**TÜRKİYE CUMHURİYETİ**
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**
**TIP FAKÜLTESİ**

# GENÇ BİREYLERDE AYAK BİLEĞİ KASSAL YORGUNLUĞUNUN PROPRİOSEPSİYON ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Dr. Mostafa KHORRAMFAR**

**SPOR HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI**
**TIPTA UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN**
**Prof. Dr. Ali Murat ZERGEROĞLU**

**ANKARA**
**2016**

# KABUL VE ONAY

## ANKARA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
### TEZ SINAVI TUTANAĞI

| I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİNİN | | |
|---|---|---|
| **Adı, Soyadı** | : Mostafa KHORRAMFAR | **Sınav tarihi:** 11/11/2016 |
| **Anabilim/Bilim Dalı** | : Spor Hekimliği Anabilim Dalı | |
| **Tez Danışmanı** | : Prof. Dr. Ali Murat ZERGEROĞLU | |

**II. TEZ İLE İLGİLİ BİLGİLER**

**Tezin Başlığı:** "Genç Bireylerde Ayak Bileği Kassal Yorgunluğunun Propriosepsiyon Üzerinde Etkisinin Değerlendirilmesi"

**Tezin Niteliği:** ☒ Ana Dal Uzmanlık Tezi ☐ Yan Dal Uzmanlık Tezi

**Kaçıncı tez sınavı olduğu:** ☒ 1 ☐ 2 ☐ 3

**III. KARAR**

Yapılan tez sınavı sonucunda yukarıda belirtilen tezin "Tıpta Uzmanlık Tezi" olarak

☒ Kabulüne

☐ Reddine

☐ Düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar değerlendirilmesine

☒ Oy birliği ☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.

**IV. AÇIKLAMALAR**

*Lütfen, tezin reddi veya düzeltme istenmesi durumunda gerekçeli açıklamalarınızı buraya yazınız*

**Prof. Dr. Rüştü GÜNER**
**Jüri Başkanı**
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Spor Hekimliği Anabilim Dalı

**Prof. Dr. Ali Murat ZERGEROĞLU**
**Jüri Üyesi**
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Spor Hekimliği Anabilim Dalı

**Prof. Dr. Haydar DEMİREL**
**Jüri Üyesi**
Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi
Spor Hekimliği Anabilim Dalı

# ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan değerli hocalarım; Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Rüştü GÜNER'e, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ali Murat ZERGEROĞLU'na, sayın Prof. Dr. Bülent ÜLKAR'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan emekli öğretim üyemiz sayın Prof. Dr. Emin ERGEN'e,

Bilgi, beceri ve deneyimleri ile her zaman destekte bulunan sayın Uzm. Dr. Mehmet Mesut ÇELEBİ'ye,

Beraber çalıştığımız asistan arkadaşlarım olan Uzm. Dr. Aydın BALCI'ya, Uzm. Dr. Bilgehan ÖZTOP'a, tezimin başlangıcında beni yalnız bırakmayan ve yol gösteren Uzm. Dr. Burak FARİZ'e, Uzm. Dr. İbrahim DÜNDAR'a, Asistan Dr. Selçuk GÜL'e, Asistan Dr. İsmail KAYA'ya ve Asistan Dr. Burak Ekin DALBAYRAK'a,

Fizyoterapi alanındaki bilgi ve deneyimlerinden çok şey öğrendiğim Uzm. Fzt. Figen ÖZKAN'a, Uzm. Fzt. Meltem DEMİR'e ve Uzm. Fzt. Çiğdem BAYIR'a,

Asistanlık dönemi boyunca çok iyi zaman geçirdiğim değerli mesai arkadaşlarım, Arzu REYHAN'a, Senem KOÇAK'a, Hülya SAYKUN'a ve bir çok sıkıntılarımda bana yardımcı olan değerli personelimiz Faruk FİDAN'a ve diğer bölüm personelimize,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan ve hayatımda her şeyimi onlara borçlu olduğum annem Şehnaz MOHTADI ve babam Eynollah KHORRAMFAR'A, ağabeyim Bijan ve kardeşim Aynaz KHORRAMFAR'a,

Tüm destekleri için, kayın validem Fahimeh MANSOURFAR ve eşimin kardeşi Mahsa KHABBAZPOUR AHRABİ'ye, ve son olarak hep yanımda olan ve çalışmam boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan canım eşim Maryam KHABBAZPOUR AHRABİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

**Dr. Mostafa KHORRAMFAR**

Ankara-2016

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No:**

KABUL VE ONAY ..... ii
ÖNSÖZ ..... iii
İÇİNDEKİLER ..... iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... vi
ŞEKİLLER DİZİNİ..... viii
1. GİRİŞ VE AMAÇ ..... 1
2. GENEL BİLGİLER ..... 4
2.1. AYAK BİLEĞİ ANATOMİSİ ..... 4
2.1.1. Ayak Bileği Kemikleri ..... 4
2.1.2. Ayak Bileği Eklemleri ..... 5
2.1.3. Ayak Bileği Kasları ..... 7
2.1.3.1. Ön yüz kasları ..... 7
2.1.3.2. Lateral bölge kasları ..... 8
2.1.3.3. Ayak bileğinin arka yüzeyel yerleşimli kasları ..... 9
2.1.3.4. Ayak bileği arka derin yerleşimli kasları: ..... 9
2.1.4. Ayak Bileği Hareketleri ..... 10
2.2. PROPRİYOSEPSİYON ..... 11
2.2.1. Tarihçe ..... 11
2.2.2. Terminoloji ..... 11
2.2.3. Propriosepsiyon ve Nöromusküler Kontrol Anatomi ve Nörofizyolojisi ..... 12
2.2.3.1. Mekanoreseptörler ..... 13
2.2.3.2. Afferent ve Efferent nöral yollar: ..... 15
2.2.3.3. Nöromusküler Kontrol ..... 16
2.3. PROPRİOSEPSİYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ ..... 17
2.4. YORGUNLUK ..... 19
2.4.1. Genel yorgunluk ..... 21
2.4.1.1. Merkezi Yorgunluk ..... 21
2.4.1.2. Periferik Yorgunluk ..... 22

2.5. İZOKİNETİK SİSTEMDE YORGUNLUK EGZERSİZİ .....28
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....29
3.1. İSTATİSTİKSEL ANALİZ .....41
4. BULGULAR .....42
5. TARTIŞMA.....48
6. SONUÇLAR .....55
ÖZET.....56
SUMMARY .....57
7. KAYNAKLAR .....58
EKLER.....71
Ek 1. Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu .....71
EK-2. Sosyodemografik-Klinik Bilgi Formu .....77

# SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|---|---|---|
| **ADP** | **:** | Adenosine diphosphate |
| **AMP** | **:** | Adenosine monophosphate |
| **ATP** | **:** | Adenosine triphosphate |
| **$Ca2^+$** | **:** | Kalsium iyonu |
| **CNS** | **:** | Central Nerve System |
| **CON** | **:** | Concentric |
| **Cr** | **:** | Creatine |
| **°C** | **:** | Derece santigrat |
| **ECC** | **:** | Eccentric |
| **EMG** | **:** | Elektromiyografi |
| **$H^+$** | **:** | Hidrojen iyonu |
| **HT** | **:** | High-Threshold |
| **$K^+$** | **:** | Potasyom iyonu |
| **LT** | **:** | Low-Threshold |
| **$Mg2^+$** | **:** | Magnezium iyonu |
| **MSS** | **:** | Merkezi Sinir Sistemi asitlik |
| **$NH_3$** | **:** | Amonyak |
| **Nm** | **:** | Newton-metre |
| **p** | **:** | p değeri (güven aralığı) |
| **Pcr** | **:** | Phosphocreatine |
| **pH** | **:** | Power of Hydrogen (Bir veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir) |
| **Pi** | **:** | Phosphorus |
| **PT** | **:** | Peak Torque |

**QA** : Quick-Adapting

**SA** : Slow-Adapting

**°/sn** : Derece/Saniye

**Std.** : Standard

**VKİ** : Vücut kitle indeksi

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No:**


**Şekil 2.1.** Ayak Bileği Anterolateral Kaslar Görünümü. ..... 8
**Şekil 2.2.** Afferent ve efferent yolları kas iğciği ve motor yanıtlarıyla periferik reseptörlerine bağlanması. ..... 12
**Şekil 2.3.** Nöromusküler kontrol yollar ve motor kontrolün 3 düzeyi ..... 15
**Şekil 2.4.** Hill'in egzersiz performans kardiyovasküler/anaerobik/katastrofik modeli ..... 23
**Şekil 3.1.** Bisiklet ile Isınma Egzersizi ..... 31
**Şekil 3.2.** İzokinetik (CON/ECC) Yorgunluk Egzersizi ..... 32
**Şekil 3.3.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 10° Eversiyonda ..... 34
**Şekil 3.4.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 10° Eversiyonda ..... 34
**Şekil 3.5.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 20° İnversiyonda ..... 36
**Şekil 3.7.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 25° Plantar Fleksiyonda ..... 38
**Şekil 3.8.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 25° Plantar Fleksiyonda ..... 38
**Şekil 3.9.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 15° Dorsal Fleksiyonda ..... 40
**Şekil 3.10.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 15° Dorsal Fleksiyonda ..... 40

# TABLOLAR DİZİNİ

**Sayfa No:**

**Tablo 2.1.** Ayak bileği kaslarının işlevsel sınıflanlanması .....10
**Tablo 4.1.** Deneklerin Genel Özellikleri .....42
**Tablo 4.2.** Yorgunluk Öncesi ve Sonrası Hedef Dereceye Göre Ortalama Error ve Standart Sapma (Std. Sapma), Yorgunluk Egzersizinin 4 Açıda Propriosepsiyon Testi Üzerine Etkisi.....43
**Tablo 4.3.** Yorgunluk Öncesi ve Sonrası (Zaman) ile Yön ve Aktif/Pasif Propriosepsiyon Arasında Olan Etkileşim.....44
**Tablo 4.4.** Yön ile Aktif/Pasif Propriosepsiyon Arasında Olan Etkileşim .....44

# GRAFİKLER DİZİNİ

**Sayfa No:**

**Grafik 1.** Eversiyon Çubuk Grafiği.....45
**Grafik 2.** İnversiyon Çubuk Grafiği.....46
**Grafik 3.** Plantar Fleksiyon Çubuk Grafiği.....46
**Grafik 4.** Dorsal Flesksiyon Çubuk Grafiği.....47

# 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Fiziksel aktif bir yaşam tarzı tüm yaş grupları için zevk, rahatlama, rekabet, sosyalleşme, fitness, iyileşme ve sağlık gibi çeşitli nedenlerden dolayı önemli rol taşımaktadır (1,2). Fiziksel aktivitelere katılımın artması ile birlikte görülen yaralanmaların artışı spor bilimcileri, sporcular ve hekimlerin spor yaralanma mekanizmalarına ve bunların önlenmesi üzerine ilgilerinin artışını da beraber getirmiştir (3,4). Yapılan araştırmalar kas-iskelet yaralanmaları arasında ayak bileği yaralanmalarının en yayın olduğunu göstermiştir (5-7). Ayak bileği burkulması en yaygın ayak bileği yaralanması olarak görülmektedir (8-11).

Fonksiyonel instabilite ayak bileği burkulması sonucunda yaygın bir şekilde (%40 ayak bileği lateral bağlar yaralanması sonrasında) ortaya çıkmaktadır (12,13). Fonksiyonel ayak bileği instabilitesi, tekrarlayan ayak bileği burkulmaları ve subjektif ayak bileği boşa gitme hissi olarak açıklanmıştır (12,13). Ayak bileğinin fonksiyonel instabilitesinin nedenleri arasında mekanik instabilite, peroneal kas zayıflığı ve proprioseptif bozukluğu gibi durumlar gösterilmiştir. (14-18). Çeşitli bileşenlerin ayak bileği eklem pozisyon duyusu üzerine olan katkıları iyi anlaşılamamıştır. Ancak geleneksel görüş olarak, eklem kapsülü ve bağlarının, ayak bileği propriosepsiyonunda büyük katkıları olduğu düşünülmektedir (19,20).

Eklem kapsülü ve bağları, ayak bileğinin proprioseptif girdilerine katkıda bulunan esas yapılar olarak kabul edilirse, eklem kapsülü ve bağları hasar gören bireylerde, ayak bileği proprioseptif bozukluğun olabileceği beklenebilir (20). Bu varsayımı destekleyen çalışmalar yanında (21-23) aksi yönde çalışmalar da mevcuttur (16,24).

Eklem kapsül ve bağlarının ayak bileği propriosepsiyonu üzerinde düşünülen katkılarının yok sayılması durumunda, diğer yapıların rollerinin önceden düşünüldüğünden daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. 1976 yılında kas iğciği'nin orta parmak distal falanks eklem pozisyon hissinde belirgin şekilde rol oynadığı gösterilmiştir (25). Sonraki yıllarda da çeşitli çalışmalarda kas iğciğinin katkısı propriosepsiyon patofiziyolojisinde sandığımızdan daha da fazla olduğu açıklanmıştır

(16,26-32). 1986 yılında Skinner ve arkadaşlarının diz üzerinde ve 1996'da Voight ve arkadaşlarının omuz üzerinde yaptıkları çalışmalar, kas yorgunluğuna ikincil olarak, eklem propriosepsiyonunda belirgin kayıplar göstermiştir (33,34).

Ayak bileği yaralanmasının rekürrensinin yüksek olmasının, tam olarak eklem kapsül ve bağları ve bunların içerdiği mekanoreseptörlerin hasarının sonucu olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda ayak bileğindeki tekrarlayan yaralanmaların peroneal kas hasarına yol açtığı da ayrıca tespit edilmiştir (35). Aslında, peroneal kas güçsüzlüğünün ayak bileği kronik instabilitesi olan hastalarda ortaya çıktığı belirlenmiştir (13). Bu nedenle, ayak bileği yaralanmalarının tekrarlanmasının, ayak bileği kaslarının propriosepsiyon duyusunun kısmi kaybına neden olabileceği düşünülmektedir. Skinner (33) ve Voight'un (34) gösterdiği gibi kas iğciği eklem pozisyon hissinde önemli rol oynayıp yorgunluktan etkileniyorsa, yorgunluk ayak bileğinin proprioseptif özellikleri üzerinde bir etkiye sahip olabilir varsayımı mantıklı bulunmaktadır. Ayrıca, propriosepsiyonun kısa süreli egzersiz sonrası nöromüsküler kontrolde geçici değişikler şeklinde etkilendiği ve dolayısıyla ayak bileği yaralanma riskinin artışına neden olduğu gösterilmiştir (32,36,37). Böylece, egzersize bağlı kas yorgunluğunun lokal eklem propriosepsiyonunu değiştirdiği ve aktivitenin son aşaması esnasında spor yaralanmalarının sık oluşumunu açıklayan bir teorik temel olarak kabul edilebilir (36).

Önceki çalışmalarda ayak bileği plantar fleksiyon ve dorsifleksiyon sırasında yorgunluğun eklem pozisyon duyusu üzerine etkisi araştırılmıştır (20,38,39). Ayrıca, South ve Sandrey'in çalışmalarında ayak bileği evertor kaslar yorgunluğunun eklem pozisyon duyusu üzerine etkisi incelenmiştir. Sandrey'in çalışma sonuçları tüm açılarda kassal yorgunluğun EPD üzerine etkisinin olduğu ve South'un çalışmasında kassal yorgunluğunun etkisi olmadığı gösterilmiştir (40,41). Bir başka çalışmada evertor ve invertor kaslar yorgunluğunun eversiyon ve inversiyon açılarında ayak bileği propriosepsiyonu üzerine negatif etkisi araştırılmış, eversiyon ile inversiyonun küçük açılarında (10°) propriosepsiyonun etkilendiği gösterilmiştir (42).

Bu çalışmanın amacı ayak bileği kas grupları egzersiz sonrası yorgunluğunun eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon yönlerindeki, eklem

propriosepsiyonu üzerine olan etkisini incelemek ve bunu aktivite sonrası yorgunluktan kaynaklanan yaralanmaların önlenmesi konusunda pratiğe uyarlamaktır.

## 1.1. ÇALIŞMANIN HİPOTEZİ

1. İzole izokinetik kassal yorgunluk egzersizinin (CON/ECC) ayak bileği eklem pozisyon duyusunu eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyonda negatif şekilde etkilediği öngörüsüdür.

2. Ayak bileğinde yaygın olarak inversiyon tarzı burkulma oluşmaktadır. Buna, evertor (peroneal) kaslarının zayıflığı ve yorgunluğu önemli nedenlerden birisi olarak bildirilmektedir. Kassal yorgunluğunun propriosepsiyonu etkilediği varsayımını göz önünde bulundurularak en çok eversiyon açılarında eklem pozisyon duyusunun etkilendiği öngörülebilir.

# 2. GENEL BİLGİLER

## 2.1. AYAK BİLEĞİ ANATOMİSİ

Hareket sistemi, kemikler, eklemler ve kaslar olmak üzere üç temel yapıdan oluşur. Kemikler, hareket sisteminde vücudun iskeletini oluşturup kaslar için tutunma yeri sağlarlar. Hareketin meydana gelmesine bir kaldıraç gibi görev yaparak yardımcı olurlar. İskelet sisteminde kemikler ve eklemler pasif, kaslar ise aktif elemanlar olarak tanımlanıp, istemli hareketlerin ortaya çıkmasında önemli rol taşırlar (43,44).

Ayak bileğinde üst üste iki eklem bulunur. Üstte olan tibia ve talus eklem yüzleri arasında üç kemikten oluşan menteşe şeklinde bir eklem, sagittal planda sadece plantar fleksiyon ve dorsifleksiyon hareketi yapabilir. Altta olan calcaneus ile talus kemiği arasındaki subtalar ekleminin hareketi ise son derece kısıtlıdır ve ayağın yanlara hareketine izin verir. Ayak bileği insan vücudunun hareketi ve postür kontrolünün önemli bir yapısıdır. Ayak bileği içte medial malleol, dışta fibulanın lateral malleolü, önde ve arkada tibial kenarlar ile kemiksel stabilitesi olan bir eklemdir (44,45).

### 2.1.1. Ayak Bileği Kemikleri

Ayak bileğinde iki adet uzun bir adet yassı kemik olmak üzere üç adet kemik bulunur. Bu kemikler vücut ağırlığının taşınmasında ve ayaklara iletilmesinde görevlidir. Ayrıca üzerlerine yapışan kaslar ile hareketin oluşmasını sağlarlar.

**Tibia:** Bacağın medialinde bulunan uzun kemiktir. Proksimalde femur ile diz eklemini yapan Condylus lateralis ve Condylus medialis bulunur. Condylus lateralisin alt arka kısmında facies articularis fibularis mevcuttur. Tibianın üst ön kısmında tuberositas tibia vardır. Tibianın, facies medialis, facies lateralis ve facies posterior olmak üzere üç yüzü; margo anterior, margo medialis ve margo lateralis olmak üzere üç kenarı vardır. Distalde ise malleolus medialis, incisura fibularis ve facies articularis

inferior bulunur. Malleolus medialisin lateralinde Talus ile eklem yapan facies articularis malleoli bulunur (44).

**Fibula:** Bacağın lateralinde bulunan uzun kemiktir. Proksimalde tibia ile eklem yapan caput fibulae mevcuttur. Fibulanın üst 2/3'lük bölümü dört tane kenar dört tane yüzden oluşmaktadır. Alt 1/3'lük kısmı ise üç tane kenar ve üç tane yüzden oluşur. Distal ucu genişleyerek malleolus lateralis adını alır ve facies articularis malleoli vasıtasıyla talus ile eklem yapar (44).

**Talus:** Vücut ağrılığını gövdeden ayağa ileten kemiktir. Tibia ve fibula ile eklem yapar. Caput, collum ve corpus olmak üzere üç kısımdan oluşur. Caput tali önden os naviculare ile, alttan ise calcaneus ile eklem yapar. Corpus tali ise medialde malleolus medialis ile lateralde malleolus lateralis ile eklem yapar. Talusa birçok bağ yapışır, ancak hiç kas yapışmaz (44).

**Calcaneus:** Talus ile birlikte vücut ağırlığının önemli bir kısmını taşır. Calcaneusun ön üçte ikisi üst kısımda talus ile subtalar eklemi yapar ve arka üçte biri topuğu oluşturur. Ön yüzde Cuboid kemikle eklem yaparak Transverse tarsal eklemin lateral kısmını oluşturur (44).

### 2.1.2. Ayak Bileği Eklemleri

Ayak bileği bölgesinde uzun kemiklerin kendi aralarında yaptıkları ve talus ile oluşturdukları, ayrıca talus ile calcaneus arasındaki eklem olmak üzere üç eklem vardır. Bu eklemler ligamentler yardımıyla kemikleri birbirine bağlar ve hareket oluşmasında görev alırlar (43,44,46).

**Art. Tibiofibularis Distalis (Syndesmosis Tibiofibularis):** Tibia alt ucu lateralindeki incicura fibularis ile fibula alt ucu arasında syndesmosis tipi eklemdir ve bu nedenle kapsülü yoktur. Çok az kayma hareketine izin verir. Ayak bileği ekleminin kuvvetinin çoğu bu ekleme bağlıdır.

