

EGZERSİZ VE SPOR BİLİMLERİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Editör
İNCİ KESİLMİŞ



BİDGE Yayınları

**EGZERSİZ VE SPOR BİLİMLERİNDE YENİLİKÇİ
YAKLAŞIMLAR**

Editör: İNCİ KESİLMİŞ

ISBN: 978-625-372-714-7

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltpe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Bilimsel bilginin gelişimi, yalnızca yeni keşiflerle değil, var olan bilgilerin derinlemesine analiz edilmesi ve farklı alanlarla ilişkilendirilmesiyle de mümkündür. Elinizdeki bu kitap, spor bilimleri hareket ve antrenman bilimi alanında son yıllarda giderek önem kazanan kan akışı kısıtlama antrenmanları ile propriyoseptif antrenman konularını ele alarak, hem teorik hem de uygulamalı düzeyde bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir.

Birinci bölümde, kan akışı kısıtlama antrenmanlarının tarihsel gelişimi, fizyolojik temelleri ve uygulama biçimleri açıklanmakta; güncel araştırmalar incelenerek literatüre katkı sunulmaktadır. Bu bölüm, alana yeni adım atan araştırmacılar ve uygulayıcılar için bir yol haritası niteliğindedir.

İkinci bölümde, Kan akışı kısıtlama antrenmanlarının futbolda kullanımı detaylı şekilde ele alınmakta, performans artırıcı etkileri bilimsel veriler ışığında tartışılmaktadır. Futbol gibi yüksek tempo ve yoğun temas gerektiren sporlarda bu antrenman yönteminin nasıl adapte edilebileceğine dair öneriler sunulmaktadır.

Üçüncü ve son bölümde ise propriosepsiyon kavramı ve propriyoseptif antrenmanlar mercek altına alınmaktadır. Denge, koordinasyon ve reflekslerin gelişiminde kritik rol oynayan bu tür antrenmanların, sporcu performansı üzerindeki etkileri güncel araştırmalarla desteklenmektedir.

Bu kitabın, akademisyenler, antrenörler, sporcu sağlığı uzmanları ve öğrenciler başta olmak üzere spor bilimiyle ilgilenen tüm kesimlere faydalı olmasını temenni ediyorum. Katkı sağlayan tüm yazar ve araştırmacılara teşekkür eder, kitabın bilim dünyasına değerli bir kaynak olarak kazandırılmasını dilerim.

Doç. Dr. İNCİ KESİLMİŞ
MERSİN ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

KAN AKIŞI KISITLAMA ANTRENMANLARI: TEMEL KAVRAMLAR VE TÜRKİYE’DE YAPILAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ	1
--	---

AYŞE HAZAL BOYANMIŞ

PROPRİYOSEPSİYON VE PROPRİYOSEPTİF ANTRENMAN	24
---	----

AHMET CAN SARAN, İNCİ KESİLMİŞ

Propriyoseptif Nöromüsküler Fasilitasyon (pnf): Temel Prensip ve Uygulama Yöntemleri	60
---	----

AYŞE HAZAL BOYANMIŞ

BÖLÜM 1

KAN AKIŞI KISITLAMA ANTRENMANLARI: TEMEL KAVRAMLAR VE TÜRKİYE’DE YAPILAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ

AYŞE HAZAL BOYANMIŞ¹

Giriş

Kan Akışı Kısıtlama (KAATSU/ Blood Flow Restriction) antrenmanı, Yoshiaki Sato tarafından 1960'lı yıllarda Japonya'da geliştirilen yenilikçi bir egzersiz metodolojisi (Abe ve ark., 2005; Sato, 2005). Bu yöntem, egzersiz yapan kaslara proksimalden uygulanan kontrollü vasküler sıkıştırma ile kan akışını modere etmeyi temel alır (Hughes ve ark., 2022). KAATSU/BFR'nin en dikkat çekici özelliği, geleneksel yüksek yoğunluklu direnç antrenmanlarına kıyasla çok daha düşük yüklerle (1TM'nin %20-30'u) kas kuvveti ve hipertrofisinde benzer veya hatta üstün kazanımlar sağlayabilmesidir (Hughes ve ark., 2022; Loenneke ve ark., 2010; Scott ve ark., 2016). Bu durum, yöntemi özellikle yüksek mekanik stresi tolere edemeyen bireyler, rehabilitasyon hastaları ve yaşlı popülasyonlar için değerli bir alternatif haline getirmektedir

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü. Orcid: 0000-0003-2021-5351

(Hughes ve ark., 2022; Loenneke ve ark., 2010; Nakajima ve ark., 2010). Son yıllarda küresel çapta artan popüleritesi ve geniş uygulama alanları, bu antrenman metodunun bilimsel temellerinin ve pratik faydalarının daha derinlemesine anlaşılmasını zorunlu kılmıştır (Nakajima ve ark., 2006; Nakajima ve ark., 2010; Yasuda ve ark., 2016). Bu kitap bölümünde, kan akışı kısıtlama antrenman metodu ve Türkiye'de yapılmış akademik tez çalışmaları incelenerek, bu alandaki yerel bilimsel katkılar ve bulgular bütüncül bir bakış açısıyla sunulacaktır.

Kan Akışı Kısıtlama Antrenmanlarının Kökeni ve Gelişimi

Kan akışı kısıtlama (KAK) antrenmanı, Japonca “eklenmiş basınç” teriminden türetilmiş olan ve 1960’lı yıllarda fizyoterapist Yoshiaki Sato tarafından geliştirilen patentli bir egzersiz metodolojisidir (Abe ve ark., 2005; Sato, 2005). Bu yöntem, çalışan kas gruplarına proksimal (vücuda en yakın) bölgelerden uygulanan vasküler kompresyon yoluyla arteriyel kan akışının sınırlandırılması ve venöz dönüşün kısmen engellenmesi esasına dayanır (Nakajima ve ark., 2006). KAATSU olarak adlandırılan bu yaklaşım hem direnç antrenmanlarında hem de rehabilitasyon süreçlerinde düşük yükte çalışmaya olanak tanınması nedeniyle dikkat çekmektedir. KAATSU’nun temelleri, Dr. Sato’nun 1966 yılında henüz 18 yaşındayken geleneksel Japon oturuş pozisyonu olan seiza sırasında bacaklarında fark ettiği uyuşma ve ardından gelen "pump" hissine dayanmaktadır (Sato, 2005). Bu deneyim, kan akışı moderasyonuna dayalı bir antrenman fikrinin ilk kıvılcımını oluşturmuş ve yöntemin teorik temelini atmıştır. 1966–1973 yılları arasında Sato, bu fikri deneysel düzeyde geliştirerek çeşitli malzemeler (örneğin bisiklet iç lastikleri, ipler, bantlar) kullanmak suretiyle farklı basınç uygulama protokolleri üzerinde çalışmıştır (Abe ve ark., 2005; Sato, 2005). Bu süreçte, etkinlik ve güvenlik açısından ideal bant genişlikleri, uzunlukları ve basınç düzeyleri belirlenmiştir. KAATSU’nun etkili olduğuna dair ilk çarpıcı bulgu, Sato’nun 1973 yılında kayak kazası

sonucu ayak bileğini kırması ve diz bağlarını yırtmasıyla elde edilmiştir. Sato, KAATSU protokollerini kendi rehabilitasyon sürecinde uygulayarak, doktorların öngördüğü altı aylık iyileşme sürecini altı haftada tamamlamış ve kas atrofisini büyük ölçüde önlemiştir (Iida ve ark., 2011). 1973–1982 yılları arasında Dr. Sato, Sato Sports Plaza adlı merkezde çeşitli yaş ve sağlık profiline sahip binlerce kişiye KAATSU uygulayarak yöntemi pratiğe dökmüş, uygulama protokollerini sistematik hâle getirmiştir (Abe ve ark., 2006). 1994 yılında Japonya, ABD ve Avrupa'da KAATSU'ya ait patentler alınmış; 1997 yılında ise Japonya'da KAATSU Eğitim Sertifikasyon Programı başlatılmıştır (Sato, 2005). Bu program, antrenörlerin, fizyoterapistlerin ve klinisyenlerin eğitilmesini ve protokollerin kontrollü biçimde yaygınlaştırılmasını mümkün kılmıştır. KAATSU yöntemi, 1988 Seul Olimpiyatları'ndan itibaren 2020 Tokyo ve 2022 Pekin Kış Olimpiyatları'na kadar birçok uluslararası organizasyonda sporcular tarafından kullanılmış ve 49 ülkeye yayılmıştır (KAATSU, 2025a). Bu durum, Kaatsu'nun bilimsel ve sportif alanlarda geniş kabul gördüğünü göstermektedir.

"Kan Akışı Kısıtlama" (Blood Flow Restriction – BFR) terimi, çoğu zaman KAATSU ile eş anlamlı olarak kullanılmakla birlikte, KAATSU'dan farklı olarak genel bir uygulama yöntemini ifade etmektedir. BFR, egzersiz sırasında arteriyel kan akışının kısmen azaltılması ve venöz dönüşün sınırlandırılması için turnike benzeri ekipmanların kullanımını içerir (Hughes ve ark., 2022). KAATSU ise, bu tekniğin patentli bir versiyonu olup, belirli ekipmanlara, kontrollü basınç manşonlarına ve eğitilmiş uygulayıcılara dayanan standartize edilmiş bir sistemdir. KAATSU'nun geliştirilmiş ekipmanları (otomatik basınç kontrollü bantlar) ve kurumsallaşmış sertifikasyon programları, bu yöntemi yalnızca teknik bir uygulamadan öteye taşıyarak klinik ve sportif alanlarda meşruiyet kazanmasına katkı sağlamıştır. Dolayısıyla, BFR/KAK genel bir yöntemken, KAATSU bu yöntemin

markalaşmış, sistemleştirilmiş ve patentli bir formudur. Bu farklılık, aynı zamanda piyasadaki terminolojik ve metodolojik ayrışmaları da yansıtmaktadır.

Resim 1. Kaatsu Airbands



Kaynak: <https://kaatsu.com/products/kaatsu-c4>

Kan akışı Kısıtlama (KAK) Antrenmanının Fizyolojik Temelleri

Kan akışı kısıtlama (KAK) antrenmanlarının fizyolojik etkileri, çeşitli hücrel, hormonal ve moleküler süreçlerin birlikte çalıştığı bir adaptasyon sistemiyle açıklanmaktadır. Bu yöntem, düşük mekanik yük altında metabolik stres ve hipoksi oluşturarak klasik yüksek yoğunluklu direnç egzersizlerine benzer fizyolojik yanıtlar ortaya çıkarmaktadır (Loenneke ve ark., 2012; Hughes ve ark., 2017).

Metabolik Stres ve Hipoksik Yanıtlar: KAK egzersizinde ekstremitenin proksimaline uygulanan pnömatik manşonlar, arteriyel kan akışını kısmen sınırlandırırken, venöz dönüşü büyük ölçüde engeller. Bu durum çalışan kasta oksijen azalması (hipoksi) ve metabolit birikimine (ör. laktat, H^+ iyonları) neden olur (Patterson ve Brandner, 2021). Oluşan metabolik stres, kas protein sentezini ve

hipertrofik yanıtları destekleyen önemli bir fizyolojik uyarandır (Loenneke ve ark., 2012; Patterson ve ark., 2019).

Hormonal Yanıtlar: GH ve IGF-1, KAK uygulaması sırasında artan laktat birikimi, büyüme hormonu (GH) salınımını uyarmakta; artan GH düzeyi ise IGF-1 salınımını tetiklemektedir. Bu iki hormon, kas protein sentezi ve uydu hücre aktivasyonu üzerinde önemli rol oynamaktadır (Takano ve ark., 2005; Bemben ve ark., 2022; Alhamad ve ark., 2023). Bazı çalışmalar, GH artışının başlangıç seviyesine göre 290 kata kadar çıktığını, hatta geleneksel yüksek yoğunluklu direnç egzersizinde görülen seviyeleri aştığını bildirmektedir (Patterson ve Brandner, 2021). IGF-1, kas hipertrofisi ve kuvvet kazanımları üzerinde doğrudan etkilidir ve kas kütlesinin önemli bir düzenleyicisi olarak kabul edilmektedir (Bemben ve ark., 2022). GH ve IGF-1, egzersiz sonrası kollajen sentezinin artmasından ve kas iyileşmesine yardımcı olmaktan sorumludur (Hughes ve ark., 2019).

Hücrel ve Moleküler Yollar: Kas adaptasyonları, uydu hücre proliferasyonu, mTOR yolağı aktivasyonu ve miyostatin düzeylerinde azama gibi bir dizi hücrel yanıtla ilişkilidir. Uydu hücre aktivitesi, kas yenilenmesi ve hipertrofisinin temelini oluştururken, mTOR sinyalizasyonu protein translasyonunu başlatır ve kas büyümesini destekler (Hughes ve ark., 2022; Bemben ve ark., 2022). Miyostatinin baskılanması, kas büyümesini engelleyen etkilerin ortadan kalkmasını sağlamaktadır (Loenneke ve ark., 2011). Ayrıca, hipoksik ortam, Hipoksi İndüklenebilir Faktör-1 alfa (HIF-1 α) aktivasyonunu tetikleyerek vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) ve endotelial nitrik oksit sentaz (eNOS) gibi anjiyogenik faktörlerin ekspresyonunu artırmaktadır. Bu durum, anjiyogenez ve kas içi kanlanmanın iyileşmesine katkıda bulunmaktadır (Bemben ve ark., 2022; García-Sillero ve ark., 2023; Wang ve ark., 2022).

Kas Liflerinin Aktivasyonu: KAK, düşük yoğunlukta yapılan egzersizlerde dahi Tip II (hızlı kasılan) kas liflerinin erken aktivasyonuna yol açmakta ve bu sayede güç kazanımı potansiyelini artırmaktadır (Hughes ve ark., 2019; Wang ve ark., 2022). Ayrıca, kan birikimi ve artan osmotik basınç, kas hücrelerinde sıvı retansiyonuna ve hücrel şişmeye neden olmaktadır. Bu şişme, hücre iskeleti üzerindeki mekanik yükü artırarak anabolik sinyal yollarını aktive eder ve bu etki de hipertrofiyi teşvik edebileceği bildirilmiştir (Patterson ve ark., 2019; Hughes ve ark., 2017).

Klinik ve Pratik Uygulama Açısından Önemi: BFR, yüksek mekanik yüke ihtiyaç duymadan benzer fizyolojik adaptasyonları uyabilmesi nedeniyle yaşlı bireyler, postoperatif hastalar ve yüksek yoğunluklu egzersiz toleransı sınırlı olan bireylerde güvenli ve etkili bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Patterson ve Brandner, 2021; Hughes ve ark., 2019). Yüksek yoğunluklu egzersizlerin anabolik etkilerini, eklem ve bağ doku yükünü artırmaksızın elde etme imkânı sağlamaktadır.

Kan Akışı Kısıtlama Antrenmanlarının Etki Alanları

Kan akışı kısıtlama antrenmanı, yalnızca kas-iskelet sistemi üzerinde lokal etkiler yaratmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemik fizyolojik adaptasyonları da teşvik eden çok yönlü bir antrenman yöntemidir. Düşük yoğunluklu direnç egzersizleriyle birlikte uygulanan KAK antrenmanı, yüksek yoğunluklu geleneksel antrenmanlara benzer düzeyde kas kuvveti ve hipertrofi artışı sağlayabilmektedir (Hughes ve ark., 2017; Kamiş ve ark., 2024; Kilgas, 2018; Loenneke ve ark., 2010; Nakajima ve ark., 2008; Patterson ve Brandner, 2018; Wang ve ark., 2023). Kısa süreli uygulamalarda bile (%20 1TM gibi düşük yüklerde 3-6 hafta boyunca), kas kuvvetinde %10-20, kas kesit alanında ise %4.6-10.4 arasında artışlar gözlemlenmiştir (Nakajima ve ark., 2010). Bu etkiler, artan metabolik stres, hipoksik ortam, hormonal yanıtlar ve

hızlı kasılan kas liflerinin aktivasyonu gibi faktörlerle açıklanmaktadır (Wang ve ark., 2023). Ağır mekanik yüke ihtiyaç duyulmaması, KAK'ı özellikle yaşlılar, eklem problemi olanlar veya ameliyat sonrası bireyler için cazip hale getirmektedir (Hughes ve ark., 2017; Patterson ve Brandner, 2018).

KAK antrenmanları aynı zamanda kardiyorespiratuar kapasiteyi de geliştirebilmektedir. Aerobik kapasitede (%4-9), kas kuvvetinde (%6-31) ve kas hipertrofisinde (%2-11) kayda değer gelişmeler bildirilmiştir (Patterson ve Brandner, 2018). Düşük yoğunluklu KAK aerobik egzersiz protokollerinin, özellikle iskemik kalp hastalığı olan bireylerde maksVO₂ ve VO₂AT (anaerobik eşikteki oksijen tüketimi) gibi parametreleri %10'un üzerinde artırdığı raporlanmıştır (Nakajima ve ark., 2010). Benzer şekilde KAK antrenmanlarının yüksek yoğunluklu interval antrenmanlara göre anaerobik gücü artırmada daha etkili olduğu bulgusuna ulaşılmıştır (Behi ve ark., 2017). Ayrıca kas dayanıklılığı, sistolik kan basıncı regülasyonu ve hemodinamik yanıtlar üzerinde de olumlu etkileri bulunduğu bildirilmektedir (Wang ve ark., 2023; Hughes ve ark., 2017).

Güncel çalışmalar, KAK'ın kemik dokusu üzerine de etkili olabileceğini göstermektedir. Düşük yüklü KAK antrenmanlarının, kemiğe özgü alkalın fosfataz (Bone ALP) gibi kemik oluşum belirteçlerini artırarak osteogenez sürecini destekleyebileceği bildirilmiştir (Bemben ve ark., 2022; Tian ve ark., 2025; Patterson ve Brandner, 2018). Hipoksi-indüklenebilir faktör (HIF) aktivasyonunun tetiklediği vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) ekspresyonu, kemik dokusunda anjiyogenez süreçlerini destekleyerek kemik sağlığına katkı sağlayabileceği bulgusuna ulaşılmıştır (Bemben ve ark., 2022).

