılanan efor; dış yük: maç süresi, kat edilen mesafe, vuruş sayısı) dikkatli bir şekilde izlenmesi, sürantrenmandan kaçınmak ve performansı optimize etmek için hayati öneme sahiptir (Muñoz et al., 2023). GPS ve IMU tabanlı sistemler, oyuncuların fiziksel yükünü objektif olarak ölçerek antrenörlere kişiselleştirilmiş antrenman programları tasarlama imkanı sunar.

4. YARALANMA ÖNLEME VE BİYOMEKANİK RİSK FAKTÖRLERİ

Padelin popülaritesindeki hızlı artış, sporla ilişkili yaralanma insidansının da yükselmesine neden olmuştur. Padel, sürekli yön değiştirmeler, ani duruş ve başlangıçlar, sıçramalar ve tekrarlayan baş üstü hareketler içeren yüksek yoğunluklu bir spordur. Bu dinamik yapı, kas-iskelet sistemi üzerinde önemli bir mekanik yük oluşturur ve oyuncuları hem akut travmatik yaralanmalara hem de kronik aşırı kullanım (overuse) sendromlarına karşı hassas hale getirir. Yaralanmaların önlenmesi, risk faktörlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve bu faktörleri minimize edecek kanıta dayalı stratejilerin uygulanmasıyla mümkündür. Biyomekanik analizler, potansiyel olarak zararlı hareket kalıplarını ve yapısal yatkınlıkları belirlemede merkezi bir rol oynar.

4.1. Omuz Eklemi Risk Faktörleri

Omuz eklemi, padelde en sık yaralanan bölgelerden biridir ve özellikle smaç, bandeja ve vibora gibi baş üstü vuruşların sık tekrarı, omuz yapılarını önemli bir mekanik strese maruz bırakır. Bu vuruşlar sırasında kolun 90 derecenin üzerinde abduksiyon ve elevasyon pozisyonuna gelmesi, akromiyon ile humerus başı arasındaki boşluğu (subakromiyal boşluk) daraltır. Bu durum, rotator manşet tendonları ve subakromiyal bursanın sıkışmasına (impingement) zemin hazırlayarak inflamasyon ve ağrıya neden olabilir (Sánchez-Muñoz et al., 2023).

Ayrıca, vuruşun yavaşlama (deselerasyon) fazında omuz iç rotator kaslarının eksantrik olarak aşırı yüklenmesi, glenohumeral iç rotasyon eksikliği (Glenohumeral Internal Rotation Deficit - GIRD) gibi durumlara ve SLAP (Superior Labrum Anterior to Posterior) lezyonları gibi labrum yaralanmalarına neden olabilir (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Kinematik çalışmalar, deneyimli ve amatör oyuncular arasında glenohumeral rotasyon ve skapular kinematik paternlerinde farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur (Sánchez-Muñoz et al., 2023). Doğru vuruş tekniği, humerus başının glenoid kavite içinde dinamik olarak merkezlenmesiyle karakterizedir. Hatalı teknik veya kas dengesizlikleri, bu stabilizasyonu bozarak yaralanma riskini artırır.

sEMG çalışmaları, omuz tendinopatilerine yatkın oyunculara hareket acıklığının azaldığını ve kas aktivasyon paternlerinde anormallikler olduğunu belirlemiştir. Özellikle, biceps braki kasının aşırı aktivasyonu ve trapezius ile infraspinatus kaslarının yetersiz aktivasyonu, omuz ekleminde dengesizlik ve potansiyel yaralanma riski yaratmaktadır (Prete et al., 2025). Bu tür biyomekanik risk faktörlerinin erken tespiti, kişiye özel düzeltici egzersiz programları ile yaralanmaların önlenmesine olanak tanır.

4.2. Dirsek ve Ön Kol Risk Faktörleri

“Tenisçi dirseği” olarak bilinen lateral epikondilit, padel oyuncularında oldukça yaygın bir aşırı kullanım yaralanmasıdır. Bu durum, el bileğini ve parmakları geriye doğru bükme (ekstansiyon) kasların (özellikle ekstansör karpi radialis brevis) başlangıç noktası olan lateral epikondildeki kronik inflamasyon ve mikro-travmalardan kaynaklanır. Biyomekanik olarak risk, özellikle backhand vuruşları sırasında ve hatalı teknikle ilişkilidir.