Bağları:

Lig. Tibiofibulare anterius

Lig. Tibiofibulare posterius

Lig. İnterosseum

Lig. Transversum inferius

**Art. Talocruralis:** Tibia ve fibula'nın distal uçları ile talus'un üst kısmı arasında oluşan ginglymus tipi eklemdir.

Bağları:

Capsulaarticularis

Lig. Collaterale mediale (Lig. deltoideum); dört parçadan oluşur:

-Pars tibionaviculare

-Pars tibiocalcanea

-Pars tibiotalaris anterius

-Pars tibiotalaris posterius

Lig. Collaterale laterale; üç parçadan oluşur:

-Lig. Talofibulare anterius

-Lig. Talofibulare posterius

-Lig. Calcaneofibulare

**Art. Subtalaris:**

Talus ile calcaneus arasında synovial tipi eklemdir.

Bağları:

Lig. Talocalcaneum mediale

Lig. Talocalcaneum laterale

Lig. Talocalcaneum posterius

Lig. Talocalcaneum interosseum

### 2.1.3. Ayak Bileği Kasları

Ayak bileği ve çevresinde olan kaslar yerleşim yerleri ve bunun neticesinde kemiklere yaptırdıkları hareketlere göre sınıflandırılmışlardır.

Ön yüzdeki kaslar ayak bileğine dorsal fleksiyon yaptırırken, bir kısmı bunun yanında inversiyon veya eversiyon hareketlerine destek olur (43, 44, 46).

#### 2.1.3.1. Ön yüz kasları

**M. Tibialis Anterior:** Tibia'nın üst 2/3 lateral yüzeyinden başlar, medial cuneiforme ve 1. Metatarsal kemikte sonlanır. Bacağın önünden ayağın medial kısmına geçiş yapar. Ayak bileğine dorsal fleksiyon ve inversiyon yaptırır. N. Peroneus profundus tarafından innerve edilir.

**M. Extensor Digitorum Longus:** Tibia'nın lateral kondilinden ve fibula'nın ön yüzeyinden başlar, ayak bileğini geçtikten sonra 4 parçaya ayrılır ve 4 lateral parmağın orta ve distal falankslarına sonlanır. 2-5. parmaklara ve ayak bileğine dorsal fleksiyon ve eversiyon yaptırır. N. Peroneus profundus tarafından innerve edilir.

**M. Peroneus Tertius:** Fibula'nın alt kısmından başlar, önden lateral malleolus tarafına geçiş yaparak 5. metatarsal kemiğin arka yüzeyinde sonlanır. Ayak bileğine dorsal fleksiyon ve ayağa eversiyon yaptırır. N. peroneus profundus tarafından innerve edilir.

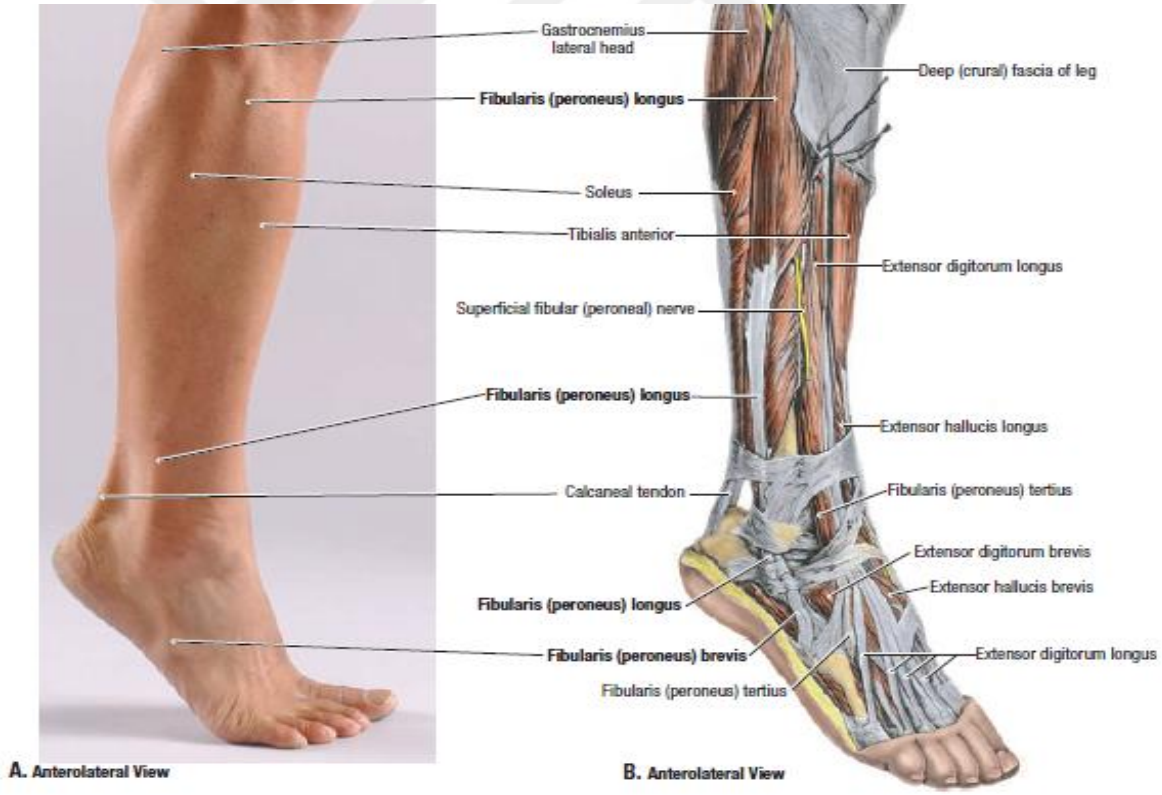
**M. Extensor Hallucis Longus:** Fibula'nın orta kısmı ön yüzeyinin iç tarafından başlar, 1. parmağın distal falanksında sonlanır. Başparmak ve ayağa dorsal fleksiyon yaptırır, ayağın inversiyonuna yardımcı olur. N. peroneus profundus tarafından innerve edilir.

Ayak bileğinin lateral bölgesindeki kaslar ise ayak bileğine çoğunlukla plantar fleksiyon yaptırırlar. Bunun yanında eversiyona da destekte bulunurlar (43,44,46).

### 2.1.3.2. Lateral bölge kasları

**M. Peroneus (fibularis) Longus:** Fibulanın baş ve üst kısmının dış yüzeyinden başlar, posterior yüzeyden lateral malleolusa, sonrasında ayağın altından mediale doğru geçiş yaparak os cuneiforme ve 1. metatarsal kemikte sonlanır. Ayak bileğine dorsal fleksiyon ve ayağa eversiyon yaptırır. N. peroneus superficialis tarafından innerve edilir.

**M. Peroneus (fibularis) Brevis:** Fibula'nın alt kısmı dış yüzeyinden başlar, lateral malleolusun arkasından geçerek 5. Metatarsal kemiğin dorsal yüzeyinde sonlanır. Ayağa plantar fleksiyon ve eversiyon yaptırır. N. peroneus superficialis tarafından innerve edilir. Ayak bileği arkasında yerleşen kaslar yüzeyel ve derin grup olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Ayak bileğinin, ayak parmaklarının plantar fleksiyonunu sağlar, bunun yanında bazı kaslar inversiyona destek olur (43,44,46).




**Şekil 2.1.** Ayak Bileği Anterolateral Kaslar Görünümü (119).

#### 2.1.3.3. Ayak bileğinin arka yüzeyel yerleşimli kasları

**M. Gastrocnemius:** İki başlı bir kastır. Femurun medial ve lateral kondillerinden başlar, calcaneusun arka yüzeyinde sonlanır. Ayağa plantar fleksiyon ve dize fleksiyon yapar. Dizin tam açık durumunda en güçlü plantar fleksor'dur. N. tibialis tarafından innerve edilir.

**M. Soleus:** Gastrocnemiusun altında yerleşmiştir. Tibia ve fibulanın üst kısımlarından başlar, M.gastrocnemius lifleriyle birleşerek ve Achilles tendonunu oluşturarak calcaneusta sonlanır. Ayağa plantar fleksiyon yaptırır. N. tibialis tarafından innerve edilir.

**M. Plantaris:** Femurun lateral epikondilinden başlar, calcaneusta sonlanır. Ayağın plantar fleksiyonuna yardımcı olur. N. tibialis tarafından innerve edilir.

#### 2.1.3.4. Ayak bileği arka derin yerleşimli kasları

**M. Tibialis Posterior:** Tibia ve fibula'nın arka yüzeyi üst kısımlarından başlar, önceki iki kas gibi arkadan gelip medial malleolusa doğru geçiş yaparak Navicular, Cuboid, Cuneiform kemikler ve 2-5. metatarsal kemiklerin tabanında sonlanır. Ayağa inversiyon yaptırır, plantar flkesiyonda yardımcı olur. N. tibialis tarafından innerve edilir.

**M. Flexor Digitorum Longus:** Tibia'nın orta kısım arak yüzeyinden başlar, arka taraftan medial malleolusa doğru geçiş yaparak 2-5. parmakların distal falankslar tabanında sonlanır. 2-5. Parmaklara fleksiyon, ayağa plantar fleksiyon ve inversiyon yaptırır. N. tibialis tarafından innerve edilir.

**M. Flexor hallucis Longus:** Fibula'nın orta kısım arka yüzeyinden başlar, arka yüzeyden medial malleolusa doğru geçiş yaparak 1. parmağın distal falanksı plantar yüzeyinde sonlanır. 1. parmağa fleksiyon, ayak bileği ve ayağın plantar fleksiyon ve inversiyonuna yardımcı olur. N. tibialis tarafından innerve edilir. Ayak bileği kasları aşağıdaki tabloda ayak bileği yönlerine göre sınıflandırılmıştır:

**Tablo 2.1.** Ayak bileği kaslarının işlevsel sınıflanlanması (46,47)

| Plantar Fleksörler | Dorsal Fleksörler | Evertörler | İnvertörler |
|---|---|---|---|
| Gastrocnemius<br>Soleus<br>Plantaris<br>Peroneus longus<br>Peroneus brevis<br>Tibialis Posterior<br>Flexor digitorumlongus<br>Flexor hallucislongus | Tibialis anterior<br>Extensor digitorumlongus<br>Extensor hallucislongus<br>Peroneus tertius | Peroneuslongus<br>Peroneus brevis<br>Peroneus tertius | Tibialis posterior<br>Tibialis anterior |

### 2.1.4. Ayak Bileği Hareketleri

Ayak bileği bölgesinde fonksiyonel terminoloji çok yanıltıcıdır, çünkü aynı terim farklı şeyler için kullanılabilir. Hareketlerin tanımlar ve açıklamaları şunlardır:

**Plantar fleksiyon - Dorsi fleksiyon:** Ayak bileği ekleminde hareketi gösterir, plantar fleksiyon talocrural eklemde öne ve aşağıya doğru, dorsifleksiyon tibia ve yukarıya doğru hareketlerdir.

**İnversiyon - Eversiyon:** 3 hareketin birleşiminden oluşmaktadır. İnversiyonda varus hareketi subtalar eklemde, midtarsal eklemin adduksiyon ve supinasyon hareketleri ile birleşir. Eversiyonda subtalar eklemin valgus hareketi, midtarsal eklemin abduksiyon ve pronasyonu ile birleşir.

**Varus - Valgus:** Subtalar eklemde, calcaneusun talus üzerinde mediale doğru dönüşü varus, laterale doğru dönüşü valgus tanımlanır (47).

Sonuç olarak ayak bileği ve ayak kompleksi bazı zamanlar hareketli ve mobil bazı zamanlar oldukça stabil olması gerekmektedir. Ayak bileği ve ayağın kemiksi, ligamentöz ve kassal yapıları hareketlilik ve stabilite işlevlerine ilişkin tanıtılmıştır. Normal anatomi, ayak bileği ve ayak disfonksiyonunu tartışabilmemiz için temel bir kaynak noktası sağlar (43).

## 2.2. PROPRİYOSEPSİYON

### 2.2.1. Tarihçe

1557 yılında, İtalyan bilim adamı Julius Sezar Scaliger "hareketin duyusu" isimli bir çalışma başlatmıştır (48,49). 1826'da Charles Bell pozisyon ve hareket algısını kas duyusuna bağlayarak bu kavramı ortaya çıkarmıştır. 1865'te Duchenne eklemlerin bu tür algıda belirgin rol oynadığını açıklamıştır. 1880 yılında ilk defa Bastian kinestezi terimini kullanmıştır (49). 1906 yılında, Charles Sherrington duyuların eksteroseptif (deri), interoseptif (visseral) ve proprioseptif (derin) alanlara sınıflandırmasıyla propriosepsiyon terimini ortaya çıkararak insanın gizli altıncı hissini tanımlamıştır (48,49).

### 2.2.2. Terminoloji

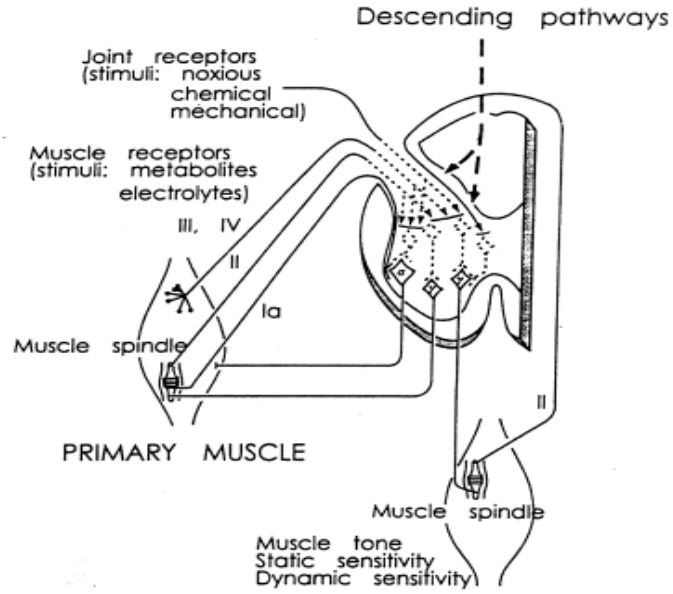
Propriosepsiyon terimi, Latin proprius (kişinin kendisi) kelimesi ve perception'dan oluşmuştur, dolayısıyla harfi harfine kişinin kendi algısı olarak tanımlanmaktadır (48). Propriosepsiyon için tek bir anlam ve tanım kabul edilmemiştir. Propriosepsiyon vücudun çeşitli parçalarının pozisyon, postür, hareket ve hız duyusu olarak tanımlanmıştır, bu kavram, vücudumuzun uzayda konumunu, vücut parçalarının birbirlerine olan ilişkilerini kapsamaktadır (50). Propriosepsiyon genellikle merkezi sinir sisteminin bir alt birimi olan, temas, basınç, ağrı ve eklemdeki yer değiştirme gibi duyusal uyaranları ortaya çıkaran somatosensoryal sistemle ilişkilendirilmiştir. Bu system peripheral değişikliklerin verilerini ve bunun yanında eklem pozisyonu ve hareketi hakkındaki bilgileri almaktadır (51,52).

Propriosepsiyon ile ilişkilendirilmesine rağmen somatosensoryal sistem, propriosepsiyona göre periferden meydana gelen mekanoreseptif, termoreseptif ve ağrı verilerini de içeren daha geniş bir kavramdır. Propriosepsiyon ise somatosensoryal sistemin bir alt birimi olarak kinestezi, eklem pozisyon duyusu, postür ve direnç duyusu gibi bilinçli proprioseptif duyuları içeren bir tanım olarak adlandırılabilmektedir (51,53).

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda yazarların birçoğu propriosepsiyonu statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Statik propriosepsiyon genellikle "pozisyon duyusu" olarak tanımlanmaktadır. Vücudun çeşitli bölgelerinin, diğerlerine göre farklı oryantasyon algılanması olarak açıklanmaktadır. Dinamik propriosepsiyon ise "kinestezi" yani hareketin derecesinin hissedilmesi olarak tanımlanmıştır (54). Ancak, propriosepsiyonu etkileyen, gözlerin stabilizasyonu için vestibüler mekanizma, boyun propriosepsiyonu ve vücudun diğer bölgelerinden gelen proprioseptif ve eksteroseptif bilgiler gibi, daha çok faktörler olduğu tespit edilmiştir (55).

### 2.2.3. Propriosepsiyon ve Nöromusküler Kontrol Anatomi ve Nörofizyolojisi

Propriyosepsiyon, eklem hareketini (kinestezi) ve eklem pozisyon duyularını (EPD) kapsayan özel bir dokunma duyusu varyasyonu olarak tanımlanır. Nöromüsküler kontrol, afferent yollar aracılığıyla alınan sinyallerin efferent yollarla iletilen motor yanıtlarına uymasını sağlar. Afferent ve efferent yollar duyu-motor sistemlerini içermektedir. Nöral yollar periferik reseptörler ve motor yanıtları birleştirir (56).




**Şekil 2.2.** Afferent ve efferent yolları kas iğciği ve motor yanıtlarıyla periferik reseptörlerine bağlanması (57).

#### 2.2.3.1. Mekanoreseptörler

Mekanoreseptörler 3 gruba ayrılır:

**-Artiküler mekanoreseptörler**

**-Tenomusküler mekanoreseptörler**

**-Kutanöz mekanoreseptörler**

Propriosepsiyonun periferik reseptörleri mekanoreseptörlerdir; deri, tendon, kas ve eklem gibi yapılarda bulunur. Mekanoreseptörler aracılığıyla dokunun mekanik olarak deformasyonu nöral sinyaller içerisine transduse edilir. Doku deformasyonu arttıkça, uyarılmış mekanoreseptörlerin uyarılma sıklığı ve şiddeti de artar, dolayısıyla bu sinyaller içsel ve dışsal eklem üzerinde olan yükü hakkında duyusal bilgiler sağlar. Mekanoreseptörler şekil, konum ve işlev olarak çeşitlenmektedir ve mekanik uyarıcılara verilen yanıtlara göre slow-adapting (SA), quick-adapting (QA), low-threshold (LT) ve high-threshold (HT) olarak sınıflandırılabilir (56,58).

QA mekanoreseptörler sürekli devam eden uyarıcının başlangıcından itibaren milisaniyeler içinde kendi deşarj hızını yok olana kadar azaltır, halbuki SA mekanoreseptörler deşarja devam eder. QA mekanoreseptörler stimülasyon değişiklerine hassastır, bu nedenle eklem hareket duyusuna aracılık yaptığı düşünülmektedir. SA mekanoreseptörler spesifik eklem açılarında maksimum olarak uyarılır ve eklem pozisyon duyusuna aracı olarak görev yaptığı düşünülmektedir (56). Mekanoreseptörler bulunduğu ve yaptığı işlev üzere 3 ayrı gruba sınıflandırılır (48,56,58).

**Artiküler mekanoreseptörler:** Örneğin diz ekleminde 4 çeşit mekanoreseptör bulunur:

- **Pacinian cisimcikleri:** Pacinian cisimcikleri düşük eşik ve QA olup, medial menisküste, ekstra ve intraartiküler yağ yastığı, çapraz, meniscofemoral ve kollateral bağlarda bulunur. Eklem hareket duyusuna aracılık ettiği düşünülmektedir.

- **Raffini sonlanmaları:** Düşük eşik ve SA olup, çapraz bağın yüzeysel tabakasında, meniscofemoral ve kollateral bağlarda bulunur. Raffini

sonlanmaları eklem rotasyon ve pozisyon genlik ve hızınının aracılığını yapar.

- **Golgi tendon organları:** Yüksek eşik ve SA olup, çapraz, kollateral bağlar ve menisküste bulunur. Bu reseptörler eklem hareketsizken sessiz kalır ancak eklemin aşırı derece hareketinde uyarılır.

- **Serbest sinir sonlanmaları:** Birçok eklem yapıları boyunca iyice dağılmışlar. Normal koşullar sırasında pasiftirler, ama eklem dokuları mekanikal deformasyon hasarına maruz kalınırsa aktif olurlar. Ayrıca serbest sinir sonlanmaları inflamatuar sürecin belirli kimyasal ürünlerine duyarlıdır (48,56,58).