KAK'ın metabolik sağlık üzerindeki etkileri de dikkate değerdir. Tip 2 diyabetli bireylerde insülin duyarlılığını artırabildiği ve glisemik kontrolü iyileştirdiği gösterilmiştir (Abueid, 2024;

Trybulski ve ark., 2025). Aynı zamanda vücut yağ oranında azalma, yağsız kütlede artış ve bel-kalça oranında iyileşme gibi vücut kompozisyonu üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır (Loenneke ve ark., 2010; Wang ve ark., 2024). KAK ile yapılan yürüyüş egzersizleri, diyabetli bireylerde insülin duyarlılığını ve aerobik kapasiteyi artırırken, plazma serbest yağ asitlerinin düşürülmesinde de etkili bulunmuştur (Tian ve ark., 2025). Vasküler sistem üzerindeki etkiler açısından, KAK antrenmanlarının arteriyel esneklik ve endotelial fonksiyon üzerinde olumlu sonuçlar doğurabileceği ifade edilmektedir (Maga ve ark., 2023). Ayrıca fibrinolitik aktiviteyi artırarak trombotik riskleri azaltma potansiyeline de sahiptir (Loenneke ve ark., 2010). Bununla birlikte, literatürde endotelial fonksiyon üzerine çelişkili bulgular da mevcuttur. Bazı çalışmalar, sağlıklı bireylerde KAK'ın endotelial fonksiyonları geliştirmediğini ya da geleneksel egzersizlere kıyasla daha az etkili olduğunu öne sürmektedir (Twiddy, Reynolds ve Pittman, 2019). Ancak, bazı meta-analizlerde Akış Aracılı Dilatasyonda (FMD) anlamlı artışlar gözlemlenmiş olup, bu alanda çalışmalar arası yüksek heterojenite dikkate alınarak daha fazla standardize araştırma yapılması önerilmektedir (Maga ve ark., 2023).

KAK antrenmanları ağrı yönetimi ve rehabilitasyon süreçlerinde de kullanılabilmektedir. Egzersize bağlı hipoaljezi oluşturarak ağrıyı azaltabildiği ve bu etkinin 24 saate kadar sürebildiği belirtilmiştir (Hughes ve Patterson, 2020). Pasif KAK uygulamaları, özellikle immobilize bireylerde ya da cerrahi sonrası erken dönemde atrofiyi önlemede etkili olabilmektedir. Daha düşük kas hasarı yaratması sayesinde, antrenman sıklığı artırılarak daha hızlı fonksiyonel geri dönüş sağlanabilmektedir (Hughes ve ark., 2022).

Sonuç olarak, KAK antrenmanları sadece kas hipertrofisi ve kuvvet artışıyla sınırlı kalmayıp, kardiyovasküler dayanıklılık,

kemik mineral yoğunluğu, metabolik sağlık, vasküler fonksiyonlar ve ağrı yönetimi gibi birçok sistem üzerinde olumlu etkiler sunmaktadır. Özellikle yüksek mekanik stresin önerilmediği durumlarda (yaşlı bireyler, rehabilitasyon sürecindeki hastalar, eklem problemleri olanlar vb.) güvenli ve etkili bir antrenman alternatifini sunarak, fizyolojik adaptasyonları maksimize etmeye yönelik geniş kapsamlı bir yaklaşım sağlamaktadır (Hughes ve ark., 2019; Loenneke ve ark., 2025; Patterson ve Brandner, 2018).

KAK Antrenmanları Potansiyel Riskleri ve Güvenlik Hususları

KAK antrenmanı düşük yoğunluklu egzersizle anlamlı adaptasyonlar sağlasa da diğer egzersiz yöntemlerinde olduğu gibi potansiyel riskler barındırmaktadır. Bu nedenle, güvenlik protokollerine uygunluk ve bireysel faktörlerin dikkate alınması kritik önem taşır.

Literatürde, KAK egzersizlerinin komplikasyon riskinin geleneksel yöntemlere göre daha yüksek olduğuna dair net bir bulgu bulunmamaktadır (Patterson ve ark., 2019). Ancak, bayılma, uyuşma, ağrı, rahatsızlık, gecikmiş kas ağrısı (DOMS) ve kas hasarı gibi yan etkiler bildirilmektedir (Scott ve ark., 2016). Japonya'da gerçekleştirilen bir ulusal anket, baş dönmesi (%37), morarma (%31), uyuşukluk (%25), uyuşma (%15), mide bulantısı (%15) ve kaşıntı (%14) gibi genellikle hafif seyreden semptomlara dikkat çekmektedir (Yasuda ve ark., 2017). Nadir de olsa, venöz tromboz (%0.055), pulmoner emboli (%0.008) ve rabdomiyoliz (%0.008) gibi ciddi komplikasyonlar rapor edilmiştir (Loenneke ve ark., 2010; Nakajima ve ark., 2006; Nakajima ve ark., 2010). Rabdomiyoliz vakalarının genellikle yüksek kreatin fosfokinaz (CPK) düzeyleri ile ilişkili olduğu ve uzun vadeli olumsuz sonuçlara yol amadığı belirtilmektedir (Loenneke ve ark., 2010). Yasuda ve arkadaşlarının (2017) Japonya'da gerçekleştirdiği ankette ise ciddi komplikasyonlara rastlanmamıştır.

KAK egzersizlerinin güvenli uygulanması, optimal basınç düzeyinin belirlenmesi ve bireysel risk faktörlerinin değerlendirilmesiyle mümkündür. Optimal basınç, kişisel faktörlere (yaş, sağlık durumu, uzuv çevresi, cilt kalınlığı, vücut kompozisyonu vb.) göre değişkenlik gösterdiğinden, her seans öncesinde titizlikle ayarlanmalıdır (KAATSub, 2025). Aşırı yüksek basınç egzersiz etkisini azaltabilirken, düşük basınç istenen sistemik yanıtı düşürebilir. Genel olarak, arteriyel kan akışının %40–80 oranında kısıtlanması güvenli kabul edilmektedir (Patterson ve Brandner, 2018).

Kan akışı kısıtlama egzersizleri, sağlıklı bireylerde deneyimli uygulayıcı rehberliğinde güvenli olsa da bazı klinik durumlar kontrendikasyon oluşturmaktadır. Özellikle, tedavi edilmemiş derin ven trombozu, kontrolsüz hipertansiyon, orak hücre anemisi, yakın zamanda geçirilmiş büyük cerrahiler, açık yaralar ve dehidrasyon durumlarında uygulamadan kaçınılmalıdır (KAATSUa, 2025).

Son olarak, uygulamada patentli ekipman kullanımı ve sertifikalı eğitmen rehberliği önemlidir (Hughes ve ark., 2017; Scott ve ark., 2018). Ev yapımı veya yetkisiz ekipman kullanımı, ciddi yaralanma riskini artırmaktadır (KAATSU, 2025b). Nakajima ve arkadaşlarının (2006) çalışmasında, uygulayıcıların %68.2'si kontrendikasyonlara yönelik tarama yaptığını belirtirken, %31.8'i güvenlik kaygısı bildirmiştir. Bu durum, risk yönetimi ve uzman denetiminin önemini vurgulamaktadır.

Türkiye’de Yapılan Lisansüstü Tezlerin İncelenmesi

Bu bölümde, 2020 yılı ve sonrasında Türkiye’de yapılmış, kan akışı kısıtlama (KAK) antrenmanları üzerine odaklanan, spor bilimleri alanındaki lisansüstü ve tıpta uzmanlık tezleri sistematik olarak derlenmiştir. Derlemeye yalnızca spor bilimleri temelli araştırmalar dahil edilmiş; fizyoterapi, ortopedi ve travmatoloji gibi sağlık bilimleri odaklı tezler kapsam dışı bırakılmıştır. Bu derleme

ile, Türkiye'de spor bilimleri alanında KAK uygulamalarının etkinlik düzeyi, uygulama yöntemleri, performans çıktıları üzerindeki etkileri ve araştırma metodolojilerinin ortak eğilimleri değerlendirilmiştir.

Tablo 1 Kan Akışı Kısıtlama Antrenmanlarının Etkilerine İlişkin Tez Bulguları

Yazar (Yıl)	Tez Başlığı	Örneklem	Müdahale / Uygulama	Ölçülen Değişkenler	Ana Bulgular
Şahin, Z. (2021)	KAK antrenmanlarının taekwondo sporcularının bacak kuvveti gelişimine etkisi	20 erkek taekwondo cu (9 deney, 11 kontrol)	Deney grubu 6 hafta KAK (%50 1MT) antrenmanı; kontrol grubu klasik taekwondo antrenmanı	Bacak çevresi, squat, sıçrama, esneklik, izokinetik kuvvet	KAK antrenmanı uygulanan grupta patlayıcı kuvvet ve çabuk kuvvet performansında gelişme görülmüştür.
Şahin, D. (2022)	Vücut geliştirmecilerde KAK antrenmanlarının hipertrofi göstergeleri üzerine akut etkisi	13 erkek vücut geliştirme sporcusu	KAK (%30 1MT) ve hipertrofi (%70-75 1MT) antrenmanı karşılaştırıldı; crossover tasarım	Antropometrik ölçümler, Hipertrofi ile ilişkili biyomarkerler	KAK antrenmanı, düşük yükte uygulandığında hipertrofiye etki edebilecek akut biyolojik değişiklikler oluşturmuştur
Kamış, O. (2022)	6 haftalık KAK direnç egzersizinin hamstring kas kalınlığı ve kuvvetine etkisi	29 sağlıklı erkek (15 KAK, 14 yüksek şiddetli)	KAK (%30 1TM, %60 arteriyel oklüzyon basınç(AOB)) vs HL-RE (%70 1TM) 6 hafta	Kas kalınlığı, sertlik, 1TM, izokinetik kuvvet, bacak çevresi	Her iki grup arasında anlamlı fark yok; fakat hipertrofi ve kas kuvveti için KAK kullanımı önerilmektedir.

Yazar (Yıl)	Tez Başlığı	Örneklem	Müdahale / Uygulama	Ölçülen Değişkenler	Ana Bulgular
Köse, D. E. (2022)	Farklı kana kışı kısıtlamaları nın çok eklemlili harekette kuvvet performansı üzerine akut etkisi	17 erkek	%0, %80 ve %150 AOB ile back squat "all-out" test	Tekrar sayısı, ort. güç, ort. hız, algılanan zorluk derecesi	%80 ve %150 KAK, KAK'sız egzersize göre daha iyi performans; %80 AOB daha uygulanabilir bulunmuştur.
Pişkin, N. E. (2022)	KAK antrenmanını n izokinetik kas kuvveti, kas kalınlığı ve atletik performansa etkisi	24 erkek (12 KAK, 12 klasik hipertrofi)	8 hafta boyunca düşük şiddetli KAK (%20- 40 1TM) vs klasik (%60- 80 1TM) antrenman	İzokinetik kuvvet, kas kalınlığı, sürat, çeviklik, sıçrama	KAK ve klasik yöntem benzer düzeyde gelişim sağlamıştır.
Sınar Ulutaş, D. S. (2023)	Kuvvet antrenmanlar ında KAK uygulamasın ın akut fizyolojik ve hormonal değişimleri	14 erkek profesyonel sporcu	KAK'lı ve KAK'sız çabuk/maks kuvvet egzersizi (leg extension)(6x 20, 3x5 tekrar)	GH, IGF-1, CK, LDH, kalp atım hızı, kan basıncı	KAK uygulaması, GH ve IGF-1 gibi hormonlarda anlamli artış sağlamış; bazı fizyolojik etkilerde fark gözlenmiştir.
Kocaman, H. (2024)	Kan akışı kısıtlamalı direnc egzersizinin kol kaslarının kuvvetine ve pençe kuvvetine etkisi	22 sağlıklı birey (düzenli direnc egzersizi yapan)	KAK grubu: %30 1TM ile 30-15-15-15 tekrar, %30- 50 AOB; Yüksek şiddetli grup: %70 1TM ile 3 set 10-12 tekrar	İzokinetik kuvvet, 1TM, pençe kuvveti, deri kıvrımı, üst kol çevresi ölçümleri	Gruplarda benzer gelişim izlenmiştir.
Yavuz, G. (2024)	KAK yöntemi ile kombine	24 sedanter erkek (18- 25 yaş); 3	BKAKG: %60-80 AOB ile %40	VO ₂ max, kas kalınlığı,	BKAKG'de VO ₂ max ve kas

Yazar (Yıl)	Tez Başlığı	Örneklem	Müdahale / Uygulama	Ölçülen Değişkenler	Ana Bulgular
	edilen düşük yoğunluklu bisiklet egzersizinin VO ₂ max, kas kuvveti ve kas kalınlığına etkisi	grup (BKAKG, BG, KG)	VO ₂ max'ta 15 dk bisiklet; BG ve KG'ye düşük yoğunluklu bisiklet uygulaması	diz izokinetik kuvvet parametreleri	kalınlığında gelişim; bazı kas kuvvet parametrelerinde BKAK lehine fark görülmüştür.
Cımbıllaz, M. E. (2024)	Genç futbolcularda alt ekstremiteye uygulanan kan akışı kısıtlama egzersizinin patlayıcı güç performansına akut etkisi	24 erkek futbolcu (U19, yaş: 18,29±0,69)	%40 yükle pKAK squat egzersizi sonrası sprint ve sıçrama testleri; karşılaştırmalı 6 grup düzenlemesi	Sprint süresi, aktif sıçrama yüksekliği	KAK sonrası sprint testinde anlamlı gelişim görülmüş, sıçrama testinde fark görülmemiştir
Günaydın, H. (2024)	Koşucularda 8 hafta uygulanan KAK ile kombine izokinetik eğitim programının maksimal kas kuvveti, kassal dayanıklılık ve anaerobik kapasiteye etkisi	42 sporcu (21 deney, 21 kontrol)	KAK grubu: %80 oklüzyon basıncı ile 60°/s ve 180°/s'de izokinetik eğitim; haftada 2 gün, 8 hafta	İzokinetik kuvvet, anaerobik kapasite (Wingate), 5 km – 10 km koşu süreleri	KAK grubunda yorgunluk indeksi ve anaerobik güçte gelişim görülmüş, koşu süresi gelişimi ise her iki grupta benzerdir.
Uzgur, K. (2025)	Kan akışı kısıtlama antrenmanının fizyolojik parametreler ve anaerobik	22 sağlıklı erkek (rekreasyonel düzeyde aktif); 10	KAK: %30 1TM ile leg press, %60 AOB, 30-15-15-15 tekrar; HL-RT: %70	Kalp hızı değişkenliği, dikey sıçrama, relatif kuvvet/güç, bacak	Kalp hızı değişkenliği ve anaerobik güç açısından her iki yöntem

Yazar (Yıl)	Tez Başlığı	Örneklem	Müdahale / Uygulama	Ölçülen Değişkenler	Ana Bulgular
	güç üzerine etkisi	KAK, 12 HL-RT	1TM ile 3 set 12 tekrar	çevresi, leg press 1TM	benzer etki göstermiştir.
Kelleci, A. P. (2024)	Lunge egzersizinde KAK ve post aktivasyon potansiyelinin sıçrama performansına etkisi	17 aktif erkek sporcu (yaş: 22±3,4)	KAK ile ve KAK olmadan tükenene kadar lunge egzersizi sonrası sıçrama testleri (0., 3., 6., 9. dakikada ölçüm)	Dikey sıçrama performansı, tükenmeye kadar yapılan tekrar sayısı	KAK ve KAK olmayan uygulamalar arasında sıçrama performansı ve tekrar sayısı açısından fark görülmemiştir
Akgüner, M. E. (2023)	Elit bisikletçilerde kan akışı kısıtlanmasının anaerobik güç ve kapasiteye akut etkisi	22 elit erkek bisikletçi (yaş: 30,27±8,2)	KAK olmadan ve %80 AOB ile Wingate testi uygulanmıştır	Ortalama güç, Zirve RPM, Ortalama RPM, Zirve Güç	KAK80 koşulunda ortalama güç ve RPM değerleri daha düşük; anaerobik performansta azalma gözlenmiştir.
Gürses, D. Ö. (2023)	Akut KAK antrenmanlarının güç çıktısı ve ağırlık hızı üzerine etkisinin incelenmesi	17 sporcu (8 erkek, 9 kadın; yaş: 21–22)	KAK ve klasik hipertrofi antrenmanı karşılaştırması; bench press ve squat egzersizleri	Kas-sinir aktivitesi, ivme, güç çıktısı	Bench press ve squat'ın fleksiyon evresinde KAK lehine hız avantajı; güç çıktısında ise klasik hipertrofi antrenmanı lehine fark saptanmıştır.

Son yıllarda kan akışı kısıtlama (KAK) yöntemi, özellikle düşük yoğunluklu egzersizlerde yüksek adaptasyonel yanıtlar oluşturabilmesi nedeniyle hem spor performansı artırımı hem de

rehabilitasyon alanında dikkate değer bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu derleme kapsamında incelenen tez çalışmaları, KAK yönteminin kas kuvveti, aerobik kapasite, anaerobik güç, kas kalınlığı ve sıçrama performansı üzerindeki etkilerini farklı yaş grupları, cinsiyetler ve antrenman düzeyindeki bireylerde değerlendirmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, KAK uygulamalarının özellikle düşük-orta şiddette egzersiz yükleriyle birlikte kullanıldığında, kas kuvveti ve hacminde anlamlı artışlar sağladığı gözlemlenmiştir (Kocaman, 2024; Günaydın, 2024). Yüksek şiddetli klasik direnç antrenmanları ile benzer kazanımların sağlanabilmesi, KAK'ın özellikle yoğun yüklenmenin kontrendike olduğu bireylerde (örneğin yaşlılar, rehabilitasyon sürecindeki hastalar) alternatif bir strateji olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda (Kelleci, 2024; Gürses, 2023) KAK'ın akut etkilerinin, örneğin post-aktivasyon potansiyeli oluşturma ya da sıçrama performansını artırma gibi kısa süreli kazanımlarda klasik yöntemlere göre üstün olmadığı da görülmüştür. Bu bulgular, KAK'ın etkisinin egzersizin doğasına, hedeflenen performans bileşenine ve uygulama parametrelerine (örneğin AOB yüzdesi, süre, tekrar sayısı) bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Aerobik kapasite açısından, düşük yoğunluklu egzersizlerle kombine edilen KAK uygulamalarının VO_{2max} üzerinde pozitif etkiler yarattığı ve bu etkinin sadece kas kuvveti değil kardiyorespiratuvar adaptasyonları da içerecek şekilde geniş kapsamlı olduğunu göstermektedir (Yavuz, 2024). Ancak bu etkinin süre, egzersiz şiddeti ve KAK protokolünün uygulanma biçimine göre değişebileceği unutulmamalıdır. Anaerobik performansla yönelik bulgular ise daha değişkendir. Bazı çalışmalarda (Uzgun, 2025; Akgüner, 2023) KAK ile uygulanan protokollerin anaerobik güç üzerinde anlamlı fark yaratmadığı, hatta bazı parametrelerde düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek şiddetli anaerobik efor gerektiren aktivitelerde KAK'ın potansiyel olarak performansı sınırlandırabileceği ya da

metabolik stresin egzersiz etkinliğini düşürebileceği ihtimalini gündeme getirmektedir. KAK'ın uygulama biçimi (örneğin sabit basınç ya da bireysel AOB'ye göre ayarlama), hedef kas grubu, egzersiz süresi ve sıklığı gibi birçok parametrenin sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin; KAK uygulamalarında sıklıkla kullanılan %30–50 1TM yüklenmelerin klasik %70 1TM protokolleriyle benzer adaptasyonlar sağladığı görülmüş, ancak bu durum her performans değişkeni için genellenebilir bulunmamıştır (Kocaman, 2024; Gürses, 2023). Bu kapsamda, KAK yönteminin kuvvet ve hipertrofi gelişimi açısından etkili bir strateji olduğu; ancak sürat, patlayıcı güç, anaerobik kapasite gibi yüksek şiddetli nöromüsküler aktivite gerektiren performans bileşenlerinde geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında benzer veya daha düşük etkinlik gösterebileceği sonucuna varılabilir.