Raketi çok sıkı kavramak, vuruş anında el bileğinin aşırı ekstansiyonu veya fleksiyonu, raket-top temasının tatlı noktanın dışında olması ve darbe şokunun ön kol kasları tarafından sönümlenmesi, lateral epikondildeki tendonlara binen yükü artırır. sEMG çalışmaları, normal oyun sırasında bile ekstansör karpi radialis (ECR) kasının, fleksör karpi radialis (FCR) kasına göre anlamlı derecede daha fazla çalıştığını göstermiştir (Berg et al., 2023). Bu kronik kas dengesizliği, lateral epikondilit gelişimine katkıda bulunan temel bir biyomekanik faktördür (Berg et al., 2023).

Raketin özellikleri de dirsek yükünü etkileyen önemli dışsal faktörlerdir. Çok ağır raketler, daha fazla kas kuvveti gerektirir; çok sert raketler ise titreşim sönümlenme kapasitesini azaltarak darbe şokunun kola iletilmesini artırır (Castillo-Lozano & Casuso-Holgado, 2016). Bu nedenle, ekipman seçimi yaralanma önleme stratejisinin önemli bir parçasıdır.

4.3. Alt Ekstremité Risk Faktörleri

Padel kortunun küçük boyutu, oyunun daha hızlı olması ve daha fazla yön değiştirme hareketi içermesi anlamına gelir. Bu dinamik, ayak bileği, diz ve kalça eklemleri üzerinde önemli bir mekanik stres yaratır. Ayak bileği burkulmaları (lateral ligament sprains), padelde en sık görülen akut yaralanmalardandır. Ani duruş, dönüş, yan hareketler ve dengeli olmayan bir zemine basma, ayak bileğinin inversiyon yaralanmalarına yol açabilir.

Ayakkabı seçimi, bu noktada kritik bir faktördür. Padel için özel olarak tasarlanmış, iyi bir yan destek, uygun taban sertliği ve yan stabilite sağlayan, kayma önleyici taban deseni (genellikle balıksırtı veya hexagonal) olan ayakkabılar, ayak bileği yaralanma riskini önemli ölçüde azaltabilir (Castillo-Lozano & Casuso-Holgado, 2016). Bazı çalışmalar, padel için uygun olmayan ayakkabılar giyen rekreasyonel oyunculara yaralanma riskinin daha yüksek olabileceğini öne sürmektedir (Castillo-Lozano & Casuso-Holgado, 2016).

Diz eklemi, özellikle ani dönüş ve pivot hareketleri sırasında menisküs yırtıkları ve bağ yaralanmalarına (özellikle ön çapraz bağ - ACL) karşı hassastır. Bacak kaslarındaki kuvvet dengesizlikleri (örneğin, quadriceps-hamstring

oranı), zayıf merkez bölgesi stabilitesi, hatalı basma biyomekaniği (örneğin, aşırı pronasyon, valgus diz pozisyonu) ve yetersiz propriyosepsiyon (eklem pozisyon hissi) gibi içsel faktörler, alt ekstremitte yaralanma riskini artıran önemli unsurlardır.

4.4. Genel Risk Faktörleri ve Önleyici Stratejiler

Biyomekanik faktörlerin yanı sıra, yaralanma riskini etkileyen birçok içsel ve dışsal faktör bulunmaktadır. **İçsel faktörler** arasında yaş, cinsiyet, önceki yaralanma öyküsü, vücut kompozisyonu, kas kuvveti ve esnekliği, genel fiziksel kondisyon düzeyi ve anatomik varyasyonlar yer alır (Castillo-Lozano & Casuso-Holgado, 2016; Sánchez-Muñoz et al., 2023). **Dışsal faktörler** ise antrenman yükü (sıklık, süre, yoğunluk), oyun tekniğinin kalitesi, kullanılan ekipman (raket, ayakkabı, top), kort zemini ve çevresel koşullar gibi unsurları kapsar (Castillo-Lozano & Casuso-Holgado, 2016; Sánchez-Muñoz et al., 2023).

Yaralanmaları önlemek için kapsamlı ve çok yönlü bir yaklaşım benimsenmelidir:

1. Uygun Isınma ve Soğuma: Dinamik germe, mobilite egzersizleri ve vuruş simülasyonları içeren yapılandırılmış ısınma, kas-tendon ünitelerini mekanik yüke hazırlar ve yaralanma riskini azaltır. Soğuma, metabolik artıkların uzaklaştırılmasını ve toparlanmayı hızlandırır.

2. Kuvvet ve Esneklik Programları: Kas dengesizliklerini gidermeye yönelik kuvvetlendirme (özellikle rotator manşet, skapular stabilizatörler, merkez bölgesi), esneklik ve mobilite çalışmaları düzenli olarak yapılmalıdır.