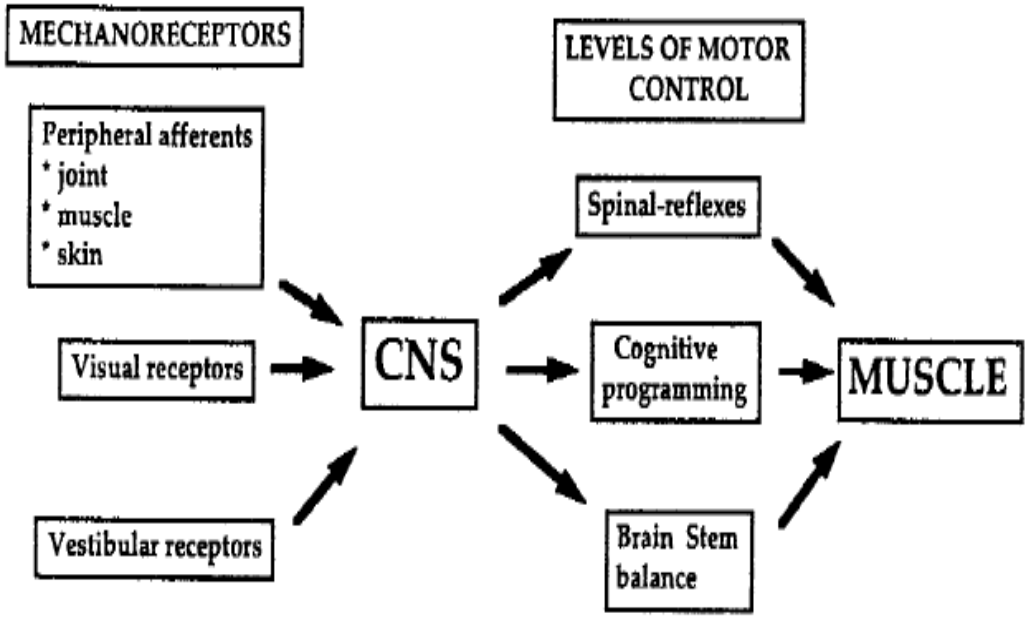
**Tenomusküler mekanoreseptörler:** Kas iğcikleri, iskelet kasında bulunan SA mekanoreseptörler, uzunluk ve uzunluk değişikliklerinin hızına karşı hassastır. Gama motor sinirler tarafından innerve olma özelliğine sahiptirler. Gamma motor sinirlerden artan sinyaller kas kasılmasını başlatmaz ama kas iğciklerinin esnemeye karşı hassasiyetini arttırır. Uyarıldığında, kas iğcikleri kas uzunluğu değişiklikleri nedeniyle oluşan eklem hareketi ve pozisyonu hakkında bilgi iletir. Ayrıca kas iğcikleri agonist kasların refleks kasılmasını ortaya çıkarabilir ve bu, germe refleksi olarak bilinen mekanizmadır. Golgi tendon organları tenomusküler birleşme yeri yakınında bulunan SA mekanoreseptörler olup kas gerginliğin derecesine göre görev yaparlar. Aşırı kas gerginliği durumunda ilgili kasın kontraksiyonunu sonlandırıp gevşemesine neden olur (48,56,58).

**Kutanöz mekanoreseptörler:** Cilt afferentlerinin birincil rolü, diğer proprioseptif girdilerin etkilerini arttırmaktır. El bileği ve parmakların dorsal derisinde bulunan reseptörler, el bileği ve parmakların hareketi hakkında bilgi sağlar. Kutanöz mekanoreseptörlerin eklem hareket ve pozisyon duyusu üzerine katkısı olduğu çalışmalarla sürekli gösterilmektedir (56,58).

### 2.2.3.2. Afferent ve Efferent nöral yollar:

Artiküler, tenomusküler ve deri reseptörlerinden gelen duyusal bilgiler mekanoreseptörler vasıtasıyla merkezi sinir sistemi (MSS) için kodlanır. Periferik reseptörlerin bu özelliği toplu kodlama olarak adlandırılmıştır. Farklı tiplerde olan mekanoreseptörler aynı tipte olan uyarıcılara, farklı yanıt gösterir, bu mekanizma MSS'e iletilecek mekanik uyarıcılar ile ilgili daha fazla farklı duyusal bilgiler sağlar. Uyarılan reseptörlerin sayı ve türünün artması kaslar ve eklemlerde meydana gelen mekanik olaylar hakkındaki bilgiyi arttırır (56,58,60).

Kodlanmış sinyaller afferent yollarını motor kontrolün üç düzeyinde izler; Serebral korteks, beyin sapı ve spinal refleksler.




**Şekil 2.3.** Nöromusküler kontrol yollar ve motor kontrolün 3 düzeyi

Şekil, S.M. Lephart and TJ. Henry, "The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity'den alınmıştır (59).

Serebral kortekse çıkan yollar hareket programlanma için kullanılan eklem pozisyon (propriosepsiyon) ve hareketinin (kinestezi) bilinçli değerlendirilmesini sağlar. Beyin sapına giden yollar postural yanıtlar gibi uzun döngülü reflekslerden sorumludur. İnternöronlar yoluyla omurilikte olan refleks yollar, hareket sinirler ve

kas iğcikleri ile periferik reseptörlere bağlantı yapar. Esneme refleks arkı direk olarak kas iğciğine bağlanır (56). Eklem reseptörlerinden gelen afferent yolların iskelet motor sinirler üzerine direkt etkileri olmadığı, ancak gamma motor sinirler aracılığıyla kas iğcikleri üzerinde daha güçlü etkilerinin olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, cilt reseptörleri ve golgi tendon organları gamma motor sinirleri yoluyla kas iğcikleri üzerine etkileri olduğu gösterilmiştir ve koruyucu refleksler ile ilişkilendirilmiştir. Kas iğcikleri germe refleksi ile kas aktivitesini düzenlemektedir (56).

Periferik reseptörler ve kas iğcikler arasındaki bu karmaşık refleks ağı, son ortak girdi teorisi ile açıklanmaktadır. Bu teori, kas iğciklerinin periferik reseptörlerine ve MSS'e bir nitelenmiş sinyal iletiminden gelen bilgileri birleştirdiğini önermektedir. Bu geri bildirim döngüsü 2 görevden sorumlu olarak tanımlanmaktadır:

- İstirahatte kas tonusunu korumak
- Sürekli germe refleksi yoluyla dinamik faaliyetleri sırasında kas sertliğini değiştirmek (56,60).

#### 2.2.3.3. Nöromusküler Kontrol

Nöromusküler kontrol, nöral bilgileri fiziksel enerjiye dönüştüren kasların motor yanıtı (efferent) olarak adlandırılmaktadır (61). Günümüzdeki teoriler, önceden kasın aktivite programlanmasının, tekrarlayan hareketlerde eklem hareketleri ve yüklerinin öngörülmesindeki önemini vurgulamaktadırlar (56). Kişinin daha önceki hareket deneyimlerinden gelen duyusal geribildirim kas aktivasyon programlanmasının gelişiminde kullanılır, bu sistem "ileri bildirim nöromüsküler kontrol" olarak tanımlanır. Geri bildirim nöromusküler kontrolü çok sayıda refleks yollar ile karakterizedir, bu refleks yollar sürekli devam eden kas aktivitesinin ayarlanmasını sağlar.

İleri bildirim ve geri bildirimin nöromüsküler kontrolü, reaktif kas aktivitesi için duyusal bilgileri kullanmaktadır (56). Sonuç olarak, tekrarlama, önceden

programlanmış motor kontrol için bir görev belleği oluşturur ve reaktif nöromüsküler kontrol için refleks yollarını arttırır (62).

## 2.3. PROPRİOSEPSİYON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Hareket esnasında eklem stabilitesinin nasıl sağlandığının en iyi şekilde anlaşılması için çok sayıda değişken kullanılarak (propriosepsiyon, postural kontrol, elektromiyografi, kinetik-kinematik, dinamik stabilite protokolleri) ölçümler yapılmıştır (5,82). Kinestezi ve eklem pozisyon duyarlılığı eklem propriosepsiyonun iki önemli değerlendirme yöntemi olarak bilinmektedir. Kinestezi pasif hareket algılama eşiği ölçülerek değerlendirilir, eklem pozisyon duyusu ise pasif ve aktif pozisyonlarda reprodüksiyon (yeniden oluşturma) ölçülerek değerlendirilir. Bu testler selektif olarak Ruffini veya Golgi tipi mekanoreseptörleri uyarmak için yavaş açısal hızlarda (saniyede 0,5-2,5 derece) gerçekleştirilir (5,83).

Birçok araştırmacı benzer işlev ve tasarımda pozisyon test cihazlarını kullanmıştır. Bu cihazlar çeşitli aparatlarıyla ekstremiteyi, eklem ekseni boyunca hareket ettirir. (5). Bir rotasyonel transdüser (dönüştürücü) dijital mikroprosesör sayaç ile açısal değişimi algılar. Bir havalı manşon, deri girdisini azaltmak için testin yapılacağı ekleme distal olarak yerleştirilebilir. Deneklerin görsel duyularını ortadan kaldırmak için gözleri göz bandıyla kapatılır ve kulaklık ile beyaz ses (*white noise*) kullanarak işitsel duyular ortadan kaldırılır. Denekler tarafından aktif ve pasif hareket eşiği -ya da önceden ayarlanmış olan açı- tespit edildiğinde botuna basılarak derece bulunur. Ancak, pozisyon testi için kullanılan cihazlarda bazı kısıtlamalar olabilir. Araştırmacılar propriosepsiyonu çeşitli alt kümelerden oluşan kapsamlı bir duyu olduğu görüşünü savunmaktadır, duyuların arasında bir ilişkinin var olduğu görüşü ele alınmaktadır. Özel olarak, hareket ile ilgili olan duyular farklı şekillerde test edilirlerse, bunların birbirleri ile ilişkili oldukları bulunabileceği savunulmaktadır (5).

İzokinetik dinamometreleri kullanarak deneklerin eklemleri üzerinde pozisyon yanıt yeterliliği test edilir (5,84). Bazı araştırmacılar konumlandırma modifiye izokinetik cihazları pozisyon değişikliklerini kaydetmek için kullanmaktadırlar.

Eklem pozisyon duyusunu değerlendirmek için elektromanyetik izleme cihazı ve bir izokinetik dinamometre kullanılarak eklem pozisyonun aktif reprodüksiyonu ölçülmektedir (84). Son yıllarda, hareket analizi sistemleri eklem hedef açılarını kaydetmek için kullanılmıştır (84).

Eklem pozisyon duyusu ölçümleri genelde aktif ve pasif reprodüksiyon ve ya repozisyonlama testleri şeklinde yapılmaktadır, ama çalışmaların bazısında vizüel analog metodu kullanılmaktadır, bu metod eklem pozisyon duyusunu indirekt şeklinde değerlendirir (85). Reprodüksiyon veya repozisyonlama testlerinde deneğin aktif ya da pasif biçiminde önceden belirlenmiş açı pozisyonlarını tekrar oluşturabilme yeteneğini ölçmektedir. Bu ölçümlerde ilk önce test edilen eklem denek tarafından aktif şekilde önceden belirlenmiş açıya getirilir ve açı noktasında cihaz deneği belirli bir zaman süresince durdurur, denekten açı derecesini aklında tutması ve sonrası tekrar başlangıç noktasına gelmesi istenir. Denek bu sefer kendisi aktif şekilde açıyı bulmak için eklemi hareket ettirip açı noktasına gelmeye çalışır, açıyı bulduğunu düşündüğünde botuna basıp noktayı belirler. Pasif testte ise başlangıç noktasına geldiğinde tekrar hedef noktayı bulmak için belirli ve ayarlanmış hızla cihaz deneğin eklemin açıya doğru götürür, uygun noktaya geldiğini düşündüğünde bulduğunda botuna basar. Bu yöntemlerde testler birkaç kez tekrarlanabilir. Reprodüksiyon testlerinde ekleme ve kasa ait olan mekanoreseptörler değerlendirilir.

Reprodüksiyon testleri denek oturur pozisyonda, ayakta ve yatarak yapılmaktadır. Bu testler çalışmalarda çok sık kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem izokinetik dinamometre, gonyometre ve çeşitli video analiz cihazları ile yapılabilmektedir (86).

Repozisyonlanma testleri 4 başlık altında incelenmektedir (87):

**Pasif-aktif yöntem:** Bu yöntemde deneğin ekstremitesi ilk olarak cihaz tarafından pasif şekilde önceden ayarlanmış açıya getirilir. Daha sonra başlangıç pozisyonundan denekten aktif olarak bu açıya yeniden gelmesi istenilir.

**Pasif-pasif yöntem:** Deneğin ekstremitesinin ilk olarak cihaz tarafından pasif olarak önceden ayarlanmış açıya getirilir. Daha sonra başlangıç pozisyonundan cihaz

belirli ve ayarlanmış bir hızda pasif olarak harekete başlar ve denek hedeflenen açıya geldiğini düşündüğünde butona basması söylenir.

**Aktif-pasif yöntem:** Denek ekstremitesini önce kendisi aktif olarak belirlenmiş açıya getirir. Bu açıyı aklında tutması istenir. Sonrasında cihaz başlangıç pozisyonundan pasif şekilde hareket eder ve hedeflenen açıya geldiğini düşündüğünde butona basması söylenir.

**Aktif-aktif yöntem:** Denek ekstremitesini belirlenmiş açıya aktif şekilde getirir. Bu açıyı aklında tutması istenir. Tekrar başlangıç pozisyonuna dönmesi, sonrasında aktif şekilde bu açıya yeniden gelmesi istenir.

**Kinestezi:** kinestezi duyusunun değerlendirilmesi pasif hareketi algılama eşiği olarak adlandırılan testler ile yapılır. Bu testler 0.5 - 2°/sn gibi sabit düşük hızlarda pasif şekilde uygulanır. Bu testlerde bireyin harekete başladığı an ile hareketi hissettiği an arasındaki fark değerlendirilir (85).

## 2.4. YORGUNLUK

Yorgunluk hem fizyolojik hem de psikolojik faktörleri içeren çok karmaşık bir kavramdır. Bu nedenle yorgunluk tek bir kavram ya da süreç olarak ele alınamamaktadır. Aksine, hem merkezi sinir sistemi hem de kas içinde birden fazla rol alan, çok farklı komponentleri içeren bir olaydır (63). Yorgunluk tanımı konusunda dikkate değer tartışmalar ortaya çıkmaktadır. Yorgunluk mekanizması veya mekanizmaları hala tam olarak anlaşılmış değildir ve subjektif karmaşıklığının bir belirtisi olarak tarif edilmektedir (64).

Fiziksel faaliyetler ilke olarak kas fonksiyonlarına dayanmaktadır. Ancak kas fonksiyonları kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi ile elde edilir. Egzersizin tipi, süresi ve şiddetindeki farklılık enerjiye gereksinimi ortadan kaldırmaz. Egzersiz süresi arttıkça, başta kardiyovasküler ve solunum sistemi olmak üzere tüm sistemlerin egzersiz şiddeti ile uyumlu şekilde çalışmaları gerekmektedir (65). Egzersiz süresi uzayınca tüm sistemlerin bu duruma uyumlu şekilde çalışmaları esnasında kassal yorgunluğa bağlı bazı değişiklikler ortaya çıkar (66). Kas

yorgunluğu, herhangi bir egzersize bağlı, kas yeterliliğinde kuvvet üretimi azalması olarak açıklanmıştır (66).

1981 yılında Edwards kas yorgunluğunu, gerekli olan veya beklenilen kuvvetin korunmasında yetmezlik oluşması ve bunun sonucunda belirli bir görev için gereken performansta azalma olarak tanımlamıştır (67). Edwards'a göre yorgunluk tanımları bu şekilde listelenebilir (67):

- Zihinsel performansın bozulması
- Motor performansın bozulması
- Belli performansın EMG aktivitesi artması
- EMG kuvvet spektrumunun Düşük frekanslara değişmesi
- Kuvvet üretiminin bozulması

2007'de Mosso kendi çalışmasında, yorgunluğu, kas kuvvetinin azalması ve diğer taraftan bir his olarak tanıtmıştır. Mosso'ya göre, kas yorgunluğu bir fiziksel boyut yani ölçülebilir ve karşılaştırılabilir durum, aynı zamanda bir psikolojik boyut yani ölçümlerden sıyrılabilen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır (66). Egzersiz esnasında süre uzadıkça vücut sistemleri üzerindeki stres artar, yüklenme en çok dolaşım, solunum, sinir, kas ve iskelet sistemlerinde meydana gelmektedir (65). Ayrıca, beyin yorgunluğunun kas kuvvetinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir (66).

2008 yılında Allen ve arkadaşlarının çalışmasında, yoğun olarak kullanılan kasların performansında kademeli bir şekilde düşüş ve bu geri dönüşümlü fenomen kas yorgunluğu olarak tanımlanmıştır (69). Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi kassas performansın düşmemesi için çalışan kasların toparlanmasına olanak sağlanmalıdır. Yorgunluk geri dönüşlü bir fizyolojik durumdur. Kas fonksiyonları dinlenmek ile normale döner, yorgunluğu uygun istirahat takip etmez ise kronik yorgunluk ortaya çıkabilir (70).

### 2.4.1. Genel yorgunluk

Tekrar tekrar eforların yapılması bireyde memnuniyet oluşturmuyor ise stress ve usandırıcı bir hal yaratabilir, bu da bireyde genel yorgunluğa neden olabilir (70).

Sporcu Düşük şiddette egzersiz yaptığında yorgunluğun başladığını ve performansının bozulmaya doğru yönlendiğini farkedemez bu nedenle aktivitesinin daha da arttığını düşünür. Bu aşamada sakatlanma olasılığı artabilir. Genel yorgunluk geçiren sporcuda ilk once zamanlama yeteneği bozulur, sonrasında hata olasılığı artmaya başlar. Yorgunluk geliştikçe eforun geri kalan fragmanları göz ardı edilir, dikkatsizlik artar ve beceri hızla bozulur. Genel yorgunlukta sosyoekonomik ve psikolojik etkenler de performansın bozulmasına neden olur (69). Günümüzde yorgunluk iki tipte kategorize edilmektedir (66,68,69,70).

- Merkezi yorgunluk

- Periferik yorgunluk

#### 2.4.1.1. Merkezi Yorgunluk

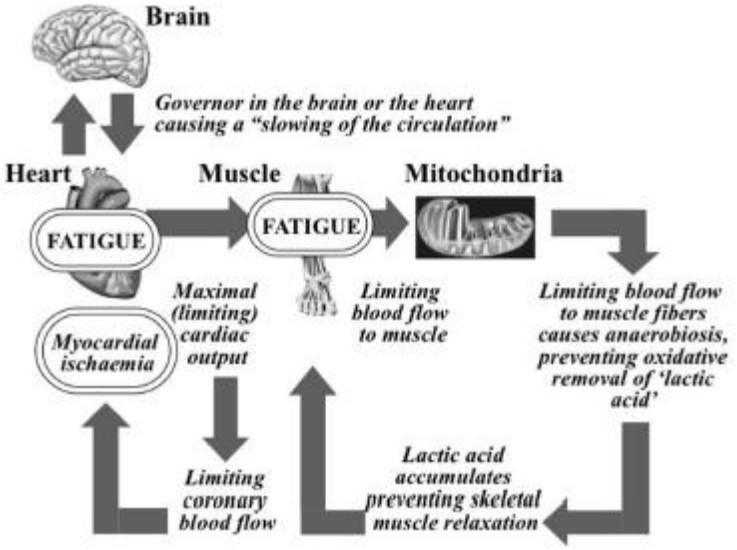
Merkezi sinir sistemi nöronlarının gerçek bir yorgunluğu söz konusu değildir. Burada yorgunluk istemli yapılan eforların inhibisyonu biçiminde ortaya çıkmaktadır (66,70). Merkezi yorgunluk kökeni MSS içinde yer almaktadır, nöromüsküler bileşke proksimalinden kaynaklanan süreçte kas kuvvet kaybına neden olmaktadır, özellikle beynin içindeki, spinal sinirler ve motor nöronları üzerindeki konumlara ait olan bir süreçtir (66). Kasın kendi yeterliliğinde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen, hipertermi kasın kuvvet üretme yeterliliğini azaltır. Bu nedenle merkezi faktörlerin, hipertermiden kaynaklı olan yorgunluk oluşumunda periferik faktörlerden daha önemli olduğu düşünülmektedir. Hipertermi uzun süreli egzersiz sırasında, beynin metabolik hızı artar ama serebral kan akımı ve elektriksel aktivite azalır (71,72). Bu değişiklikler egzersiz efor algısında bir artış ile ilişkilendirilmektedir, dolayısıyla, serebral kan akımı, fonksiyon, egzersiz ve performans arasındaki bağlantıyı göstermektedir (66).

Merkezi sinir sistemi iki esas fonksiyonu yani ‘uyarma’ ve ‘uyarıya engel olma’ işlerini yapmaktadır. Fiziksel etkinlikler için uyarı gönderme yani uyarma işi aktivasyon, uyarıya engel olma işi ise inhibisyon adlanmaktadır. Merkezi sinir sistemi, kaslara görevleriyle ilgili sinirsel uyarılar gönderir. Gönderilen uyarının hızı, sıklığı ve şiddeti merkezi sinir sisteminin durumuna bağlıdır. Kontrolden geçen uyarı sinyali güçlü ise etkili olduğu ve dolayısıyla iyi performans uygulandığı anlama gelir, bunun tersi, yorgunluk akla getirir. Nöron uyarıyı inhibe eder ise, bu durum kasın daha yavaş ve zayıf bir şekilde kasıldığı anlamını taşır. Kasın kasılma gücü, merkezi sinir sistemi tarafından gönderilen elektriksel uyarıyla veya motor birimlerinin sayısıyla ilişkilidir. Nöronun çalışma kabiliyeti çok uzun süre korunamaz çünkü yüklenme sırasında veya müsabaka stresine bağlı olarak çalışma yeteneği azalır. Ancak, yüksek şiddette aktivite devam edilir ise yorgunluktan dolayı dışarıdan gelen uyarılardan kendini korumak için, nöron bunu bir inhibisyon olarak değerlendirir (73).