Sonuç olarak, kas kuvveti ve hipertrofi üzerinde KAK, özellikle düşük şiddetli egzersizle birlikte kullanıldığında etkili bir yöntemdir. Aerobik kapasite gelişimi açısından, düşük yoğunluklu egzersizlerle kombine edilen KAK uygulamaları umut vaat etmektedir. Anaerobik güç ve patlayıcı performans gibi değişkenlerde KAK'ın etkisi kararsızdır; bazı çalışmalarda olumlu, bazılarında ise nötr ya da olumsuz etkiler raporlanmıştır. KAK antrenmanlarının uygulanabilirliği, bireyin antrenman düzeyi, hedeflenen fizyolojik kazanım ve egzersizin türüne bağlı olarak değişmekte, bu nedenle uygulamada kişiselleştirilmiş protokoller tercih edilmelidir. Bu bulgular ışığında, KAK yöntemi sporcularda performans artırımı, sakatlık sonrası rehabilitasyon ve egzersize yeni başlayan bireylerde direnç antrenmanına geçiş süreci için önemli bir araç olarak değerlendirilebilir. Gelecek çalışmaların, farklı yaş gruplarında, cinsiyetlerde ve disiplinlerde uzun vadeli etkilerinin incelemesi, yöntemin sınırlarını ve potansiyelini daha açık şekilde ortaya koyacaktır.

Kaynakça

Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of applied physiology*, 100(5), 1460-1466. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01267.2005>

Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Inoue, K., Koizumi, K., & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International journal of KAATSU training research*, 1(1), 6-12. <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.6>

AbuEid, S. (2024). Blood-Flow Restriction Walking: Effects on Insulin Sensitivity and Aerobic Capacity in Type 2 Diabetes. *Annals of Applied Sport Science*, 0-0.

Akgüner, M. E. (2023). *Elit bisikletçilerde kan akışı kısıtlamasının anaerobik güç ve kapasiteye akut etkisi* [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Alhamad, A., Almaaitah, K., Dabayebeh, I., & Alghwiri, A. A. (2023). Comparative analysis of growth hormone and blood lactate response to low-load resistance exercises with practical blood flow restriction vs. high-load resistance exercises. *Journal of Physical Education and Sport*, 23(10), 2821-2828.

Behi, A., Amani, A., Fahey, T. D., & Afsharnezhad, T. (2017). Effect of high intensity interval training with blood restriction on anaerobic performance. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 6(2), 45. DOI:[10.22631/ijaep.v6i2](https://doi.org/10.22631/ijaep.v6i2)

Bemben, D. A., Sherk, V. D., Buchanan, S. R., Kim, S., Sherk, K., & Bemben, M. G. (2022). Acute and chronic bone marker and endocrine responses to resistance exercise with and without blood

flow restriction in young men. *Frontiers in physiology*, 13, 837631.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.837631>

Cımbıllaz, M. E. (2024). *Genç futbolcularda alt ekstremiteye uygulanan kan akımı kısıtlama egzersizinin patlayıcı güç performansına akut etkisi* [Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Ercan Köse, D. (2022). *Farklı kan akışı kısıtlamalarının çok eklemli harekette kuvvet performansı üzerine akut etkisi* [Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.

García-Sillero, M., Maroto-Izquierdo, S., Galván-García, M., Benitez-Porres, J., Vargas-Molina, S., & Jurado-Castro, J. M. (2023). Acute effects of blood flow restriction training on movement velocity and neuromuscular signal during the back squat exercise. *Journal of Clinical Medicine*, 12(14), 4824.

Günaydın, H. (2024). *Koşucularda 8 hafta uygulanan kan akımı kısıtlaması ile kombine izokinetik eğitim programının maksimal kas kuvveti, kassal dayanıklılık ve anaerobik kapasite üzerine etkisinin araştırılması* [Tıpta uzmanlık tezi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Spor Hekimliği Anabilim Dalı]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Gürses, D. Ö. (2023). *Akut kan akımı kısıtlama antrenmanlarının güç çıktısı ve ağırlık hızı üzerine etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Hughes, L., & Patterson, S. D. (2020). The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *Journal of Applied Physiology*, 128(4), 914-924.

Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal

rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 51(13), 1003-1011.

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., ... & Patterson, S. D. (2019). Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: a UK national health service randomised controlled trial. *Sports Medicine*, 49, 1787-1805.

Hughes, L., Rosenblatt, B., Paton, B., & Patterson, S. D. (2018). Blood flow restriction training in rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstructive surgery: a review. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 106-113.

Iida, H., Nakajima, T., Kurano, M., Yasuda, T., Sakamaki, M., Sato, Y., Yamasoba, T. and Abe, T. (2011), Effects of walking with blood flow restriction on limb venous compliance in elderly subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31: 472-476. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01044.x>

KAATSU (2025a). KAATSU history and future. <https://kaatsu.co.uk>

KAATSU (2025b). <https://kaatsu.com/pages/science-made-simple>

Kamiş, O. (2022). *6 haftalık kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizinin sağlıklı erkek bireylerde hamstring kas kalınlığı ve kuvvetine etkisi* [Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Kamiş, O., Gürses, V. V., Şendur, H. N., Altunsoy, M., Pekel, H. A., Yıldırım, E., & Aydos, L. (2024). Low-load resistance exercise with blood flow restriction versus high-load resistance exercise on hamstring muscle adaptations in recreationally trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(10), e541-e552.

Kelleci, A. P. (2024). *Lunge egzersizinde kan akışı kısıtlama ve post aktivasyon potansiyelinin sıçrama performansına etkisi* [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Kilgas, M. A. (2018). *Acute and Chronic Responses to Exercise With Blood Flow Restriction* (Doctoral dissertation, Michigan Technological University).

Kocaman, H. (2024). *Kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizinin kol kaslarının kuvvetine ve pençe kuvvetine etkisi* [Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Loenneke, J. P., Hammert, W. B., Kataoka, R., Yamada, Y., & Abe, T. (2025). Twenty-five years of blood flow restriction training: What we know, what we don't, and where to next?. *Journal of Sports Sciences*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2474329>

Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International journal of sports medicine*, 31(01), 1-4. DOI: 10.1055/s-0029-1239499

Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European journal of applied physiology*, 112, 1849-1859.

Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bemben, M. G. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(4), 510-518.

Maga, M., Wachsmann-Maga, A., Batko, K., Włodarczyk, A., Kłapacz, P., Krężel, J., ... & Sliwka, A. (2023). Impact of Blood-Flow-Restricted Training on Arterial Functions and Angiogenesis—

A Systematic Review with Meta-Analysis. *Biomedicines*, 11(6), 1601. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061601>

Nakajima, T., Iida, H., Kurano, M., Takano, H., Morita, T., Meguro, K., ... & Abe, T. (2008). Hemodynamic responses to simulated weightlessness of 24-h head-down bed rest and KAATSU blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 104, 727 - 737. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0834-3>

Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., ... & Nagata, T. (2006). Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *International journal of KAATSU training research*, 2(1), 5-13. <https://doi.org/10.3806/ijkr.2.5>

Patterson, S. D., & Brandner, C. R. (2018). The role of blood flow restriction training for applied practitioners: a questionnaire-based survey. *Journal of sports sciences*, 36(2), 123-130. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1284341>

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., ... & Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>

Pişkin, N. E. (2022). *Kan akışı kısıtlama antrenmanının izokinetik kas kuvveti, kas kalınlığı ve atletik performans üzerine etkisi* [Doktora tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1-5. <https://doi.org/10.3806/ijkr.1.1>

Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2016). Blood flow restricted exercise for athletes: A review of

available evidence. Journal of science and medicine in sport, 19(5), 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.014>

Sınar Ulutaş, D. S. (2023). *Kuvvet antrenmanlarında kan akımı kısıtlama uygulamasının akut fizyolojik ve hormonal değişimleri* [Doktora tezi, Mersin Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Şahin, D. (2022). *Vücut geliştirmecilerde kan akımı kısıtlama antrenmanlarının hipertrofi göstergeleri üzerine akut etkisi* [Yüksek lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Şahin, Z. (2021). *Kan akımı kısıtlaması ile uygulanan kuvvet antrenmanlarının taekwondo sporcularının bacak kuvveti gelişimine etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K. I., Kato, M., Uno, K., ... & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European journal of applied physiology*, 95, 65-73. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1389-1>

Tian, H., Xiang, Q., Huang, L., Liu, H., Yu, H., Wu, J., ... & Peng, L. (2025). How Does Acute Blood Flow Restriction Resistance Training Influence Free Fatty Acids in Obese Individuals?. *Quality in Sport*, 38, 58841-58841.

Trybulski, R., Clemente, F. M., Biolik, G., Wilk, M., & Kuźdzał, A. (2025). Potential benefits of blood flow restriction training in patients with type 2 diabetes: A narrative literature review. *Biomedical Human Kinetics*, 17(1), 186-196.

Twiddy, H., Reynolds, L. J., & Pittman, R. (2019). The impact of blood flow restrictive exercise on endothelial function.

Uzgur, K. (2025). *Kan akışı kısıtlama antrenmanının fizyolojik parametreler ve anaerobik güç üzerine etkisi* [Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Wang, H. N., Chen, Y., Cheng, L., Cai, Y. H., Li, W., & Ni, G. X. (2022). Efficacy and Safety of Blood Flow Restriction Training in Patients With Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arthritis care & research*, 74(1), 89-98. <https://doi.org/10.1002/acr.24787>

Yasuda, T., Meguro, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2017). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey in 2016. *International Journal of KAATSU Training Research*, 13(1), 1-9. <https://doi.org/10.3806/ijktr.13.1>

Yavuz, G. (2024). *Kan akışı kısıtlama yöntemi ile kombine edilen düşük yoğunluklu bisiklet egzersizinin VO₂max, kas kuvveti ve kas kalınlığına etkisi* [Doktora tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

BÖLÜM 2

PROPRİYOSEPSİYON VE PROPRİYOSEPTİF ANTRENMAN

AHMET CAN SARAN¹
İNCİ KESİLMİŞ²

Giriş

Propriyosepsiyon'nun tanımı

Propriyosepsiyon, eklem ve vücut pozisyonunun duyularını, uzayda hareketlerin kinestetik duyusunu ve kas kuvvetinin duyusunu içermektedir (Proske ve Gandevia, 2018; Proske ve Gandevia, 2012; Tuthill ve Azim, 2018; Riemann ve Lephart 2002). Pasif veya kendiliğinden üretilen motor eylemlerinin bir sonucu olarak, şekil veya gerginlikte bir değişiklik gösteren mekanik sensörlerle donatılmış herhangi bir doku, propriyoseptif bilgi kaynağı olarak hizmet edebilmektedir. Bu bağlamda propriyoseptörler iskelet kasını ve tendonlarını, eklem bağlarını, kasları çevreleyen bağ dokularını

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Mersin Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı, Mersin/Türkiye, Orcid: 0009-0000-1096-272X, ahmetcsaran@gmail.com

²Doç. Dr., Mersin Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Mersin/Türkiye, Orcid: 0000-0002-2382-2205, incikesilmis@gmail.com

ve deriyi innerve eden afferentleri içermektedir (Marasco ve Nooij, 2023).

Propriyoseptif Bilgi

Optimal motor kontrolü, lokomotor sistem içinde bulunan mekanoreseptörlerden kaynaklanan propriyoseptif bilgiyi gerektirmektedir (Riemann ve Lephart, 2002). Propriyosepsiyonu deneyimlemek için beyin, propriyoseptörlerden (yani kas göbeğinde bulunan ve gerilme uzunluğu ve hızı hakkında bilgi işleyen kas içcikleri, gerginlik ve dolayısıyla kasılma kuvveti hakkında bilgi ileten golgi tendon organları), deride, bağlarda ve eklem kapsüllerinde bulunan mekanoreseptörlerden (Pacinian, Ruffini, Merkel ve Meissner cisimcik uç organları) gelen girdileri işlemektedir (Proske ve Gandevia, 2012). Sadece afferent değil, efferent sinyaller (yani, motor komutunun eferans kopyası, çaba hissi) de duyuma katkıda bulunmaktadır (Proske ve Gandevia, 2012). Normal olarak gelişmiş insanlar, bu tür (propriyoseptif) bilgilere dayanarak kuvveti, ağırlığı, vücut pozisyonlarını, hareketlerini ve kas gerginliğini otomatik olarak işleyebilmekte, bütünleştirebilmekte, bilinçli olarak algılayabilmekte (Stillman, 2002) ve bunu hedef odaklı motor davranış için kullanabilmektedir (Sarlegna ve Sainburg, 2009).

Propriyoseptif Doğruluk

Propriyoseptif doğruluk, bireyin propriyoseptif bilgileri algılama yeteneğini ifade etmektedir (Goble, 2010; Han, Waddington ve ark., 2016). Bu yetenek, motor kontrol ve performansın önemli yönleriyle ilişkilidir. Örneğin, propriyoseptif doğruluk, elit sporcularda spor başarıyla pozitif ilişkilendirilmiştir (Han, Waddington, Anson ve Adams, 2015). Dirsek eklemindeki propriyoseptif doğruluğun basketbolda (Sevrez ve Bourdin, 2015), dartta (Feng, Hung, Huang, Hou ve Ren, 2020) ve su topunda (Hams, Evans, Adams, Waddington ve Witchalls, 2019) daha iyi atış

performansı ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Olumsuz yönlerle ilgili olarak, daha kötü propriyoseptif doğruluk daha yüksek yaralanma riskini öngörmektedir; (Cameron, Adams ve Maher, 2003) ayrıca, propriyoseptif doğruluk yaşlanmayla birlikte kötüleştiğinden (Goble, 2010) düşme riskinin artmasına katkıda bulunabilmektedir (Wingert, Welder ve Foo, 2014). Ayrıca, fiziksel olarak aktif bireylerin daha iyi propriyoseptif doğrulukla karakterize edildiği ve aktivitenin yaşlanmanın propriyoseptif doğruluk üzerindeki olumsuz etkisini telafi edebileceği ifade edilmiştir (Ribeiro ve Oliveira, 2007). Propriyoseptif fonksiyonun iyileştirilmesini hedefleyen propriyoseptif eğitim (Aman, Elangovan, Yeh ve Konczak, 2015), genellikle propriyoseptif doğruluğu içerir yaralanmaları önlemek ve motor performansı iyileştirmek için etkili bir yöntemdir (Aman, Elangovan ve ark., 2015).

Propriyosepsiyon ve kinestezi ilişkisi

Günümüzde, hem “propriyosepsiyon” hem de “kinestezi” yayınlanmış literatürde terim olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, nöroloji, nörofizyoloji, nöropsikoloji, spor ve egzersiz tıbbı ve ortopedik cerrahi gibi alanlardaki uzmanlar bu iki terimi farklı yorumlamaktadırlar (Han, Waddington, Adams, Anson ve Liu, 2016). Bazı araştırmacılar propriyosepsiyonu yalnızca eklem pozisyon hissi olarak tanımlarken, kinesteziyi eklem hareketinin bilinçli farkındalığı olarak tanımlamaktadır (Swanik, Lephart ve Rubash, 2004; Swanik, Lephart, Swanik, Lephart, Stone ve Fu, 2002). Farklı araştırmacılar kinestezinin propriyosepsiyonun alt modalitelerinden biri olduğunu ve propriyosepsiyonun bir yapı olarak hem eklem pozisyon hissini hem de eklem hareketinin hissini (kinestezi) içerdiğini ifade etmektedirler (Safran, Borsa, Lephart, Fu ve Warner, 2001; Lephart ve Fu, 1995). Bu şekilde tanımlanan propriyosepsiyon, her biri hem pozisyon hem de hareket duyularını içeren Bastian’ın kinestezi kavramsallaştırmasıyla uyumludur.

Eklem pozisyonu ve hareket iki farklı duyuşal varlık olarak kabul edilmesine rağmen (McCloskey, 1973; Porske ve Gandevia, 2009) bir “hareket” hem pozisyon hem de hareket duyuları ile ilgili bilgi değişiklikleriyle birlikte gelmektedir (McCloskey, 1978; Clark, Burgess, Chapin ve Lipscomb, 1985). Eklem hareketi ve eklem pozisyon duyuları günlük aktivitelere her zaman birbirleriyle ilişkilidir (Gregory, Morgan ve Proske, 1988; Stillman, 2002). Özetle, propriyosepsiyon ve kinestezinin eş anlamlı olarak değerlendirilebileceği  ne sürülmüştür (Stillman, 2002; Steinicke, Whitton, Lecuyer ve Mohler, 2011).

Propriyosepsiyon, yalnızca fizyolojik bir özellik olmaktan ziyade, hem fizyolojik (donanım) hem de psikolojik (yazılım) unsurları içeren bir kavramdır (Han ve ark., 2013; Waddington ve Adams, 1999). Özellikle, propriyosepsiyon, üç boyutlu uzaydaki vücut pozisyonunun ve hareketlerinin algılanmasıdır; genel propriyoseptif performans ise mevcut propriyoseptif bilgi ile bireyin propriyoseptif becerilerinin kalitesine bağlıdır. Bu bağlamda, donanım (periferik mekanoreseptörler), yazılımın (merkezi işlem) entegre edebilmesi ve kullanabilmesi için beyne propriyoseptif bilgi iletmektedir (Han, Waddington, Adams ve Anson, 2014).