3. Teknik Eğitim: Doğru vuruş tekniğinin öğrenilmesi ve pekiştirilmesi, eklemler üzerindeki aşırı ve hatalı yükleri minimize eder. Biyomekanik analiz ve video geri bildirimi, teknik düzeltmelerde etkilidir.

4. Yük Yönetimi: Antrenman yükünün kademeli olarak artırılması (genellikle haftalık artış %10'u geçmemelidir), yeterli dinlenme ve toparlanma süreleri, aşırı kullanım yaralanmalarını önler.

5. Ekipman Seçimi: Oyuncunun seviyesine, fiziksel özelliklerine ve oyun stiline uygun raket ve ayakkabı seçimi.

6. Erken Müdahale: Ağrı, rahatsızlık veya performans düşüşü gibi erken uyarı işaretlerine dikkat edilmeli ve gerektiğinde medikal değerlendirme yapılmalıdır.

Biyomekanik analizler, bu stratejilerin kişiye özel hale getirilmesinde, riskli hareket kalıplarının belirlenmesinde ve sporcunun güvenli bir şekilde spora

geri dönmesini sağlayacak rehabilitasyon programlarının tasarlanmasında temel bir rehber görevi görür (IBV, 2025).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Padel, dinamik yapısı, stratejik derinliği ve erişilebilirliği ile küresel ölçekte hızla büyüyen bir spor dalıdır. Bu kitap bölümünde, padel vuruşlarının biyomekanik ve kinematik prensipleri kapsamlı bir şekilde ele alınmış; temel vuruşların (forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora, smaç) detaylı mekanik analizleri yapılmış; teknik optimizasyon stratejileri ve yaralanma önleme yaklaşımları bilimsel literatür temelinde sunulmuştur.

Elde edilen bulgular, padelde optimal performansın kinetik zincirin etkin kullanımına, doğru eklem kinematiğine, dengeli kas aktivasyonuna ve raket-ekipman seçiminin optimizasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. Üç boyutlu hareket analizi sistemleri, yüzeyel elektromiyografi ve ataletsel ölçüm birimleri gibi modern biyomekanik araçlar, sporcuların tekniklerinin objektif olarak değerlendirilmesine ve ince ayar yapılmasına olanak tanımaktadır. Teknolojik ilerlemeler, akıllı kortlar ve giyilebilir sensörler, antrenman ve performans analizini veri odaklı bir sürece dönüştürmektedir.

Yaralanma önleme açısından, omuz, dirsek ve alt ekstremitte yaralanmalarının biyomekanik risk faktörlerinin anlaşılması ve bu faktörleri minimize edecek kapsamlı önleyici programların uygulanması kritik önem taşımaktadır. Doğru teknik eğitimi, dengeli kas kuvvetlendirme, yeterli mobilite-esneklik çalışmaları, uygun ekipman seçimi ve antrenman yükünün dikkatli yönetimi, sürdürülebilir bir padel kariyerinin temel taşlarıdır.

Antrenörler için Öneriler:

- Biyomekanik prensiplere dayalı teknik eğitimi önceliklendirin.
- Oyuncuların kinematik profillerini periyodik olarak değerlendirin ve zayıf noktaları tespit edin.
- Maç koşullarını simüle eden, baskı altında karar verme içeren ekolojik antrenman uygulamaları tasarlayın.
- Video analiz ve teknolojik araçları antrenman sürecinize entegre edin.
- Yaralanma önleme programlarını düzenli olarak uygulayın.

Sporcular için Öneriler:

- Teknik gelişiminize bilimsel temelli bir yaklaşımla odaklanın.
- Fiziksel kondisyonunuzu, özellikle merkez bölgesi ve omuz stabilizasyonunu güçlendirin.

- Oyun stiline ve fiziksel özelliklerinize uygun ekipman seçin.
- Vücudunuzun sinyallerine dikkat edin; ağrı ve rahatsızlığı göz ardı etmeyin.
- Antrenman yükünü kademeli artırın ve toparlanmaya yeterli zaman ayırın.

Araştırmacılar için Öneriler:

- Padele özgü biyomekanik araştırmaların sayısı artırılmalı, özellikle vibora gibi kompleks vuruşların detaylı kinetik analizleri yapılmalıdır.
- Gerçek maç koşullarında IMU ve sEMG entegrasyonu ile uzun süreli veri toplama çalışmaları yürütülmelidir.
- Yaralanma risk faktörlerini prospektif olarak inceleyen kohort çalışmalara ihtiyaç vardır.
- Farklı seviyelerdeki (amatör, yarı profesyonel, profesyonel) oyuncuların biyomekanik profillerini karşılaştıran normativ veri setleri oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak, padel sporunun bilimsel temellerinin anlaşılması ve bu bilgilerin antrenman uygulamalarına entegre edilmesi, sporcuların performansını artıracak, yaralanma risklerini azaltacak ve sporun sürdürülebilir gelişimini destekleyecektir. Biyomekanik ve kinematik analizler, bu süreçte vazgeçilmez araçlar olarak rol oynamaya devam edecektir.