Yorulan kasta biyokimyasal değişiklikler ortaya çıkıp lokal reseptörleri etkiler. Lokal bölgeden kalkan afferent impulslar formatio retikularisin inhibisyon göreviyle ilgilenen bölümüne gelir, beyin ise inhibe edici sinyaller göndererek motor sistemin kassal çalışma kapasitesinin düşürmesini sağlar. Yorgunluk sonrası toparlanma mekanizması da formatio retikularisin kolaylaştırıcı bölümüne sinyallerin gelmesi motor sisteminin çalışmasını kolaylaştırır ve böylece toparlanma sağlanır (69).

#### 2.4.1.2. Periferik Yorgunluk

İlk defa 1920 yılında Hill ve arkadaşları, periferik yorgunluğun modelini ortaya koymuşlardır. AV Hill periferik yorgunluk modelinin “babası” olarak belirlenmiştir. Hill laktik asidin sadece anaerobik koşullar altında vücutta üretildiğini ve artan kas içi laktik asit konsantrasyonu sonucunda yorgunluğun oluştuğunu açıklamıştır (66,74). Hill ve arkadaşları egzersiz toleransında, kalbin çalışan kaslara kan pompalama kapasitesini birincil sınırlayıcı faktör olarak belirtmişlerdir. Bu teori “İnsan egzersiz performansında kardiyovasküler/ anaerobik / katastrofik modeli” olarak adlanmaktadır (66,74).




**Şekil 2.4.** Hill'in egzersiz performans kardiyovasküler/anaerobik/katastrofik modeli

Periferik yorgunluk, merkezi sinir sistemi dışında veya nöromüsküler bileşke distalinde oluşan yorgunluk tipine denmektedir. Periferik yorgunluğun, uzamış süreçten kaynaklanan kasın kuvvet üretiminin zayıflamasıyla bağlantılı olduğu açıklanmaktadır (66,72). Periferik yorgunluk mekanizması, sarkolemmaya doğru yayılan ve sarkoplazmik retikulum içinde oluşan disfonksyonu, kalsiyum salınımı ve alımı, metabolik maddelerin hazır bulunması, metabolitlerin birikimi ve aktin-miyozin çapraz köprü etkileşimlerini içermektedir (75). Birtakım etkenler periferik yorgunluğun oluşumunda rol almaktadırlar. Bu etkenler terminal motor nöronlar ucundan asetil kolin salınımının azalması, fosfokreatin (PCr), glikojen gibi enerji kaynaklarında azalma, kas metabolizması esnasında üretilen laktik asit ve $NH_3$ gibi metabolitlerin birikimi ve $P_i$, $H^+$, kreatin, ADP, AMP konsantrasyonundaki artışlar olarak açıklanmaktadır. Kas yorgunluğu uzun sürdüğünde kas fibrillerinin permeabilitesi bozulur, böylece kas enzimleri konsantrasyonu kanda artabilir (66,69).

#### 2.4.1.2.1. Periferik Yorgunluk Mekanizması

**Enerji tüketme:** Kas iskelet sisteminin esas fizyolojik işlevi, ATP seviyesini hücre içerisinde sabit tutabilmektir. Adenozin trifosfat (ATP) vücuttaki kimyasal enerjinin en önemli kaynağıdır. ATP'nin üç bileşeni vardır: adenin, riboz ve üç

fosfatlar. Yüksek enerjili bağlar fosfat moleküleriyle bu 3 komponenti bir arada tutarlar. ATP, bir hidroliz reaksiyonunda bozulur ve bu enerji kasların kasılması gibi çeşitli işlevler için hücre tarafından kullanılır.

$$ATP + H_2O \underset{}{\overset{ATPase}{\rightleftharpoons}} ADP + P_i + H^+ + energy$$

Yoğun egzersizler sırasında hücre içi ATP yoğunluğundaki azalma, vücudun homeostatik koşullarını koruyabilme yeteneğini engeller. Egzersiz yapan bireylerde, kas içi ATP yoğunluğu egzersizin şiddeti veya süresine rağmen, dinlenme düzeylerinin %60'ın altına düşmez. Ancak, tekli liflerin ATP yoğunluğu çok düşük seviyelere düşebilir. ATP tüketilmesi oluşumu ve egzersize bağlı yorgunlukta olan rolü tartışmaya açıktır ve ileri araştırma gerekmektedir (66,76).

Fosfokreatin fosforile olmuş kreatin moleküldür, özellikle patlayıcı ve yüksek yoğunluklu egzersiz sırasında ATP sentezlenmesi için önemlidir. Egzersiz yorgunluğunda PCr tükenmesinin potansiyel rolü tartışılmaktadır (66).

$$PCr + ADP + H^+ \underset{}{\overset{creatine\ kinase}{\rightleftharpoons}} ATP + Cr$$

Fosfokreatin tek ve tekrarlanan sprint sırasında kas yorgunluğunda rol oynar. Yorgunluk üzerine PCr'in etkisi egzersiz süresi arttıkça azalır, ama yine de kısa süreli ve yüksek yoğunluklu dönemler içeren uzun süreli egzersizde rol oynayabilir (66).

Karbonhidrat, kas ve karaciğer glikojen ve kan şekeri şeklinde, egzersiz sırasında temel enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Karbonhidratın katkısı egzersizin enerji metabolizmasında artan egzersiz yoğunluğundan daha da büyüktür. Karbonhidrat glikoliz (anaerobik) ve Krebs (aerobik) döngüsünde metabolize olur. Bu nedenle, geniş bir egzersiz gereksinimleri karşılığında metabolize olarak ATP oluşturur (66). Uzun süreli submaksimal egzersiz kas glikojenini tüketebilir. Kas glikojeni uzamış orta ile yüksek şiddetli egzersizde temel enerji kaynağı olarak bilinmektedir ve kasın glikojen içeriği egzersiz başlangıcında hangi tip egzersizin devam edebileceği süresini belirleyebilir (66,77,78).

Kas glikojeninin tükenmesi belirli bölgelerde ATP üretiminde yetersizlik oluşturarak dolayısıyla kas fonksiyonunu bozarak yorgunluğun gelişimine neden olur. Uzun süreli egzersiz sırasında, kas ve karaciğer glikojeninin tüketilmesi hipoglisemiye yol açabilir. Hipogliseminin rolü egzersiz yorgunluğu üzerinde periferik (kas içine glukozun daha az alımı) veya santral (beyin tarafından azalmış glukoz alımı) olabilir (66).

**Metabolik Asidoz ve Laktik Asit:** Metabolik asidoz, asidik maddelerin endojen üretiminden kaynaklanan bozulmuş bir bölgenin egzersiz kaynaklı yorgunluğunu temsil eden sıvı veya dokunun pH'ında azalma olarak tanımlanır (66). İlk defa 1907 yılında Fletcher'in çalışmasında, kasın elektriksel stimulasyonu ile egzersiz sırasında iskelet kaslarda laktik asitin oluştuğu ve laktik asitin yorgunluğa neden olduğu açıklanmıştır (79). Laktik asitin yorgunluğa neden olma mekanizması, bozulmuş izometrik kas kuvveti ve kasılma hızı ve kas içi pH düşmesine bağlı glikoliz inhibisyonu ile gerçekleşmektedir (66).

Laktat glikoliz sırasında üretilir. Laktatta böyle bir potansiyel yokken laktik asit bir hidrojen iyonu salmakla çevreyi daha asidik hale getirmek için bir potansiyele sahiptir. Hidrojen iyonu asidik olup ve bulunduğu solüsyonu da daha asidik yapar. Laktat üretimi sonucunda hidrojen iyonu üretilmez bu nedenle laktat direkt çevreyi asidik yapamaz. Ancak, laktat oluşumu hücre içi sıvının tutumunu değiştirebilir dolayısıyla indirekt şekilde hidrojen iyonunun oluşumuna neden olur. Hidrojen üretimi çapraz-köprü kuvvet üretimini bozabilir, böylece kas kuvvetini azaltır. Hidrojen oluşumu asidoz derecesine, kas sıcaklığı ve $Ca2^{+}$ kinetiği boyutlarına bağlı olarak kasın kasılma maksimum hızını düşürebilir. Kanda hidrojen iyonunun birikimi, hücre dışı asidoz oluşturur ve bu da arteriyel hemoglobin desatürasyonuna yol açabilir. Desatürasyon beyine oksijen sunumunu bozabilir, bunun sonucunda merkezi yorgunluk gelişiminde katkısı bulunan serebral hipoksi meyadana gelir. Bu nedenle efor algısı artar ve egzersiz toleransı bozulur (66).

**Dehidrasyon ve Hipertermi:** Dehidrasyon vücuttan su kaybetme sürecidir. Dehidrasyon doğrudan kardiyak yeterliliğini azaltarak ve dolaylı olarak hipertermi gelişimine katkıda bulunarak performansı düşürebilir. Dehidrasyon karaciğer glukoz çıkışını artırarak metabolik fonksiyonu değiştirebilir ve böylece belirli bir egzersiz

yoğunluğunda daha fazla kan laktat düzeylerine yol açan artan kas glikojen oksidasyonu yoluyla karbonhidrat metabolizması üzerinede etkisini oluşturabilir (66,80). Dehidrasyon direkt ya da endirekt olarak efor algısını, kognitif fonksiyonu ve enerji metabolizmasını kısırlaştırarak performansı düşürür (66).

Hipertermi anormal derecede yüksek vücut sıcaklığıdır. Normal merkezi vücut sıcaklığı 36.5-37.5 ° C arasındadır. Teknik olarak, hipertermi merkezi vücut sıcaklığı 37.5 ° C'den daha fazla olur ise tanımlanır. Hipertermi genellikle ısı üretimi ve dağılımı arasında bir dengesizlik sonucu, beyindeki ısı kontrol bölgelerinin direkt önceki uyarısı olmaksızın merkezi vücut sıcaklığının yükselmesi ile ortaya çıkar. Esasen metabolizma, radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla alınan vücut ısısı, kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon ve buharlaşma yöntemleri ile kaybedilen ısıdan fazla olur ise merkezi sıcaklık yükselip hipertermi oluşur (66).

Egzersiz plazma hacmini düşürürerek kardiyak ya da dolaşım sisteminde bir strese neden olur. Merkez organlar, dokular ve deri daha fazla kan akımına sahip olmak için rekabete girer. Bu rekabet deri kan akımının düşmesi ve buharlaşma yoluyla vücudun ısı kaybetme yeterliliğinin bozulmasına sonuçlanır ve böylece merkezi vücut sıcaklığı artar (66).

Hipertermi santral ve periferik yollar ile egzersiz performansını etkilemektedir. Hiperterminin periferik yorgunluk oluşturmasının potansiyel nedenleri şunlardır:

- Kardiyovasküler fonksiyon bozulması sonucunda ortaya çıkan kas çalışması için gerekli olan kan akımının azalması
- Kas glikojen bozulmasında artış
- Bozulmuş kas kasılması

Santral faktörler hipertermi kaynaklı yorgunlukta periferik faktörlerden daha önemli olabilir. Egzersiz sırasında hipertermide, beynin metabolik hızı artar, ancak beynin kan akımı ve elektriksel aktivitesi azalır. Bu değişiklikler, beyin kan akımı, fonksiyonu ve egzersiz performansı arasındaki bağlantıyı gösteren ve artan ilerleyici egzersiz efor algısı ile ilişkilendirilmiştir (66). Bir çalışmada yüksek cilt sıcaklığı merkezi sıcaklık değişikliklerine bağımsız olarak egzersiz performansını azaltarak

etkilediği gösterilmiştir (81). Artmış deri sıcaklığı deri kan akımı gereksinimlerini artar. Kardiyovasküler sisteminin egzersize olan tepkilerini bozar. Ayrıca yüksek cilt sıcaklığı beynin kan akımı ve oksijen dağıtımını azaltabilir ve bu nedenle santral yorgunluk mekanizmasını tetikler.

**Potasyum ve kalsiyum:** Potasyumun çeşitli vücut fonksiyonları üzerinde anahtar rolleri vardır. Potasyumun rolleri, vücut su içeriği düzenlenmesi, nöronlar ve kas hücreleri boyunca aksiyon potansiyeller iletimi, protein sentezi, karbonhidrat metabolizması ve karbonhidrat üretiminde katkıyı içermektedir. Potasyum ile ilgili taşıma zarında değişiklikler aksiyon potansiyellerin normal yayılımını engelleyerek kas fonksiyonunu bozar.

Tekrarlayan kas kontraksiyonları hücre zarında bulunan özel $K^+$ aktarım kanalları vasıtasıyla kas hücresinden $K^+$ kaybına neden olabilir. Hücre dışı $K^+$ konsantrasyonu ve yüksek yoğunluklu egzersiz, hücre dışı $K^+$ birikim hızını düşürür. Dolayısıyla, egzersiz yorgunluğunda hücre dışı $K^+$ birikiminin rolü olduğuna destek sağlar. Ayrıca, hücre dışı $K^+$ birikimi, tip III ve IV kas afferentlerini uyarabilir, nitekim santral yorgunluk gelişmesine katkıda bulunabileceği ortaya çıkar (66).

Kalsiyum sinyal transdüksiyonunda, nörotransmitter salımında, enzim fonksiyonu için kofaktör olarak, hücre zarı uyarılımında, kemik oluşumu ve yoğunluğunda, endotelyal doku damarlanmasında ve kas kontrasksiyonunda büyük önem taşır. Sarkoplazmik retikulumdan uygun miktarlarda $Ca2^+$ salınımı kas kuvvet oluşumu için çok kritik ve önemlidir. $Ca2^+$ salınımı yetersiz ise, kas kuvveti azalır. $Ca2^+$ kinetik bozulması kas kuvvetini azaltabilir ve bu nedenle kas yorgunluk gelişmesinde katkıda bulunabilir. Ayrıca, normal fizyolojik koşullar altında, asidozun, sarkoplazmik retikulumun $Ca2^+$ salınması ve ya kontraktil süreci üzerine inhibe edici etkileri gösterilmektedir (66).

Pi birikimi, aktin-miyozin çapraz köprülerinin yüksek kuvvet durumuna girmesini önleyerek kas kuvvetini azaltır. Bu durum, en azından tip II liflerinde, erken yorulma sürecinde gerçekleşir. Pi birikimi $Ca2^+$ hassasiyetini azaltabilir. Yorgunluğun son evreleri azalmış sarkoplazmik $Ca2^+$ konsantrasyonu ile ilişkilidir. Azalmış $Ca2^+$

duyarlılığı ile birlikte, egzersizin sonlandırılması öncesinde kas kuvvetinin hızlı şekilde azalmasını büyük ölçüde açıklar (66).

ATP seviyesinin düşmesi ve $Mg2^{+}$ birikiminin kas kontraktil aparatı üzerine az miktarda direkt etkisi vardır. Ancak, yüksek $Mg2^{+}$ düzeyleri $Ca2^{+}$ duyarlılığını azaltır (66).

## 2.5. İZOKİNETİK SİSTEMDE YORGUNLUK EGZERSİZİ

Bir çok çalışmada, eklem çevresindeki kaslarda izokinetik yorgunluk oluşturmak için komplike cihazlar kullanılmaktadır. Biodex ve Cybex cihazları genelde çok duyulan cihazlardır. İzokinetik egzersiz programında deneğe egzersiz yaptırarak, çalışmada hedeflenen yorgunluk miktarı sağlanabilir (41,88,94,96,101). İzokinetik dinamometrelerde hareketin hızı sabittir ve hareketin her açısında kasa uygulanan direnç eşittir. Bu cihazlar ile kas kuvveti, kas gücü ve dayanıklılığı objektif olarak değerlendirebilir (116,121). İzokinetik sistemler değerlendirme, rehabilitasyon, teşhis, antrenman ve araştırmalarada kullanılabilir (116,118,121). İzokinetik sisteminin araştırmalarda en sık kullanılma endikasyonlarından, kassal yorgunluğun oluşturulması ve onun ölçümleri söylenebilir (116,117,121).

Torque (Tork): İzokinetik dinamometreler ile yapılan ölçümlerden birisidir. İzokinetik sistemlerde kuvvet torque olarak ölçülür. Torque bir obje üzerine kuvvetin döndürücü momentidir. Birimi Newton-metre (Nm) veya food-pound (ft-Ib)'dur. Minimum ve maksimum torque değerleri güvenlik açısından 250-500 Nm arasında sınırlandırılmıştır. En çok kullanılan parametrelerden biridir (116).

Peak Torque (Pik Tork): İzokinetik sistemlerde en yaygın ölçülen kuvvet değişkenidir. Eklem hareket açıklığı boyunca ilgili kaslar tarafından üretilen en yüksek torque değeri olarak tanımlanır. PT ölçümleri 30º-90º/sn gibi düşük hızlarda ölçülür (116,121).

# 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırma Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya 18-35 yaş arasındaki 20 gönüllü erkek birey katılmıştır. Çalışmaya katılan denekler ayak bileği yaralanma hikayesi olmayan sedanter ve rekreatif bireylerden oluşmaktadır. Katılımcıların tümünde sağ bacakları dominant bacak olarak saptanmıştır.

Bu çalışma aşağıdaki alınma ve dışlanma kriterlerine göre, dahil edilme ölçütlerini karşılayan, çalışmaya katılmayı kabul eden hastalar ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaya alınma koşulları:

1. 18-35 yaş arasında olma,
2. Erkek cinsiyette olma,
3. Deneğin daha önce alt ekstremite eklem, kemik ve kaslarında ciddi bir yaralanma geçirmiş olmaması,
4. Deneklerin çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul etmesi ve bilgilendirilmiş gönüllü olur formunu imzalaması.

Çalışmadan çıkarılma koşulları şunlardır:

1. Deneğin kronik süreğen bir hastalığın bulunması, geçirilmiş ayak bileği yaralanma hikayesi

Çalışma öncesinde Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurul'undan onay alınmıştır. Dahil edilme şartlarını sağlayan deneklerin her birine araştırmacı tarafından çalışma ile ilgili bilgi verilmiş, çalışmaya katılmayı kabul edenlere çalışmanın ilk günü Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu (EK-1) okutulup imzalatılmasının ardından deneklere sosyodemografik ve klinik özellikleriyle ilgili sorular kapsayan Sosyodemografik-Klinik Bilgi Formu (EK-2) uygulanarak doldurulmuştur. Bunun ardından denekler genel fizik muayene ile değerlendirilmiştir, ardından izokinetik cihazını göstererek, 4 yönlü ayak bileği propriosepsiyonu ve izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizi ile teorik ve sözel bilgiler verilerek çalışmanın amacı anlatılmıştır.

Çalışmaya 22 kişi katılmıştır, 2 birey çalışmayı yarıda bırakmıştır. Çalışma 5 ayrı seansta yapılmıştır ve her seans bir önceki seanstan zaman olarak en az 4 gün sonra uygulanmıştır. Çalışma ilk günün sonrasında 4 ayrı propriosepsiyon ölçüm günü olmak üzere toplam 5 seans olarak sürdürülmüştür. Propriosepsiyon (Eklem Pozisyon Duyusu) testleri Biodex Multi-Joint System-Pro (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, 11967, USA) dinamometre cihazının propriyosepsiyon programı kullanılarak yapılmıştır (121).

Çalışmaya alınan deneklerin her seans başında bisiklet ergometresinde (VOIT Black Collection AT-200) 5 dakika 50 watt dirençte ve 50 devirde ısınma egzersizi yapmaları sağlanmıştır. Çalışmanın tüm seanslarında birinci seans dışında tüm aktif ve pasif EPD ölçümleri başlangıcında deneklerin gözleri bir göz bandı ile kapatılıp, kulaklarına beyaz gürültü (*white noise*) adı verilen yumuşak ve sürekli bir ses verilip ve tat duyusu için meyve aromalı bir şeker verilmiştir. Ayrıca, koku duyusu için rahatsız etmeyecek bir koku kullanılmıştır. Tüm çalışma seansları sırasında BIODEX dinamometre koltuğu, oturur şeklinde kalça eklemi 70° fleksiyonda ve diz eklemi 45° feksiyonda ayarlanmıştır (109). Testler, eversiyon ile inversiyon yönlerinde deneklerin baldır proksimali ve plantar fleksiyon ile dorsal fleksiyon yönlerinde deneklerin uyluk orta kısmı sabitleyici aparatın üstünde sabit tutularak uygulanmıştır.

Bu çalışmada aktif propriosepsiyon testinde aparatın hareket hızı 5°/sn ve pasif propriosepsiyonda 2°/saniye hızında ayarlanmıştır (5,120,122). Hedef dereceler (deneğin bulması gereken dereceler) sırayla eversiyona 10° (40), inversiyona 20° (40,122), plantar fleksiyona 25° (123) ve dorsal fleksiyona 15° (124) olarak ayarlanmıştır.




**Şekil 3.1.** Bisiklet ile Isınma Egzersizi

**Ayak bileğinde yorgunluk oluşturma mekanizması:** Biodex marka izokinetik dinamometre ile 60°/sn hızlarda konsantrik ve egzantrik izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizler yaptırılarak, eversiyon, inversiyon, plantar ve dorsal fleksiyon yönlerine ait olan ayrı ayrı seanslarda uygulanmıştır. Unilateral izokinetik egzersizi> Ankle programı seçilerek, denekten 15 tekrar yapması sonrasında 10 saniye dinlenip tekrar devam etmesi istenmiştir. Monitorda takip edilebilen başlangıçtaki CON/ECC peak torque %50'nin altına gelene kadar (yorgunluğun göstergesi olarak seçilen sınır) deneğe devam etmesi söylenmiştir (40,41,116).