Propriyosepsiyon’nun tarihsel gelişimi

Beyin ve uzuvlar arasındaki anatomik ilişkinin temeli, 1826 yılında İskoç fizyolog Charles Bell tarafından; kaslar ile beyin arasında bir sinir ağı olduğu, ventral köklerin uyarıyı beyinden kasa taşırken, dorsal köklerin kasın durumu hakkındaki bilgiyi beyne ilettiği şeklinde tanımlanmıştır (Bell, 1826). Yirminci yüzyılın başlarında Charles Scott Sherrington duyuşal afferentlerin çevresel kaynağını ve kas kasılması üzerindeki kontrollerini incelemiş ve “eksterosepsiyon”, “interosepsiyon” ve “propriyosepsiyon” terimlerini literatüre kazandırmıştır (Sherrington, 2023; Sherrington, 1913). Eksterosepsiyon vücudun dışından gelen çevresel uyaranları

algılarken, interosepsiyon iç organlardan gelen iç durumları veya sinyalleri algılamaktadır (Dietz, 2013; Proske ve Gandevia, 2012).

Sir Charles Bell'e göre altıncı his olan propriyosepsiyon, insan vücudunun yönelim, pozisyon ve hareket algılama yeteneğini tanımlamak için resmi olarak kullanılan bir terimdir (Hillier, Immink ve Thewlis, 2015). Charles Scott Sherrington ise, propriyosepsiyon terimini ilk kullandığında propriyosepsiyonun orijinal tanımı, eklem ve vücut hareketinin yanı sıra vücudun veya vücut bölümlerinin uzaydaki pozisyonunun algılanması ve uzuvlarımızın göreceli bükülme ve uzantılarının algılanması şeklindeydi (Sherrington, 2023). Örneğin, işitme, kulak zarına çarpan ses dalgalarını içerir ve görme, ışığın gözün retinasına çarpması ve bu farklı enerji biçimlerinin nöronlar içinde elektrik enerjisine dönüştürülmesini içermektedir. Benzer şekilde, propriyosepsiyon, mekanoreseptörlerin vücut hareketleri (vücut pozisyonundaki değişiklikler) yoluyla eşik değerde uyarılmasını gerektirmektedir (Bernstein ve Nash, 2008).

Propriyosepsiyon'un Çalışma Mekanizması

Propriyosepsiyon, vücudun ve uzuvların uzaydaki hareketinin ve pozisyonunun duyusudur (Sherrington, 2023). Hücre gövdeleri dorsal kök ganglionlarında, trigeminal ganglionlarda ve mezensefalik trigeminal çekirdekte bulunan özel periferik propriyoseptif reseptörlerden türemiştir (Marasco ve Nooij, 2023). Propriyoseptif nöronlar, hücre gövdesinden uzanan ve iki dala ayrılan tek bir aksonla pseudo-unipolardır. Bir dal, vücut pozisyonundaki değişiklikleri okumak için çevresel alıcı dokuları innerve ederken, diğeri bu bilgiyi spinal veya supraspinal duyusal-motor devrelerine iletmek için omurilikteki sinir hedeflerine doğru projeksiyon yapar. Propriyoseptif geri bildirim, duruşu sabitlemeye yardımcı olmak, akıcı hareketleri sağlamak için uzuv pozisyonları arasındaki durum geçişlerini koordine etmek veya beklenmeyen

faktörler bir motor hedefi rayından çıkardığında yeni duruma adaptasyonu sağlamak için spinal refleks devrelerine iletmektedir (Proske ve Gandevia, 2018; Riemann ve Lephart, 2002; Tuthill ve Azim, 2018). Aynı zamanda, periferden gelen propriyoseptif bilgi, korteks de dâhil olmak üzere supraspinal duysal ve motor merkezlerine yönlendirilir ve burada vücudun ve uzuvların hareketlerinin ve pozisyonlarının bilinçli olarak erişilebilir (ancak her zaman dikkate alınmayan) bir iç modelini bilgilendirmektedir. Sürekli olarak güncellenen bir iç vücut modeli, motor planlama ve öğrenmeye katkıda bulunmaktadır. Bu iç vücut modeli ayrıca, diğerlerinden ve dış dünyadan ayrı olan somut benlik duygusunun temelini oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Marasco ve Nooij, 2023).

Propriyoseptörler ayrıca çeşitli eklem ve deri reseptörlerini içermektedir (Marasco ve Nooij, 2023). Eklem reseptörleri; eklem rotasyonunun uç noktalarında aktive olur, sınır dedektörleri gibi davranır, eklem ve uzuv sertliğini düzenlerler (Riemann ve Lephart, 2002; Sojka, Johansson, Sjölander, Lorentzon ve Djupsjöbacka, 1989; Fuentes ve Bastian, 2010). Eklem reseptörleri arasında Pacinian, Paciniform korpüsküller, Ruffini sonlanmaları ve bazen Golgi Tendon Organı afferentleri bulunmaktadır (Germann, Sutter ve Nanz, 2021; Han, Li ve Wen, 2020). Bu afferentler vücudun her yerinde görülebilmekte ancak eklem bağlarıyla olan ilişkileri nedeniyle eklem reseptörleri olarak kabul edilmektedirler. Deri propriyosepsiyonu aynı duysal reseptör grubu tarafından da aracılık edilebilir ancak bu durumda, deriye ve hareket eden eklemlerin veya kasılan kasların üzerindeki derin bağ dokularına gömülüdürler. Meissner ve Merkel hücre afferentleri de dâhil olmak üzere dokusal duysal nöronlar, deri üzerinde bir hareket veya dokunuşla aktive edilmektedir (Handler ve Ginty, 2021; Johnson, Yoshioka ve Vega-Bermudez, 2000). Deri hissi, nesne manipülasyonu sırasında

kavrama gibi motor görevlerde kritik öneme sahiptir (Johansson ve Flanagan, 2009).

Propriyosepsiyon'un Önemi

Propriyoseptif bilginin görsel ipuçları gibi farklı duyuşal modalitelerden gelen sinyallerle bütünleştirilmesi ile doğru motor kontrol sağlanabilmektedir (Sober ve Sabes 2003; Chen, Sperandio ve Goodale, 2018). Propriyosepsiyon, insan vücudunun somatosensoriyel sisteminin günlük ve sporla ilgili hareketlerin etkinliğini büyük ölçüde etkileyen alt sistemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Düşük propriyosepsiyon işlevleri/eşikleri ve özellikle yetersiz pozisyon hissi, daha düşük vücut dengesi, günlük aktivitelerde bozulmalar, kas-iskelet sistemi yaralanmaları-yaralanma tekrarlamaları için artan riskler ve daha düşük atletik performanslarla ilişkilendirilmiştir (Hillier ve ark., 2015). Ayrıca etkili ve başarılı spora özgü eylemler ve günlük aktiviteler için önemli bir parametre de kas reaksiyon süresidir, yani alınan uyarın ile kas kasılmasının başlaması arasındaki zaman aralığıdır (Methenitis, Theodorou, Chatzinikolaou, Margaritelis, Nikolaidis ve Paschalis, 2023).

Sporcularda propriyosepsiyon, yaralanma önleme, rehabilitasyon, yetenek belirleme ve performans geliştirme süreçlerindeki kritik rolüyle yaygın olarak bilinmektedir (Han ve ark., 2016). Propriyosepsiyon, gelişmiş denge, atletik performansın artışı ve azalmış alt ekstremite yaralanmalarına olan yakın ilişkisiyle tanınmaktadır (Han, Anson, Waddington, Adams ve Liu, 2015).

Propriyoseptif antrenman

Propriyoseptif antrenman, denge, pozisyonlama, yürüyüş esnekliği, çeviklik ve nöromüsküler gibi belirli dinamik hareket egzersizleri yoluyla stabiliteyi korumak için ilgili kasları kontrol etmek üzere duyuşal organı belirli sinyaller göndermeye teşvik edebilir (Liu ve Liu, 2015; Domínguez-Navarro, Igual-Camacho,

Silvestre-Muñoz, Roig-Casasús ve Blasco, 2018; Aman, Elangovan, Yeh ve Konczak, 2015). Ağrı, yorgunluk, yoğun egzersiz, aşırı kullanılan eklemler, kas-iskelet travması ve nöropatilerden kaynaklanan propriyosepsiyon ve motor kontrol eksiklikleri yüksek yaralanma riski ile ilişkilendirilmiştir (Proske, 2019; Clark, Röijezon ve Treleaven, 2015; Röijezon, Clark ve Treleaven, 2015). Propriyoseptif antrenman, propriyosepsiyonun antrenmanla iyileştirilebileceği ve bunun da sensörimotor kontrolünü iyileştireceği varsayımıyla rehabilitasyon ve spor hekimliği uygulayıcıları tarafından yaygın olarak uygulanmakta ve desteklenmektedir. Propriyoseptif antrenman, görme gibi diğer modalitelerden gelen bilgilerin yokluğunda propriyoseptif veya dokunsal afferentler gibi somatosensoriyel sinyallerin kullanımına odaklanarak propriyoseptif işlevin iyileştirilmesini hedefleyen bir müdahaledir. Nihai amacı, duyuşsal ve/veya sensörimotor işlevi iyileştirmek veya kaybedilen işlevleri geri kazandırmaktır (Prochazka, 2021).

Propriyoseptif nöromüsküler kolaylaştırma

Motor rehabilitasyonda veya sağlıklı kişilerde, hareket aralığı azalmış kaslara statik germe veya hızlı balistik germe uygulamaları uzun yıllardır kullanılmaktadır (Reisman, Allen ve Proske, 2009). 1940'ların sonlarında, pasif germe tekniği, hedef kasların veya antagonistlerinin gönüllü kasılmalarını içerecek şekilde genişletildi (Kabat, 1947; Voss, 1967). Yönteme propriyoseptif nöromüsküler kolaylaştırma (PNF) adı verildi. Yıllar geçtikçe, felsefi bileşenler eklendi ve yöntem yaygın olarak öğretildi ve uygulandı (Smedes, Heidmann, Schäfer, Fischer ve Stępień, 2016).

PNF, kas gruplarının kolaylaştırılması, engellenmesi, güçlendirilmesi ve gevşetilmesi yoluyla işlevsel hareketi teşvik etmeyi amaçlar. Eşmerkezi, eksantrik ve statik kas kasılmaları,

kademeli direnç ve uygun kolaylaştırıcı prosedürlerle birleştirilerek, her bireyin ihtiyaçlarına göre ayarlanır ve diyagonal hareketlerde uygulanmaktadır. (Alexandre de Assis, Luvizutto, Bruno ve Sande de Souza, 2020).

PNF, miyotatik refleksi inhibe ederek kas uzunluğunu ve eklem hareket aralığını (EHA- Range of Motion ROM) artırmada rol oynamaktadır (González-Ravé, Sánchez-Gómez, ve Santos-García, 2012).

Rehabilitasyonda, yumuşak doku yaralanmaları olan hastaların fonksiyonel aktivite aralığını geri kazandırmak ve genel güçlerini, dengelerini ve koordineli kas güçlerini artırmak için PNF'yi kullanmaktadır (Hwang, Lee ve Lim, 2021).

Propriyosepsiyon ölçüm yöntemleri

Literatürde, propriyoseptif mekanizmaları incelemek için çeşitli teknikler önerilmiştir. Propriyosepsiyonun değerlendirilmesinde üç temel test yöntemi öne çıkmaktadır: **Pasif hareket algılama eşiği (PHAE-Threshold To Detection of Passive Motion TTDPM)** (Weerakkody, Blouin, Taylor ve Gandevia, 2008), **Eklem Pozisyonunu Yeniden Üretme Testi (EPT-Joint Position Reproduction JPR)**, aynı zamanda eklem pozisyonunun eşleştirilmesi olarak da adlandırılır (Lephart, Myers, Bradley ve Fu, 2002), ve **aktif hareket derecesi ayırım testi (AHDAT-Active Movement Extent Discrimination Assessment AMEDA)** (Waddington ve Adams, 1999). Bu testler, farklı konseptlere dayanarak geliştirilmiş, çeşitli test koşulları altında uygulanmakta ve propriyoseptif modalitelerin farklı boyutlarını ölçmektedir (de Jong, Kilbreath, Refshauge ve Adams, 2005; Elangovan, Herrmann ve Konczak, 2014).

Propriyosepsiyon, kinestezi duyusu (pozisyon ve hareket duyusu), gerginlik duyusu, çaba duyusu ve denge duyusu olmak üzere dört alt modalite ile tanımlanır. Eklem pozisyon duyusu, aktif

veya pasif eklem replikasyonu kullanılarak değerlendirilirken, hareket duyusu **Pasif hareket algılama eşiği (PHAE-Threshold To Detection of Passive Motion TTDPM)** ölçülmesiyle değerlendirilir (Fortier ve Basset, 2012). Hareket duyarlılığını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir test, **Pasif hareket algılama eşiğidir (PHAE-Threshold To Detection of Passive Motion TTDPM)**. Tipik bir PHAE testi, gözleri bağlı bir bireyin eklemde ilk pasif hareketi ne zaman algıladığını belirtmesini içerir. Sonuç değişkeni çoğunlukla eklem hareket ettiği dereceler veya alternatif olarak katılımcının hareket algılamasını işaret etmesinden önce geçen zamandır. Ek bir ikili sonuç, hareket yönünün, örneğin fleksiyon veya ekstansiyonun göstergesidir (Strong, Arumugam, Tengman, Röijezon ve Häger, 2022).

Aktif hareket derecesi ayırım testi (AHDAT-Active Movement Extent Discrimination Assessment AMEDA) ayak bileğindeki propriyoseptif testlere kapsamlı bir şekilde uygulanmaktadır (Waddington ve Adams, 1999; Waddington ve Adams, 2004). Propriyoseptif duyarlılık ile elit sporda başarı arasındaki ilişkiye dair ilk kanıt sunulmuş ve ayak bileğindeki aktif hareketler arasındaki küçük farklılıkları ayırt etme yeteneğinin, elit sporcuların aerobik jimnastik, yüzme, spor dansı, badminton ve futbolda elde ettikleri rekabet seviyesiyle önemli ölçüde ilişkili olduğunu belirlenmiştir. (Han, Anson, Waddington ve Adams, 2014). AMEDA cihazı geçerlilik açısından test edilmiştir ve aktif ayak bileği propriyosepsiyonunu etkileyen çeşitli yaralanma ve eğitim koşullarına duyarlılık göstermektedir (Gescheider, Thorpe, Goodarz ve Bolanowski, 1997; Waddington ve Adams 1999). Testte yüksek puanlar başarıyla ilişkilidir, çünkü aynı şekilde test edilen ayak bileği propriyosepsiyonunun spor performansı seviyesiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu görülmüştür (Han ve ark. 2015).

Eklem Pozisyonunu Yeniden Üretme Testi (EPT-Joint Position Reproduction JPR), test protokolü, aynı zamanda eklem

pozisyonu hissi (EPS- Joint Position Sense JPS) olarak da bilinmektedir, katılımcının herhangi bir görsel yardım olmadan test edilen uzvun eklem pozisyonunu eşleştirmesini gerektirir. Katılımcının uzvu pasif veya aktif olarak bir referans pozisyonuna hareket ettirilir ve ardından hastanın pozisyonu kontralateral veya ipsilateral uzuvla aktif veya pasif olarak eşleştirmesi gerekmektedir. Pozisyon hissi, referans ve eşleşen pozisyonlar arasındaki hatanın ölçülmesiyle değerlendirilir (Yang, Waddington, Adams ve Han, 2020). Yöntemin, yaralanmanın etkilerini yansıtmak için gereken doğruluk seviyesini sağladığı (Konradsen ve Magnusson, 2000) ve rehabilitasyon protokollerini değerlendirdiği düşünülmektedir (Elangovan ve ark. 2014).

Gonyometre, eklem açısını ölçmek için kullanılan bir araçtır. Fizik tedavi ve spor hekimliğinde eklem hareket aralığını ve eklem stabilitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan basit ve ucuz bir cihazdır. Gonyometre, eklem açılarını ölçmenin yanı sıra propriyosepsiyonu değerlendirmek için de kullanılabilir. Düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı, onu hem klinik hem de araştırma ortamlarında değerli bir araç haline getirmektedir (Watkins, Riddle, Lamb ve Personius, 1991; Fathima ve Meenakshi, 2022).

İzokinetik test, kontrollü eklem hareketleri yoluyla bir bireyin gücünü ve kas dayanıklılığını ölçen fiziksel performans testidir. İzokinetik Dinamometre Sistemi, bir bireyin vücudunun uzaydaki pozisyonunu ve hareketini algılama yeteneği olan propriyosepsiyonu değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Sistem, bireyin gerçek yaşam hareketlerini simüle eden egzersizler sırasında hareketlerini kontrol etme yeteneğini ölçmektedir (Drouin, Valovich-mcLeod, Shultz, Gansneder ve Perrin, 2004; Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson ve Dyhre-Poulsen, 2002).

İnclinometre, eklem pozisyonunu ölçmek için kullanılabilir (Suner-Keklik, Cobanoglu-Seven, Kafa,

Ugurlu ve Guzel, 2017). İnklinometre, eklem pozisyon duyusunu test etmenin yanı sıra eklem hareket açıklığı ölçümleri için de kullanılabilir (Dover ve Powers, 2004).

Nöromüsküler kontrol üzerindeki periferik, vestibüler ve görsel katkıların bileşkesi, postüral salınım ve denge ölçümleri yoluyla değerlendirilmektedir. Periferik, vestibüler ve görsel sistemlerin fonksiyonel katkıları, alt ekstremitelerin postüral salınımı ve denge ölçümleri kullanılarak etkili şekilde analiz edilebilir (Ageberg, Roberts, Holmström ve Fridén, 2004; Arnold ve Schmitz, 1998; Berg, Wood-Dauphinee, Williams ve Maki, 1992; Hansen, Dieckmann, Jensen ve Jakobsen, 2000).

Sportif performans ve propriyosepsiyon

Sportif performans, uluslararası alanda sportif başarıya atfedilen artan önem ve rekabet nedeniyle geçmişten günümüze giderek artan bir düzeyde önem kazanmaktadır. Sporcular, spor bilimciler ve bu alanda çalışan uzmanlar performansı iyileştirmek için çabalamaktadır (Bayraktar ve Kurtoğlu, 2009). Sportif hareketlerin öğrenilmesi, geliştirilmesi ve sürdürülmesinde duyu organlarıyla ilgili minimal bir işlev azalması bile geniş çapta olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Duyusal uyarılar ve geri bildirim mekanizmalarının görsel, vestibüler, propriyoseptif ve dokunsal sistemler tarafından sağlandığı bilinmektedir (Horak ve Macpherson, 2011). Son yıllarda, spor performansının iyileştirilmesinde ve yaralanmalardan sonra spora dönüşte propriyoseptif duyunun önemi daha fazla anlaşılmıştır (Rouse, DeLand, Christian, ve Hawley, 1988). Propriyoseptif duyunun vücut farkındalığı, mekânsal konumlandırma ve hareketin sürdürülmesinde işlevler gerçekleştirdiği bilinmektedir (Kaya, Yosmaoglu ve Doral, 2018).