Kaynakça

- Babolat. (2024). *Padel hitting techniques*. <https://www.babolat.com/us/news-articles-blog-padel-hitting-techniques/padel-hitting-techniques.html>
- Berg, J., Andersson, E., Rosvall, M., & Bring, D. (2023). Muscle activity in the forearm during padel strokes. *Dalarna University*.
- Castillo-Lozano, R., & Casuso-Holgado, M. J. (2016). Examination of the risk factors associated with injured recreational padel players in Spain. *ResearchGate*.
- Courel-Ibáñez, J., Llorca-Miralles, J., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2020). 3D kinematic analysis of the three main strokes in paddle tennis: Motor patterns. *Conference of Performance Analysis*.
- Courel-Ibáñez, J., Sánchez-Alcaraz, B. J., & Muñoz, D. (2023). Performance analysis in padel: A systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 23(6).
- Günay, E., & Kaya, M. (2018). Spor biyomekanikinde kinematik analiz. *Ankara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor Bilimleri Dergisi*.
- Instituto de Biomecánica de Valencia [IBV]. (2025). Biomechanics, key to improving padel performance and safety.
- Martin, C., Kulpa, R., Delamarche, P., & Bideau, B. (2014). Biomechanics of the tennis serve: A systematic scoping review of kinematics and kinetics. *Journal of Sports Sciences*, 32(10).
- Muñoz, D., Galán-Rioja, M., González-Ravé, J. M., Sánchez-Alcaraz, B. J., & Cordon, M. F. (2023). Load quantification in padel: A systematic review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5.
- Nexpadel. (2024). The role of padel racket design in enhancing player performance. <https://nexpadel.com/the-role-of-padel-racket-design-in-enhancing-player-performance/>
- North Padel Club. (2024). How to deal with biomechanics during strokes in the padel game. <https://northpadelclub.ca/how-to-deal-with-biomechanics-during-strokes-in-the-padel-game/>
- Padel Net Setters. (2025). The role of technology in American padel: How innovation is shaping the future of the sport. <https://www.padelnetsetters.com/blogs/the-role-of-technology-in-american-padel-how-innovation-is-shaping-the-future-of-the-sport>
- Padel39. (2024). The impact of technology on padel equipment. <https://www.padel39.com/blog/the-impact-of-technology-on-padel-equipment>
- Pradas, F., García-Giménez, A., Toro-Román, V., Ochiana, N., Castellar, C., & Conejero-Suárez, M. (2021). Ball type and court surface: A study to determine the ball rebound kinematics on the padel wall.

- Prete, G. D., Forte, D., Musitelli, M., Favero, F., Petrigna, L., Spedicato, M., ... & Scurati, R. (2025). Predictive role of surface electromyography and shoulder kinematic analysis on injury risk in padel players: A pro-of-of-concept study. *SAGE Journals*.
- Puigarnau, S., Camerino, O., Castañer, M., Prat, Q., & Anguera, M. T. (2020). Differences in kinematic and match-play demands between elite male and female padel. *PLOS ONE*, 15(6).
- Sánchez-Alcaraz, B. J., Jiménez, V., Muñoz, D., & Ramón-Llin, J. (2020). Performance analysis in padel: A systematic review. *MDPI*.
- Sánchez-Alcaraz, B. J., Sánchez-Pay, A., Romero-Rodríguez, J. M., & Jiménez-Reyes, P. (2025). Physical performance and game actions of young competitive padel players: Sex-related differences. *Sports*, 13(4), 104.
- Sánchez-Muñoz, C., Muros, J. J., Zabala, M., Courel-Ibáñez, J., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2023). Risk of injury and kinematic assessment of the shoulder biomechanics during strokes in padel players: A cross-sectional study. *Gait & Posture*, 107, 172-177.
- Tennis Warehouse University. (2024). Physics of padel racket power. https://twu.tennis-warehouse.com/learning_center/padel/racketpower.php
- Valderrama, D. (2024). Diego Valderrama of 10by20 Padel on how athletes optimize their mind & body for peak performance. *Authority Magazine*
- Villena-Serrano, M., Castro-López, R., Courel-Ibáñez, J., Muñoz, D., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2025). Technical-tactical performance of high-level male padel players in pressure training and official competition. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*.