**Şekil 3.2.** İzokinetik (CON/ECC) Yorgunluk Egzersizi

**1. Seans: Çalışma ile bilgi verme:** İlk seans tüm deneklere ayrı ayrı çalışma ile ilgili bilgi verilmiştir. Her seans başında ısınma egzersizinin yapılması ve ardından ayrı ayrı seanslarda eversiyon, inversiyon, plantar ve dorsal fleksiyon yönlerinde yapılacak olan aktif ve pasif propriosepsiyon testleri bir kez uygulanarak anlatılmıştır. İzokinetik yorgunluk egzersizinin nasıl yapıldığı ve amacımızın ne olduğu anlatılmıştır.

**2. Seans: Eversiyon'da Aktif Ayak Bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** 5 dakika ısınma egzersizinden hemen sonra denekten koltukta oturması istenmiştir. Göz bandı ve kulaklık takılıp, şeker ve koku verilmiştir. Deneğin Kalça eklemi 70° ve diz eklemi 45° de ayarlanarak sağ baldır proksimali sabitleyici aparatın üstünde sabitlenmiştir (109). Biodex Multi-Joint System-Pro dinamometresinde Unilateral Proprioception> Ankle> Active eversion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 10° eversiyona (ayak bileğinin dışa doğru rotasyon yapılması) doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde alet deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (10°) 10 sn sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi söylenmiştir. İkinci turda denek ayak bileğini tekrar aynı açıya önceden

ayarlanmış 5°/sn hızında getirmeye çalıştığı ve doğru yere geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe her iki aşama 3 tekrar yapılması gerektiği söylenmiştir.

**Eversiyon'da pasif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** Aktif EPD ölçümünden hemen sonra Unilateral Proprioception> Ankle> Passive eversion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hareket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 10° eversiyona doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (10°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi istenmiştir. İkinci turda denek herhangi bir hareket başlamadan cihaz deneğin ayak bileğini önceden ayarlanmış 2°/sn hızında hareket ettirmiştir, denek doğru yere (10° eversiyon) geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe bu iki aşamanın 3 tekrar uygulanması söylenmiştir.

Yorgunluk öncesi aktif ve pasif propriosepsiyon testlerinden sonra denekten 2 dakika dinlenmesi istenmiştir. Eversiyon yönünde izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizi uygulanmıştır. Peak Torque %50'nin altına geldikten hemen sonra zaman kaybetmeden (60-90 saniye süresi içerisinde) tekrar sırayla aktif ve pasif propriosepsiyon ölçümleri yukarıda anlatıldığı gibi ayarlanıp aynı şekilde uygulanmıştır ve sonuçlar tüm test boyunca aktif ve pasif olarak kaydedilmiştir.




**Şekil 3.3.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 10° Eversiyonda




**Şekil 3.4.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 10° Eversiyonda

**3. Seans: İnversiyon'da Aktif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** 5 dakika ısınma egzersizinden hemen sonra denekten koltukta oturması istenmiştir. Göz bandı ve kulaklık takılıp, şeker ve koku verilmiştir. Deneğin Kalça eklemi 70° ve diz eklemi 45° de ayarlanarak sağ uyluk orta kısmı sabitleyici aparatın üstünde sabitlenmiştir. Biodex Multi-Joint System-Pro dinamometresinde Unilateral Proprioception> Ankle> Active inversion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 20° eversiyona (ayak bileğinin dışa doğru rotasyon yapılması) doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (20°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi söylenmiştir. İkinci turda denek ayak bileğini tekrar aynı açıya önceden ayarlanmış 5°/sn hızında getirmeye çalıştığı ve doğru yere geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe her iki aşama 3 tekrar yapılması gerektiği söylenmiştir.

**İnversiyon'da Pasif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** Aktif EPD ölçümünden hemen sonra Unilateral Proprioception> Ankle> Passive inversion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 20° eversiyona doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (20°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi istenmiştir. İkinci turda denek herhangi bir hareket başlamadan cihaz deneğin ayak bileğini önceden ayarlanmış 2°/sn hızında hareket ettirmiştir, denek doğru yere (20° inversiyon) geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe bu iki aşamanın 3 tekrar uygulanması söylenmiştir.

Yorgunluk öncesi aktif ve pasif propriosepsiyon testlerinden sonra denekten 2 dakika dinlenmesi istenmiştir.

İnversiyon yönünde izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizi uygulanmıştır. Başlangıçtaki Peak Torque %50'nin altına geldikten hemen sonra zaman kaybetmeden (60-90 saniye süresi içerisinde) tekrar sırayla aktif ve pasif propriosepsiyon ölçümleri

yukarıda anlatıldığı gibi ayarlanıp benzer şekilde uygulanmıştır ve sonuçlar tüm test boyunca aktif ve pasif olarak kaydedilmiştir.




**Şekil 3.5.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 20° İnversiyonda



**Şekil 3.6.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 20° İnversiyonda

**4. Seans: Plantar fleksiyon'da Aktif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** 5 dakika ısınma egzersizinden hemen sonra denekten koltukta oturması istenmiştir. Göz bandı ve kulaklık takılıp, şeker ve koku verilmiştir. Deneğin Kalça eklemi 70° ve diz eklemi 45° de ayarlanarak sağ uyluk orta kısmı sabitleyici aparatın üstünde sabitlenmiştir. Biodex Multi-Joint System-Pro dinamometresinde Unilateral Proprioception> Ankle> Active plantar flexion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 25° plantar fleksiyona (ayak bileğinin öne doğru hareket etmesi) doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (25°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi söylenmiştir. İkinci turda denek ayak bileğini tekrar aynı açıya önceden ayarlanmış 5°/sn hızında getirmeye çalıştığı ve doğru yere geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe her iki aşama 3 tekrar yapılması gerektiği söylenmiştir.

**Plantar fleksiyon'da Pasif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** Aktif EPD ölçümünden hemen sonra Unilateral Proprioception> Ankle> Passive plantar flexion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 25° plantar fleksiyona doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (25°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi istenmiştir. İkinci turda denek herhangi bir hareket başlamadan cihaz deneğin ayak bileğini önceden ayarlanmış 2°/sn hızında hareket ettirmiştir, denek doğru yere (25° plantar fleksiyon) geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe bu iki aşamanın 3 tekrar uygulanması söylenmiştir.

Yorgunluk öncesi aktif ve pasif propriosepsiyon testlerinden sonra denekten 2 dakika dinlenmesi istenmiştir.

Plantar fleksiyon yönünde izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizi uygulanmıştır. Başlangıçtaki Peak torque %50'nin altına geldikten hemen sonra zaman kaybetmeden (60-90 saniye süresi içerisinde) tekrar sırayla aktif ve pasif

propriosepsiyon ölçümleri yukarıda anlattığımız gibi ayarlanıp benzer şekilde uygulanmıştır ve sonuçlar tüm test boyunca aktif ve pasif olarak kaydedilmiştir.




**Şekil 3.7.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 25° Plantar Fleksiyonda



**Şekil 3.8.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 25° Plantar Fleksiyonda

**5.Seans: Dorsal fleksiyon'da Aktif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** 5 dakika ısınma egzersizinden hemen sonra denekten koltukta oturması istenmiştir. Göz bandı ve kulaklık takılıp, şeker ve koku verilmiştir. Deneğin Kalça eklemi 70° ve diz eklemi 45° de ayarlanarak sağ uyluk orta kısmı sabitleyici aparatın üstünde sabitlenmiştir. Biodex Multi-Joint System-Pro dinamometresinde Unilateral Proprioception> Ankle> Active dorsal flexion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 15° dorsal fleksiyona (ayak bileğinin öne doğru hareket etmesi) doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (15°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi söylenmiştir. İkinci turda denek ayak bileğini tekrar aynı açıya önceden ayarlanmış 5°/sn hızında getirmeye çalıştığı ve doğru yere geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneğe her iki aşama 3 tekrar yapılması gerektiği söylenmiştir.

**Dorsal fleksiyon'da Pasif Ayak bileği Eklem Pozisyon Duyusu Ölçümü:** Aktif EPD ölçümünden hemen sonra Unilateral Proprioception> Ankle> Passive plantar flexion programı seçilerek denekten ayak bileği eklemini cihazın ayak bileğine özel hereket eden aparatında nötral talocrural pozisyondan (0°) 15° dorsal fleksiyona doğru getirmesi istenmiştir. Doğru açıya geldiğinde cihaz deneğin ayak bileğini belirtilen açıda (15°) 10 saniye sabit tutup, sürenin sonunda ayak bileğini tekrar başlangıç pozisyonuna getirmesi istenmiştir. İkinci turda denek herhangi bir hareket başlamadan cihaz deneğin ayak bileğini önceden ayarlanmış 2°/sn hızında hareket ettirmiştir, denek doğru yere (15° dorsal fleksiyon) geldiğini düşündüğünde eline verilen butona basması istenmiştir. Butona bastığı noktadaki açı alet tarafından kaydedilmiştir. Deneğe bu iki aşamanın 3 tekrar uygulanması söylenmiştir.

Yorgunluk öncesi aktif ve pasif propriosepsiyon testlerinden sonra denekten 2 dakika dinlenmesi istenmiştir.

Dorsal fleksiyon yönünde izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizi uygulanmıştır. Başlangıçtaki Peak torque %50'nin altına geldikten hemen sonra zaman kaybetmeden (60-90 saniye süresi içerisinde) tekrar sırayla aktif ve pasif

propriosepsiyon ölçümleri yukarıda anlatıldığı gibi ayarlanıp benzer şekilde uygulanmıştır ve sonuçlar tüm test boyunca aktif ve pasif olarak kaydedilmiştir.



**Şekil 3.9.** Yorgunluk Öncesi Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 15° Dorsal Fleksiyonda




**Şekil 3.10.** Yorgunluk Sonrası Aktif ve Pasif Propriosepsiyon Ölçümü 15° Dorsal Fleksiyonda

## 3.1. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Verilerin istatistiksel analizi SPSS for Windows 11.5 paket programında yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler dağılımı normal olan değişkenler için ortalama ± standart sapma, dağılımı normal olmayan değişkenler için median (min-maks), normal değişkenler ise vaka sayısı ve (%) olarak gösterilmiştir.

Sürekli değişkenlerde yorgunluk öncesi ve sonrası zamana göre değişim ve dağılım normal olduğu için paired t test ile araştırılmıştır. Yönün ve aktif pasif olma durumlarının zamana göre derece farklarına etkisi ise tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile araştırılmıştır. $p<0,05$ için sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

# 4. BULGULAR

Çalışma 20 erkek katılımcı ile tamamlanmıştır. Katılımcıların yaş ortalaması 26 ± 3,8 yıl, boy ortalaması 176,50 ± 6,8 cm, ağırlık ortalaması 78,50 ± 9,2 kg, beden kitle indeksleri (BKİ) 25,2 ± 2,9 kg/$m^2$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.1).

**Tablo 4.1.** Deneklerin Genel Özellikleri

| | **Yaş (yıl)** | **Boy (cm)** | **Ağırlık (kg)** | **VKİ** |
|---|---|---|---|---|
| Ortalama | 26 | 176,50 | 78,50 | 25,2 |
| Std. Sapma | 3,8 | 6,8 | 9,2 | 2,9 |
| Min. | 20 | 161 | 65 | 21 |
| Max. | 35 | 190 | 95 | 31.1 |

**Yorgunluk egzersizinin 4 yönde farklı hedef dereceye göre yapılan propriosepsiyon testi üzerine etkisi:** 4 açıda (Eversiyon 10°, İnversiyon 20°, Plantar fleksiyon 25°ve Dorsal fleksiyon 15°) yorgunluk egzersiz programı öncesi ve sonrası her yön için belirlenen bir hedef dereceye ulaşmak için, sürekli değişkenlerde yorgunluk öncesi ve sonrası zamana göre değişim ve dağılım normal olduğu için paired t test ile karşılaştırılmıştır. Yönün ve aktif pasif olma durumlarının zamana göre derece farklarına etkisi ise tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile karşılaştırılmıştır. Bu test sonucunda yorgunluk egzersizi öncesi ve sonrası yapılan propriosepsiyon testinde aktif eversiyon, aktif dorsal fleksiyon ve tüm pasif testlerde anlamlı fark saptanmazken, aktif inversiyon ve aktif plantar fleksiyonda anlamlı fark saptanmıştır (Tablo 4.2).

**Tablo 4.2.** Yorgunluk Öncesi ve Sonrası Hedef Dereceye Göre Ortalama Error ve Standart Sapma (Std. Sapma), Yorgunluk Egzersizinin 4 Açıda Propriosepsiyon Testi Üzerine Etkisi

| | | **Hedef açı** | **Yorgunluk Öncesi Error ± Std. Sapma** | **Yorgunluk Sonrası Error ± Std. Sapma** | **P değerleri** |
|---|---|---|---|---|---|
| Aktif Prop. | Eversiyon | 10° | 0,77 ± 1,34 | 1,90 ± 2,99 | 0,160 |
| | İnversiyon | 20° | 0,42 ± 1,77 | 2,62 ± 2,45 | **0,002** |
| | Plantar fleksiyon | 25° | 0,18 ± 1,62 | 2,74 ± 3,37 | **0,001** |
| | Dorsal fleksiyon | 15° | 0,37 ± 1,18 | 0,32 ± 1,88 | 0,087 |
| Pasif Prop. | Eversiyon | 10° | 0,33 ± 1,61 | 0,11 ± 1,39 | 0,551 |
| | İnversiyon | 20° | 1,42 ± 2,33 | 0,70 ± 2,73 | 0,062 |
| | Plantar fleksiyon | 25° | 2,28 ± 2,04 | 1,51 ± 3,47 | 0,356 |
| | Dorsal fleksiyon | 15° | 0,68 ± 1,10 | 0,02 ± 1,52 | 0,130 |

**Yorgunluk öncesi ve sonrasının (zaman) yön ve aktif/pasif propriosepsiyon ile etkileşimi:** Varyans analizini kullanarak, yorgunluk öncesi ve sonrası ile yön ve aktif/pasif propriosepsiyon arasında olan etkileşim araştırılmıştır. Yorgunluk öncesi ve sonrası anlamlı fark bulunurken (zaman olarak) eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon aralarında aktif ve pasif şeklinde ayırmadığımızda anlamlı fark bulunmamaktadır. Ancak, yönleri aktif pasif propriosepsiyon şeklinde ayırdığımızda aktif ve pasif propriosepsiyon ile yorgunluk öncesi ve sonrası (zaman) arasında etkileşim saptanmıştır ve fark anlamlı bulunmuştur (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3.** Yorgunluk Öncesi ve Sonrası (Zaman) ile Yön ve Aktif/Pasif Propriosepsiyon Arasında Olan Etkileşim

| Etki | Anlamlılık |
|---|---|
| Zaman | **0,000 (<0,001)** |
| Zaman * Yön | 0,126 |
| Zaman * Aktif/Pasif | **0,007** |
| Zaman * Yön * aktif/Pasif | 0,315 |

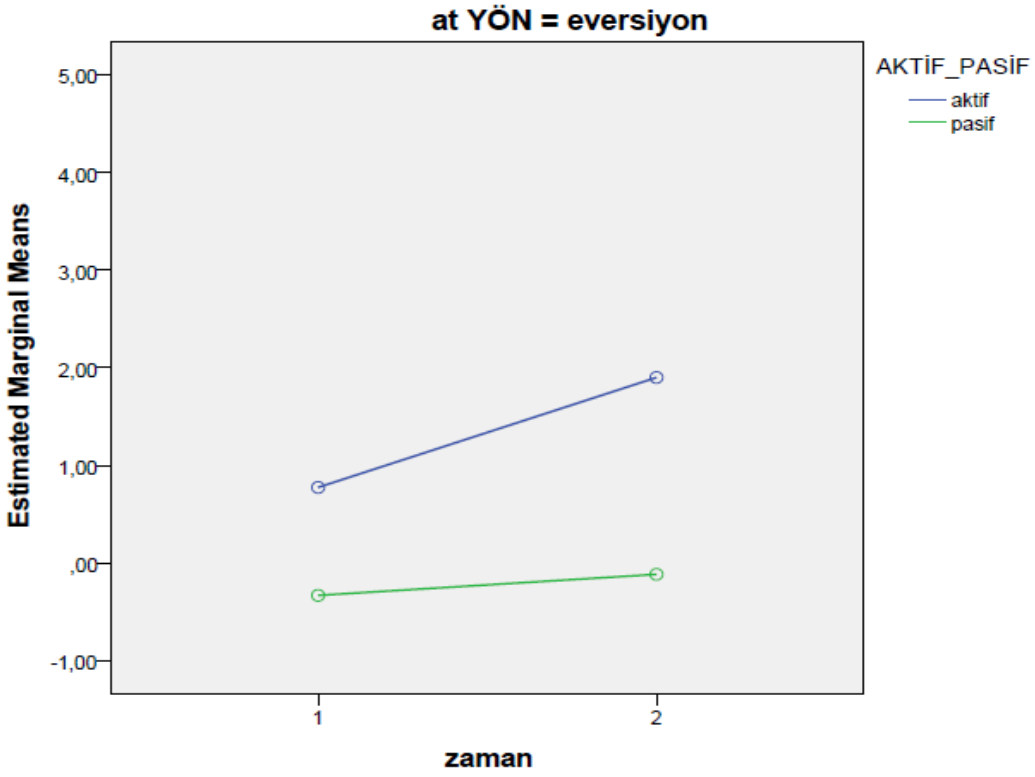
Ayrıca yön ile aktif/pasif propriosepsiyon arasında, varyans analizini kullanarak etkileşimin saptanmıştır (Tablo 4.4).

**Tablo 4.4.** Yön ile Aktif/Pasif Propriosepsiyon Arasında Olan Etkileşim

| Etki | Anlamlılık |
|---|---|
| Yön | 0,106 |
| Aktif/Pasif | **0,000 (<0,001)** |
| Yön * Aktif/Pasif | **0,002** |

Yorgunluk öncesi ve sonrası tahmini marginal ortalamalar her 4 yön açısında grafik olarak gösterilmiştir.

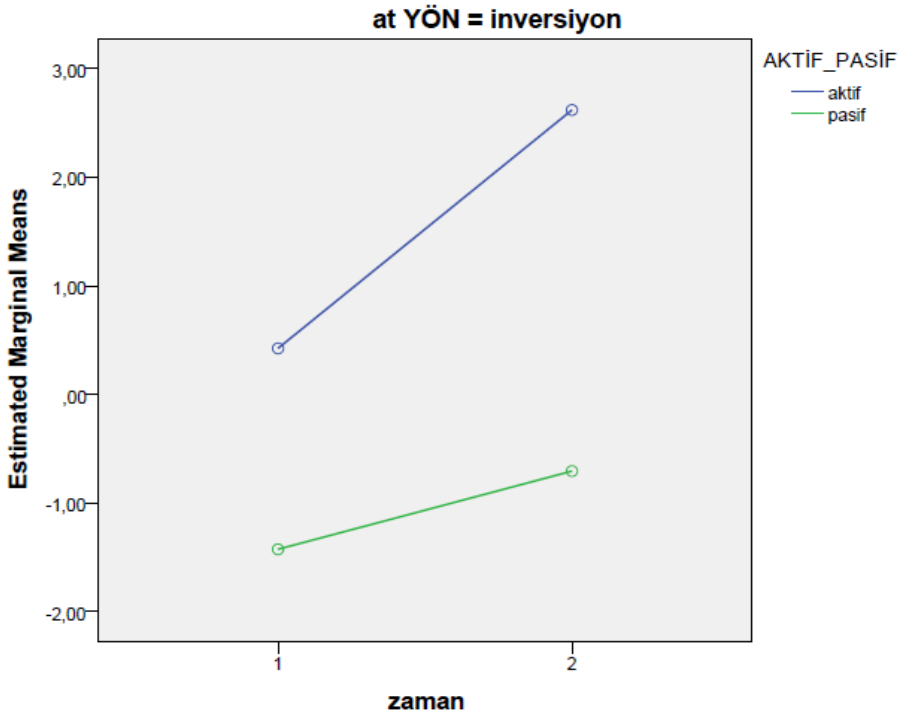
Çubuk grafiği, eversiyon yönü aktif propriosepsiyon ölçümlerinde yorgunluk öncesi ve sonrası ortalama error ± standart sapma değerlerinin karşılaştırılmasında, fark göstermesine rağmen, eklem pozisyon duyusunda anlamlı bir azalma ve değişillik göstermemektedir (Grafik 1).