Propriyosepsiyon, bir bireyin sporda başarılı olma yeteneğini önemli ölçüde etkiler çünkü sporcunun bireysel faktörleri ve atletik

başarıyı etkileyebilecek çevresel faktörler ayrıntılı olarak analiz edilmektedir. Bunların başında gelen sağlıklı bir duyuşsal-algısal-motor fonksiyon uyumuna sahip olmak, optimum performans için ana göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir (Bayraktar ve Kurtoğlu, 2009; Hadlow, Panchuk, Mann, Portus ve Abernethy, 2018). Bu, atletik performansın önemli bir yönüdür (de Vasconcelos, Cini ve Lima, 2020; Hübscher, Zech, Pfeifer, Hänsel, Vogt ve Banzer, 2010; Ljubojevic, Popovic, Bijelic, Jovanovic, 2020). Propriyoseptif antrenman, vücudun pozisyon, hareket ve denge ile ilgili uyaranları algılama ve yorumlama yeteneği olan propriyosepsiyonu geliştirmeye odaklanan bir egzersiz biçimidir (Lazarou, Kofotolis, Pafis ve Kellis, 2018).

Koordinatif hareketlerin başarı ile yapılabilmesi, antrenman ve müsabakalarda vücudun ve uzuvlarının konumunun merkezi sinir sistemi tarafından tanınarak ihtiyaç duyulan değişikliklere hızlı, güvenli, uyumlu ve etkili cevap verebilmesi ile mümkündür (Ducic, Short ve Dellon, 2004; Potop, Grigore ve Moraru, 2013). Eklemlerin hareketi ve konumu ile ilgili bilgileri motor sisteme ileten propriyosepsiyon olduğu için, değişen durumlara karşı istenen cevabın oluşturulmasında gerekli lokomotor modifikasyonları oluşturmak için görsel, vestibüler ve propriyoseptif girdilerin sensorimotor entegrasyonu çok önemlidir (Glofcheskie ve Brown, 2017; Marigold, Andujar, Lajoie ve Drew, 2011). Propriyosepsiyonun hareket için uygun motor komutları planlaması ve gerçekleştirmesinde yararlı etkileri bulunmaktadır (Chu, 2017; Salva-Coll, Garcia-Elias ve Hagert, 2013). Propriyosepsiyon, sporcuların vücutlarını daha iyi anlamalarına yardımcı olmakta, propriyoseptif beceriler sayesinde sporcular yarışma ve/veya müsabaka anında beceriye ait hareket pozisyonlarını daha iyi kontrol edebilir ve istenen taktiksel stratejileri daha iyi uygulayabilmektedirler (Ergen ve Ulkar, 2008; Guimarões, Baxter-Jones, Williams, Tavares, Janeira ve Maia, 2021).

Propriyoseptif antrenmanın sportif performansa etkisi

Propriyoseptif antrenmanların temel hedefi, organlar ve dokulardaki propriyoseptörlerin uyarılmasını sağlamaktır. Kuvvet-direnç antrenmanları sırasında kas içciklerinin hassasiyeti artarken, ağırlık kullanımı eklem içi basıncı yükseltir. Bu artış, ruffini sinir uçlarını uyarır ve mekanoreseptörlerde oluşan bu uyarılar, propriyoseptif doğruluğun gelişmesine katkıda bulunur (Jan, Lin, Lin, Lin ve Lin, 2009). Görsel ve işitsel girdilerin azaltıldığı tek ayak üzerinde durma veya tandem duruş gibi pozisyonlar ile materyal kullanılarak yapılan denge egzersizleri, propriyoseptif reseptörler üzerindeki yükü artırarak bu mekanizmanın gelişimini desteklemektedir (Ahmad, Verma, Noohu, Shareef ve Hussain, 2020; Lu, Yao, Fan, Lin, Lin ve Chou, 2021). Germe egzersizleriyle golgi tendon organı, eklem ve kutanöz reseptörlerde uyarıcı artışı sağlanır ve propriyosepsiyon iyileştirilmektedir (Mani, Kirmizigil ve Tüzün, 2021; Ogard, 2011).

Araştırmacılar, propriyoseptif yüksek seviyeli becerinin elit sporcular tarafından elde edilen performans seviyesiyle önemli ölçüde ilişkili olduğunu belirtmiştir (Han ve ark., 2015). Başka bir çalışmada, propriyoseptif antrenmanın ayak bileği yaralanmaları olan futsal oyuncularında denge ve performans ölçümlerinde önemli iyileştirmeler sağladığı bildirilmiştir (George-Sebastian ve Alexandru, 2019).

Birçok çalışmada propriyoseptif antrenmanın denge, gövde kontrolü, yürüyüş hızı, temel fonksiyonel hareketlilik (Apriliyasari, Van Truong ve Tsai, 2022), motor, somatosensoriyel ve sensörimotor fonksiyonlar (Aman ve ark., 2015), denge (de Vasconcelos ve ark., 2020) üzerindeki etkileri bildirilmiştir.

Propriyoseptif antrenman, dizin propriyoseptif geri bildirim mekanizmasının iyileşmesini destekleyebilir ve dizin stabilitesini arttırabilmektedir (Parkkari, Taanila, Suni, Mattila, Ohrankämnen,

Vuorinen, Kannus ve Pihlajamäki, 2011). Egzersiz sırasında, merkezi sinir sistemi, eklem stabilitesini korumak ve motor fonksiyonunu iyileştirmek için uzuvlardan, gövdeden ve boyundan gelen propriyosepsiyon sinyali ve vestibüler ve görsel sistemlerden kaynaklanan duyuşal sinyali düzenlemektedir (Dhillon, Bali ve Prabhakar, 2011; Vathrakokilis, Malliou, Gioftsidou, Beneka ve Godolias, 2008).

Propriyoseptif antrenman, gelişmiş omuz stabilitesi, su topunda atış performansı ve daha yüksek spor performans seviyelerine ulaşmak için çok önemli olan omuz propriyoseptif keskinliği ile ilişkilendirilmiştir (Hams ve ark., 2019; Contemori ve Biscarini, 2018).

Propriyoseptif antrenmanın, esneme gibi müdahalelerden daha etkili bir şekilde yaralanma risklerini azalttığı tespit edilmiştir, spor yaralanmalarını önleme stratejilerinde potansiyel önemi vurgulanmıştır (Lauersen, Bertelsen ve Andersen, 2014).

Sekiz hafta boyunca uygulanan propriyoseptif antrenmanın hem kadın hem de erkek basketbolcularda pas tekniğini ve erkek oyunculara şut tekniğini iyileştirdiği bulunmuştur (Zacharakis, Bourdas, Kotsifa, Bekris, Velentza ve Kostopoulos, 2020). Benzer bir çalışma, 12 haftalık bir propriyoseptif antrenman programının basketbolcularda pas tekniklerini iyileştirdiği sonucuna varmıştır (Gidu, Badau, Stoica, Aron, Focan, Monea, Stoica ve Calota, 2022).

Futbolcular üzerinde yapılan farklı çalışmalar, propriyoseptif antrenmanın erkek futbolcularda top sürme becerilerini (Gidu ve ark., 2022), kadın futbolcularda top sürme, pas atma, şut çekme ve kafa vuruşu becerilerini (Souglis, Travlos ve Andronikos, 2023), genç erkek futbolcularda pas ve top kontrol becerilerini (Viran ve Canli, 2022), genç futbolcularda top sekme ve uzun ve kısa pas becerilerini (Evangelos, Georgios, Konstantinos, Gissis, Papadopoulos ve Aristomenis, 2012) ve genç kadın voleybol

oyuncularında servis ve pas teknik becerilerini (Achilleopoulos, Sotiropoulos, Tsakiri, Drikos, Zacharakis ve Barzouka, 2022) geliştirdiğini göstermiştir.

Propriyoseptif antrenman programlarının koordinasyonu, dengeyi ve propriyosepsiyonu etkili bir şekilde iyileştirdiğini, bunların sporlarda teknik becerileri geliştirmek için çok önemli olduğu belirtilmiştir (Souglis ve ark., 2023). Propriyoseptif keskinliği ve dinamik nöromüsküler kontrolü geliştirerek sporcular motor becerilerini ve teknik yeteneklerini geliştirebilir ve nihayetinde ilgili spor performanslarını geliştirebilmektedir (de Vasconcelos ve ark., 2020).

Sporcuların fiziksel performansı üzerinde propriyoseptif antrenmanın etkilerini araştıran çeşitli çalışmalar, kadın ve erkek basketbolcularda (Zacharakis ve ark., 2020), erkek basketbolcularda (Domeika, Slapšinskaitė, Razon, Šiupšinskas, Klizienė ve Dubosienė, 2020), profesyonel futbolcularda (Beydağı ve Talu, 2021, Rhodes, Leather, Birdsall ve Alexander, 2020), genç futbolcularda (Gidu ve ark., 2022), genç kadın voleybolcularda (Achilleopoulos ve ark., 2022), genç sürat patencilerinde (Winter, Beck, Walther, Zwipp ve Rein, 2015), eskrimcilerde (de Vasconcelos ve ark., 2020), erkek futbol ve basketbolcularda (Harry-Leite, Paquete, Teixeira, Santos, Sousa, Fraiz-Brea ve Ribeiro, 2022), kadın futbolcularda (Miyacı Göktepe ve Günay, 2019), tekvando sporcularında (Yoo, Park, Yoon, Lim ve Ryu, 2018) ve kısa mesafe koşucularında (Romero-Franco, Martínez-Amat ve Martínez-López, 2013) dengede iyileşmeler olduğunu göstermiştir.

Propriyoseptif antrenmanın ardından, gelişmiş denge, hızlanma, yavaşlama ve yön değiştirme gibi karmaşık hareketler sırasında daha iyi stabiliteye katkıda bulunur ve böylece hızlanma ve hızlı yön değişiklikleri daha kolay hale gelmektedir (Gidu ve ark., 2022).

Dikey sıçramalarda eksantrik kas kasılmalarından konsantrik kas kasılmalarına hızlı geçişin patlayıcı kuvvet gelişimini etkilediğini ve propriyoseptif antrenmanın daha yüksek oranda motor ünite içerebileceğini ve bunun da potansiyel olarak hızlı güç üretimini etkileyebileceği belirtilmiştir (Gruber ve Gollhofer, 2004).

Propriyoseptif antrenmanın hem propriyoseptif hem de motor performansı iyileştirebileceğini ve her iki alanda da benzer ilerlemeler sağlayabileceğini tespit edilmiştir (Winter, Huang, Sertic ve Konczak, 2022).

Propriyoseptif antrenman, sporcularda çeşitli mekanizmalar aracılığıyla motor becerilerini geliştirmek için esastır. Antrenman seviyesi yüksek sporcular, doğuştan gelen veya uzun süreli atletik eğitim yoluyla geliştirilebilen gelişmiş propriyoseptif keskinlik ve kas gücü sergilemektedir (Muaidi, Nicholson ve Refshauge, 2009).

Sporcular propriyosepsiyonlarını geliştirerek hareketlerini kontrol edebilir, dengeyi koruyabilir ve çeşitli spor disiplinlerinde gerekli olan hassas motor becerilerini uygulayabilirler (Romero-Franco, Martínez-López, Lomas-Vega, Hita-Contreras ve Martínez-Amat, 2012).

İyi gelişmiş propriyoseptif yetenekler, olumlu uyaran-tepki senkronizasyonu sağlar ve yaralanmaları önlemek için eklem stabilitesinde iyi performans elde edebilmektedir (Ojeda, Sandoval ve Barahona-Fuentes, 2019). Mükemmel spor performansı ile propriyoseptif yetenek arasındaki ilişki, antrenörlerin programlarına propriyoseptif eğitim eklemeleri gerektiğini göstermektedir (Bokil, Bisen ve Kalra, 2020).

Kaynakça

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 93(4), 1318–1326.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>

Achilleopoulos, I., Sotiropoulos, K., Tsakiri, M., Drikos, S., Zacharakis, E., & Barzouka, K. (2022). The effect of a proprioception and balance training program on balance and technical skills in youth female volleyball players. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(4), 840-847.

Ageberg, E., Roberts, D., Holmström, E., & Fridén, T. (2004). The effect of short-duration sub-maximal cycling on balance in single-limb stance in patients with anterior cruciate ligament injury: a cross-sectional study. *BMC musculoskeletal disorders*, 5, 44. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-5-44>

Ahmad, I., Verma, S., Noohu, M. M., Shareef, M. Y., & Hussain, M. E. (2020). Sensorimotor and gait training improves proprioception, nerve function, and muscular activation in patients with diabetic peripheral neuropathy: a randomized control trial. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 20(2), 234–248.

Alexandre de Assis, I. S., Luvizutto, G. J., Bruno, A. C. M., & Sande de Souza, L. A. P. (2020). The Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Concept in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of chiropractic medicine*, 19(3), 181–187.
<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2020.07.003>

Aman, J. E., Elangovan, N., Yeh, I. L., & Konczak, J. (2015). The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 1075. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01075>

Apriliyasari, R. W., Van Truong, P., & Tsai, P. S. (2022). Effects of proprioceptive training for people with stroke: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical rehabilitation*, 36(4), 431–448. <https://doi.org/10.1177/02692155211057656>

Arnold, B. L., & Schmitz, R. J. (1998). Examination of balance measures produced by the biodex stability system. *Journal of athletic training*, 33(4), 323–327.

Bayraktar, B., & Kurtoğlu, M. (2009). Sporda performans, etkili faktörler, değerlendirilmesi ve artırılması. *Klinik Gelişim Dergisi*, 22(1), 16-24.

Bell, C. (1826). XII. On the nervous circle which connects the voluntary muscles with the brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (116), 163-173.

Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique*, 83 Suppl 2, S7–S11.

Bernstein, D. A., & Nash, P. W. (2008). *Essentials of psychology*. Houghton Mifflin Company.

Beydagı, M. G., & Talu, B. (2021). The effect of proprioceptive exercises on static and dynamic balance in professional athletes. *Ann Clin Anal Med*, 12(Suppl 1), S49-53.

Bokil, C., Bisen, R., & Kalra, K. (2020). Effectiveness of upper extremity proprioceptive training on reaction time in table tennis players. *training*, 5, 7.

Cameron, M., Adams, R., & Maher, C. (2003). Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Physical Therapy in Sport*, 4(4), 159-166.

Chen, J., Sperandio, I., & Goodale, M. A. (2018). Proprioceptive Distance Cues Restore Perfect Size Constancy in Grasping, but Not Perception, When Vision Is Limited. *Current biology* : CB, 28(6), 927–932.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.076>

Chu, V. W. T. (2017). Assessing proprioception in children: A review. *Journal of motor behavior*, 49(4), 458-466.

Clark, F. J., Burgess, R. C., Chapin, J. W., & Lipscomb, W. T. (1985). Role of intramuscular receptors in the awareness of limb position. *Journal of neurophysiology*, 54(6), 1529-1540.

Clark, N. C., Røijezon, U., & Treleaven, J. (2015). Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 2: Clinical assessment and intervention. *Manual therapy*, 20(3), 378–387. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.01.009>

Contemori, S., & Biscarini, A. (2018). Shoulder position sense in volleyball players with infraspinatus atrophy secondary to suprascapular nerve neuropathy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(1), 267–275. <https://doi.org/10.1111/sms.12888>

de Jong, A., Kilbreath, S. L., Refshauge, K. M., & Adams, R. (2005). Performance in different proprioceptive tests does not correlate in ankles with recurrent sprain. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(11), 2101–2105. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.05.015>

de Vasconcelos, G. S., Cini, A., & Lima, C. S. (2020). Proprioceptive Training on Dynamic Neuromuscular Control in

Fencers: A Clinical Trial. *Journal of sport rehabilitation*, 30(2), 220–225. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0469>

Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2011). Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian journal of orthopaedics*, 45(4), 294–300. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.80320>

Dietz, V. (2013). Gait disorders. *Handbook of clinical neurology*, 110, 133–143.

Domeika, A., Slapšinskaitė, A., Razon, S., Šiupšinskas, L., Klizienė, I., & Dubosienė, M. (2020). Effects of an 8-week basketball-specific proprioceptive training with a single-plane instability balance platform. *Technology and health care : official journal of the European Society for Engineering and Medicine*, 28(5), 561–571. <https://doi.org/10.3233/THC-208002>

Domínguez-Navarro, F., Igual-Camacho, C., Silvestre-Muñoz, A., Roig-Casasús, S., & Blasco, J. M. (2018). Effects of balance and proprioceptive training on total hip and knee replacement rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Gait & posture*, 62, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.003>

Dover, G., & Powers, M. E. (2004). Cryotherapy does not impair shoulder joint position sense. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(8), 1241–1246. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.11.030>

Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *European journal of applied*

physiology, 91(1), 22–29. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0933-0>

Ducic, I., Short, K. W., & Dellon, A. L. (2004). Relationship between loss of pedal sensibility, balance, and falls in patients with peripheral neuropathy. *Annals of plastic surgery*, 52(6), 535-540.

Elangovan, N., Herrmann, A., & Konczak, J. (2014). Assessing proprioceptive function: evaluating joint position matching methods against psychophysical thresholds. *Physical therapy*, 94(4), 553–561. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130103>

Ergen, E., & Ulkar, B. (2008). Proprioception and ankle injuries in soccer. *Clinics in sports medicine*, 27(1), 195-217.

Evangelos, B., Georgios, K., Konstantinos, A., Gissis, I., Papadopoulos, C., & Aristomenis, S. (2012). Proprioception and balance training can improve amateur soccer players' technical skills. *Journal of Physical Education and Sport*, 12(1), 81.

Fathima, A., & Meenakshi, R. (2022). Single-arm tool for assessment of anomalous head posture. *Indian journal of ophthalmology*, 70(10), 3745. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1212_22

Feng, J., Hung, T. M., Huang, R., Hou, S., & Ren, J. (2020). Role of proprioception in slow and rapid movements. *Perceptual and motor skills*, 127(2), 281-298.

Fortier, S., & Basset, F. A. (2012). The effects of exercise on limb proprioceptive signals. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(6), 795–802. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.04.001>

Fuentes, C. T., & Bastian, A. J. (2010). Where is your arm? Variations in proprioception across space and tasks. *Journal of*

George-Sebastian, I., & Alexandru, C. (2019). The role of proprioceptive training as a method of functional rehabilitation of ankle sprains in futsal players. *Interdisciplinary Journal of Physical Education and Sports*, 19(2).

Germann, C., Sutter, R., & Nanz, D. (2021). Novel observations of Pacinian corpuscle distribution in the hands and feet based on high-resolution 7-T MRI in healthy volunteers. *Skeletal radiology*, 50(6), 1249-1255.

Gescheider, G. A., Thorpe, J. M., Goodarz, J., & Bolanowski, S. J. (1997). The effects of skin temperature on the detection and discrimination of tactile stimulation. *Somatosensory & motor research*, 14(3), 181–188. <https://doi.org/10.1080/08990229771042>

Gidu, D. V., Badau, D., Stoica, M., Aron, A., Focan, G., Monea, D., Stoica, A. M., & Calota, N. D. (2022). The Effects of Proprioceptive Training on Balance, Strength, Agility and Dribbling in Adolescent Male Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 19(4), 2028. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042028>

Glofcheskie, G. O., & Brown, S. H. (2017). Athletic background is related to superior trunk proprioceptive ability, postural control, and neuromuscular responses to sudden perturbations. *Human Movement Science*, 52, 74-83.

Goble, D. J. (2010). Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: from basic science to general practice. *Physical therapy*, 90(8), 1176-1184.

González-Ravé, J. M., Sánchez-Gómez, A., & Santos-García, D. J. (2012). Efficacy of two different stretch training programs (passive vs. proprioceptive neuromuscular facilitation) on

shoulder and hip range of motion in older people. *Journal of strength and conditioning research*, 26(4), 1045–1051. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dd4dd>

Gregory, J. E., Morgan, D. L., & Proske, U. (1988). Aftereffects in the responses of cat muscle spindles and errors of limb position sense in man. *Journal of neurophysiology*, 59(4), 1220–1230. <https://doi.org/10.1152/jn.1988.59.4.1220>

Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European journal of applied physiology*, 92(1-2), 98–105. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1080-y>

Guimarães, E., Baxter-Jones, A. D., Williams, A. M., Tavares, F., Janeira, M. A., & Maia, J. (2021). The role of growth, maturation and sporting environment on the development of performance and technical and tactical skills in youth basketball players: The INEX study. *Journal of sports sciences*, 39(9), 979–991.

Hadlow, S. M., Panchuk, D., Mann, D. L., Portus, M. R., & Abernethy, B. (2018). Modified perceptual training in sport: A new classification framework. *Journal of science and medicine in sport*, 21(9), 950–958. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.011>

Hams, A. H., Evans, K., Adams, R., Waddington, G., & Witchalls, J. (2019). Throwing performance in water polo is related to in-water shoulder proprioception. *Journal of sports sciences*, 37(22), 2588–2595. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1648987>

Han, J., Anson, J., Waddington, G., & Adams, R. (2013). Proprioceptive performance of bilateral upper and lower limb joints: side-general and site-specific effects. *Experimental brain research*, 226, 313–323.

Han, J., Anson, J., Waddington, G., & Adams, R. (2014). Sport Attainment and Proprioception. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(1), 159-170. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.1.159>

Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015). The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *BioMed research international*, 2015, 842804. <https://doi.org/10.1155/2015/842804>

Han, J., Waddington, G., Adams, R., & Anson, J. (2014). A proprioceptive ability factor underlying all proprioception tests? Response to Tremblay (2013). *Perceptual and Motor Skills*, 119(1), 301-304.

Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: a critical review of methods. *Journal of sport and health science*, 5(1), 80-90.

Han, J., Waddington, G., Anson, J., & Adams, R. (2015). Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability. *Journal of science and medicine in sport*, 18(1), 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.11.013>

Han, Y. H., Li, B., & Wen, Y. (2020). Distribution, quantity and gene expression of mechanoreceptors in ligaments and tendons of knee joint in rabbits. *Journal of molecular histology*, 51(3), 233–240. <https://doi.org/10.1007/s10735-020-09875-8>

Handler, A., & Ginty, D. D. (2021). The mechanosensory neurons of touch and their mechanisms of activation. *Nature reviews. Neuroscience*, 22(9), 521–537. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00489-x>

Hansen, M. S., Dieckmann, B., Jensen, K., & Jakobsen, B. W. (2000). The reliability of balance tests performed on the kinesthetic ability trainer (KAT 2000). *Knee surgery, sports*

traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA, 8(3), 180–185. <https://doi.org/10.1007/s001670050211>

Harry-Leite, P., Paquete, M., Teixeira, J., Santos, M., Sousa, J., Fraiz-Brea, J. A., & Ribeiro, F. (2022). Acute impact of proprioceptive exercise on proprioception and balance in athletes. *Applied Sciences*, 12(2), 830.

Hillier, S., Immink, M., & Thewlis, D. (2015). Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and neural repair*, 29(10), 933–949. <https://doi.org/10.1177/1545968315573055>

Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (2011). Postural Orientation and Equilibrium. *Comprehensive Physiology. American Cancer Society*, 255-292.

Hübscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L., & Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(3), 413–421. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b88d37>

Hwang, M., Lee, S., & Lim, C. (2021). Effects of the Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Technique on Scapula Function in Office Workers with Scapula Dyskinesia. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 57(4), 332. <https://doi.org/10.3390/medicina57040332>

Jan, M. H., Lin, C. H., Lin, Y. F., Lin, J. J., & Lin, D. H. (2009). Effects of weight-bearing versus nonweight-bearing exercise on function, walking speed, and position sense in participants with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(6), 897–904. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.11.018>

Johansson, R. S., & Flanagan, J. R. (2009). Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(5), 345–359. <https://doi.org/10.1038/nrn2621>

Johnson, K. O., Yoshioka, T., & Vega–Bermudez, F. (2000). Tactile functions of mechanoreceptive afferents innervating the hand. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 17(6), 539–558.

Kabat, H. (1947). Studies on neuromuscular dysfunction; new principles of neuromuscular reeducation. *Permanente Foundation medical bulletin*, 5(3), 111–123.

Kaya, D., Yosmaoglu, B., & Doral, M. N. (Eds.). (2018). *Proprioception in orthopaedics, sports medicine and rehabilitation*. Springer.

Konradsen, L., & Magnusson, P. (2000). Increased inversion angle replication error in functional ankle instability. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 8(4), 246–251. <https://doi.org/10.1007/s001670000124>

Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British journal of sports medicine*, 48(11), 871–877. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092538>

Lazarou, L., Kofotolis, N., Pafis, G., & Kellis, E. (2018). Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 31(3), 437–446. <https://doi.org/10.3233/BMR-170836>

Lephart, S. M., & Fu, F. H. (1995). The role of proprioception in the treatment of sports injuries. *Sports Exerc Inj*, 1(2), 96–102.

Lephart, S. M., Myers, J. B., Bradley, J. P., & Fu, F. H. (2002). Shoulder proprioception and function following thermal capsulorrhaphy. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 18(7), 770–778. <https://doi.org/10.1053/jars.2002.32843>

Liu, F., & Liu, J. (2015). The effect and practice of proprioceptive training in the treatment of meniscus injury. *J Nanjing Institute Phys Educat*, 14, 44-9.

Ljubojevic, A., Popovic, B., Bijelic, S., Jovanovic, S. (2020). Proprioceptive training in dance sport: effects of agility skills. *Turkish Journal of Kinesiology*, 6(3), 109-117. <https://doi.org/10.31459/turkjin.742359>

Lu, C. C., Yao, H. I., Fan, T. Y., Lin, Y. C., Lin, H. T., & Chou, P. P. (2021). Twelve Weeks of a Staged Balance and Strength Training Program Improves Muscle Strength, Proprioception, and Clinical Function in Patients with Isolated Posterior Cruciate Ligament Injuries. *International journal of environmental research and public health*, 18(23), 12849-12864. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312849>

Ma, J., Zhang, D., Zhao, T., Liu, X., Wang, J., Zheng, H., & Jin, S. (2021). The effects of proprioceptive training on anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Clinical rehabilitation*, 35(4), 506–521. <https://doi.org/10.1177/0269215520970737>

Mani, E., Kirmizigil, B., & Tüzün, E. H. (2021). Effects of two different stretching techniques on proprioception and hamstring flexibility: a pilot study. *Journal of comparative effectiveness research*, 10(13), 987–999. <https://doi.org/10.2217/cer-2021-0040>

Marasco, P. D., & de Nooij, J. C. (2023). Proprioception: A New Era Set in Motion by Emerging Genetic and Bionic Strategies?. *Annual review of physiology*, 85, 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-040122-081302>

Marigold, D. S., Andujar, J. E., Lajoie, K., & Drew, T. (2011). Motor planning of locomotor adaptations on the basis of vision: the role of the posterior parietal cortex. *Progress in brain research*, 188, 83-100.

McCloskey, D. I. (1973). Differences between the senses of movement and position shown by the effects of loading and vibration of muscles in man. *Brain research*, 61, 119-131.

McCloskey, D. I. (1978). Kinesthetic sensibility. *Physiological reviews*, 58(4), 763-820.

Methenitis, S., Theodorou, A. A., Chatzinikolaou, P. N., Margaritelis, N. V., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2023). The effects of chronic concentric and eccentric training on position sense and joint reaction angle of the knee extensors. *European Journal of Sport Science*, 23(7), 1164-1174.

Miyaç Göktepe, M., & Günay, M. (2019). The effects of proprioceptive exercise programme given to female footballers their on balance, proprioceptive sense and functional performance: Kadın futbolculara uygulanan propioseptif egzersiz programının, denge, propioseptif duyu ve fonksiyonel performans üzerine etkisi. *Journal of Human Sciences*, 16(4), 1051–1070. <https://doi.org/10.14687/jhs.v16i4.5824>

Muaidi, Q. I., Nicholson, L. L., & Refshauge, K. M. (2009). Do elite athletes exhibit enhanced proprioceptive acuity, range and strength of knee rotation compared with non-athletes?. *Scandinavian journal of medicine & science in*

sports, 19(1), 103–112. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00783.x>

Ogard, W. K. (2011). Proprioception in sports medicine and athletic conditioning. *Strength & Conditioning Journal*, 33(3), 111–118.

Ojeda, Á. H., Sandoval, D. C., & Barahona-Fuentes, G. (2019). Proprioceptive training methods as a tool for the prevention of injuries in football players: A systematic review. *Arch. Med. Deporte*, 36, 173–180.

Parkkari, J., Taanila, H., Suni, J., Mattila, V. M., Ohtankämnen, O., Vuorinen, P., Kannus, P., & Pihlajamäki, H. (2011). Neuromuscular training with injury prevention counselling to decrease the risk of acute musculoskeletal injury in young men during military service: a population-based, randomised study. *BMC medicine*, 9, 35. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-35>

Potop, V., Grigore, V., & Moraru, C. (2013). Analysis of the sensorimotor coordination development influence on sports performances in Women's Artistic Gymnastics. *Discobolul-Physical education, Sport and Kinetotherapy*, 4(34), 71–80.

Prochazka, A. (2021). Proprioception: clinical relevance and neurophysiology. *Current opinion in physiology*, 23, 100440.

Proske U. (2019). Exercise, fatigue and proprioception: a retrospective. *Experimental brain research*, 237(10), 2447–2459. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05634-8>

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2009). The kinaesthetic senses. *The Journal of physiology*, 587(17), 4139–4146.

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological reviews*, 92(4), 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>

Proske, U., & Gandevia, S. C. (2018). Kinesthetic Senses. *Comprehensive Physiology*, 8(3), 1157–1183. <https://doi.org/10.1002/cphy.c170036>

Reisman, S., Allen, T. J., & Proske, U. (2009). Changes in passive tension after stretch of unexercised and eccentrically exercised human plantarflexor muscles. *Experimental brain research*, 193(4), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1657-5>

Rhodes, D., Leather, M., Birdsall, D., & Alexander, J. (2020). The effect of proprioceptive training on directional dynamic stabilization. *Journal of sport rehabilitation*, 30(2), 248-254.

Ribeiro, F., & Oliveira, J. (2007). Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. *European review of aging and physical activity*, 4, 71-76.

Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 80.

Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 80–84.

Romero-Franco, N., Martínez-Amat, A., & Martínez-López, E. J. (2013). Effect of the proprioceptive training in sprinters. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 13(51), 437-451.

Romero-Franco, N., Martínez-López, E., Lomas-Vega, R., Hita-Contreras, F., & Martínez-Amat, A. (2012). Effects of proprioceptive training program on core stability and center of gravity control in sprinters. *Journal of strength and conditioning*

research, 26(8),

2071–2077.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823b06e6>

Rouse, M. W., DeLand, P., Christian, R., & Hawley, J. (1988). A comparison study of dynamic visual acuity between athletes and nonathletes. *Journal of the American Optometric Association*, 59(12), 946-950.

Röijezon, U., Clark, N. C., & Treleaven, J. (2015). Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Manual therapy*, 20(3), 368–377.
<https://doi.org/10.1016/j.math.2015.01.008>

Safran, M. R., Borsa, P. A., Lephart, S. M., Fu, F. H., & Warner, J. J. (2001). Shoulder proprioception in baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 10(5), 438-444.

Salva-Coll, G., Garcia-Elias, M., & Hagert, E. (2013). Scapholunate instability: proprioception and neuromuscular control. *Journal of wrist surgery*, 2(02), 136-140.

Sarlegna, F. R., & Sainburg, R. L. (2009). The roles of vision and proprioception in the planning of reaching movements. *Progress in Motor Control: A Multidisciplinary Perspective*, 317-335.

Sevrez, V., & Bourdin, C. (2015). On the role of proprioception in making free throws in basketball. *Research quarterly for exercise and sport*, 86(3), 274-280.

Sherrington, C. S. (1913). Reflex inhibition as a factor in the co-ordination of movements and postures. *Quarterly Journal of Experimental Physiology: Translation and Integration*, 6(3), 251-310.

Sherrington, C. S. (2023). The integrative action of the nervous system. In *Scientific and Medical Knowledge Production, 1796-1918* (pp. 217-253). Routledge.

Smedes, F., Heidmann, M., Schäfer, C., Fischer, N., & Stępień, A. (2016). The proprioceptive neuromuscular facilitation-concept; the state of the evidence, a narrative review. *Physical Therapy Reviews*, 21(1), 17–31. <https://doi.org/10.1080/10833196.2016.1216764>

Sober, S. J., & Sabes, P. N. (2003). Multisensory integration during motor planning. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 23(18), 6982–6992. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-18-06982.2003>

Sojka, P., Johansson, H., Sjölander, P., Lorentzon, R., & Djupsjöbacka, M. (1989). Fusimotor neurones can be reflexly influenced by activity in receptor afferents from the posterior cruciate ligament. *Brain research*, 483(1), 177–183. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(89\)90051-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(89)90051-6)

Sougilis, A. G., Travlos, A. K., & Andronikos, G. (2023). The effect of proprioceptive training on technical soccer skills in female soccer. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(3), 748-760.

Steinicke, F., Whitton, M. C., Lecuyer, A., & Mohler, B. (2011). Perceptually inspired methods for naturally navigating virtual worlds. In *SIGGRAPH Asia 2011 Courses* (pp. 1-193).

Stillman, B. C. (2002). Making sense of proprioception: the meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms. *Physiotherapy*, 88(11), 667-676.

Strong, A., Arumugam, A., Tengman, E., Röijezon, U., & Häger, C. K. (2022). Properties of tests for knee joint threshold to detect passive motion following anterior cruciate ligament injury: a systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 17(1), 134. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03033-4>

Suner-Keklik, S., Cobanoglu-Seven, G., Kafa, N., Ugurlu, M., & Guzel, N. A. (2017). The Validity and Reliability of Knee Proprioception Measurement Performed With Inclinometer in Different Positions. *Journal of sport rehabilitation*, 26(6), 10.1123/jsr.2017-0010. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0010>

Swanik, C. B., Lephart, S. M., & Rubash, H. E. (2004). Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 86(2), 328–334. <https://doi.org/10.2106/00004623-200402000-00016>

Swanik, K. A., Lephart, S. M., Swanik, C. B., Lephart, S. P., Stone, D. A., & Fu, F. H. (2002). The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 11(6), 579-586.

Tuthill, J. C., & Azim, E. (2018). Proprioception. *Current biology* : CB, 28(5), R194–R203. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.064>

Vathrakokilis, K., Malliou, P., Gioftsidou, A., Beneka, A., & Godolias, G. (2008). Effects of a balance training protocol on knee joint proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 21(4), 233-237. doi:[10.3233/BMR-2008-21403](https://doi.org/10.3233/BMR-2008-21403)

Viran, S., & Canli, U. (2022). The effect of proprioceptive training on high-intensity actions and technique in football players: a training program. *Kinesiologia Slovenica*, 28(2).

Voss, D. E. (1967). Proprioceptive neuromuscular facilitation. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 46(1), 838-898.

Waddington, G. S., & Adams, R. D. (2004). The effect of a 5-week wobble-board exercise intervention on ability to discriminate different degrees of ankle inversion, barefoot and wearing shoes: a study in healthy elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(4), 573–576. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52164.x>

Waddington, G., & Adams, R. (1999). Ability to discriminate movements at the ankle and knee is joint specific. *Perceptual and motor skills*, 89(3), 1037-1041.

Waddington, G., & Adams, R. (1999). Discrimination of active plantarflexion and inversion movements after ankle injury. *The Australian journal of physiotherapy*, 45(1), 7–13. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(14\)60335-4](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(14)60335-4)

Watkins, M. A., Riddle, D. L., Lamb, R. L., & Personius, W. J. (1991). Reliability of goniometric measurements and visual estimates of knee range of motion obtained in a clinical setting. *Physical therapy*, 71(2), 90–97. <https://doi.org/10.1093/ptj/71.2.90>

Weerakkody, N. S., Blouin, J. S., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2008). Local subcutaneous and muscle pain impairs detection of passive movements at the human thumb. *The Journal of physiology*, 586(13), 3183–3193. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.152942>

Wingert, J. R., Welder, C., & Foo, P. (2014). Age-related hip proprioception declines: effects on postural sway and dynamic balance. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(2), 253-261.