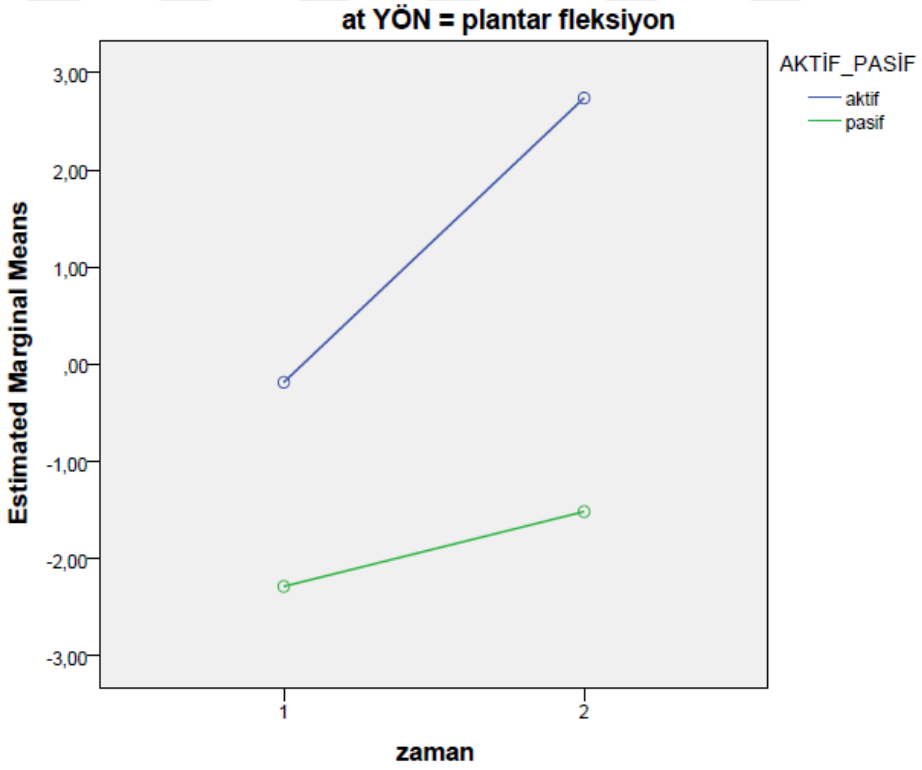

**Grafik 1.** Eversiyon Çubuk Grafiği

**Zaman 1:** Yorgunluk Öncesi, **Zaman 2:** Yorgunluk Sonrası

Çubuk grafiği, inversiyon ve plantar fleksiyon yönlerinde yorgunluk sonrası ayak bileği aktif propriosepsiyonunun anlamlı şekilde etkilendiğini göstermektedir (Grafik 2 ve 3).

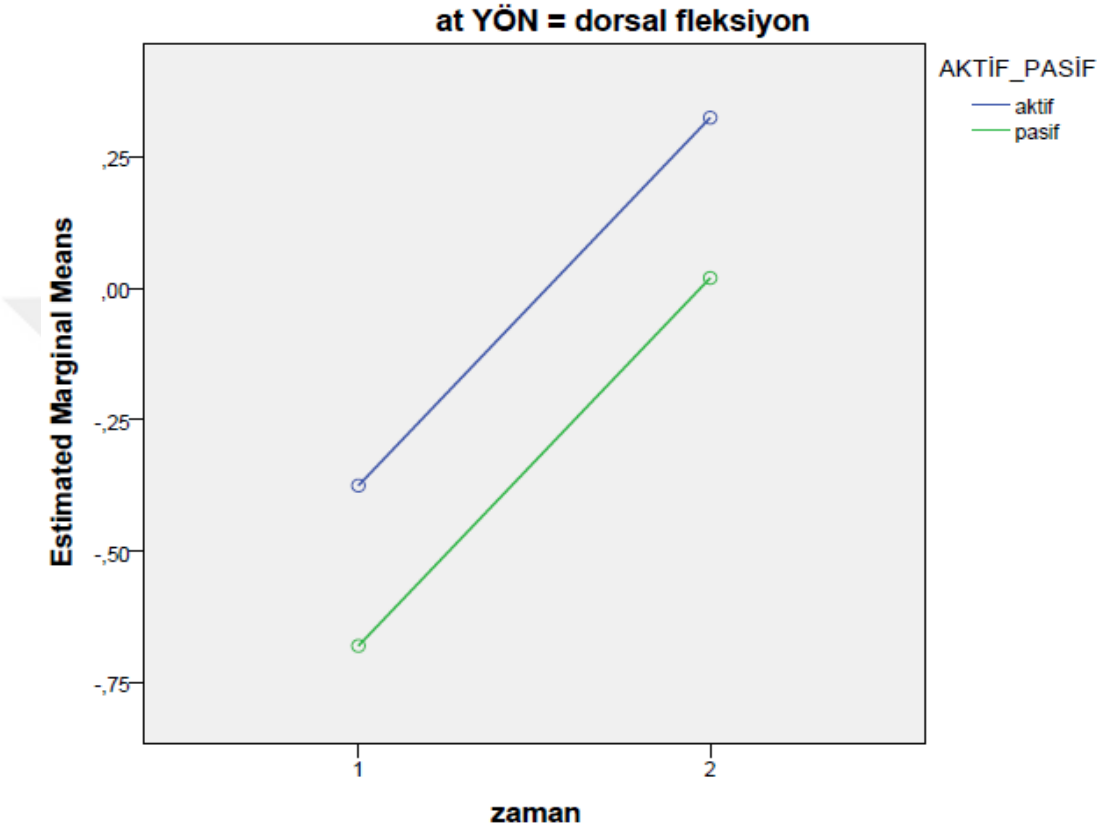



**Grafik 2.** İnversiyon Çubuk Grafiği




**Grafik 3.** Plantar Fleksiyon Çubuk Grafiği

Çubuk Grafiği, dorsal fleksiyon yönünde her iki aktif ve pasif propriosepsiyonunda yorgunluk sonrası anlamlı değişiklik ve fark göstermemektedir. Aktif ile pasif propriosepsiyonuna ait olan çubuk grafikleri, paralel şekilde gösterilmiştir (Grafik 4).




**Grafik 4.** Dorsal Flesksiyon Çubuk Grafiği

# 5. TARTIŞMA

Günümüzde spor ve fiziksel aktivitelere katılım oranlarında hızlı artış görülmektedir (3,4). klinisyenler, araştırmacılar, sporcular ve fiziksel aktif popülasyonlara göre yaralanmaların azalması, kontrolü ve önlenmesi en önemli hedefler olarak geçmektedir (3,4). Spor yaralanmaları ve bunların önlenmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ilgiler artmaktadır (3,4). Ayak bileği yaralanmaları rekreatif fiziksel aktivite yapanlarda ve sporcularda ortaya çıkan en yaygın kas-iskelet yaralanmaları olarak tanımlanmaktadır (5-7).

Bu çalışma, propriosepsiyonun yaralanma riskini belirleyen önemli faktörlerden birisi olduğu göz önüne alınarak, ayak bileği çevresindeki kassal yorgunluğun ayak bileği propriosepsiyonuna etkisinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Spor yaralanmalarını etkileyen faktörlerden birisi cinsiyet olduğu gösterilmektedir, ayrıca ayak bileği üzerine yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde cinsiyet faktörünün propriyosepsiyonu etkilediği ortaya çıkmaktadır (88-90). Ayrıca çalışmaların büyük bir kısmı erkekler üzerine yapıldığından bu çalışmaya da erkek katılımcılar kabul edilmiştir (33,51,93,94,96). Yapılan çalışmalarda propriosepsiyonun yaşın artması ile etkilendiği gösterilmiştir (90-92). Sedat Tolga Aydoğ ve arkadaşlarının çalışmasında yaşın ilerlemesi ile ÖÇB üzerindeki mekanoreseptörler sayısının azaldığı gösterilmiştir ve dolayısıyla yaşlanma ile proprioseptif açıkların meydana geldiği açıklanmıştır (127). Bu nedenle çalışmaya 18-35 yaş aralığında olan genç erişkinler dahil edilmiştir. Yaş ortalaması 26 ± 3,8 yıl olup, yapılan benzer çalışmalar ile uyumlu olarak değerlendirilmiştir (32,33,34,41,51,94,95). Düzenli fiziksel aktivite ve egzersiz proprioseptif fonksiyonunun korunmasında yadsınamaz bir rol oynadığı görülmektedir bu nedenle katılımcılar sedanter ve rekreasyonel egzersiz yapan bireylerden seçilmiştir (96,97,102).

Test öncesi ısınma egzersizinin genel amacı, kas ve tendon esnekliğinin, kasın ısı ve kan akışının arttırılması olarak değerlendirilmektedir (98,99). Bisiklet

ergometresinde 5 dakikalık 50 watt dirençte ve 50 devirde ısınma egzersizi deneklerde diğer çalışmalara uyumlu olarak uygulanmıştır (100).

Ayak bileğinin fonksiyonel instabilitesinde, mekanik instabilite, peroneal kas zayıflığı ve proprioseptif bozukluğu gibi çeşitli nedenlerin rol aldığı ortaya çıkmaktadır (14-18).

Genel bir teori olarak, eklem kapsül ve bağları, ayak bileği eklem pozisyon duyusu üzerinde rol oynayan en önemli bileşenler olarak düşünülmektedir (19,20). Dolayısıyla eklem kapsül ve bağlarında hasar oluşacak bireylerde, ayak bileği proprioseptif bozukluğun oluşabileceği beklenilmektedir (20). Ancak bir kısım çalışmalar bahsedilen teoriyi desteklememektedirler (16,24). Bu nedenle eklem kapsül ve bağlarının ayak bileği propriosepsiyonu üzerinde düşünülen başlıca katkılarının yok sayılması durumunda, diğer yapıların ayak bileği propriosepsiyonu üzerinde olan rolleri önceden düşünüldüğünden daha da fazla ortaya çıkmaktadır (24,25). Yapılan çalışmalarda yaşlanma, kriyoterapi, egzersize bağlı yorgunluk ve düzenli fiziksel aktivite ve egzersizin propriosepsiyonu etkilediği gösterilmektedir (96,97).

Çeşitli çalışmalarda kas iğciğinin propriosepsiyon patofizyolojisinde olan katkısı sandığımızdan daha da fazla olduğu açıklanmaktadır (16,26-32). 1986 yılında Skinner ve arkadaşlarının diz üzerinde ve 1996'da Voight ve arkadaşlarının omuz üzerinde yaptıkları çalışmalarda, kas yorgunluğuna ikincil olarak eklem propriosepsiyonunda belirgin kayıplar gösterilmiştir (33,34). Bu çalışma, daha önceki çalışmalarda eklem propriosepsiyonunun, egzersize bağlı kas yorgunluğundan etkilendiği görüşüne ve çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlara dayanarak tasarlanmış ve yürütülmüştür (33,34,37,38,41,88,96,101,103).

Çalışmada yorgunluk protokolü önceki yapılan çalışmalar uyumlu olarak yapılmıştır. CON/ECC unilateral izokinetik programı sadece tek yönün (eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon, dorsifleksiyon) kaslarında yorgunluk oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. MVC (maximal voluntary contractions) veya Peak Torque %50' nin altına düşene kadar 60°/sn hızında yorgunluk protokolüne devam edilmiştir (32,41,94,95,104). Yorgunluk protokolü daha çok Mohammadi ve Yaggie' nin yaptıkları çalışmalara uyumlu olarak uygulanmıştır (95,104).

Şu ana kadar bu çalışma, Biodex Multi-Joint System-Pro (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, 11967, USA) dinamometresini kullanarak tüm propriosepsiyon ve yorgunluk egzersizi aşamalarını yapan, yorgunluk öncesi ve sonrası eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon yönlerine ve ayrıca aktif ile pasife ayırarak kassal yorgunluğun ayak bileğinin propriosepsiyonu üzerinde etkisini, inceleyen ve yapılan tek çalışma olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada yorgunluk protokolü South ve arkadaşlarının çalışmasına benzer protokol uygulanmıştır, ancak sonuçlar South'un çalışmasına göre bazı farklılıklar göstermiştir. South ve arkadaşlarının çalışmasında, peroneal kasların konsantrik yorgunluğunun eversiyon açılarında ayak bileği eklem pozisyon duyusu üzerine etkisi olmadığı açıklanmıştır ama inversiyon eklem pozisyon duyu error'u 2.8° artmasına karşın istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır. Çalışmamızda ise ayak bileği invertör kasları yorgunluğunun ayak bileği eklem pozisyon duyusunu etkilediğini göstermektedir. Ayak bileğinde inversiyon yönünde yorgunluk öncesi ve sonrası aktif propriosepsiyon (repozisyonlanma) anlamlı olarak fark göstermektedir (p=0,002). Bu açıdan South'un çalışmasının sonuçlarına uyumlu olarak yorumlanabilir (41). South'un çalışmasında peroneal kas grubunda yorgunluk oluşturarak eklem pozisyon duyusu eversiyon ve inversiyonun 3 farklı açısında (% 20 tam aktif inversiyon, %90 tam aktif inversiyon ve %90 tam aktif eversiyon) incelenmiş ancak anlamlı bir fark bulunmamıştır (41). Aynı şekilde, çalışmamızda da evertör kasların (peroneal kaslar grubu) yorgunluğu South'ın çalışması gibi eklem propriosepsiyonunu anlamlı olarak etkilememiştir.

Ghanbari ve arkadaşları 40 sedanter katılımcıyı 2 gruba ayırdıkları çalışmalarında bir gruba açık kinetik zincir egzersizleri (ağırlık taşımayan yorgunluk egzersizi) ve diğer gruba kapalı kinetik zincir egzersizleri (ağrılık taşıyan yorgunluk egzersizleri) uygulamışlardır, 21° plantar fleksiyon ve 10° dorsal fleksiyonda bu iki yorgunluk türünün eklem pozisyon duyusunda etkisini araştırmışlardır. Her iki grupta ve her iki açıda yorgunluk öncesi ve sonrası aktif ve pasif propriosepsiyon anlamlı şekilde etkilenmiş fakat kapalı zincir yorgunluk egzersizleri yapılan grupta eklem pozisyon duyusudaki değişiklikler (Absolute Angular Error) plantar fleksiyonda diğer gruba göre büyük fark göstermiştir. Dolayısıyla, ağırlık taşıyan egzersizlerin eklem

propriosepsiyonu üzerine olan etkileri, ağırlık taşımayan egzersizlere göre daha fazla olduğu söylenmiştir (94).

Çalışmamızda ise hedef olan 25° plantar fleksiyon açısında açık kinetik zincir yorgunluk egzersizi (ağırlık taşımayan) sonrası sadece aktif repozisyonlanmada anlamlı fark ortaya çıkmıştır (p= 0,001). Evertör kaslarının da ağırlık taşımayan yorgunluk egzersizi sonrası repozisyonlanma değerlerinde fark bulunsa da istatistik olarak fark anlamlı bulunmamıştır.

Forestier ve arkadaşları 8 sedanter erkek üzerinde 4 farklı açıda fakat 2 yönde (10° ve 20° dorsal ve 10° ve 20° plantar fleksiyon) izometrik yorgunluk öncesi ve sonrası ayak bileği eklem pozisyon duyusunu inceledikleri çalışmada eklem propriosepsiyonu aktif ve pasife ayrılmaksızın, 10° plantar fleksiyon ve 20° dorsal fleksiyonda anlamlı fark bulunmuştur. Plantar fleksiyonda düşük ve dorsal fleksiyonda büyük açılarda, propriosepsiyonun yorgunluktan etkilendiğini ortaya koymuşlardır (38).

Lin YH. arkadaşları, 30 pasif ayak bileği propriosepsiyon bozukluğu olan hasta ve 30 sedanter bireyi karşılaştırarak yaptığı çalışmalarında propriosepsiyon bozukluğu ile kas yorgunluğu arasında bir etkileşim olduğunu saptamışlardır. Kas yorgunluğunun ayak bileği proprioseptif defekte neden olduğunu 10° eversiyon, 10° ve 20° inversiyon açılarında repozisyonlanma yeteneğinin azaldığını saptamışlardır. Çalışmada pasif propriosepsiyon defekti olan bireylerde yorgunluk sonrası proprioseptif bozukluğun en çok düşük açılarda (10° eversiyon ve inversiyon) anlamlı bulunmuştur (42). Çalışmamızda yorgunluk sonrası 20° inversiyon ve 25° plantar fleksiyonda (çalışmanın yüksek açıları) aktif propriosepsiyon defekti anlamlı olarak bulunmuştur. Bu iki çalışma bulgularının yorumlanması sonucunda, sedanter bireylerde ayak bileği eklem pozisyon duyusu yorgunluk sonrası aktif propriosepsiyonda ve hem yüksek açılarda etkilendiği sonucuna varılabilir.

Johnston ve ark. (32), Voight ve ark. (34) çalışmalarında eklem pozisyon duyusunun yorgunluk egzersizi sonrası anlamlı olarak azaldığını göstermişlerdir. Mohammadi ve Roozdar, erkek futbolcularda evertör kasları yorgunluğunun ayak bileği eklem pozisyon duyusu üzerinde etkisini inceledikleri çalışmalarında, evertör

kasları yorgunluğunun ayak bileği eklem pozisyon duyusunu aktif ve pasifte anlamlı bir şekilde etkilediğini ve yaralanmaya yol açtığını göstermişlerdir (95). Çalışmamızda eversiyon yönünde CON/ECC izokinetik yorgunluk öncesi ve sonrası ölçülen aktif propriosepsiyon sonucunda, ortalama error ± standart sapma değerlerini karşılaştırdığımızda, fark görülmüş, ancak istatistik olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Bulgular kısmında da Grafik 1'de gösterildiği gibi, aktif propriosepsiyona ait olan çubuk grafiği pasife göre farklı yönde görünse de anlamlılık ifade etmemiştir.

Ayak bileğinde inversiyon burkulması en yaygın yaralanma olarak bilinmektedir (105). İnversiyon burkulma mekanizması en çok inversiyon ve plantar fleksiyon birleşimiyle oluşmaktadır (106,107). Bu çalışmada izole şekilde invertör ve plantar fleksör kaslar yorgunluğu ayak bileğinin aktif propriosepsiyonunu etkilemiştir. Ayrıca, bir çok çalışmada evertör kasların yorgunluğunun ayak bileği eklem pozisyon duyusunun azalmasında çok önemli rolü olduğu söylenmiştir (20,42,88,95). Bulduğumuz sonuçlar, yoğun aktivite ve yorgunluk sonrası invertör ve plantar fleksör kaslarda ortaya çıkan propriosepsiyon bozulması, evertör kasların yorgunluğu ve zayıflama etkisiyle birlikte inversiyon burkulma mekanizmasında rol alabildiğini göstermektedir, bu sonuçlar çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (95,109,110). Çeşitli çalışmalara göre, kas iğciği eklem propriosepsiyonunun ana komponentlerinden birisi kabul edilebilir, ancak evertör ve dorsal fleksör kasları yorgunluğunun eklem pozisyon duyusunda anlamlı bir etki oluşturmaması başka faktörlerin de ayak bilgi propriosepsiyonunda rol oynadığını akla getirmektedir (20,88,90,106,108).

Dorsal fleksörlerin yorgunluğu ayak bileği eklem pozisyon duyusunu etkilememiştir. Ayrıca, tibialis anterior kası bir dorsal fleksör ve soleus ile gastrocnemius kasları plantar fleksör kasları olarak ve aynı zamanda ayak bileği agonist ve antagonist kasları olarak görev yaptıkları bilinmektedir. Bazı çalışmalar agonist kasın maksimal yorgunluğu sırasında antagonist kasın eklem stabilitesinde önemli rol oynadığını açıklamışlardır (111,112). Bu nedenle dorsal fleksör (tibialis anterior) kas yorgunluğunun eklem propriosepsiyonunu etkilememe nedeni, plantar fleksör kasların (soleus ve gastrocnemius) eklem stabilitesinde olan rolüyle açıklanabilir.

Çoklu eklem ve kapsamlı kas reseptörleri boşalması (deşarj) farklı kasların içine kanalize edebilir ve bu, eklemin belirli ve spesifik kas aktivitesine bağlı olarak değişmektedir. Böylece peroneal kas yorgunluğu durumunda örneğin gastrocnemius kası, olası hasarı önlemek için ayak bileği eklem pozisyon duyusu katkısında bulunabilir (41, 113). Ancak bu konu üzerine daha fazla araştırma ve çalışmalar yapılması önerilmiştir (41).

Diz eklemi çevresindeki deride anestezi oluşturarak eklem pozisyon duyusu üzerine etkisini araştırma sonucunda herhangi değişiklik bulunamamıştır (114). Ancak, kutanöz girdinin hedef açının repozisyonlanmasında bir potansiyel limitasyon rolü olduğu açıklanmıştır (115).