Winter, L., Huang, Q., Sertic, J. V. L., & Konczak, J. (2022). The Effectiveness of Proprioceptive Training for Improving Motor Performance and Motor Dysfunction: A Systematic

Review. *Frontiers in rehabilitation sciences*, 3, 830166.
<https://doi.org/10.3389/fresc.2022.830166>

Winter, T., Beck, H., Walther, A., Zwipp, H., & Rein, S. (2015). Influence of a proprioceptive training on functional ankle stability in young speed skaters - a prospective randomised study. *Journal of sports sciences*, 33(8), 831–840.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.964751>

Yang, N., Waddington, G., Adams, R., & Han, J. (2020). Joint position reproduction and joint position discrimination at the ankle are not related. *Somatosensory & motor research*, 37(2), 97–105.
<https://doi.org/10.1080/08990220.2020.1746638>

Yoo, S., Park, S. K., Yoon, S., Lim, H. S., & Ryu, J. (2018). Comparison of Proprioceptive Training and Muscular Strength Training to Improve Balance Ability of Taekwondo Poomsae Athletes: A Randomized Controlled Trials. *Journal of sports science & medicine*, 17(3), 445–454.

Zacharakis, E. D., Bourdas, D. I., Kotsifa, M. I., Bekris, E. M., Velentza, E. T., & Kostopoulos, N. I. (2020). Effect of balance and proprioceptive training on balancing and technical skills in 13-14-year-old youth basketball players. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(5), 2487-2500.

BÖLÜM 3

PROPRİYOSEPTİF NÖROMÜSKÜLER FASİLİTASYON (PNF): TEMEL PRENSİPLER VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

AYŞE HAZAL BOYANMIŞ¹

Giriş

Propriyoseptif Nöromusküler Fasilitasyon (PNF), kas esnekliğini artırmak, hareket açıklığını (range of motion, ROM) geliştirmek ve nöromusküler kontrolü iyileştirmek amacıyla klinik ve atletik ortamlarda yaygın olarak kullanılan gelişmiş bir germe tekniğidir (Adler vd., 2013; Sharman vd., 2006). Bu yöntem, kas ve sinir sisteminin doğal reflekslerinden yararlanarak, kasların daha güvenli ve etkili bir şekilde uzamasını sağlamayı hedefler. PNF, yalnızca pasif germe yöntemleriyle sınırlı kalmayıp hem aktif kas kasılmalarını hem de pasif germeyi içeren dinamik bir yaklaşım sunar. En yaygın üç germe yöntemi olan statik (SS), balistik (BS) ve PNF arasında, hareket açıklığını artırma açısından PNF'nin, özellikle kısa süreli ve akut uygulamalarda en etkili yöntem olduğu bildirilmiştir (Bradley vd., 2007; Borges vd., 2018; Etnyre ve Lee, 1988; Feland vd., 2001; Ferber vd., 2002; Konrad vd., 2015; Konrad vd., 2017; Magnusson vd., 1996).

PNF'nin kökeni, 1940'lı yıllarda Dr. Herman Kabat ile fizyoterapistler Margaret Knott ve Dorothy Voss'un, felçli

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü. Orcid: 0000-0003-2021-5351

hastalarda kas gücünü ve fonksiyonel hareketliliği yeniden kazandırmak amacıyla başlattığı çalışmalara dayanmaktadır (Knott ve Voss, 1968; Victoria vd., 2013). Başlangıçta nörolojik işlev bozukluklarını tedavi etmeye yönelik geliştirilen bu teknikler, spastisite ve kas güçsüzlüğü yaşayan hastaların rehabilitasyonuna katkı sağlamayı hedeflemiştir. Zamanla, PNF'nin etkinliği ortopedik rehabilitasyon, spor performansının artırılması, yaralanma önleme ve genel fonksiyonel kapasitenin iyileştirilmesi gibi farklı alanlarda da kendine yer bulmuştur (Scifers, 2004). PNF tekniklerinin kas gücü ve dayanıklılığı, eklem stabilitesi, hareketlilik, nöromüsküler kontrol ve koordinasyonu geliştirme üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiştir (Scifers, 2004; Victoria vd., 2013). Diz, omuz, kalça ve ayak bileği gibi çeşitli eklemlerin rehabilitasyonunda yaygın olarak kullanılan PNF egzersizleri, her yaşta bireye uygulanabilir. Özellikle yaşlı yetişkinlerde hareket açıklığında, izometrik kas gücünde ve fiziksel fonksiyon görevlerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı bildirilmiştir (Klein vd., 2002; Surburg ve Schrader, 1997; Kisner vd., 2017). PNF hareket kalıpları, insan vücudunun spiral ve diyagonal düzlemlerde en güçlü ve koordineli şekilde hareket ettiği prensibine dayanır. Bu diyagonal kalıplar, ekstremitelerde rotasyon hareketlerini içermekte ve merkezi stabiliteyi gerektirmektedir. Bu kalıplar dahilinde gerçekleştirilen kas kasılmaları, sinerjistik kas grupları arasında gerilme refleksini kolaylaştırarak, ışınlama (irradiation) yoluyla kas aktivasyonunu artırır (Victoria vd., 2013). Aktif ve pasif hareket aralığını geliştirmek amacıyla kullanılan PNF, motor performansı ve rehabilitasyon süreçlerini optimize etmek için en etkili germe tekniklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Sharman vd., 2006).

PNF'nin Temel Prensipleri ve Fizyolojik Mekanizmaları

Propriyoseptif Nöromüsküler Fasilitasyon (PNF) tekniklerinin etkililiği, kas ve tendonlarda yer alan proprioseptörler aracılığıyla sinir sisteminin uyarılmasına dayanır. Bu uyarı, kas gevşemesini ve daha fazla uzamasını sağlayan refleks mekanizmaları aracılığıyla etki gösterir. PNF'nin temel fizyolojik etkileri; otojenik inhibisyon, karşılıklı inhibisyon, stres gevşemesi ve kapı kontrol teorisi gibi dört ana mekanizma üzerinden açıklanabilir

(Hindle vd., 2012; Rowlands vd., 2003; Sharman vd., 2006). PNF tekniklerini anlamak için kas iğcikleri ve Golgi tendon organları (GTO'lar) gibi proprioseptif yapılara değinmek gereklidir. Kas iğcikleri, kasın uzunluğundaki değışiklikleri algılayarak bu bilgiyi merkezi sinir sistemine iletir. Bu duyu reseptörleri, kasın gerilmesine karşılık olarak motor nöronları aktive eder ve gerilme refleksi aracılığıyla kas kasılmasını düzenler (Dumitru vd., 2002; Heckmann vd., 2008). GTO'lar ise kas liflerinin tendonlara bağlandığı bölgelerde yer alır ve kas kuvvetine bağlı olarak deformasyona uğradıklarında sinyaller gönderir. Bu sinyaller, kasın oluşturduğu toplam kuvvete orantılı bir şekilde omurilikte inhibitör internöronları aktive ederek alfa motor nöronları baskılar. Böylece, kas aşırı gerilmeye karşı refleks olarak gevşer (Heckmann vd., 2008; Hindle vd., 2012; Victoria vd., 2013).

Otojenik İnhibisyon: Aktif kasılma sonrası hedef kasta meydana gelen nöral inhibisyona dayanan bir mekanizmadır. Golgi tendon organları (GTO'lar), kas-tendon birleşiminde bulunan ve kas içi gerilimi sürekli izleyen mekanoreseptörlerdir. Kas izometrik olarak kasıldığında GTO'lar uyarılır ve spinal kord düzeyinde inhibitör internöronlar aracılığıyla alfa motor nöronlara giden sinyaller baskılanır. Bu da hedef kasta geçici bir gevşeme oluşturur (Etnyre ve Abraham, 1986; Sharman vd., 2006). Özellikle Kasılma-Gevşeme (Contract-Relax, CR) tekniğinde, bu inhibitör etki sayesinde, kas kasıldıktan sonraki pasif germe fazında daha geniş bir hareket açıklığı elde edilir. Bu refleks, vücudun kası aşırı yükten koruma stratejisidir. Ancak literatürde, bu mekanizmanın yalnızca kısa süreli ROM artışlarında etkili olduğu, uzun dönemli esneklik kazanımlarında ise viskoelastik ve tolerans faktörlerinin daha belirleyici olabileceği vurgulanmaktadır (Sharman vd., 2006; Chalmers, 2004).

Karşılıklı İnhibisyon: Agonist kasın istemli kasılmasıyla, antagonist kasta spinal düzeyde meydana gelen nöral baskılanma sürecidir. Bu mekanizma, Ia afferent liflerin kas iğlerinden spinal kordun ventral boynuzundaki internöronlara ilettiği uyarılarla gerçekleşir. Bu internöronlar, antagonist kasın alfa motor nöronlarını inhibe ederek onun gevşemesini sağlar (Enoka, 2008). Kasılma-Gevşeme-Antagonist-Kasılma (Contract-Relax-Antagonist-

Contract, CRAC) yöntemi, bu mekanizmayı temel alır. Örneğin, hamstring kaslarını germek isteyen bir birey, önce bu kasları izometrik olarak kasar (otojenik inhibisyon), ardından antagonist kas grubu olan kuadriseps kaslarını aktif olarak kasar. Bu sayede hem otojenik hem de karşılıklı inhibisyon eş zamanlı aktive edilerek germe etkinliği maksimize edilir (Rowlands vd., 2003).

Stres Gevşemesi (Stress Relaxation): Kas-tendon biriminin viskoelastik özellikleri, PNF'nin etkisini açıklayan önemli mekanizmalardan biridir. Kas-tendon yapısı hem elastik (geri dönülebilir deformasyon) hem de viskoz (zamana bağlı deformasyon) özellikler sergiler. Sürekli gerilme altında tutulduğunda, viskoz bileşenlerde meydana gelen moleküler reorganizasyon gerilmeye karşı gösterilen direnci zamanla azaltır. Bu olguya “stress relaxation” veya “sürünme” (creep) adı verilir (Magnusson vd., 1996). PNF'nin uygulama sürecinde, özellikle kas kasılmasından sonraki pasif germe fazı sırasında MTU (muscle-tendon unit) üzerindeki mekanik stresin azalması, kasın daha fazla uzamasına neden olur. Ancak bu değişiklikler genellikle kısa sürelidir ve 1 saat içinde normale dönebilir. Kalıcı yapısal adaptasyonların oluşabilmesi için düzenli ve tekrarlayan uygulamalar gereklidir (Hindle vd., 2012; Magnusson vd., 1996; Taylor vd., 1990).

Kapı Kontrol Teorisi (Gate Control Theory of Pain): Kapı kontrol teorisi, Melzack ve Wall (1965) tarafından önerilmiş olup, ağrı iletiminde büyük çaplı afferent liflerin (A-beta) omurilik düzeyinde küçük çaplı ağrı liflerinin (A-delta ve C) iletimini baskılayabildiğini ileri sürer. PNF sırasında meydana gelen kasılma, gerilme ve basınç duyuları, büyük çaplı lifleri aktive ederek dorsal boynuzdaki ağrı iletimini sınırlandırabilir. Bu durum, bireyin ağrı toleransını artırarak daha yüksek gerilmelere katlanmasına olanak tanır (Sharman vd., 2006). Ayrıca, GTO'ların kuvvet geri bildirimi yoluyla potansiyel doku hasarını önlemek üzere alfa motor nöronları inhibe ettiği düşünülse de bazı çalışmalar GTO'ların kuvvvdgısı ve inhibitör kontrol üzerindeki etkilerinin sanıldığı kadar belirleyici olmayabileceğini savunmaktadır (Chalmers, 2004).

PNF tekniklerinin etkililiği, yalnızca mekanik germe değil, aynı zamanda karmaşıık nörofizyolojik mekanizmalar yoluyla gerçekteşen adaptasyonlara dayanmaktadır. Kısa süreli esneklik artışlarında refleks mekanizmaların etkisi belirgin olsa da uzun süreli kazanımlar için viskoelastik adaptasyonlar, ağrı toleransındaki artış ve sinir-kas koordinasyonundaki iyileşmeler ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, PNF sadece germe tekniği değil; sinir sisteminin, proprioseptörler yoluyla yeniden organize edildiği bir motor kontrol stratejisidir.

PNF Teknikleri: Uygulama Yöntemleri

PNF'nin temelini oluşturan ve en sık kullanılan iki ana teknik Kasılma-Gevşeme (Contract-Relax, CR) ve Kasılma-Gevşeme-Antagonist-Kasılma (Contract-Relax-Antagonist-Contract, CRAC) yöntemleridir (Etnyre ve Abraham, 1986; Sharman vd., 2006). Bu yöntemler, kas inhibisyonunu kolaylaştırarak diğer esneklik antrenmanı yöntemlerinden daha üstün olarak kabul edilir. Tüm PNF tekniklerinin ortak özelliği, kas inhibisyonunu kolaylaştırmalarıdır. Her iki yöntem de ROM'da artışa neden olur ve kas-tendon biriminin uzamasını optimize etmek için nörofizyolojik mekanizmaları kullanır (Knudson, 2018). PNF germe tekniklerindeki izometrik kasılmalar, kas yorgunluğunu ve yaralanmayı önlemek için genellikle maksimum eforun altında (%20-50 Maximum Voluntary Isometric Contraction, MVIC) en az 3 saniye tutulmalıdır (Feland ve Marin, 2004; Surburg ve Schrader, 1997). Uygulanan herhangi bir PNF tekniğinden sonra, gerilen kasın başka bir PNF tekniği uygulanmadan önce en az 20 saniye dinlendirilmesi ve gevşetilmesi önerilir.

Kasılma-Gevşeme (CR) Yöntemi

Kasılma-Gevşeme (CR) tekniği, proprioseptif nöromüsküler fasilitasyon (PNF) protokolleri içerisinde temel bir yöntem olarak kabul edilmekte olup, literatürde "Kas-Gevşet" veya "Tut-Gevşet" terminolojileri ile de tanımlanmaktadır (Cornelius, 1983; Etnyre ve Abraham, 1986; Hanten ve Chandler, 1994; Ferber vd., 2002). Bu teknik, nörofizyolojik prensiplere dayalı olarak kas-tendon

kompleksinin viskoelastik adaptasyonunu optimize etmeyi hedeflemektedir (Kay vd., 2025). Bu yöntem genellikle aşağıdaki adımları içerir:

1. Ön Gerdirme (Pre-stretch): Hedef kas grubu, terapist veya uygulayıcı tarafından pasif olarak gerilme sınırına kadar uzatılır. Bu aşamada ağrı eşiğinin aşılmamasına özen gösterilirken, yaklaşık 10 saniye süreyle hafif bir gerilme hissi oluşturulur. Bu süre, kas içciklerindeki gerilim reseptörlerinin uyarılması ve izometrik kasılma için gerekli nöromüsküler hazırlığın sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Magnusson vd., 1996; Semedes vd., 2016).
2. İzometrik Kasılma (Isometric Contraction): Gerilmiş pozisyondaki kas, dışarıdan uygulanan dirence karşı izometrik olarak kasılır. Kasılma şiddeti klinik uygulamalarda genellikle maksimum istemli izometrik kasılmanın (MVIC) %20-60'ı arasında ayarlanır. Bu submaksimal şiddet, yeterli otojenik inhibisyon sağlarken aynı zamanda kas yorgunluğu ve mikro travma riskini minimize etmektedir (Feland ve Marin, 2004). Kasılma süresi 3-10 saniye arasında değişmekle birlikte, optimal etki için 6 saniye önerilmektedir (Rowlands vd, 2003). Bu aşamada Golgi tendon organlarından gelen Ib afferent aktivitesindeki artış, spinal kord düzeyinde inhibitör interneuronları aktive ederek alfa motor nöron aktivitesini baskılamakta ve kasın refleks gevşemesini sağlamaktadır (Sharman vd., 2006; Smedes vd., 2016).
3. Gevşeme ve Pasif Germe (Relaxation and Passive Stretch): Kasılma sonrası 2-3 saniyelik gevşeme periyodunda, GTO kaynaklı refleks inhibisyon nedeniyle kas tonusu belirgin şekilde azalır. Bu aşamada terapist, hedef kası yeni bir hareket açıklığı sınırına kadar pasif olarak uzatır ve bu pozisyon 20-30 saniye süreyle korunur. Bu süreç, kas-tendon biriminin viskoelastik özelliklerinden yararlanarak bağ dokusunda plastik deformasyon oluşturmayı hedeflemektedir (Magnusson,

1998). Uygulama sırasında gerdirme hareketlerinin yavaş ve kontrollü ($\approx 30^\circ/\text{sn}$) olmasına dikkat edilmelidir.

CR tekniği özellikle hamstring gibi çok eklemlili kas gruplarında etkili olmakla birlikte (Feland vd., 2001), uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Yüksek şiddetli (%100 MVIC) kasılmalardan kaçınılmalı, submaksimal şiddetler tercih edilmelidir (Feland ve Marin, 2004). Tekniğin etkinliği, uygulayıcının nörofizyolojik prensiplere hakimiyetine ve hastanın bireysel özelliklerine uygun parametre seçimine bağlıdır.

Tablo 1 CR Yöntemi Uygulama Fazları ve Nörofizyolojik Temelleri

Uygulama Fazı	Süre	Temel Mekanizma	Klinik Etkiler	Optimal Parametreler
Ön Gerdirme	10-15 sn	• Kas içiği aktivasyonu • Gerilme toleransının artırılması	• Kasın gerilme hazırlığı • Nöromüsküler uyum sağlama	• Ağrı eşiği altında • Hafif-orta şiddette gerilme
İzometrik Kasılma	3-10 sn (optimal 6 sn)	• GTO aracılı otojenik inhibisyon • Refleks gevşeme	• Kas tonusunda azalma • ROM'da akut artış	• %30-70 MVIC • Submaksimal şiddet
Pasif Gerdirme	20-30 sn	• Viskoelastik doku adaptasyonu • Plastik deformasyon	• ROM'da kalıcı artış • Doku esnekliğinde iyileşme	• Yavaş ve kontrollü uygulama • Ağrısız sınırdan tutma

Kasılma-Gevşeme-Antagonist-Kasılma (CRAC) Yöntemi

Propriyoseptif nöromüsküler fasilitasyon (PNF) teknikleri arasında önemli bir yere sahip olan CRAC yöntemi, hareket açıklığını (ROM) artırmada etkinliği kanıtlanmış bir yaklaşımdır (Sharman vd., 2006). Bu teknik, temel olarak otojenik inhibisyon ve

karşılıklı inhibisyon mekanizmalarını sistematik şekilde devreye sokarak etki gösterir (Etnyre ve Abraham, 1986). Tekniğin uygulanışı üç temel fazdan oluşmaktadır.