Erden yaptığı çalışmada, diz ekleminin farklı açılardaki geriliminin farklı olacağı ve proprioreseptör yanıtlarının eklem pozisyon duyusunda buna bağlı değişiklik yaratabileceğini ortaya koymuştur. Dizin 15, 30, 60 ve 90 derecelik fleksiyon konumları için eklem pozisyon duyusu ölçümleri yapılmıştır ve dizin hata açısı değerinin 15 dereceden başlayarak 60 dereceye kadar arttığı, en fazla değere bu derecede ulaştığı ve 90 derecede yeniden azaldığı bulunmuştur. Bu sonuç, diz ekleminin ekstansiyona yaklaştıkça hamstring kas grubunun gerilimine bağlı olarak daha fazla afferent uyarı oluşturmasına neden olması şeklinde açıklanmıştır (125). Çalışmamızda 20° inversiyon ve 25° plantar fleksiyonda (inversiyon ve plantar fleskiyon genliğinin orta açıları olarak) eklem pozisyon duyusunun anlamlı şekilde etkilenmesi, Erden'in çalışmasına uyumlu olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, çalışmanın başlangıcında belirttiğimiz gibi hipotezimizin bir kısmı gerçekleşmiştir. Ayak bileği ekleminde 4 yönde izole şeklinde kassal konsantrik ve egzantrik yorgunluk oluşturan egzersiz sonucunda propriosepsiyonun negatif şekilde etkilenme kavramı üzerine 20 sedanter katılımcı üzerinde araştırma yapılmıştır. Aktif propriosepsiyon plantar fleksiyon ve inversiyonda anlamlı şekilde etkilenmiştir. Aktif propriosepsiyonun ortalama error ve standart sapma değerleri eversiyon yönünde hedef açıya göre (10°) belirli bir fark oluşturmasına rağmen istatistik olarak anlamlı olmamıştır. Bu sonuç katılımcı sayısının artmış olduğu durumunda anlamlılık gösterme ihtimali tartışılabilir. Ayak bileğinde yaygın şekilde görülen inversiyon burkulmasının önemli nedenlerden birisi olan evertor kaslarının

zayıflığı ve yorgunluğu yanında (13-18,41), invertor kaslarının yorgunluğu da inversiyon açılarında eklem pozisyon duyusunu etkileyerek burkulma nedenlerinden birisi olarak bildirilebilir. Wilkerson ve arkadaşlarının çalışması bunu desteklemiştir. Çalışmada eversiyon/inversiyon peak torque testi biodex dinamometresinde yapılarak, inversiyon peak torque defektleri anlamlı şekilde eversiyon'dan daha fazla lateral bağların yaralanmasıyla ilişkili görülmüştür (126).

**İleri araştırmalar için klinik fikirler ve öneriler:**

1- Oryantasyon eğitiminin verilmesi,
2- Katılımcı sayısının arttırılması,
3- Her 4 yönde propriosepsiyon ölçümü için her iki izokinetik ve denge cihazının kullanılıp karşılaştırılması,
4- Her 4 yönde yorgunluk egzersizi peak torque %70'in altına düşene kadar devam edilmesi,
5- Her 4 yönde açık ve kapalı zincir yorgunluk oluşturan egzersizlerin verilip karşılaştırılması,
6- Benzer araştırmayı kadın grubu ile de yapıp erkekler ile karşılaştırılması,
7- Sedanter grupla düzenli aktivite yapan grubun karşılaştırılması,
8- Her yönde en az iki hedef açının belirlenip araştırılması,
9- Tek taraflı ayak bileği yorgunluk egzersizinin kontralateral ayak bileğinin eklem pozisyon duyusunda etkisinin incelenmesi (4 yönde izole şekilde).

# 6. SONUÇLAR

1- İzole şekilde uygulanan izokinetik yorgunluk egzersizi sonrası aktif propriosepsiyon inversiyon yönünde, yorgunluk öncesine göre anlamlı olarak etkilenmiştir.

2- İzole şekilde uygulanan izokinetik yorgunluk egzersizi sonrası aktif propriosepsiyon plantar fleksiyon yönünde, yorgunluk öncesine göre anlamlı olarak etkilenmiştir.

3- Yön ile aktif/pasif propriosepsiyon arasında, varyans analizini kullanarak etkileşimin olduğu gösterilmiştir.

4- Yorgunluk öncesi ve sonrası (Zaman) ile aktif/pasif propriosepsiyon arasında etkileşimin olduğu saptanmıştır.

# ÖZET

**Giriş:** Günümüzde spor ve fiziksel aktivitelere katılım oranlarında hızlı artış ile birlikte, spor ve aktivite yaralanmalarının önlenmesine yönelik çalışmaların yapılmasına önemli derecede ilgiler artmıştır. Bu çalışmanın amacı egzersiz sonrası ayak bileği kas grupları yorgunluğunun eklem propriosepsiyonu üzerine olan etkisini eversiyon, inversiyon, plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyonda incelemektir.

**Gereç ve Yöntem:** Çalışmaya yaşları 18 ile 35 arasında olan, sedanter ve rekreasyonel egzersiz yapan 20 erkek denek alınmıştır. Birbirisinden en az 4 gün arası olan ayrı ayrı günlerde toplam 4 gün olarak ayak bileğinde, Biodex Multi-Joint System-Pro dinamometre cihazında sırayla, 1. gün; eversiyon (10°), 2. gün; inversiyon (20°), 3. gün; plantar fleksiyon (25°) ve 4. gün; dorsal fleksiyon (15°) açılarında, aktif ve pasif propriosepsiyon ölçülmüştür. Sonrasında izokinetik yorgunluk egzersizi uygulanmıştır. Yorgunluk öncesi yapılan propriosepsiyon ölçümleri yorgunluk sonrası da tekrarlanmıştır.

**Bulgular:** Aktif propriosepsiyon inversiyon 20° ve plantar fleksiyon 25° açılarında yorgunluk egzersizi sonrası anlamlı olarak etkilenmiştir ($p<0,05$). Aktif propriosepsiyon eversiyon 10° ve dorsal fleksiyon 15° açılarında ve pasif propriosepsiyon hiç bir açıda yorgunluk sonrası etkilendiği saptanmamıştır.

**Sonuç:** Ayak bileği invertör ve plantar fleksör kaslar yorgunluğu aktif propriosepsiyonun bozulmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, ayak bileğinin en yaygın oluşan inversiyon burkulmasına, invertör ve plantar fleksör kaslarının zayıflığı ve yorgunluğu da yol açan faktörlerden birisi olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Aktif ve pasif propriosepsiyon, invertör ve plantar fleksör, kas yorgunluğu, ayak bileği

# SUMMARY

**Introduction:** Nowadays, with the rapid increase in the rate of participation in sports and physical activities, interests to carry out studies for the prevention of injuries has considerably increased. The purpose of this study, is to investigate the effect of the post-exercise ankle muscle groups' fatigue, on ankle proprioception in the target angles of eversion, inversion, plantar flexion and dorsal flexion.

**Material and method:** 20 men who aged between 18-35 were included in the study who either are sedantery or maintain physical activity recreationally. In separate days with at least 4 days long from each other, using the Biodex Multi-Joint System-Pro dynamometer, ankle active and passive proprioception, were measured in angles of, in turn, 1st day; eversion (10 °), 2nd day; Inversion (20 °), 3rd day; plantar flexion (25 °) and 4th day; dorsal flexion (15 °). After proprioception testing isokinetic fatigue exercise was implemented. Then the proprioception measurements done before fatigue, was repeated after fatigue.

**Results:** Active proprioception, is significantly affected by post-exercise fatigue at the angles of inversion 20 ° and plantar flexion 25 ° ($p < 0.05$). Active proprioception, was not affected at the angles of eversion 10 ° and dorsiflexion 15 °, and passive proprioception is not affected by post-exercise fatigue at any angle.

**Conclusion:** Ankle invertor and plantar flexor muscles fatigue has led to impairment of the active proprioception. Therefore, the weakness and fatigue of the invertor and plantar flexor muscles is thought to be one of the leading factors for the most common ankle inversion sprain.



**Key words:** Active and passive proprioception, invertor and plantar flexor, muscle fatigue, ankle

# 7. KAYNAKLAR


1. Bahr R. Holme I. Risk factors for sports injuries—a methodological approach. Br J Sports Med 2003;37 (5):384–392

2. Pate RR. Pratt M. Blair SN. Haskell WL. Macera CA. Bouchard C. Buchner D. Ettinger W. Heath GW.King AC. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. 1995 Feb 1;273 (5):402-7.

3. Stephan D.W. John R.S. John M.M. Colleen C. The Aetiology of Sport Injuries. Sports Medicine,Springer.1985;2 (1):47-58

4. Meeuwisse WH. Tyreman H. Hagel B. Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. Clin J Sport Med. 2007;17 (3):215-9

5. Ergen E. Ülkar B. Proprioception and ankle injuries in soccer. Clinics Sports Med. 2008; 27 (1):195-217

6. McGuine TA, Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. Am J Sports Med 2006;34 (7):1103–11

7. Gross MT. Liu HY. The Role of ankle bracing for prevention of ankle sprain injuries. J Orthop Sports Phys Ther. 2003;33 (10):572-7

8. Lin C. Wei C. Hiller CE. Rob A de Bie, Evidence-based treatment for ankle injuries: a clinical perspective.Journal of Manual & Manipulation Therapy. 2010; 18 (1): 22–28.

9. Bicici S. Karatas N. Baltaci G. Effect of athletic taping and kinesiotaping on measurements of functional performance in basketball players with chronic inversion ankle sprains. Int J Sports Phys Ther. 2012;7 (2):154-66.

10. Dehghan M. Eydivandi K. Jaafarzadeh G. The effect of proprioceptive training associated with the mental imagery exercise programs on the prevention of ankle sprains in young soccer players. European Journal of Experimental Biology. 2013, 3 (1):564-567

11. McGuine TA. Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. Am J Sports Med. 2006;34 (7):1103-1111

12. Freeman MAR. Dean MRE.Hanham IWF. The etiology and prevention of functional instability of the foot.The journal of bone and joint surgery.1965;47 (4):678-85.

13. Tropp H. Pronator muscle weakness in functional instability of the ankle joint. Int. J. Sports Med. 1986;7 (5):291-294

14. Guskiewicz KM, Perrin DH: Effect of orthotics on postural sway following inversion ankle sprain. J Orthop Sports PhysTher. 1996;23 (5):326–331.

15. Tropp H. AsklingC.Gillquist J. Prevention of ankle sprains. Am J Sports Med. 1985;13 (4):259-262.

16. Konradsen L. Ravn JB. Sørensen AI. Proprioception at the ankle: The effect of anaesthetic blockade of ligament receptors. J Bone Joint Surg Br. 1993;75 (3):433–436.

17. Leanderson J. Eriksson E. Nilsson C. Wykman A. Proprioception in classical ballet dancers. A prospective study of the influence of an ankle sprain on proprioception in the ankle joint.Am J Sports Med.1996;24 (3):370-374

18. Lohrer H. Alt W. Gollhofer A. Neuromuscular Properties and Functional Aspects of Taped Ankles. Am J Sports Med. 1999;27 (1):69-75

19. Andrew BL, Dodt E. The deployment of sensory nerve endings at the knee joint of the cat. Acta Physiol Scand.1955;28:287-296.

20. Gurney B. Milani J. Pedersen ME. Role of Fatigue on Proprioception of the Ankle. Journal of exercise physiology.2000;3 (1):1-9.

21. Garn SN. Newton RA. Kinesthetic awareness in subjects with multiple ankle sprains. J Ortho Sports Phys Ther.1988;68 (11):1667-1671.

22. Lentell G, Baas B, Lopez D, McGuire L, Sarrels M, Snyder P. The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity to functional instability of the ankle. J Ortho Sports Phys Ther. 1995;21 (4):206-215.

23. Bullock-Saxton JE. Sensory changes associated with severe ankle sprain. Scand J Rehab Med 1995; 27:161-167.

24. De Carlo M, Talbot R. Evaluation of ankle joint proprioception following injections of the anterior talofibular ligament. J Ortho Sports Phys Ther 1986; 8 (2):70-76.

25. Gandevia SC. McCloskey DI. Joint sense muscle sense, and their combination as position sense, measured at the distal interphalangeal joint of the middle finger. JPhysiol. 1976; 260 (2):387-407.

26. Brumagne S. Cordo P. Lysens R. Verschueren S. Swinnen S. The Role of Paraspinal Muscle Spindles in Lumbosacral Position Sense in Individuals With and Without Low Back Pain. Spine. 2000;25 (8):989-994.

27. Matthews PB. Proprioceptors and their contribution to somatosensory mapping: complex messages require complex processing. Can J Physiol Pharmacol. 1988;66 (4):430-8.

28. Needle AR. Buz SC. Farquhar WB. Thomas SJ. Rose WC. Kaminski TW. Muscle Spindle Traffic in Functionally Unstable Ankles During Ligamentous Stress. Journal of Athletic Training. 2013;48 (2):192–202

29. Proske U. Wise AK. Gregory JE. The role of muscle receptors in the detection of movements. Prog Neurobiol. 2000;60 (1):85-96.

30. Proske U. Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. Physiol Rev. 2012;92 (4):1651-1697

31. Docherty CL. Moore JH. Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. J Athl Train. 1998;33 (4):310-314.

32. Johnston RB. Howard ME. Cawley PW. Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1998;30 (12):1703–1707.

33. Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position of the knee. J Ortho Research.1986;4 (1):112-118.

34. Voight M, Hardin JA, Blackburn TA, Tippet S, Canner GC: The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. J Ortho Sports Phys Ther.1996;23 (6):348-355.

35. Stoff MD, Greene AF. Common peroneal nerve palsy following ankle injury: A report of two cases. Phys Ther.1982;62 (1):1463-1464.

36. Gabbett T. Incidence, site, and nature of injuries in amateur rugby league over three consecutive seasons. British Journal of Sports Medicine. 2000;34 (2):98-103.

37. Gandevia SC. Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurones and motor cortical drive. Acta Physiol Scand. 1998;162 (3):275-283.

38. Forestier N. Teasdale N. Nougier V. Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. Med Sci Sports Exerc. 2002;34 (1):117-22.

39. Shields RK. Madhavan S. Cole K.Sustained Muscle Activity Minimally Influences Dynamic Position Sense of the Ankle. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2005;35 (7):443–451.

40. Sandrey MA. Kent TE. The effects of eversion fatigue on frontal plane joint position sense in the ankle. J Sport Rehabil. 2008;17 (3):257-68.

41. South M. George KP. The effect of peroneal muscle fatigue on ankle joint position sense. Physical Therapy in Sport. 2007;8 (2): 82–87.

42. Lin YH. Li CW. Tsai LY. Liing RJ. The effects of muscle fatigue and proprioceptive deficits on the passive joint senses of ankle inversion and eversion. Isokinetics and Exercise Science. 2008;16 (2):101-105.

43. Riegger CL. Anatomy of the ankle and foot. Phys Ther. 1988;68 (12):1802-1814

44. Taner D. Fonksiyonel anatomi ekstremiteleri ve sırt bölgesi. Ankara: Hekimler yayın birliği, 2013.

45. Atay T. Ortopedi ve spor yaralanmaları asistan kitabı. Ankara: Derman Tıbbi Yayıncılık, 2015.

46. Drake RL. Vogl AW. Mitchell AWM. Gray's anatomy for students, Third edition. Philadelphia: Churchill Livingstone, an imprint of Elsevier Inc, 2015.

47. Jenkins DB. Hollinshead's Functional Anatomy of the Limbs and Back, 9th. edition. Missouri: Saunders,2008.

48. Lephart, S.M. Reestablishing Proprioception, Kinesthesia, Joint Position Sense, and Neuromuscular Control in Rehabilitation. In: Rehabilitation Techniques in Sports Medicine 2nd edition. Missouri: Times Mirror Mosby College Publishing,1993.

49. Jerosch J, Prymka M. Proprioception and joint stability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1996;4 (3):171-9.

50. Berthoz A. The Brain's Sense of Movement. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2000.

51. Öztop B.Ön çapraz bağ tamiri yapılmış hastalarda kinezyoteyp ve breys uygulamalarının propriosepsiyon üzerine etkisi. Uzmanlık tezi. Ankara.2015

52. Lephart SM, Pincivero DM, Rozzi SL. Proprioception of the ankle and knee. Sports Med. 1998;25 (3):149-55.

53. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. J Athl Train. 2002;37 (1):71-79

54. Guyton AC. Hall JE. Textbook of medical physiology. 12th edition. Saunders, Philadelphia, 2010.

55. Hlavacka F. Mergner T. Schweigart G. Interaction of vestibular and proprioceptive inputs for human self-motionperception. Neuroscience Letters. 1992;138 (1):161-164.

56. Lephart SM. Swanik CB. Boonroing T. Anatomy and Physiology of Proprioception and neuromuscular Control. Int. J. of Athl. Th. & T. 1998;3 (5):6-9

57. Johansson H. Sojka P. Pathophysiological Mechanisms Involved in Genesis and Spread of Muscular Tension in Occupational Muscle Pain and in Chronic Musculoskeletal Pain Syndromes: A Hypothesis. Medical hypothese.1991;35 (3):196-203

58. Riemann BL. LephartSM.The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. Journal of Athletic Training.2002;37 (1):71–79

59. Lephart SM. Henry TJ. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper elmemity. Journal of Sport Rehabilitation. 1996;5 (1):71-87.

60. Johansson H. Sjolander P. Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. Clinical Orthopaedics. 1991;268:161-178.

61. Kandell. ER. Schwartz. JH. Jessell TM. Principles of neural science. 3rd edition. Norwalk, CT: Appleton & Lange,1991.

62. Lephart SM.Pincivero DM. Giraldo JL. Fu FH. The role of proprioceptionin the management and rehabilitationof athletic injuries. American Journal ofSports Medicine, 1997;25 (1):130-137.

63. Şimşek D. Ertan H. Postural kontrolvespor: Kassal yorgunluk ve postural control ilişkisi. Spormetre Beden Eğitimive Spor Bilimleri Dergisi, 2011, IX (4) 119-124.

64. Sahlin K. Metabolic Factors in Fatigue. Sports Medicine. 1992;13 (2): 99-107.

65. Ergen E. Egzersiz Fizyolojisi Ders Kitabı. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2013.

66. Phillips S. Fatigue in Sport and Exercise. New York: Routledge, 2015.

67. Edwards RHT. Human muscle function and fatigue. In Human muscle fatigue: physiological mechanisms, Porter R & Whelan J. (Eds) pp. 1-18, Pitman Medical, London, 1981.

68. Allen DG. Lamb GD. Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiol Rev. 2008;88 (1):287-332.

69. Akgün N. Egzersiz fiziyolojisi. İzmir: Ege üniversitesi basımevi, 1994.

70. Behm DG. St-Pierre DM. The effects of strength training and disuse on the mechanisms of fatigue. Sports Med. 1998;25 (3):173-89.

71. Nybo L. Møller K. Volianitis S. Nielsen B. Secher NH. Effects of hyperthermia on cerebral blood flow and metabolism during prolonged exercise in humans. J Appl Physiol. 2002;93 (1):58-64.

72. Nybo L. Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. J Appl Physiol. 2001;91 (3):1055-60.

73. Bompa TO. Periodization Training for Sports. 1th edition. York University. Human Kinetics Pub., 1999.

74. Noakes TD. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. Front Physiol. 2012;3 (82):1-13

75. Enoka RM. Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. J Appl Physiol. 1992;72 (5):1631-1648.

76. Karatzaferi C. de Haan A. Ferguson RA. van Mechelen W. Sargeant AJ. Phosphocreatine and ATP content in human single muscle fibres before and after maximum dynamic exercise. Pflugers Arch. 2001;442 (3):467-74.

77. Bergström J. Hultman E. A study of the glycogen metabolism during exercise in man. Scand J Clin Lab Invest. 1967;19 (3):218-28.

78. Bergström J. Hermansen L. Hultman E. Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. Acta Physiol Scand. 1967;71 (2):140-50.

79. Fletcher WM. Lactic acid in amphibian muscle. J Physiol. 1907;35 (4):247-309.

80. Sawka MN. Burke LM. Eichner ER. Maughan RJ. Montain SJ. Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc. 2007 Feb;39 (2):377-90.

81. Sawka MN. Cheuvront SN. Kenefick RW. High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. Exp Physiol. 2012;97 (3):327-332.

82. Wikstrom EA. Tillman MD. Chmielewski TL. Measurement and evaluation of dynamic joint stability of the knee and ankle after injury. Sports Med. 2006;36 (5):393–410.

83. Lephart SM. Proprioception of the ankle and knee. Sports Med 1998;25:149–55.

84. Lephart SM. Myers JB. Bradley JP. Shoulder proprioception and function following thermal capsulorrhaphy arthroscopy. J Arthroscop Rel Surg. 2002;18 (7):770–8.

85. Riemann BL, Myers JB, Lephart SM. Sensorimotor system measurement techniques. Journal of athletic training. 2002;37 (1):85-98.

86. Kiran D, Carlson M, Medrano D, Smith DR. Correlation of three different knee joint position sense measures. Physical Therapy in Sport. 2010;11 (3):81-5.

87. Lönn J, Crenshaw AG, Djupsjöbacka M, Pedersen J, Johansson H. Position sense testing: influence of starting position and type of displacement. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2000;81 (5):592-597.

88. Wilson EL, Effects of fatigue & gender on peroneal reflexes after ankle inversion. Thesis of master, Blacksburg, Virginia, 2005.

89. Ristolainen L, Heinonen A, Waller B, Kujala UM, Kettunen JA, Gender differences in sport injury risk and types of inju-ries: a retrospective twelve-month study on cross-country skiers, swimmers, long-distance runners and soccer players. J Sports Sci Med. 2009;8 (3):443-451

90. Steindl R, Kunz K, Schrott-Fischer A, Scholtz AW. Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. Dev Med Child Neurol. 2006;48 (6):477-482.