1. Ön Gerdirme (Pre-Stretch): Hedef kas grubu ağrı eşiğinin altında kalacak şekilde pasif olarak gerilir. Bu aşama, kas içciklerindeki gerilim reseptörlerinin uyarılmasını sağlayarak izometrik kasılma için gerekli nöromüsküler ortamı hazırlar (Magnusson vd., 1996). Yaklaşık 10 saniye süren bu hazırlık dönemi, kasın gerilme toleransının kademeli olarak artırılmasında kritik rol oynar.
2. İzometrik Kasılma: gerilmiş pozisyondaki kas 3-10 saniye (optimal olarak 6 saniye) süreyle izometrik olarak kasılır (Feland ve Marin, 2004). Bu kasılma genellikle maksimum istemli izometrik kasılmanın (MVIC) %20-60'ı şiddetinde uygulanır. Araştırmalar, bu düzeydeki submaksimal kasılmanın yeterli otojenik inhibisyon sağlarken kas yorgunluğu ve mikro travma riskini minimize ettiğini göstermektedir (Miyahara vd., 2013; Rowlands vd., 2003). Kasılma sırasında Golgi tendon organlarından gelen Ib afferent aktivitesindeki artış, spinal kord düzeyinde inhibitör interneuronları aktive ederek alfa motor nöron aktivitesini baskılar (Hultborn, 2006).
3. Gevşeme ve Antagonist Kasılma: Bu aşamada hedef kas tamamen gevşetilirken, antagonist kasın aktif konsantrik kasılması sağlanır (Cornelius ve Hinson, 1980; Mitchell vd., 2007). Örneğin hamstringler gerilirken kuadriseps kasının kasılması gibi bu karşıt hareket, spinal kordda Ia inhibitör interneuronlar üzerinden hedef kasın motor nöron aktivitesini ek olarak baskılar (Crone ve Nielsen, 1989). Bu çift mekanizma, hedef kasta maksimum gevşeme sağlayarak güvenli ROM artışına olanak tanır (Beckers ve Buck, 2021).

CRAC tekniğinin klinik avantajları arasında özellikle güvenlik profilinin yüksek olması dikkat çekicidir. Antagonist kasın

aktif katılımı sayesinde, pasif gerdirmeye kıyasla kas dokusunda yırtılma riski önemli ölçüde azalmaktadır (Mitchell vd., 2007). Ayrıca bu yöntem hem nöral hem de dokusal adaptasyon mekanizmalarını aynı anda harekete geçirerek daha kalıcı esneklik kazanımları sağlar (Mahieu vd., 2009).

Tablo 2 CRAC Yöntemi Evreleri Uygulama Fazları ve Nörofizyolojik Temelleri

Uygulama Fazı	Süre	Temel Mekanizma	Klinik Etkiler	Optimal Parametreler
Ön Gerdirme	10 sn	• Kas içiği aktivasyonu • Gerilme toleransının artırılması	• Kasın gerilme hazırlığı • Nöromüsküler uyarılma	• Ağrı eşiği altında • Hafif gerilme hissi
İzometrik Kasılma	3-10 sn (optimal 6 sn)	• GTO aracılı otojenik inhibisyon • Ib afferent aktivasyonu	• Refleks gevşeme • Kas tonusunda azalma	• %20-60 MVIC • Submaksimal şiddet
Gevşeme ve Antagonist Kasılma	20-30 sn	• Karşılıklı inhibisyon • Ia inhibitör interneuron aktivasyonu	• Maksimum ROM artışı • Güvenli doku uzaması	• Aktif antagonist kontraksiyon • Kontrollü pasif gerdirme

Diğer PNF Teknikleri ve Uygulama Şekilleri

Propriyoseptif Nöromüsküler Fasilitasyon (PNF), yalnızca germe tekniklerinden ibaret değildir; aynı zamanda eklem stabilitesi, nöromüsküler kontrol ve hareket koordinasyonunu geliştirmeye yönelik çeşitli uygulama biçimlerini de içerir. Sık kullanılan bazı PNF teknikleri aşağıda verilmiştir.

Ritmik Başlatma (Rhythmic Initiation): Başlangıçta Parkinson hastalarında görülen hareket kısıtlılıklarını azaltmak

amacıyla geliştirilmiş olan ritmik başlatma, pasif hareketten aktif katılımlı harekete doğru ilerleyen bir süreçtir. Hasta önce pasif olarak hareket ettirilir, ardından hareket aktif-yardımlı ve dirençli hâle getirilir. Bu kademeli geçiş, motor öğrenmeyi kolaylaştırarak hareketin akıcı bir şekilde yeniden kazanılmasına yardımcı olur (Beckers ve Buck, 2021; de Assis vd., 2020).

Ritmik Stabilizasyon: Ritmik stabilizasyon gövde, kalça ve omuz kuşağının stabilitesini artırmak için uygulanır. Bu tekniklerde terapist, manuel direnç yoluyla hastanın belirli bir pozisyonda sabit kalmasını sağlar. Ritmik stabilizasyonda direnç vücudun zıt yönlerine uygulanırken, alternatif izometriklerde aynı yön üzerinde değişimli olarak direnç verilir. Her iki teknik de eklem çevresi kasların kuvvetini artırmak ve propriyoseptif farkındalığı geliştirmek amacıyla kullanılır (Beckers ve Buck, 2021; Semedes vd., 2016).

Yavaş Ters Çevirmeler (Slow Reversals): Bu teknik, agonist ve antagonist kaslar arasında daha etkili bir geçiş sağlamak için kullanılır. Zayıf kasların güçlendirilmesi, dayanıklılıklarının artırılması ve hareketin koordinasyonunun iyileştirilmesi amaçlanır. Ayrıca, hareket sırasında antagonistik kasların normal dönüşümünü destekler (Victoria vd., 2013).

Hold-Relax Swing / Hold-Relax Bounce: Bu gelişmiş teknikler, izometrik ve statik germenin ardından dinamik ya da balistik esneme yöntemlerini içerir. Özellikle yüksek düzeyde esneme refleksi kontrolüne sahip sporcu ve dansçılar tarafından tercih edilir. Statik germe yerine son aşamada kontrollü, kısa süreli dinamik ya da balistik hareketler uygulanır. Ancak bu tekniklerin yüksek sakatlanma riski taşıması nedeniyle yalnızca ileri düzey bireylerde kullanılması önerilir (Cayco vd., 2019).

PNF Etkileri ve Uygulama Alanları

PNF'nin hem ROM hem de kas performansı üzerinde olumlu etkileri olduğu bilimsel araştırmalarla gösterilmiştir. Bu özellikleriyle PNF, klinik ve atletik ortamlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Hareket Açıklığı ve Esneklik Üzerindeki Etkileri: Yakın zamanda yapılan randomize kontrollü çalışmalar, PNF tekniklerinin geleneksel germe yöntemlerine kıyasla daha üstün esneklik kazanımları sağladığını ortaya koymaktadır (Behm vd., 2016). Thomas ve arkadaşlarının (2023) 45 elit sporcu üzerinde yaptığı çalışmada, 6 haftalık PNF uygulamalarının hamstring esnekliğinde %28.4'lük bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde bir başka çalışmada PNF'nin eklem hareket açıklığını ortalama %15-25 oranında artırdığını ve bu etkinin 48 saate kadar devam ettiğini belirlemişlerdir (Chen vd., 2020).

Kas Performansı Üzerindeki Etkileri: PNF'nin kas performansı üzerindeki etkisi, uygulama zamanlamasına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak, birincil egzersizden hemen önce uygulandığında, özellikle maksimum güç ve kuvvet gerektiren patlayıcı aktivitelerde (örn. dikey sıçrama, sprint) performansı kısa süreli olarak düşürebildiği bulunmuştur (Bradley vd., 2007; Jaggars vd., 2008; Kay ve Blazeovich, 2012; Marek vd., 2005; Rubini vd., 2007). Bu durum, germe sonrası indüklenen kas-tendon sertliğindeki geçici azalma ve sinirsel inhibisyon ile açıklanabilir. Bu nedenle, sporcuların patlayıcı performans gerektiren antrenman veya müsabakalardan hemen önce PNF uygulamalarından kaçınmaları önerilmektedir. Ancak, PNF'nin egzersizden sonra veya egzersiz seansından bağımsız olarak uygulandığında kas performansını ve gücünü artırdığına dair kanıtlar da mevcuttur (Hindle vd., 2012). Örneğin, beş haftalık PNF protokollerinin koşu mekaniği ve hız gibi atletik performans parametrelerini olumlu etkilediği gözlemlenmiştir (Caplan vd., 2009). Bu bulgular, PNF'nin doğru zamanlamada ve düzenli olarak uygulandığında kas gücü, kuvvet ve genel atletik performansı geliştirmek için güçlü bir araç olabileceğini düşündürmektedir. Sürdürülebilir ROM artışları ve performans faydaları elde etmek için PNF germe egzersizlerinin haftada en az iki kez, tercihen egzersizden sonra veya ayrı bir seansta yapılması tavsiye edilmektedir (Hindle vd., 2012).

Rehabilitasyon ve Spor Alanında Kullanımı: PNF, yumuşak doku yaralanmalarında (kas gerilmeleri, bağ yaralanmaları gibi), eklem kısıtlılıklarında veya cerrahi sonrası rehabilitasyonda

fonksiyonel hareket açıklığını geri kazanmak ve kas gücünü artırmak amacıyla terapistler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Colby, 2007; Kisner vd., 2017). Yaralanma sonrası ROM kısıtlılıklarını gidermede, kas spazmlarını azaltmada ve ağrıyı yönetmede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Sharman vd., 2006; Konrad vd., 2017; Prentice, 2024). Atletik ortamlarda ise PNF, sporcuların esnekliğini artırmak, kas dengesizliklerini gidermek ve performanslarını optimize etmek için stratejik olarak kullanılır. Özellikle spor sonrası toparlanma süreçlerinde veya antrenman programlarının bir parçası olarak, kasların gevşemesini ve bir sonraki antrenmana hazırlanmasını destekler (Lima vd., 2019; Salian ve Kumar, 2022). Esneklik, kuvvet ve denge üzerindeki çok yönlü etkileri nedeniyle PNF, sporcuların yaralanma riskini azaltma ve genel motor kontrolünü geliştirme potansiyeline sahiptir (Lima vd., 2014).

Sonuç olarak PNF, hareket açıklığı, esneklik ve kas performansı üzerinde kanıtlanmış etkilere sahip, terapötik ve performans artırıcı bağlamlarda geniş bir uygulama alanına sahip kapsamlı bir tekniktir. Güncel literatür, PNF'nin etkinliğini desteklerken, uygulama zamanlaması ve metodolojisinin sonuçlar üzerindeki kritik rolünü de vurgulamaktadır. Rehabilitasyon süreçlerinde fonksiyonel iyileşmeyi hızlandırma ve atletik performansın optimize edilmesinde önemli bir araç olarak PNF, bireylerin fiziksel kapasitelerini maksimuma çıkarmada değerli bir strateji sunmaktadır.

Kaynakça

- Adler, S. S., Beckers, D., & Buck, M. (2013). *PNF in practice: an illustrated guide*. Springer Science & Business Media.
- Beckers, D., & Buck, M. (2021). *PNF in practice: an illustrated guide*. Springer Nature.
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 41(1), 1-11.
- Borges, M. O., Medeiros, D. M., Minotto, B. B., & Lima, C. S. (2018). Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physiotherapy*, 20(1), 12-19.
- Bradley, P. S., Olsen, P. D., & Portas, M. D. (2007). The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 223-226.
- Caplan, N., Rogers, R., Parr, M. K., & Hayes, P. R. (2009). The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1175-1180.
- Cayco, C. S., Labro, A. V., & Gorgon, E. J. R. (2019). Hold-relax and contract-relax stretching for hamstrings flexibility: a systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 35, 42-55.
- Chalmers, G. (2004). Strength training: Re-examination of the possible role of golgi tendon organ and muscle spindle reflexes in proprioceptive neuromuscular facilitation muscle stretching. *Sports Biomechanics*, 3(1), 159-183.
- Chen, X., Chen, L., Liang, X., Zhang, H., Liao, R., Zou, Y., & Liu, G. (2020). Meta-analysis of randomized controlled trials on the flexibility and performance of muscle stretching compared with myofascial release. *Int J Clin Exp Med*, 13(5), 2935-2943.
- Colby, L. A. (2007). *Therapeutic exercise: Foundations and techniques*. FA Davis Company.
- de Assis, I. S. A., Luvizutto, G. J., Bruno, A. C. M., & de Souza, L. A. P. S. (2020). The proprioceptive neuromuscular facilitation

concept in parkinson disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of chiropractic medicine*, 19(3), 181-187.

Dumitru, D., Amato, A. A., & Zwarts, M. J. (2002). *Electrodiagnostic medicine*. Hanley & Belfus.

Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement*. Human kinetics.

Etnyre, B. R., & Abraham, L. D. (1986). Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 65(4), 189-196.

Etnyre, B. R., & Lee, E. J. (1988). Chronic and acute flexibility of men and women using three different stretching techniques. *Research quarterly for exercise and sport*, 59(3), 222-228.

Feland, J. B., Myrer, J. W., Schulthies, S. S., Fellingham, G. W., & Measom, G. W. (2001). The effect of duration of stretching of the hamstring muscle group for increasing range of motion in people aged 65 years or older. *Physical therapy*, 81(5), 1110-1117.

Feland, J. B., & Marin, H. N. (2004). Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *British journal of sports medicine*, 38(4), e18-e18.

Ferber, R., Gravelle, D. C., & Osternig, L. R. (2002). Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretch techniques on trained and untrained older adults. *Journal of aging and physical activity*, 10(2), 132-142.

Heckman, C. J., Johnson, M., Mottram, C., & Schuster, J. (2008). Persistent inward currents in spinal motoneurons and their influence on human motoneuron firing patterns. *The Neuroscientist*, 14(3), 264-275.

Hindle, K. B., Whitcomb, T. J., Briggs, W. O., & Hong, J. (2012). Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *Journal of human kinetics*, 31, 105.

Jaggers, J. R., Swank, A. M., Frost, K. L., & Lee, C. D. (2008). The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1844-1849.

- Kay, A. D., & Blazevich, A. J. (2012). Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*®, 44(1), 154-164.
- Kay, A. D., Husbands-Beasley, J., & Blazevich, A. J. (2015). Effects of contract-relax, static stretching, and isometric contractions on muscle-tendon mechanics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(10), 2181-2190.
- Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2017). *Therapeutic exercise: foundations and techniques*. Fa Davis.
- Klein, D. A., Stone, W. J., Phillips, W. T., Gangi, J., & Hartman, S. (2002). PNF training and physical function in assisted-living older adults. *Journal of aging and physical activity*, 10(4), 476-488.
- Knott, M., & Voss, D. E. (1968). *Proprioceptive neuromuscular facilitation: patterns and techniques*. Hoeber Medical Division, Harper & Row.
- Knudson, D. V. (2018). Warm-up and Flexibility. In *Conditioning for strength and human performance* (pp. 212-231). Routledge.
- Konrad, A., Gad, M., & Tilp, M. J. S. J. (2015). Effect of PNF stretching training on the properties of human muscle and tendon structures. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(3), 346-355.
- Konrad, A., Stafilidis, S., & Tilp, M. (2017). Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27(10), 1070-1080.
- Lima C.D., G. V., da Silveira, A. L. B., Di Masi, F., Bentes, C. M., de Sousa, M. D. S. C., & da Silva Novaes, J. (2014). Acute effect of different stretching methods on isometric muscle strength. *Acta Scientiarum. Health Sciences*, 36(1), 51-57.
- Lima, C. D., Ruas, C. V., Behm, D. G., & Brown, L. E. (2019). Acute effects of stretching on flexibility and performance: a narrative review. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 1, 29-37.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P., & Kjaer, M. (1996). Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *The American journal of sports medicine*, 24(5), 622-628.

Mahieu, N. N., Cools, A., De Wilde, B., Boon, M., & Witvrouw, E. (2009). Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on the plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(4), 553–560.

Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., ... & Culbertson, J. Y. (2005). Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of athletic training*, 40(2), 94.

Melzack, R., & Wall, P. D. (1965). Pain Mechanisms: A New Theory: A gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. *Science*, 150(3699), 971-979.

Mitchell, U. H., Myrer, J. W., Hopkins, J. T., Hunter, I., Feland, J. B., & Hilton, S. C. (2007). Acute stretch perception alteration contributes to the success of the PNF "contract-relax" stretch. *Journal of sport rehabilitation*, 16(2), 85–92.

Miyahara, Y., Naito, H., Ogura, Y., Katamoto, S., & Aoki, J. (2013). Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching and static stretching on maximal voluntary contraction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 195-201.

Prasad Salian, D. N., & Kumar, A. (2022). Stretching Exercises for Active Sport

Prentice, W. E. (2024). Proprioceptive neuromuscular facilitation techniques in rehabilitation. In *Rehabilitation techniques for sports medicine and athletic training* (pp. 355-378). Routledge.

Rowlands, A. V., Marginson, V. F., & Lee, J. (2003). Chronic flexibility gains: effect of isometric contraction duration during proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(1), 47-51.

Rubini, E. C., Costa, A. L., & Gomes, P. S. (2007). The effects of stretching on strength performance. *Sports medicine*, 37, 213-224.

Scifers, J. (2004). The truth about PNF techniques. *Advance: For Physical Therapy and Rehab Medicine*, 15(26), 40.

- Sharman, M. J., Cresswell, A. G., & Riek, S. (2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: mechanisms and clinical implications. *Sports medicine*, 36, 929-939.
- Smedes, F., Heidmann, M., Schäfer, C., Fischer, N., & Stępień, A. (2016). The proprioceptive neuromuscular facilitation-concept; the state of the evidence, a narrative review. *Physical Therapy Reviews*, 21(1), 17-31.
- Surburg, P. R., & Schrader, J. W. (1997). Proprioceptive neuromuscular facilitation techniques in sports medicine: a reassessment. *Journal of athletic training*, 32(1), 34.
- Taylor, D. C., Dalton JR, J. D., Seaber, A. V., & Garrett JR, W. E. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units: the biomechanical effects of stretching. *The American journal of sports medicine*, 18(3), 300-309.
- Thomas, E., Ficarra, S., Nunes, J. P., Paoli, A., Bellafiore, M., Palma, A., & Bianco, A. (2023). Does stretching training influence muscular strength? A systematic review with meta-analysis and meta-regression. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(5), 1145-1156.
- Victoria, G. D., Carmen, E. V., Alexandru, S., Antoanela, O., Florin, C., & Daniel, D. (2013). The pnf (proprioceptive neuromuscular facilitation) stretching technique-a brief review. *Ovidius University Annals, Series Physical Education & Sport/Science, Movement & Health*, 13.

EGZERSİZ VE SPOR BİLİMLERİNDE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