91. Ribeiro F, Oliveira J. Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. Eur Rev Aging Phys Act. 2007;4 (2):71–76

92. Ko SU, Simonsick E, Deshpande N, Ferrucci L. Sex-specific age associations of ankle proprioception test performance in older adults: results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. Age Ageing. 2015 May;44 (3):485-90.

93. Vuillerme N, Boisgontier M. Muscle fatigue degrades force sense at the ankle joint. Gait & Posture. 2008 Oct;28 (3):521-524.

94. Ghanbari A, Ghafarinejad F, Mohammadi F. Effects of Acute Fatigue of the Tibialis Anterior Due to a Weight-Bearing Muscle Activity on the Ankle Joint Position Sense in Healthy Subjects. Journal of Rehabilitation Sciences and Research. 2014:1 (3);67-71

95. Mohammadi F, Roozdar A. Effects of Fatigue Due to Contraction of Evertor Muscles on the Ankle Joint Position Sense in Male Soccer Players. The American Journal of Sports Medicine · 2010:38 (4);824-828

96. Ribeiro F, Oliveira J. Factors influencing proprioception: what do they reveal? In: Klika V, editor. Biomechanics in applications. Rijeka: InTech; 2011.

97. Oliveira R, Ribeiro F, Oliveira J. Cryotherapy impairs knee joint position sense. Int J Sports Med. 2010 Mar;31 (3):198-201.

98. Fradkin AJ, Zazryn TR, Smoliga JM. Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. J Strength Cond Res. 2010 Jan;24 (1):140-148.

99. McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. Scand J Med Sci Sports 2010: 20: 169–181

100. Bouët V, Gahéry Y. Muscular exercise improves knee position sense in humans. Neurosci Lett. 2000 Aug 4;289 (2):143-146.

101. Forestier N, Bonnetblanc F. Compensation of lateralized fatigue due to referent static positional signals in an ankle-matching task A feedforward mechanism. Neuroscience Letters. 2006;397 (1-2):115-119

102. Petrella RJ, Lattanzio PJ, Nelson MG. Effect of age and activity on knee joint proprioception. Am J Phys Med Rehabil. *1997;*76 (3):235-241.

103. Lee HM, Liau JJ, Cheng CK, Tan CM, Shih JT. Evaluation of shoulder proprioception following muscle fatigue. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003 Nov;18 (9):843-7.

104. Yaggie JA, McGregor SJ. Effects of Isokinetic Ankle Fatigue on the Maintenance of Balance and Postural Limits. Arch Phys Med Rehabil. 2002 Feb;83 (2):224-228.

105. Ekstrand J, Tropp H. The incidence of ankle sprains in soccer. Foot Ankle. 1990;11 (1):41-44.

106. Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J, Vaes P, De Clercq D. Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. J Athl Train. 2002;37 (4):487-493.

107. Wikstrom J, Andersson C. A prospective study of injuries in licensed football players. Scand J Med Sci Sports. 1997;7 (1):38-42.

108. Beynnon BD, Murphy DF, Alosa DM. Predictive Factors for Lateral Ankle Sprains: A Literature Review. Journal of Athletic Training 2002;37 (4):376–380

109. Wilson EL, Madigan ML. Effects of fatigue and gender on peroneal reflexes elicited by sudden ankle inversion. J Electromyogr Kinesiol. 2007;17:160-166.

110. Boyas S, Remaud A, Bisson EJ, Cadieux S, Morel B, Bilodeau M. Impairment in postural control is greater when ankle plantarflexors and dorsiflexors are fatigued simultaneously than when fatigued separately. Gait Posture. 2011;34 (2):254-259.

111. Kellis E. The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. Journal of Electromyography and Kinesiology. 1999;9 (3):191-199

112. Hassani A, Patikas D, Bassa E, Hatzikotoulas K, Kellis E, Kotzamanidis C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic fatigue tests of the knee extensors. J Electromyogr Kinesiol. 2006;16 (6):661-668.

113. Burgess PR, Wei JY, Clark FJ, Simon J. Signaling of Kinesthetic Information by Peripheral Sensory Receptors. Annu Rev Neurosci. 1982;5:171-87.

114. Clark FJ, Horch KW, Bach SM, Larson GF. Contributions of cutaneous and joint receptors to static knee-position sense in man. J Neurophysiol. 1979 May;42 (3):877-88.

115. Hulliger M, Nordh E, Thelin AE, and Vallbo AB. The responses of afferent fibres from the glabrous skin of the hand during voluntary finger movements in man. J Physiol. 1979 Jun; 291: 233–249.

116. Şahin Ö. Rehabilitasyonda izokinetik değerlendirmeler. Cumhuriyet Tıp Derg 2010; 32: 386-396

117. Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. Int J Sports Med. 1994;15 (1):511-8.

118. Chan KM, Maffulli N. Principles and Practice of Isokinetics in Sports Medicine and Rehabilitation. Williams and Wilkins Asia-Pacific, Hong Kong, 1996.

119. Jenkins DB. Hollinshead's Functional Anatomy of the Limbs and Back. 9th Edition. SUNDERS ELSVIER. 2009.

120. Szczerba JE, Bernier JN, Perrin DH, Gansneder BM. Intertester Reliability of Active and Passive Ankle Joint Position Sense Testing. Journal of Sport Rehabilitation, 1995;4 (4):282-291

121. Drouin J, Valovich-mcLeod T, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dinamometer velocity, torque and position measurements. Eur J Appl Physiol. 2004;91 (1):22-29.

122. Shigeki Y, Nobuou M, Kazuyoshi G, Makoto O, Hiroyuki S. Position-specific deficit of joint position sense in ankles with chronic functional instability. Journal of Sports Science and Medicine.2008;7 (4):480-485

123. Harkins KM, Mattacola CG, Uhl TL, Malone TR, McCrory JL. Effects of 2 Ankle Fatigue Models on the Duration of Postural Stability Dysfunction. Journal of Athletic Training. 2005;40 (3):191–196

124. Verschueren SMP, Brumagne S, Swinnen SP, Cordo PJ. The effect of aging on dynamic position sense at the ankle. Behavioural Brain Research,2002;136 (2):593-603

125. Erden Z. Is there any difference in joint position sense among different knee angles? Joint Dis Rel Surg. 2009;20 (1):47-51

126. Wilkerson GB, Pinerola JJ, Caturano RW. Invertor vs. evertor peak torque and power deficiencies associated with lateral ankle ligament injury. J Orthop Sports Phys Ther. 1997;26 (2):78-86.

127. Aydoğ ST, Korkusuz P, Doral MN, Tetik O, Demirel HA. Decrease in the numbers of mechanoreceptors in rabbit ACL: the effects of ageing. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006;14(4):325-9.

# EKLER

## Ek 1. Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

**ARAŞTIRMANIN ADI:**

Erişkinlerde kassal yorgunluğun ayak bileği propriosepsiyonu üzerine etkisinin değerlendirilmesi

**ARAŞTIRMANIN KOLAY ANLAŞILIR ADI:**

Erişkinlerde ayak bileğinin çevresindeki kasların yorgunluğunun eklem pozisyon hissi (eklem pozisyon duyusu / derin duyu) üzerine olan etkisinin incelenmesi

**ARAŞTIRMANIN AMACI:**

Bu araştırmanın amacı Ayak bileği çevresindeki kasların yorgunluğunun propriyosepsiyon (repozisyonlanma hissi / eklem pozisyon hissi / derin duyu) üzerindeki etkisini incelemek ve ayak bileği spora bağlı yaralanmalarının oluşmasında kassal yorgunluğun önemli rolü olduğunu ortaya koymaktır.

**SORUMLU ARAŞTIRMACI:**

Prof. Dr. Ali Murat ZERGEROĞLU

**ARAŞTIRMANIN YÜRÜTÜLECEĞİ YER:**

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı

**ARAŞTIRMANIN TANITIMI VE KATILIMCI DAVETİ**

Sayın gönüllü,

Size doktorunuz tarafından aktif-pasif eklem pozisyon hissi ölçümleri ve izokinetik yorgunluk egzersizleri hakkında bilgiler verilecektir. Son zamanlarda bazi bilimsel araştırmalarda ayak bileği yaralanmalarında bağ ve eklem kapsülü dışında kassal yorgunluğun da önemli olduğu kabul edilmektedir. Yaralanma riskinin belirlenmesinde kullanılabilecek en önemli yöntemlerden birisi aktif-pasif eklem pozisyon hissi ölçümleridir. Yapılacak bu çalışmada kassal yorgunluğun ayak bileği

eklem pozisyon hissinde etkisinin olduğu ve hangi tip kasların (evertorlar, invertorlar, plantarfleksörler ve dorsalfleksörler) yorgunluğu ayak bileği propriosepsiyonunda daha etkili olduğu saptanmaya çalışılacaktır. Çalışmamızda 4 ayrı günde (testler 4 gün arayla yapılacaktır) propriyosepsiyon (eklem pozisyon duyusu / derin duyu) aktif ve pasif ölçümü sonrasında izokinetik cihazında yorgunluk oluşturan ayak bileği egzersizi,ardından hemen tekrar aktif ve pasif propriosepsiyon yapılacaktır. Çalışma başında 1 gün klinik değerlendirmeniz yapılacak, propriyosepsiyon ölçümü ve izokinetik yorgunluk egzersizi hakkında bilgilendirileceksiniz. 1 klinik değerlendirme ve oryantasyon günü, 4 ayrı propriosepsiyon ölçüm günü olmak üzere toplam 5 gün sonunda sizinle ilgili çalışma sona erecektir.

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilecektir. Çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden erişkin sedanter (fiziksel olarak aktif olmayan) bireyler alınacaktır. Çalışmaya katılacak gönüllüler araştırmacılar tarafından hazırlanacak çeşitli formları dolduracaklardır. Aynı zamanda gönüllülerin muayenesi yapılacak ve çalışmaya engel bir durumları olup olmadığı tespit edilecektir. Çalışma süresi toplam 5 gündür.

Çalışmada öncelikle size ait bazı bilgiler (yaş, cinsiyet, hastalık öyküsü vb) sorulacaktır. Boyunuz ve kilonuz ölçülecek ve beden kitle indexiniz (BKİ: Vücut ağırlığınızın boyunuzun karesine bölünmesi ile elde edilen değer) hesaplanacaktır. Çalışmaya engel bir sağlık probleminizin varlığı hastalık öykünüz ve tam fizik muayene ile değerlendirilecektir. Çalışmaya toplam 5 gün katılacaksınız. Her gün tahiminen 1 saat sürecektir.

Bu araştırmaya katılıp katılmama kararı verebilmeniz için riskleriniz ve kazançlarınız hakkında yeterli bilgi sahibi olmanız gereklidir. Bu bilgilendirilmiş gönüllü olur formu size bu amaçla bilgi vermek üzere hazırlanmıştır. Aynı zamanda araştırma grubumuzun bir üyesi de size bilgi verecektir. Bu görüşmede araştırmanın bütün yönleri tanıtılacaktır.

## PROSEDÜRLERİN TANIMLANMASI

### 1. gün:

**Klinik Değerlendirme:** Tam bir fizik muayeneden geçirileceksiniz. Takiben ortopedik muayeneniz yapılacaktır.

**Kişisel ve Klinik Verilerin Toplanması:** Çalışmaya katılmayı kabul ederseniz size bir araştırmacı tarafından yaş, cinsiyet, hastalık öyküsü gibi özelliklerin

kaydedildiği bir veri formu uygulanacak. Boyunuz ve kilonuz ölçülecek. Bu uygulama yaklaşık 15 dakika sürecektir.

**Oryantasyon Eğitimi:** Yapılacak testler ve izokinetik yorgunluk egzersizi hakkında size bilgi verilecek ve sorularınız cevaplanacaktır.

Yapılacak olan testler: Biodex marka dinamometrenin propriyosepsiyon programı kullanılarak sağ ayak bileği eklem posizyon hissi aktif ve pasif şeklinde ölçülecektir. Sonrasında cihazımızda izokinetik egzersiz programını ayarlayarak eklem izokinetik yorgunluk egzersizleri peak torque (kas kuvvetini gösteren bir birim) %50 nin altına düşene kadar yapılacaktır. Egzersizlerden hemen sonra zaman kaybetmeden tekrar eklem pozisyon hissi aktif ve pasif testleri yapılacakatır.

**2. gün:**

**Isınma Egzersizi:** Test yapmadan önce vücut ısısının yükseltilmesi amacıyla Monark marka bisiklet ergometresi ile 50 watt ve 50 devirde 5 dakika ısınma yapılacaktır.

**Aktif Eklem Pozisyon Hissi Ölçümü:** Biodex marka dinamometrenin propriyosepsiyon programı kullanılarak yapılacaktır. Bu uygulama sırasında gözleriniz bir göz bandı ile kapatılacaktır. Kulağınıza *white noise (*beyaz gürültü) adı verilen yumuşak ve sürekli bir ses verilecektir. Tat duyusu için size meyve aromalı bir şeker verilecek, koku duyusu için sizi rahatsız etmeyecek bir koku kullanılacaktır. Bu teste BIODEX dinamometre koltuğunda, kalça ekleminiz 70 derece fleksiyonda oturur şeklinde, ve diziniz 45 derece fleksiyonda katlanmış olarak, baldır progzimalini sabitleyici aparatın üstünde tutarak başlanacaktır. Sizden ayak bileği ekleminizi ayak bileğine özel hereket eden aparatında nutral talocrural pozisyondan 10 derece eversiyona (ayak bileği dışa doğru rotasyon yapması) doğru getirmeniz istenecektir. Doğru açıya geldiğinizde alet ayak bileğinizi belirtilen açıda (10 derece) 10 saniye bekletecektir. Sürenin sonunda ayak bileğinizi tekrar başlangıç pozisyonuna getireceksiniz. İkinci turda sizden ayak bileğinizi tekrar aynı açıya getirmeye çalışmanız ve doğru yere geldiğini düşündüğünüzde elinize verilen butona basmanız istenecektir. Butona bastığınız noktadaki açı alet tarafından kaydedilecektir. Bu iki aşamayı 3 kez tekrar etmeniz istenecektir.

**Pasif Eklem Pozisyon Hissi Ölçümü:** Biodex marka dinamometrenin propriyosepsiyon programı kullanılarak yapılacaktır. Bu uygulama sırasında gözleriniz bir göz bandı ile kapatılacaktır. Kulağınıza *white noise (*beyaz gürültü) adı verilen yumuşak ve sürekli bir ses verilecektir. Tat duyusu için size meyve aromalı bir şeker verilecek, koku duyusu için sizi rahatsız etmeyecek bir koku kullanılacaktır.

Bu teste BIODEX dinamometre koltuğunda, kalça ekleminiz 70 derece fleksiyonda oturur şeklinde, ve diziniz 45 derece fleksiyonda katlanmış olarak, baldır progzimalini sabitleyici aparatın üstünde tutarak başlanacaktır. Sizden ayak bileği ekleminizi ayak bileğine özel hereket eden aparatında nutral talocrural pozisyondan 10 derece eversiyona doğru getirmeniz istenecektir. Doğru açıya geldiğinizde alet ayak bileğinizi belirtilen açıda (10 derece) 10 saniye bekletecektir. Sürenin sonunda ayak bileğinizi tekrar başlangıç pozisyonuna getireceksiniz. İkinci turda siz herhangi bir hareket başlamadan alet sizin ayak bileğinizi hareket ettirecektir, doğru yere (10 derece eversiyon) geldiğini düşündüğünüzde elinize verilen butona basmanız istenecektir. Butona bastığınız noktadaki açı alet tarafından kaydedilecektir. Bu iki aşamayı 3 kez tekrar etmeniz istenecektir.

**İzokinetik yorgunluk egzersizi:** Biodex marka izokinetik dinamometre ile 60 derece/saniye hızlarda konsantrik ve egzantrik izokinetik yorgunluk oluşturan egzersizler ayak bileği eversiyon yönünde yapılacaktır. 15 tekrar yapıldıktan sonra 10 saniye dinlenip tekrar devam etmeniz istenecektir. Monitorda göreceğimiz CON/ECC peak torque %50 nin altına gelene kadar devam edilecektir.

**Aktif ve Pasif Eklem Pozisyon Hissi Ölçümü:** Yorgunluk öncesi yapılan sırasıyla aktif ve pasif eklem pozisyon hissi ölçümleri sizden tekrar yorgunluk sonrası zamanı kaybetmeden yapılaması istenecektir.

**3. gün:** Aşamalar aynı ikinci gün gibi yapılacaktır fakat bu sefer inversiyon (ayak bileği içe doğru rotasyon yapması) yönünde yapılacaktır.

**4. gün:** Aşamalar aynı üçüncü gün fakat bu sefer plantar fleksiyon yönünde yapılacaktır.

**5. gün:** Aşamalar aynı dördüncü gün fakat bu sefer dorsal fleksiyon yönünde yapılacaktır.

## RİSKLER VE GÜÇLÜKLER

**Muayene ve Uygulamalar:** Bu çalışma sırasında yapılacak işlemler ile ilgili sizinle konuşulacak ve size çeşitli testler uygulanacaktır. Bu testlerin herhangi bir hastalığa yol açma riski bulunmamaktadır. Bisiklet ile yapılacak ısınma egzersizi sizi biraz yoracak ve terletecektir, fakat herhangi bir olumsuz etki yaratmayacaktır. Size uygulanacak testlerden izokinetik yorgunluk egzersizi sırasında yorgunluk hissedebilirsiniz, bu durumda istediğiniz zaman testi yarıda bırakıp çalışmadan çıkma hakkına sahipsiniz. Aktif ve pasif eklem poziyon hissi testleri yorgunluk

oluşturmayan, çok az miktarda kas kuvvetinin yeterli olduğu testlerdir. Fakat sizi rahatsız eden bir durum olduğunda gözlemci araştırmacıya durumu bildirebilir ve istediğiniz anda testi yarıda bırakabilirsiniz.

**YARARLARI**

Uygulanacak çalışmada elde edilecek sonuçlar, spora bağlı ayak bileği yaralanmalarında kassal yorgunluk eklem pozisyon hissini etkileyerek önemli olduğu ortaya konacaktır ve böylece kassal yorgunluğu oluşturmayan veya az oluşturan egzersiz tiplerine ve kassal yorgunluğu engelleyecek yöntemlere daha çok değer verilip dikkat edilecektir.

**ÇALIŞMANIN MASRAFLARI**

Çalışmanın size ya da sosyal güvenlik kurumunuza herhangi bir mali yükü bulunmamaktadır. Araştırmanın bütçesi araştırma görevlisi arafından karşılanacaktır.

**GİZLİLİK**

Bu çalışmada sağlanan tüm bilgiler gizli tutulacak ve sadece araştırmacıların bilgisine sunulacaktır. Bu çalışmadan herhangi bir rapor veya yayın yapılması halinde okuyucuların sizleri tanımasına yol açacak bilgilere yer verilmeyecektir.

**GÖNÜLLÜ KATILIM**

**Çalışmaya 18-35 yaş aralığında 20 gönüllünün katılması planlanmaktadır.**

Çalışmaya katılmamayı da seçebilirsiniz. Eğer kabul ederseniz çalışma süresince herhangi bir zamanda ayrılma isteğiniz olumlu karşılanacaktır. Katılmamayı veya ayrılmayı seçmeniz halinde doktorlarımız ve hastanemiz ile olan ilişkileriniz bu durumdan hiçbir şekilde etkilenmeyecektir.

**ÇALIŞMADAN ÇIKARILMA**

Tıbbi ya da ruhsal durumunuz nedeni ile tedavi ekibi tarafından araştırmadan çıkarılmanız planlanabilir.

**SORULAR**

Bu formda bazı tıbbi tanımlar kullanılmıştır. Lütfen anlamadığınız herhangi bir konu hakkında soru sormaktan çekinmeyiniz ve karar vermeden önce bu formu dikkatlice ve istediğiniz sürece inceleyiniz.

Konuyla ilgili başka sorunuz varsa yardımcı araştırıcı Dr. Mostafa KHORRAMFAR'ı 05310300238 no'lu cep telefonundan dilediğiniz zaman arayabilirsiniz.

Bu formun imzalı bir nüshası size verilecektir.

**İZİN ONAYI**

Ben _____toplam 6 (altı) sayfadan oluşan bu formu okudum. Formun içeriğinde açıklanan çalışmanın özelliklerini tamamen anladım. Bu çalışmanın temel prensipleri, olası zararları, tarafıma ayrıntılı olarak açıklandı ve sorularım yanıtlandı. Kendi özgür irademle, "Erişkinlerde kassal yorgunluğun ayak bileği propriosepsiyonunu üzerine etkisinin incelenmesi" adlı çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul ettiğimi ve bu formun imzalı bir nüshasının bana verildiğini aşağıdaki imzamla beyan ederim.

Gönüllünün,

Adı:

Soyadı:

İmza:

Tarih:

Proje yürütücüsünün ya da bilgilendirilmiş onayı alan kişinin

Adı:

Soyadı:

İmza:

Tarih:

**EK-2. Sosyodemografik-Klinik Bilgi Formu**

Adı–Soyadı: Tarih:

TC Kimlik No: Tel. No:

Adres:

Cinsiyeti: Doğum Tarihi:

Kilo: Boy:

Beden Kitle İndeksi:

Tıbbi Öykü ve Kullandığı İlaçlar:

Fizik Muayene: