



**T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
SPOR HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FONKSİYONEL AYAK BİLEĞİ İNSTABİLİTESİNDE İKİ FARKLI
ELEKTRİKSEL STİMULASYON UYGULAMASININ KAS REAKSİYON
ZAMANI VE PROPRİOSEPSİYON ÜZERİNE ETKİLERİ**

Dr. Selim DENİZ

UZMANLIK TEZİ

BURSA-2021



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
SPOR HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI

FONKSİYONEL AYAK BİLEĞİ İNSTABİLİTESİNDE İKİ FARKLI
ELEKTRİKSEL STİMULASYON UYGULAMASININ KAS REAKSİYON
ZAMANI VE PROPRİOSEPSİYON ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Selim DENİZ

UZMANLIK TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Bedrettin AKOVA

BURSA-2021

İÇİNDEKİLER

Özet	ii
İngilizce Özet	iv
Giriş	1
Gereç ve Yöntem	5
1. Katılımcılar	5
1.1. Testlere Hazırlık ve Çalışma Planı	6
2. Ön Testler	8
2.1. Elektromyografik (EMG) Ölçümler	8
2.1.1. EMG Ölçümleri İçin Hazırlık	8
2.1.2. İnversiyon Simülasyon Platformu	8
2.1.3. EMG Ölçümleri ve Kas Reaksiyon Zamanı	9
2.2. Proprioepsiyon Testleri	13
2.2.1. Eklem Pozisyon Hissi Testi	13
2.2.1.1. Pasif Eklem Pozisyon Hissi Testi.....	13
2.2.1.2. Aktif Eklem Pozisyon Hissi Testi.....	13
2.2.2. Kinestezi Testi.....	14
2.3. Yıldız Denge Testi	15
2.4. İzometrik Kuvvet Testi	16
3. Elektriksel Stimülasyon Programı	17
4. İstatistiksel Analiz	19
Bulgular.....	20
Tartışma ve Sonuç.....	31
Kaynaklar	39
Teşekkür	46
Özgeçmiş	47

ÖZET

Bu çalışmanın amacı fonksiyonel ayak bileği instabilitesi olan hastalarda tibialis anterior ve peroneus longus kaslarına uygulanan farklı iki elektriksel stimülasyon uygulamasının kas reaksiyon zamanı ve ayak bileği proprioepsiyonu üzerine etkilerini araştırmaktır.

Fonksiyonel ayak bileği intabilitesi olan 36 rekreasyonel sporcu standart elektriksel stimülasyon (SE) (n = 13), kişiye özel elektriksel stimülasyon (KE) (n = 13) ve kontrol (n = 10) gruplarına rastgele olarak dağıtılmıştır. Elektriksel stimülasyon gruplarındaki katılımcıların peroneus longus (PL) ve tibialis anterior (TA) kasları üzerine 6 hafta süresince, haftada 3 gün, günde 20 dakika elektriksel stimülasyon uygulanmıştır. Katılımcılara çalışmanın başlangıcında EMG cihazı ile inversiyon simülasyon platformunda, ayak bileği sırası ile 15° ve 30° inversiyona gidecek şekilde nötral ve plantar fleksiyon pozisyonunda olmak üzere kas reaksiyon zamanı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca dinamik denge, kinestezi, pasif ve aktif eklem pozisyon hissi ve izometrik kuvvet testleri uygulanmıştır. Değerlendirmeler 6 hafta süren elektriksel stimülasyon uygulaması sonrası tekrarlanmıştır.

Elektriksel stimülasyon uygulaması sonrasında peroneus longus kas reaksiyon zamanları incelendiğinde; SE grubunda nötral 30°'de ($p<0.05$), plantar fleksiyon pozisyonunda 15° ve 30°lerde ($p<0.01$), KE grubunda ise, plantar fleksiyon pozisyonunda 15°'de ($p<0.01$) kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı kısalma saptanmıştır. Tibialis anterior kas reaksiyon zamanlarında ise; SE grubunda plantar fleksiyon pozisyonunda 30°'de ($p<0.05$) kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı kısalma saptanmıştır. Dinamik dengenin değerlendirildiği yıldız denge testinde her iki grupta kontrol grubuna göre elektriksel stimülasyon sonrası istatistiksel olarak anlamlı iyileşme gözlemlenmiştir ($p<0.05-0.001$). Elektriksel stimülasyon uygulanan grupların kas reaksiyon zamanı ve yıldız denge testi değerleri karşılaştırıldığında gruplar arası istatistiksel anlamlı fark saptanmamıştır. Bununla birlikte kinestezi, eklem pozisyon hissi ve izometrik kuvvet ölçüm sonuçlarında gruplar arasında istatistiksel anlamlı fark saptanamamıştır.

Bu bulgular ışığında, fonksiyonel ayak bileği instabilitesi olan bireylerde peronues longus ve tibialis anterior kaslarına yapılan elektriksel stimölasyon uygulamasının kas reaksiyon zamanını iyileştirdiği ve dinamik dengeye olumlu katkı sağladığı söylenebilir. Fonksiyonel ayak bileği instabilitesi olan hastalara yönelik rehabilitasyon programlarında ve sağlıklı kişilerde ayak bileği yaralanmalarının önlenmesinde elektriksel stimölasyon uygulamasının kullanılması faydalı olabilecektir.

Anahtar kelimeler: ayak bileği instabilitesi, elektriksel stimölasyon, kas reaksiyon zamanı, denge.



SUMMARY

Effects of two different electrical stimulation mode on muscle reaction time and proprioception in functional ankle instability

The aim of this study was to investigate the effects of different electrical stimulation modes on muscle reaction time and ankle proprioception in patients with functional ankle instability.

36 recreational athletes with functional ankle instability were randomly allocated to standard electrical stimulation (SE) ($n = 13$), personalized electrical stimulation (PE) ($n = 13$) and control ($n = 10$) groups. Electrical stimulation was applied to the peroneus longus (PL) and tibialis anterior (TA) muscles of the participants in the electrical stimulation groups for 20 minutes a day, 3 days a week during 6 weeks. At the beginning of the study, muscle reaction time measurements were made on the inversion simulation platform with the EMG device, in neutral and plantar flexion positions, with the ankle going to 15° and 30° inversion, respectively. In addition, star excursion balance test for dynamic balance evaluation, kinesthesia, passive and active joint position sense, and isometric strength measurements were applied. Measurements were repeated after 6 weeks of electrostimulation.

A statistically significant shortening was observed in peroneus longus muscle reaction times for the SE group at neutral 30° ($p < 0.05$) and at plantar flexion 15° and 30° ($p < 0.01$), also in the PE group at plantar flexion 15° position ($p < 0.01$) compared to the control group. A statistically significant shortening in tibialis anterior muscle reaction time was found in the SE group at plantar flexion 30° position ($p < 0.05$) if compared with control group. The star excursion balance test, in which dynamic balance was evaluated, revealed statistically significant improvements in both electrical stimulation groups compared with control group ($p < 0.05$ - 0.001). Neither in muscle reaction time nor in star excursion balance test values were statistically different between electrical stimulation groups. Furthermore, no statistically significant difference

were observed between groups in kinesthesia, joint position sense, and isometric strength measurement results.

In the light of these findings, it can be concluded that, with a six week electrical stimulation of the peronues longus and tibialis anterior muscles improves muscle reaction time and dynamic balance in individuals with functional ankle instability. It may be beneficial to adding electrical stimulation in rehabilitation programs for patients with functional ankle instability and in preventing ankle injuries for healthy people.

Key words: ankle instability, electrical stimulation, muscle reaction time, balance.



GİRİŞ

Ayak bileği burkulmaları spor yaralanmaları arasında en sık görülenlerden biridir. ABD’de yapılan bir araştırmaya göre her sene 2 milyona yakın ayak bileği burkulmasının gözlemlendiği ve bu durumun yıllık yaklaşık 2 milyar dolarlık sağlık harcamasına yol açtığı belirtilmektedir (1). Sıçrama ve sık yön değiştirmelerin çok görüldüğü futbol, basketbol, jimnastik ve tenis gibi sporlarda ayak bileği burkulmaları en yaygın karşılaşılan yaralanmadır (2).

Ayak bileğinde görülen burkulmalarının %85’i inversiyon tipi yaralanmadır (3). Plantar fleksiyondaki ayak bileğinin inversiyona gitmesi ile ayak ve basış noktasının subtalar aksa göre içe doğru yer değiştirmesi yaralanmanın temel mekanizmasını oluşturmaktadır (4). Yaralanma sonrası yoğun rehabilitasyona rağmen birçok hastada kalıcı semptomlar görülebilmekte buna bağlı olarakta tekrarlayan burkulmalar gözlenebilmektedir (5). Voleybolda meydana gelen akut ayak bileği burkulmalarının %46’sı, Amerikan futbolunda %43’ü, basketbolda %28’i ve futbolda %19’u tekrarlayan yaralanma olarak bildirilmiştir (6). Bazı araştırma sonuçlarına göre ayak bileği burkulmalarının tekrarlama oranı %12 ile %47 olarak ifade edilmektedir (2,7-9). Önceden ayak bileği burkulma öyküsü olan bireylerde hiç geçirmemiş olanlara kıyasla tekrar burkulma riskinin yaklaşık 3.5 kat arttığı belirtilmektedir (10). Ayak bileği burkulmasından sonra hastaların yaklaşık yarısında tekrarlamakta olan instabilite ve boşalma hissi gibi rezidüel semptomlar ortaya çıkmaktadır (11,12). İlk kez bu durum fonksiyonel ayak bileği instabilitesi (FAİ) adıyla Freeman tarafından tanımlanmıştır (13).

FAİ oluşumunun temelinde eklem propiosepsiyonunda azalma, kas gücünde kayıp ve ağrı rol almaktadır (14,15). Ayak bileği yaralanması sonrası eklemdaki mekanoreseptörlerde kısmi afferent ileti kaybı fikri Freeman ve Wyke (16) tarafından ilk kez gündeme gelmiş ve bunun kronik ayak bileği instabilitesinde önemli bir yeri olduğu belirtilmiştir. Lentell ve ark. (17) ve Garn ve Newton (18) instabil ayak bileği olanlarda sağlam tarafa göre ayak bileğinin kinestezi duyusunda azalma olduğunu saptamışlardır. Kronik ayak bileği instabilitesi olanlarda yapılan bir meta-analiz sonucuna göre, instabilitesi olan hastalarda pasif ve aktif eklem pozisyon hissi algısında bozulmalar olduğu

görülmüştür (19). Arnold ve ark. (20) tarafından yapılan bir başka meta-analizde, kronik ayak bileği instabiliteli bireylerde ayak bileği statik ve dinamik dengesinde ciddi kayıplar olduğu bildirilmiştir. Kronik ayak bileği instabiliteli kişilerde peroneal kas reaksiyon zamanının normal kişilere göre daha uzun olduğu ifade edilmektedir (21,22). Willems ve ark (23) kas reaksiyon zamanında uzamanın ayak bileğinde burkulma riskini artışa neden olduğunu ve ayak bileği burkulmasının önlenmesinde kas reaksiyon zamanını kısaltmanın etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Kim ve ark (24) tekrarlayan ayak bileği burkulmalarını önlemede kuvvet çalışması ile birlikte propriyosepsiyonu geliştirici egzersizlerin yapılmasını önermişlerdir. Sekir ve ark (25) tekrarlayan ayak bileği burkulma öyküsü olan bireylerde 6 hafta süre ile invertör ve evertör kaslara konsantrik izokinetik kuvvet programının eklem pozisyon hissinde iyileşme sağladığını saptamışlardır. Keles ve ark (26) sağlıklı kişilerde evertör ve dorsal fleksör kaslarda eksantrik ve konsantrik modda izokinetik egzersizin etkisini incelemişler, tibialis anterior ve peroneal kaslarının refleks kas reaksiyon sürelerinde anlamlı düzelme olduğunu bildirmişlerdir. Osborne ve ark. (27) FAİ'li sporcularda 8 haftalık tek başına denge tahtası egzersizinin tibialis anterior kas reaksiyon zamanında anlamlı iyileşme sağladığını ifade etmektedirler. Lee ve ark. (28) 4 haftalık nöromusküler kontrol egzersizi ile birlikte kuvvet egzersizlerinin ayak bileği izokinetik kuvvetlerinde, fonksiyonel halde ve yıldız denge testi ölçümlerinde anlamlı düzelme sağladığını bildirmişlerdir.

Eklemde stabilizeyi sağlamak için yapılan, kuvveti ve propriyosepsiyonu geliştiren egzersizlerin hangi mekanizmalar üzerinden etkili olduğu konusunda tartışmalı sonuçlar vardır (29). Kas içiği ve golgi tendon organı eklem propriyosepsiyonuna büyük oranda katkı sağlamaktadır (29,30). Eklem çevresindeki ligamentlere ve eklem kapsülüne lokal anesteziyle duyuusal sinir blokajı yapılmış ve bunun sonucunda ayak bileği propriyoseptif duyularının belirgin olarak etkilenmediği saptanmıştır (31,32). Bu bilgi eklem stabilizasyonunda dinamik yapıların, ayak bileği için özellikle peroneal kasların önemli olduğu göstermektedir. İnversiyon stresine plantar fleksiyonun da eşlik ettiği burkulmalar sırasında tibialis anterior kasının yanıtı da önemlidir (33). Daha önceki literatür bilgisi incelendiğinde, kuvvet ve nöromusküler kontrol

egzersizlerinin eklem çevresindeki kaslarda gerilim artışına neden olarak kas içiğinde duyarlılık artışı sağladığı ve bu sayede proprioepsiyonu geliştirdiği düşünülmektedir (29,34).

Literatürde son zamanlarda yüzeysel elektriksel stimölasyon yöntemlerinin, egzersizin proprioepsiyon üzerindeki etkilerine benzer etkiler oluşturup oluşturulmayacağı araştırılmaktadır. Vibrasyon ile peroneal tendonlarda yüzeysel stimölasyon uygulanan bir çalışmada ayak bileği proprioseptif duyu skorlarında iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir (35). Yu ve ark (36) yaptıkları bir çalışmada hastalara yürüme sırasında triceps surae ve tibialis anterior kaslarına vibrasyon yöntemiyle stimölasyon uygulamış, sonucunda kontrol grubu ile karşılaştırıldığında yürüme sırasında denge ve postürel salınım skorlarında iyileşme olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte rektus femoris, trapezius ve tibialis anterior kaslarına vibrasyon yöntemiyle stimölasyon yapılan başka bir çalışmada, vibrasyonun genel vücut proprioepsiyon testlerinden sayılan yürüme kalkma testi üstünde bir etkisi olmadığı saptanmıştır (37). Yalnız denge çalışması veya denge çalışmasının yanı sıra ortak peroneal sinire transkütanöz elektriksel sinir stimölasyonunun (TENS) karşılaştırıldığı bir çalışmada, stimölasyon uygulanan grupta postüler salınımında iyileşme ve tek ayak sıçrama testi reaksiyon hızında artış saptanmıştır (38). Hwang ve ark (39) kronik inmeli hastalarda tibialis anterior kasına yönelik tilt sensörlü elektriksel stimölasyon programının, denge ve yürüme testlerinde plasebo elektriksel stimölasyona göre anlamlı bir iyileşme sağladığını ifade etmektedirler. Kim ve ark. (40) hemiparezisi olan hastalarda yaptıkları bir çalışmada yürümekte iken tibialis anterior ve gluteus mediusa yapılan elektriksel stimölasyon uygulamasının kontrol grubuna göre yürüyüş paterninde anlamlı gelişmeler sağladığını belirtmektedirler. Kim ve ark.'nın (41) inme geçiren hastalarda 6 haftalık ayak bileğini hedef alan nöromusküler egzersizlerle beraber ortak peroneal sinir yüzeysel elektriksel stimölasyonu ile hastaların denge testlerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını gözlemlemişlerdir. Magalhaes ve ark. (42) sağlıklı katılımcıları dahil ettiği bir çalışmada triceps surae ve tibialis anteriora yapılan hissedilmeyecek seviyedeki elektriksel vibrasyon stimölasyon uygulamasının postürel salınım üzerinde iyileşmeler sağladığı, denge problemi olan hastaların tedavilerine eklenebileceğini belirtmişlerdir. Amiridis ve ark. (43) yaşlı hastalarda yaptığı çalışmada 4 hafta

boyunca eş zamanlı izometrik kasılma ile birlikte tibialis anterior kasına yönelik elektriksel stimölasyon uygulanan bireylerde kontrol grubuna kıyasla denge testlerinde ve postürel salınımında anlamlı iyileşme gözlemlenmiştir. Park ve ark. (44) kronik inmeli olgularda 6 hafta süresince terapötik egzersizlerle beraber quadriceps ve gastrokinemius kaslarına TENS uygulamasının dinamik ve statik denge ölçütlerinde anlamlı bir iyileşme sağladığını belirtmektedir. Tyson ve ark. (45) inme hastalarına ayağın tamamını kapsayacak şekilde iletken bir çorap ile TENS uygulamış ve sonucunda eklem pozisyon hissi, plantar fleksör kuvvet ve dengede anlamlı iyileşmeler gözlemlemiştir.

Yukarıda ifade edilen literatür bilgilerine göre; yüzeysel elektriksel stimölasyon uygulamalarının özellikle inme hastalarında postürel salınım ve dengeye etkilerinin incelendiği çalışmalar dikkat çekmektedir. Genelde kişiye özel olmayan standart elektriksel stimölasyon programlarının uygulandığı söylenebilir. Bununla birlikte yaptığımız literatür taramasında FAİ olan sporcularda uzun süreli standart ve ayrıca kişiye özel olarak planlanmış elektriksel stimölasyon uygulamasının, sensorimotor kontrol göstergelerinden kas reaksiyon zamanı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Daha önce laboratuvarımızda gerçekleştirilen ve yayın aşamasında olan bir uzmanlık tezinde, İlhan ve ark. (46) sağlıklı kişilerde peroneus longus ve tibialis anterior kaslarına yönelik standart ve kişiye özel elektriksel stimölasyon uygulamalarının etkilerini incelemiş ve reaksiyon zamanının geliştirilebileceği saptamışlardır. Bu bilgi FAİ olan kişilerin tedavisinde yüzeysel elektriksel stimölasyonun olumlu bir katkı sağlayacağını düşündürmektedir

Bu bilgiler ışığında planlanan bu çalışmada FAİ olan bireylerde ayak bileği evertör ve dorsal fleksör kaslarına yapılacak olan standart ve kişiye özel planlanmış elektriksel stimölasyonun kas reaksiyon zamanı, proprioepsiyon ve dengeye etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

1. Katılımcılar

Çalışmaya 18-40 yaşları arasında FAİ olan ve rekreasyonel seviyede spor yapan 36 gönüllü katılmıştır.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri aşağıda ifade edilmiştir;

- a) Gönüllülerin hayatı boyunca en az 1 kez lateral ayak bileği burkulması geçirmiş olması,
- b) Son 12 ay içerisinde devam eden boşalma hissi ile instabilite yakınmasının olması

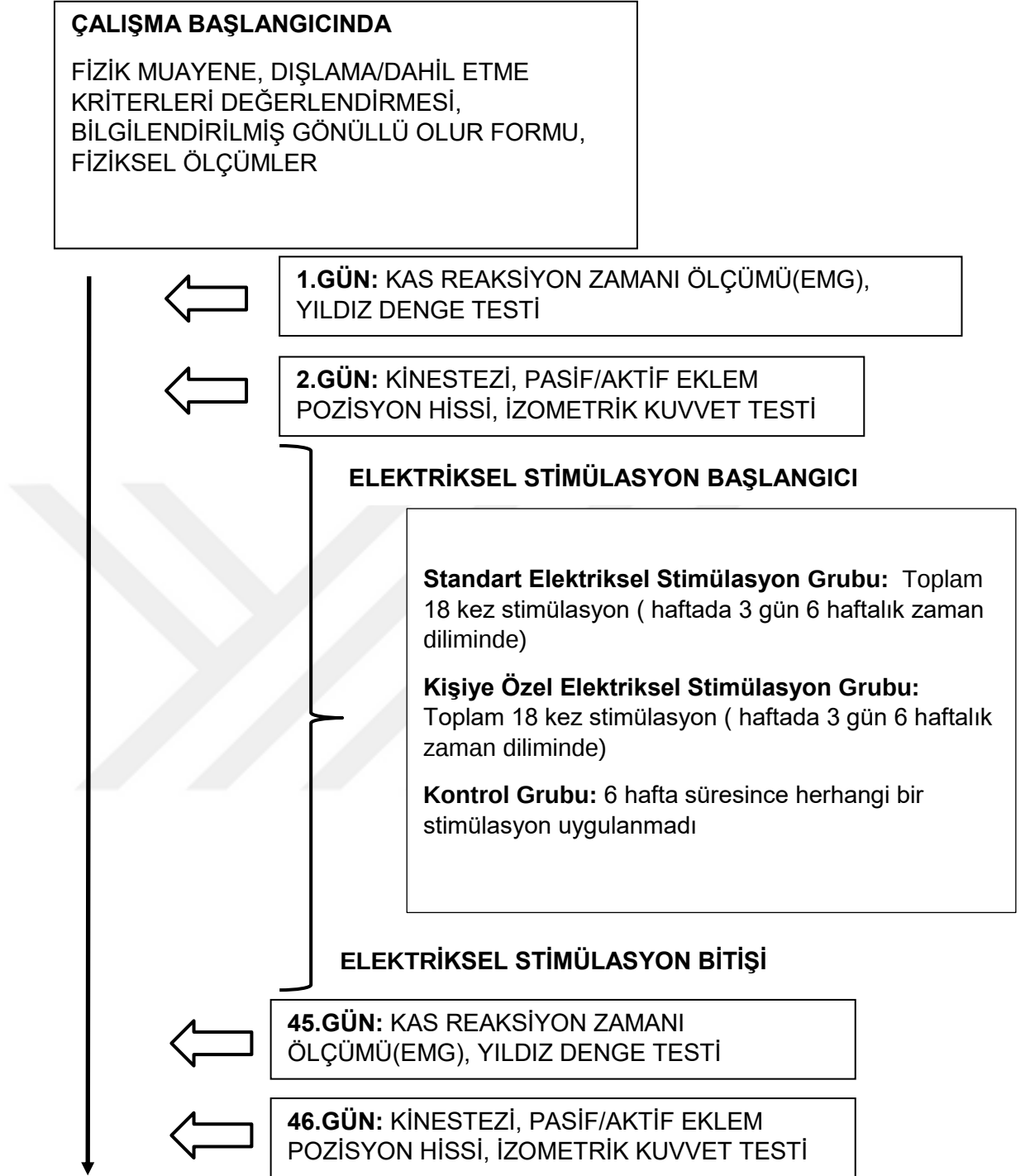
Çalışmadan dışlama kriterleri ise;

- a) Elektriksel stimülasyon uygulamasının kontraendike olduğu durumlar
- b) Fizik muayenede mekanik instabilite varlığı
- c) Ameliyat ya da kırık öyküsü
- d) Nöromüsküler hastalık öyküsü
- e) Test süresince aktif inflamasyon varlığı
- f) Daha önceden herhangi bir rehabilitasyon programının uygulanmış olması

Gönüllü adaylarına ilk olarak çalışmada yapılacak işlemler, yan etkiler ve ölçümler hakkında bilgilendirilme yapılmış ve katılmak isteyen gönüllü adaylarına Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2 Eylül 2020 tarih ve 2020-15/17 no'lu karar ile onay verilmiş 'Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu' imzalatılmıştır. Çalışmaya dahil edilen 36 katılımcıdan 13'ü standart elektriksel stimülasyon grubuna, diğer 13'ü kişiye özel elektriksel stimülasyon grubuna ve kalan 10'u kontrol gruplarına rastgele olarak dağıtılmıştır. 36 katılımcıya öncelikle ön testler uygulandıktan sonra, mühürlü zarf seçtirilerek gruplara rastgele olarak dağıtılmışlardır.

1.1. Testlere Hazırlık ve Çalışma Planı

Değerlendirme ve ölçümler Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı Egzersiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Tüm değerlendirmeler sirkadien ritmin sonuçları etkilememesi için öğleden sonra 14:00-18:00 saat aralığında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kadın gönüllülerin ölçümleri, hormonal değişikliklerden etkilenmemesi için menstrüel siklusun aynı döneminde yapılmıştır. Katılımcılardan ölçüm yapılan günlerde ve öncesi ilaç ve alkol almamaları, yorucu egzersiz yapmamaları istenmiştir. Bütün katılımcıların çalışma başlangıcında boy ve kiloları not edilmiş, fonksiyonel instabilitesinin olduğu ayak bileği belirlenmiştir. Ölçümlerin birbirinden etkilenmemesi için katılımcılar 2 farklı günde ölçüme çağırılmıştır. Birinci gün, ilk olarak yıldız denge testi sonrasında plantarfleksör-dorsifleksör ve invertor-evertor kasların propriosepsiyon testleri (kinestezi testleri, aktif ve pasif eklem pozisyon hissi testleri) yapılmıştır. İkinci gün ise öncelikle EMG aracılığıyla kas reaksiyon zamanı ölçümü, ardından izokinetik dinamometre kullanılarak izometrik kuvvet testi ölçümü (dorsal fleksör, plantar fleksör, invertör ve evertör kaslara yönelik) yapılmıştır. Propriosepsiyon testleri üzerine olası olumsuz etkilerini engellemek için kuvvet testleri bütün testler tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Ölçümler fonksiyonel instabilite olan ayak bileğinde yapılmıştır. Başlangıç ölçümleri sonrasında elektriksel stimülasyon yapılacak gruptaki katılımcılara haftada 3 gün olacak şekilde 6 haftalık zaman diliminde fonksiyonel instabilite olan ayak bileği dorsal fleksör ve evertör kaslarına yönelik 20 dakikalık elektriksel stimülasyon uygulaması yapılmıştır. Kontrol grubundaki katılımcılardan bu süreçte günlük aktivitelerine devam etmeleri istenmiştir. 6 haftalık zaman diliminden sonra çalışmaya katılan bütün katılımcılara başlangıçta yapılan testler aynı şekilde tekrarlanmıştır (Şekil-1).



Şekil-1: Çalışma planı

2. Ön Testler

2.1. Elektromiyografik (EMG) Ölçümler

2.1.1. EMG Ölçümleri İçin Hazırlık

Elektromiyografik aktivite kaydı taşınabilir 8 kanallı kas EMG aleti (ME6000, Mega Electronics, Kuopio, Finland) ile ayak bileği dorsal fleksör (tibialis anterior) ve evertör (peroneus longus) kaslarına yapılmıştır. Tibialis anterior ve peroneus longus kaslarından yüzeysel EMG kayıtlarını elde etmek için bipolar gümüş/gümüşklorid kaplı yüzey elektrotlar (Covidien Kendall elektrotlar-H92SG tipi (57x34 mm)- Germany) kullanılmıştır. Elektrot yerleşimi öncesinde deri tıraşlanarak isopropil alkolle temizlenmiştir. Deri empadansını minimize etmek ve elektrot arası empadansı 2000 Ω geçirmemek için deri zımpara ile ovulmuştur. Ölçüm yapılacak yerler seçilirken elektrotlar tibialis anterior ve peroneus longus kaslarının en belirgin görüldüğü yere, kas liflerine olabildiğince paralel bir hat üzerine kasların gövdesi üzerindeki deriye yapıştırılmıştır. Her elektrot çiftlerinin arasındaki mesafenin 20 mm olmasına dikkat edilmiştir. Elektrotlar, peroneus longus için fibula'nın üst ile orta 1/3'lük kesimlerinin birleşim yeri civarı lateral kompartman üzerine, tibialis anterior için tibia'nın üst ve orta 1/3'lük kesiminin birleştiği yere ve subkütanöz sınırının 1 cm lateraline, yerleştirilmiştir (Şekil-2). Daha sonra doğru yere yapıştırılıp yapıştırılmadığının kontrolü manuel testlerle ve istemli kontraksiyonlarla yapılmıştır. Elektrotlar instabiliteli bacağa yapıştırıldıktan sonra ölçümler tamamlanıncaya kadar çıkarılmamıştır. Testler yapılırken katılımcıların ayakkabıları çıkarmaması istenmiştir.

2.1.2. İnversiyon Simulasyon Platformu

Peroneus longus ve tibialis anterior kaslarının reaksiyon sürelerinin yüzeysel EMG ile ölçümü için ayak bileği inversiyon tipi burkulma mekanizmasının simülasyonu amacıyla özel olarak yaptırılan tuzak platform kullanılmıştır. İnversiyon simülasyon platformunda aniden oluşturulan bir ayak bileği inversiyonu esnasında ölçülen peroneal reaksiyon zamanının güvenilirliğini değerlendiren Eechaute ve ark. (47) sağlıklı ve FAİ olan kişilerde değerlerin güvenilir olduğunu saptamışlardır. Bu platformda frontal düzlemde 15° ve 30° ayak bileği inversiyonuna izin veren menteşeli sistem vardır. Deneğin platform üzerinde elektronik düzeneğe sırtı dönük olarak ayakta

durdurması istenmiştir ve her iki ayak arasındaki mesafe yaklaşık 10 cm olacak şekilde, ayakların platform üzerinde belirlenmiş yerleşim yerlerine tam basacak biçimde yerleşimleri sağlanmıştır (Şekil-3). Rotasyonun aksı ise her iki ayak bileği için ayak bileği medialinde kalmıştır. Katılımcı platform üzerinde dururken ayak bileği nötral veya 20° plantar fleksiyon pozisyonunda iken 8 kanallı EMG cihazı (Mega Electronics, Finland) ile kayda başlanmıştır.

Platforma ait her iki bacağın ağırlığını ayrı ayrı gösteren gösterge izlenerek katılımcının her iki bacağına eşit yük vermesi sağlanmıştır. Katılımcı istirahat EMG aktivitesi gösterdiğinde habersiz bir şekilde manuel kontrollü bir düzenele tuzak platformunun bir kapağı o taraftaki ayak bileğinde 15° veya 30°'lik ani inversiyon yapacak şekilde serbest bırakılmıştır (Şekil-4). Sistem aynı anda EMG cihazına hareketin başladığını bildiren bir sinyal göndermektedir. Bu test katılımcıların adaptasyon sağlamasını engellemek için hem instabiliteyi tarafta hemde sağlıklı tarafta rastgele olarak 3 kere tekrar edilmiştir. Nötral pozisyondaki testler bitirildikten sonra, platformun 20° plantar fleksiyon pozisyonuna gelmesi sağlanmıştır ve aynı test protokolü 20° plantar fleksiyondaki platformda tekrarlanmıştır (Şekil-5). Testler esnasında katılımcılardan gözlerin açık tutup düşme esnasında kollarını her iki yanda serbest şekilde bırakmaları, platformun her iki yanında güvenlik amacıyla mevcut bölüme tutunmamaları istenmiştir.

2.1.3. EMG Ölçümleri ve Kas Reaksiyon Zamanı

Sinyaller elektrotlara yakın yerleşik, düşük geçiş filtreli (8-500 Hz, -3dB points), 12-bit analog-dijital dönüşümlü analog ayırıcı amplifikatörler ile büyütülmüş ve bir mikrobilgisayarda (Mega Electronics, ME6000 sistem) depolanmıştır. Bu birim analog EMG sinyalini 1000 Hz frekansında örneklemiştir. Kayıt sırasında, veriler optik bir kablo ile kişisel bir bilgisayara aktarılmış ve ham EMG amplitud değerleri (μV) ME6000 yazılım (MegaWin v3.1, Mega Electronics) ile otomatik olarak hesaplanmıştır. Depolanmış ham EMG verisi yazılım tarafından mutlak ortalama karekök (RMS) amplitud değerleri (μV) olarak ifade edilmiştir.

Kas reaksiyon zamanı ölçümü yüzeysel EMG ile yapılmıştır. Ayak bileği inversiyonu başladığı noktadan itibaren ilk EMG yanıtının meydana geldiği süre kas reaksiyon zamanı olarak tanımlanmaktadır. Kas reaksiyon zamanı hesaplanırken; dinlenimdeki EMG sinyal seviyesinin iki katını aşan kas

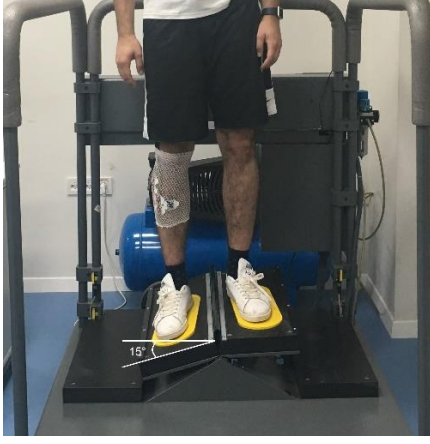
aktivitesinin meydana geldiği an değerlendirmeye alınmıştır ve bu değerden, platformda inversiyonun başladığı anı gösteren marker vasıtasıyla belirlenmiş süre çıkarılmıştır (Şekil-6). Bu süre EMG cihazı yazılımı ve bilgisayar yardımı ile her bir ölçümde tibialis anterior ve peroneus longus için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tekrarlayan üç ölçümün ortalaması alınmıştır.



Şekil-2: Tibialis anterior ve peroneus longus kaslarına elektrot yerleşimi.



Şekil-3: Ani inversiyon platformunda gönüllünün duruşu (nötral pozisyon)



4.a



4.b

Şekil-4: Gönüllünün nötral pozisyonundan (4.a) 15° inversiyona (4.b) 30° inversiyona düşme pozisyonları



5.a



5.b

Şekil-5: Gönüllünün 20° plantar fleksiyondan (5.a) 15° inversiyona (5.b) 30° inversiyona düşme pozisyonları

2.2. Proprioepsiyon Testleri

2.2.1. Eklem Pozisyon Hissi Testi

Pasif ve aktif eklem pozisyon hissi değerlendirmesini yapmak için inversiyon yönündeki test açıları 10° ile 20° , plantar fleksiyon yönündeki test açıları ise 15° ile 30° olarak belirlenmiştir.

2.2.1.1. Pasif Eklem Pozisyon Hissi Testi

Ölçümler CSMI Humac Norm, ABD marka izokinetik dinamometre cihazı ile yapılmıştır. Her ölçüm öncesinde cihaz kalibre edilmiştir. Ölçümler sırasında katılımcılar cihaza sırt üstü uzanır pozisyonda bulunmaktadır. Plantar fleksiyon açılarının ölçümünde kalçanın 30° - 40° ve dizin 20° - 30° fleksiyonda olması sağlanarak izokinetik dinamometrenin kuvvet platformuna ayak bileği yerleştirilip bağlanmıştır (Şekil-7.a) Plantar fleksiyon açıları için rotasyon aksı medial malleolu göreceğ biçimde ayarlama yapılmıştır. İnversiyon açılarının ölçümünde kalçanın 90° ve dizin 90° fleksiyonda olması sağlanarak ayak bileği izokinetik dinamometreye yerleştirilip bağlanmıştır (Şekil-7.b). İnversiyon açıları için rotasyon aksı subtalar eklemi göreceğ biçimde ayarlama yapılmıştır. Test yapılırken katılımcılardan gözlerini kapatmaları istenmiştir. Ayak bileği, inversiyon ve plantar fleksiyon yönündeki önceden belirlenen açılara her birine rastgele olacak şekilde, ilk olarak araştırmacı tarafından 1 saniye içerisinde pasif olarak getirilmiştir (Hareketin başlangıç noktası her bir açı için eklem nörtr pozisyonudur). 5 saniye ilgili açıda tutulma sonrasında hemen nörtr pozisyona getirilmiş olan ayak bileği izokinetik dinamometre tarafından $0.5^{\circ}/sn$ açısal hızda tekrardan o açığa doğru hareket ettirilirken, katılımcıdan o açığa geldiğini hissettiği anda sesli olarak uyarı vermesi istenmiştir. Katılımcının teste uyumunu arttırmak için her test öncesinde bir deneme yaptırılmıştır. Her bir açıda testler 3 kere tekrarlanmış ve elde edilen değerler, hedef açıdan çıkarılarak ortaya çıkan değerlerin ortalamaları alınmıştır.

2.2.1.2. Aktif Eklem Pozisyon Hissi Testi

Ölçümler izokinetik dinamometre cihazı ile yapılmıştır. Her ölçüm öncesinde cihaz kalibre edilmiştir. Ölçümler sırasında katılımcılar cihaza sırt üstü uzanır pozisyonda bulunmaktadır. Plantar fleksiyon açılarının ölçümünde kalçanın 30° - 40° ve dizin 20° - 30° fleksiyonda olması sağlanarak izokinetik dinamometrenin kuvvet platformuna ayak bileği yerleştirilip bağlanmıştır

(Şekil-7.a). Plantar fleksiyon açıları için rotasyon aksı medial malleolu görececek biçimde ayarlama yapılmıştır. İnversiyon açılarının ölçümünde kalçanın 90° ve dizin 90° fleksiyonda olması sağlanarak ayak bileği izokinetik dinamometreye yerleştirilip bağlanmıştır (Şekil-7.b). İnversiyon açıları için rotasyon aksı subtalar eklemi görececek biçimde ayarlama yapılmıştır. Test yapılırken katılımcılardan gözlerini kapatmaları istenmiştir Ayak bileği, plantar fleksiyon ve inversiyon yönündeki önceden belirlenen açılara her birine rastgele olacak şekilde, ilk olarak araştırmacı tarafından 1 saniye içerisinde pasif olarak getirilmiştir (Hareketin başlangıç noktası her bir açı için eklem nörtr pozisyonudur). İlgili açıda 5 saniye bekletilerek katılımcının açığı öğrenmesi istenmiştir. Cihazda açısal hız 0.5°/sn olarak ayarlanmıştır. Bu testin pasif pozisyon hissi testinden farklı katılımcının ayak bileğini aktif bir şekilde hareket ettirerek kendisine gösterilen açığı bulmaya çalışmalarıdır. Katılımcının teste uyumunu arttırmak için her test öncesinde bir deneme yaptırılmıştır. Her bir açıda testler 3 kere tekrarlanmış ve elde edilen değerler, hedef açıdan çıkarılarak ortaya çıkan değerlerin ortalamaları alınmıştır.

2.2.2. Kinestezi Testi

Ölçümler izokinetik dinamometre cihazı ile yapılmıştır. Her ölçüm öncesinde cihaz kalibre edilmiştir. Ölçümler sırasında katılımcılar cihaza sırt üstü uzanır pozisyonda bulunmaktadır. Plantar fleksiyon açılarının ölçümünde kalçanın 30°-40° ve dizin 20°-30° fleksiyonda olması sağlanarak izokinetik dinamometrenin kuvvet platformuna ayak bileği yerleştirilip bağlanmıştır (Şekil-7.a). Plantar fleksiyon açıları için rotasyon aksı medial malleolu görececek biçimde ayarlama yapılmıştır. İnversiyon açılarının ölçümünde kalçanın 90° ve dizin 90° fleksiyonda olması sağlanarak ayak bileği izokinetik dinamometreye yerleştirilip bağlanmıştır (Şekil-7.b). İnversiyon açıları için rotasyon aksı subtalar eklemi görececek biçimde ayarlama yapılmıştır. Test yapılırken katılımcılardan gözlerini kapatmaları istenmiştir. Ayrı ayrı inversiyona ve plantar fleksiyona 5° gidebilecek kadar bir hareket sınırı oluşturulmuştur. Cihazın açısal hızı 0.1°/sn olarak belirlenip, rastgele şekilde, nötralden inversiyona veya plantar fleksiyona hareket edecek şekilde ayarlama yapılmasının ardından, katılımcının hareketin başlatılmasından itibaren hareketi ilk algıladığı anda haber vermesi istenmiştir. Nötralden itibaren katılımcının haber verdiği açıya kadarki süre hesaplanmıştır. Katılımcılara her

testten önce birer deneme yaptırılmıştır ve 3 tekrarlı ölçümün ortalaması alınarak kaydedilmiştir.



7.a



7.b

Şekil-7: Kinestezi ve Eklem pozisyon hissi testi için katılımcının izokinetik dinamometreye bağlanması (7.a) plantar fleksiyon yönü için (7.b) inversiyon yönü için

2.3. Yıldız Denge Testi

Katılımcılarda dinamik dengenin değerlendirilmesi için yıldız denge testi uygulanmıştır. Her biri 240 cm uzunlukta olan 8 bant 45 derecelik açılarla yere yapıştırılarak yıldız biçiminde düzenek oluşturulmuş katılımcılardan bu düzeneğin merkezinde durmaları istenmiştir. Standart bir ölçüm sağlayabilmek için katılımcıların fonksiyonel instabilite olan ayağı koronal planda 3. falanksı tam orta hatta, sagittal planda ise metatarsofalangeal eklemi orta hatta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her iki el aynı taraftaki crista iliaca üstünde gövdeye bitişik vaziyette ve instabilite olan ayak yerde iken diğer ayakla anteriordan başlayıp saat yönünün tersi yönünde her yöne birer defa uzanmaları ve uzanabildikleri son noktaya hafifçe dokunuş yapmaları istenmiştir (Şekil-8). Öğrenme etkisinin testi yanltamasını önlemek için katılımcılardan test öncesinde tekrarlı 3 deneme yapmaları istenmiştir. Denemeler sonrasında, 8 yöne yapılan uzanımların hepsinin değerleri not edilmiştir. Test 3 kez yinelenmiş ve değerlerin ortalaması alınmıştır. Analizler için 3 yön (anterior, posteromedial ve posterolateral) kullanılmıştır. Katılımcılar test sırasında dikkatlice izlenmiştir. Katılımcı a) İnstabilite olmayan ayağıyla dokunmayıp yere

sert bir biçimde basarsa, b) İnstabilite olmayan ayağı yer ile temas ederse, c) uzanım sırasında elleri vücudundan ayrılırsa, d) ayağını ilk pozisyonuna getirmezse e) dengesi bozulursa hareket tekrar yapması istenmiştir.



8.a

8.b

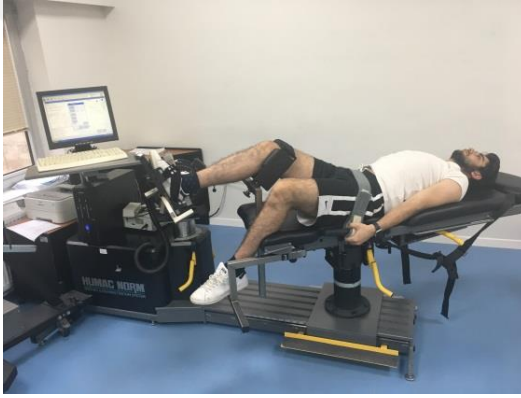
8.c

Şekil-8: Yıldız denge testi (8.a) anterior (8.b) posteromedial (8.c) posterolateral yöne uzanım görünüşleri

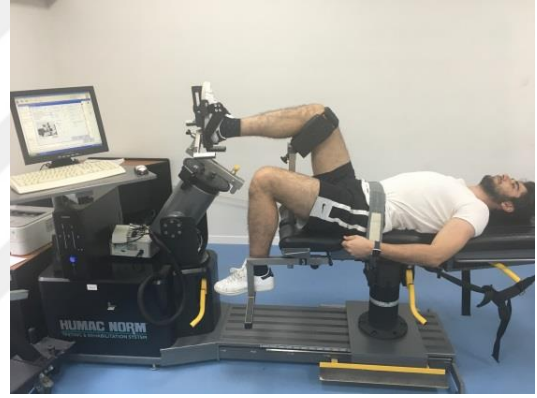
2.4. İzometrik Kuvvet Testi

Katılımcıların kuvvet testi yapmadan önce 10 dakika bisiklet ergometresinde ısınma ardından test yapılacak eklemeye yönelik 2 set 20 saniye germe egzersizleri yapmaları sağlanmıştır. Tüm katılımcıların fonksiyonel instabilitesi olan ayak bileklerinde invertör-evertör ve plantar fleksör-dorsal fleksör kas kuvvetleri CSMI Humac Norm, ABD marka izokinetik dinamometre ile test edilmiştir. Her ölçüm öncesinde cihaz kalibre edilmiştir. Ölçümler sırasında katılımcılar cihaza sırt üstü uzanır pozisyonda bulunmaktadır. Plantar fleksör-dorsal fleksör kas kuvvetleri ölçümünde kalçanın 30°-40° ve dizin 20°-30° fleksiyonda olması sağlanarak izokinetik dinamometrenin kuvvet platformuna ayak bileği yerleştirilerek bağlanmıştır (Şekil-9.a) Plantar fleksör-dorsal fleksör kas kuvvetleri için rotasyon aksı medial malleolu görececek biçimde ayarlama yapılmıştır. İnvörtör-evertör kas kuvvetleri ölçümünde kalçanın 90° ve dizin 90° fleksiyonda olması sağlanarak ayak bileği izokinetik dinamometreye yerleştirilmiştir (Şekil-9.b). İnvörtör-evertör kas kuvvet ölçümü

için rotasyon aksı subtalar eklemi gorecek biçimde ayarlama yapılmıştır. Katılımcıların ayak bileği 0° ve 15° plantar fleksiyon pozisyonunda iken plantar ve dorsal fleksör izometrik kas kuvvetleri, ayak bileği 0° ve 15° inversiyon pozisyonunda ikende invertör ve evertör izometrik kas kuvvetleri ölçülmüştür. Testler yapılırken katılımcılara sözsel olarak cesaretlendirme uygulanmıştır. Her bir hareket 5 saniye süren maksimal izometrik kontraksiyon olacak biçimde 3 tekrarlı olarak yaptırılmıştır. Hastaların teste uyumunu arttırmak için testler öncesinde hastalardan 3 tekrarlı deneme yapmaları istenmiştir. Kuvvet lmleri yapılırken dinlenme süreleri, hareketler arasında 3 dakika, tekrarlar arasında 5 saniye olarak belirlenmiştir. İzokinetik dinamometre yazılımı aracılığıyla katılımcıların kas kuvvet değerleri elde edilmiştir.



9.a



9.b

şekil-9: İzometrik kuvvet testi (9.a) plantar fleksörler ve dorsal fleksrlere yönelik (9.b) invertör ve evertrlere yönelik

3. Elektriksel Stimlasyon Programı

6 hafta süresince standart elektriksel stimlasyon ve kişiye özel elektriksel stimlasyon gruplarındaki katılımcıların fonksiyonel instabilitesi olan taraftaki tibialis anterior ve peroneus longus kaslarına haftada 3 gün olmak üzere günde 20 dakika elektriksel stimlasyon uygulaması yapılmıştır. Katılımcılara ardışık günlerde uygulama yapılmamıştır. Chattanooga Intellect Advanced, UK marka mobil stimlasyon cihazı ile elektriksel stimlasyon yapılmıştır. Elektriksel stimlasyon protokolü standart elektriksel stimlasyon grubu için frekans 100 Hz, faz süresi 200 s monofazik monokare puls akım,

kişiyeye özel elektriksel stimölasyon grubu için 100 Hz, faz süresi katılımcıların EMG ile ölçölen reaksiyon zamanının %50'si uzunluğunda akım alacak şekilde (örneğin reaksiyon zamanı 100 milisaniye(ms) olan biri için frekansı 100 Hz dalga boyu 5 ms) monofazik monokare puls akım olarak belirlenmiştir. Elektriksel stimölasyon 5x5 cm elektrotlar ile yapılmıştır. Elektrotlar tibialis anterior ve peronues kaslarının en belirgin olduğı yerlere olacak şekilde ve kas liflerinin yönüne olabildiğince paralel bir hat boyunca kas gövdesi üstündeki deri bölgesine yapıştırılmıştır (Şekil-10). Her seansta amplitüd kasta kasılma oluşturmıyacak ve katılımcının ağrı hissetmeyeceğı eşik noktaya kadar maksimal biçimde arttırılmıştır. Plantar fleksiyondaki ayak bileğinde inversiyon burkulmalarını simöle etmek için hastaların ayak bileğı inversiyon ve plantar fleksiyon pozisyonunda iken elektriksel stimölasyon uygulaması yapılmıştır. Bu durumu sağılamak için katılımcılar instabiliteli bacak üstteyken yan yatırılmıştır ve ayak bileğı uygun pozisyonunda olması için bir tane yastık medial malleolün 5 cm üzerindeki bölgeye gelecek şekilde koyulmuştur (Şekil-10). Bu sayede katılımcıların ayak bileğı burkulma pozisyonu sırasında elektriksel stimölasyon almış olmaları sağılanmıştır. Elektriksel stimölasyon esnasında katılımcılardan izometrik kasılma yapmamaları istenmiştir. Uygulamaların tamamı tüm katılımcılara aynı kişiy tarafından yapılmıştır ve uygulama süresince katılımcılar gözlemlenmiştir.



Şekil-10: Katılımcının elektriksel stimölasyon uygulaması sırasında duruşu ve elektrotların pozisyonu

4. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirme yapılırken SPSS istatistik programı (version 23.0) kullanılmıştır. Tüm değişkenleri tanımlamak için ortalama değer ve standart hata kullanılmıştır. Yüzdesel değişim hesaplamalarında (Elektriksel Stimülasyon Sonrası – Elektriksel Stimülasyon Öncesi) / Elektriksel Stimülasyon Öncesi X 100 formülü kullanılmıştır. Tüm verilerin dağılımının normalliği Shapiro-Wilk testi ile yapılmıştır. Standart elektriksel stimülasyon (SE), kişiye özel elektriksel stimülasyon (KE) ve kontrol gruplarındaki sensorimotor kontrol değişimlerini karşılaştırmak için 3 (grup) x 2 (zaman) mikst varyans analiz modeli (MANOVA) kullanılmıştır. Post hoc değerlendirmeler için Bonferroni testi uygulanmıştır. Grup x zaman etkileşimi gösteren değişkenlerde gruplar arasındaki karşılaştırma yüzdesel değişim değerleri üzerinden yapılmıştır. Yüzdesel değişimlerin istatistiksel değerlendirmesinde normal dağılım gösteren değişkenler için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde Kruskal Wallis testi uygulanmıştır. Grup içi elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası değerleri karşılaştırmak için normal dağılım gösteren değişkenlerde Paired Samples T testi, normal dağılım göstermeyen değişkenlerde ise Mann Whitney U testi kullanılmıştır. $p < 0.05$ değeri istatistiksel anlamlılık olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Katılımcıların Fiziksel Özellikleri

Tablo-1’de katılımcıların fiziksel özellikleri özetlenmiştir. Katılımcıların çalışma başlangıcındaki fiziksel özellikleri gruplar arasında kıyaslandığında yaş, kilo ve boy parametrelerinde istatistiksel anlamlı bir fark görülmemiştir. (Tablo-1; $p>0.05$)

Tablo-1: Katılımcıların fiziksel özellikleri

	SE (n=13)	KE (n=13)	KONTROL (n=10)
YAŞ	25.7 (1.0)	25.6 (1.0)	24.9 (1.4)
KİLO (kg)	69.3 (4.3)	70.3 (3.0)	68.8 (2.9)
BOY (cm)	173.0 (2.5)	174.9 (2.4)	171.5 (3.0)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimülasyon grubu, **KE:** Kişiyi Özel Elektriksel stimülasyon grubu, **n:** Hasta sayısı.

Peroneus Longus ve Tibialis Anterior Kas Reaksiyon Zamanları

EMG sonuçları “grup x zaman” etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

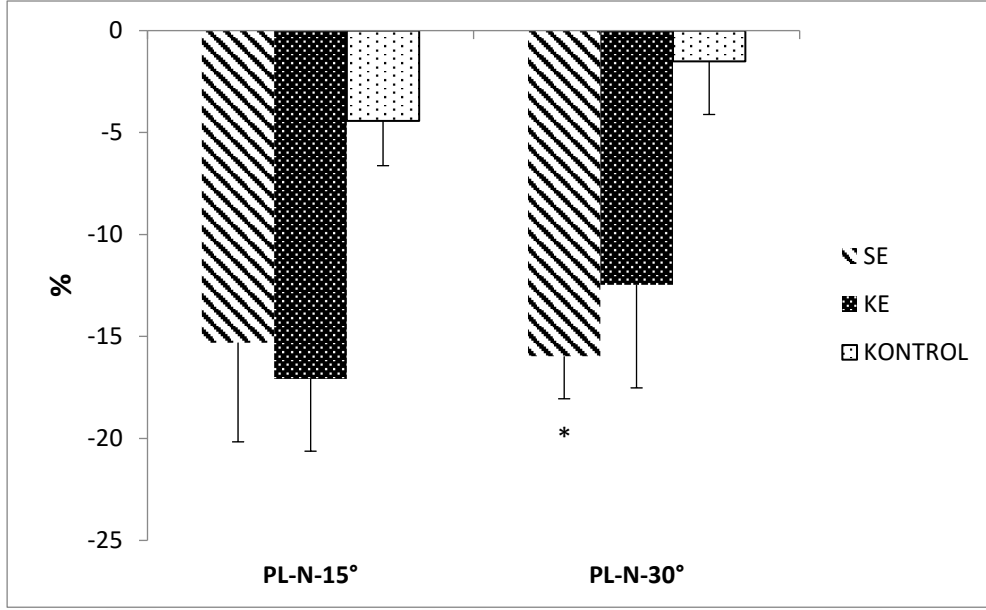
Elektriksel stimülasyon sonrası değerler elektriksel stimülasyon öncesi değerlere göre kıyaslandığında, standart ve kişiyi özel elektriksel stimülasyon grubunda nötral ve plantar fleksiyon pozisyonunda 15° ve 30°’lerde, peroneus longus kasının reaksiyon zamanlarında gözlenen kısalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır (Tablo-2; $p<0.05-0.01-0.001$).

Tablo-2: Peroneus longus kasının elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası reaksiyon zamanı değerleri

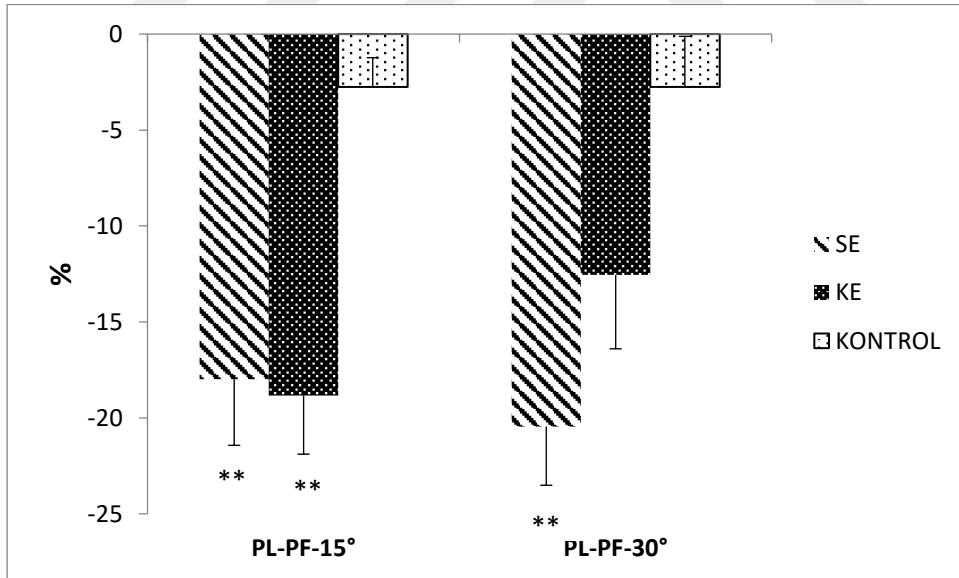
	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
PL-N-15°(ms)	98.5 (2.6)	82.7 (4.4)**	98.3 (2.4)	80.9 (2.6)***	97.3 (1.9)	93.0 (2.8)
PL-N-30°(ms)	96.3 (2.0)	81.0 (2.9)***	95.3 (1.6)	83.0 (4.4)*	98.6 (1.9)	96.9 (2.3)
PL-P-15°(ms)	96.3 (1.8)	78.6 (2.8)***	98.4 (3.2)	79.0 (2.1)***	99.0 (4.0)	96.3 (6.5)
PL-P-30°(ms)	92.6 (2.9)	73.3 (3.1)***	91.6 (2.1)	79.7 (3.1)**	94.3 (0.9)	90.6 (2.4)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel Stimölasyon grubu, **KE:** Kişiye Özel Elektriksel Stimölasyon grubu, **PL:** Peroneus longus, **P:** Plantar fleksiyon pozisyonu, **N:** Nötral pozisyon, **Ö:** Elektriksel Stimölasyon öncesi, **S:** Elektriksel Stimölasyon sonrası *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 grup içi elektriksel stimölasyon öncesi ve elektriksel stimölasyon sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Peroneus longus kas reaksiyon zamanlarında; standart elektriksel stimölasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin nötral 30° ile plantar fleksiyon pozisyonunda 15° ve 30°’deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı kısaldığı saptanmıştır (şekil-11; N-30°: SE: %-15.97 ± 2.08, Kontrol: %-1.5 ± 2.6 p<0.05, şekil 12; PF-15°: SE: %-17.98 ± 3.44, Kontrol: %-2.75 ± 1.52 p<0.01 ; PF-30°; SE: %-20.45 ± 3.05, Kontrol: %3.85 ± 2.63 p<0.01). Peroneus longus kas reaksiyon zamanlarında; kişiye özel elektriksel stimölasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin plantar fleksiyon pozisyonunda 15°’deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı kısaldığı saptanmıştır (şekil-12; PF-15°; KE: %-18.83 ± 3.05, Kontrol: %-2.75 ± 1.52 p<0.01).



Şekil-11: Nötralde elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası peroneus longus kas reaksiyon zamanı ölçümlerinin yüzdesel değişim değerleri. **SE:** Standart Elektriksel Stimülasyon grubu, **KE:** Kişiyi Özel Elektriksel Stimülasyon grubu **PL=** Peroneus longus, **N=** Nötral pozisyon, * $p<0.05$ kontrol grubuna kıyasla istatistiksel anlamlı farklılığı göstermektedir.



Şekil-12: Plantar fleksiyon pozisyonunda elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası peroneus longus kas reaksiyon zamanı ölçümlerinin yüzdesel değişim değerleri. **SE:** Standart Elektriksel Stimülasyon grubu, **KE:** Kişiyi Özel Elektriksel Stimülasyon grubu **PL=** Peroneus longus, **PF=**Plantar fleksiyon pozisyonu, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ kontrol grubuna kıyasla istatistiksel anlamlı farklılığı göstermektedir. **PL=** Peroneus longus

Peroneus longus kas reaksiyon zamanlarında; standart elektriksel stimülasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin nötral 15°'deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir (Şekil 11; N-15°; SE: %-15.30 ± 4.86, Kontrol: %-4.42 ± 2.19 p>0.05). Peroneus longus kas reaksiyon zamanlarında; kişiye özel elektriksel stimülasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin nötral 15° ve 30° ile plantar fleksiyon pozisyonunda 30°'daki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir (Şekil 11: N-15°; KE: %-17.08 ±3.54, Kontrol: %-4.42 ± 2.19 p>0.05; N-30°; KE: %-12.46 ± 5.05, Kontrol: %-1.5 ± 2.6 p>0.05; Şekil 12: PF-30°; KE: %-12.54 ±3.85, Kontrol: %3.85 ± 2.63 p>0.05).

Tibialis anterior kas reaksiyon zamanlarında elektriksel stimülasyon sonrası değerler elektriksel stimülasyon öncesi değerlere göre kıyaslandığında, standart ve kişiye özel elektriksel stimülasyon grubunda hem nötral hem de plantar fleksiyon pozisyonunda 15° ve 30°'lerde istatistiksel olarak anlamlı kısalma olduğu bulunmuştur (Tablo-3; p<0.05-0.01-0.001).

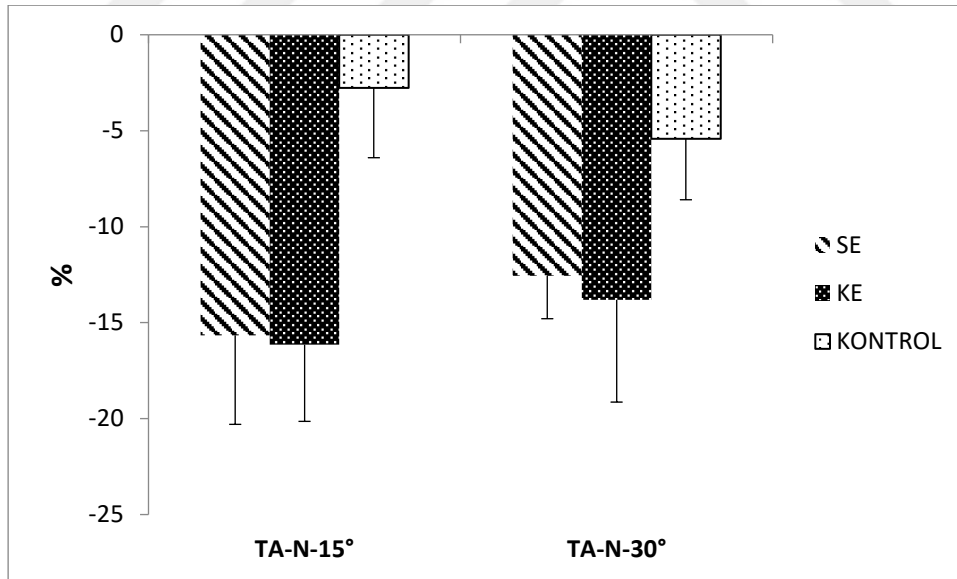
Tablo-3: Tibialis anterior kasının elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası reaksiyon zamanı değerleri

	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
TA-N-15°(ms)	102.2 (2.6)	85.2 (3.5)**	102.6 (2.6)	85.3 (3.4)**	99.9 (1.9)	97.0 (3.7)
TA-N-30°(ms)	101.8 (2.6)	89.1 (3.6)***	100.0 (2.1)	85.6 (4.8)*	97.3 (1.4)	92.1 (3.5)
TA-P-15°(ms)	101.0 (3.2)	83.2 (3.3)**	102.3 (2.7)	82.4 (3.0)***	100.0 (5.6)	94.0 (7.7)
TA-P-30°(ms)	95.6 (3.5)	76.0 (4.0)***	97.4 (2.1)	79.7 (3.9)**	93.5 (4.9)	88 (6.9)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimülasyon grubu, **KE:** Kişiye Özel Elektriksel stimülasyon grubu, **TA:** Tibialis anterior, **N:** Nötral pozisyon, **P:** Plantar fleksiyon pozisyonu, **Ö:** Elektriksel stimülasyon öncesi, **S:** Elektriksel stimülasyon sonrası *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 grup içi elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tibialis anterior kas reaksiyon zamanlarında; standart elektriksel stimülasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin nötral 15° ve 30° ile plantar fleksiyon pozisyonunda 15°'deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir (Şekil 13: N-15°; SE: $\% -15.66 \pm 4.63$, Kontrol: $\% -2.76 \pm 3.63$ $p > 0.05$, N-30°; SE: $\% -12.55 \pm 2.23$, Kontrol: $\% -5.41 \pm 3.18$ $p > 0.05$, Şekil 14: PF-15°; SE: $\% -16.59 \pm 4.40$, Kontrol: $\% -5.69 \pm 3.03$ $p > 0.05$).

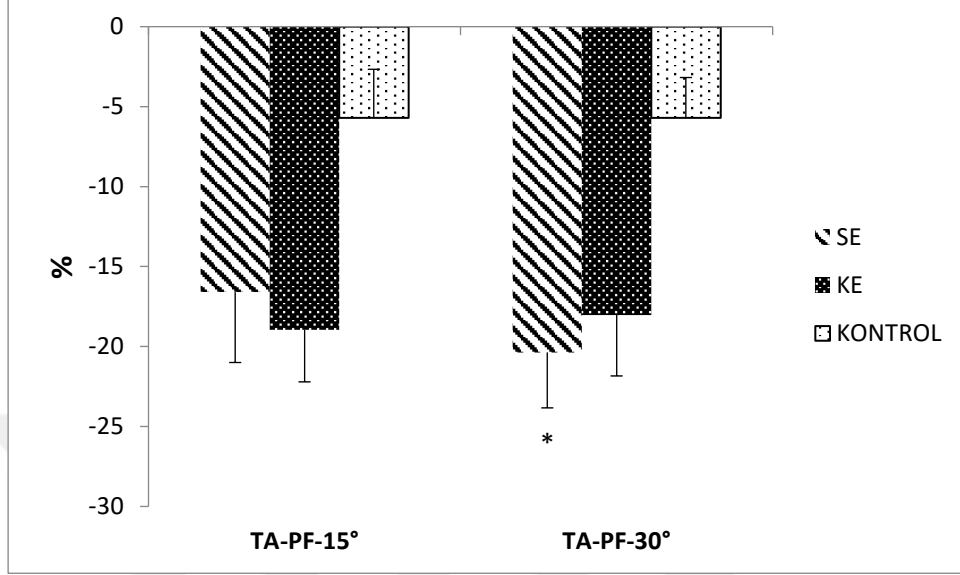
Tibialis anterior kas reaksiyon zamanlarında; kişiye özel elektriksel stimülasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin nötral 15° ve 30° ile plantar fleksiyon pozisyonunda 15 ve 30°'deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir (Şekil 13: N-15°; KE: $\% -16.15 \pm 3.99$, Kontrol: $\% -2.76 \pm 3.63$ $p > 0.05$, N-30°; KE: $\% -13.81 \pm 5.32$, Kontrol: $\% -5.41 \pm 3.18$ $p > 0.05$, Şekil 14: PF-15°; KE: $\% -18.96 \pm 3.25$, Kontrol: $\% -5.69 \pm 3.03$ $p > 0.05$, PF-30°; KE: $\% -18.02 \pm 3.81$, Kontrol: $\% -5.70 \pm 2.52$ $p > 0.05$).



Şekil-13: Nötralde elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası tibialis anterior kas reaksiyon zamanı ölçümlerinin yüzdesel değişim değerleri. SE: Standart Elektriksel Stimülasyon grubu, KE: Kişiyeye Özel Elektriksel Stimülasyon grubu TA= Tibialis anterior, N=Nötral pozisyon

Tibialis anterior kas reaksiyon zamanlarında; standart elektriksel stimülasyon grubu yüzdesel değişim değerlerinin plantar fleksiyon

pozisyonunda 30°’deki ölçümleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı iyileşme gösterdiği saptanmıştır (Şekil 14: PF-30° ; SE: $\% -20.36 \pm 3.47$, Kontrol: $\% -5.70 \pm 2.52$ $p < 0.05$)



Şekil-14: Plantar fleksiyon pozisyonunda elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası tibialis anterior kas reaksiyon zamanı ölçümlerinin yüzdesel değişim değerleri SE: Standart Elektriksel Stimülasyon grubu, KE: Kişiyeye Özel Elektriksel Stimülasyon grubu TA= Tibialis anterior, PF= Plantar fleksiyon pozisyonu, * $p < 0.05$ kontrol grubuna kıyasla istatistiksel anlamlı farklılığı göstermektedir.

Yıldız Denge Testi

Dinamik dengenin değerlendirildiği yıldız denge testi sonuçları “grup x zaman” etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$).

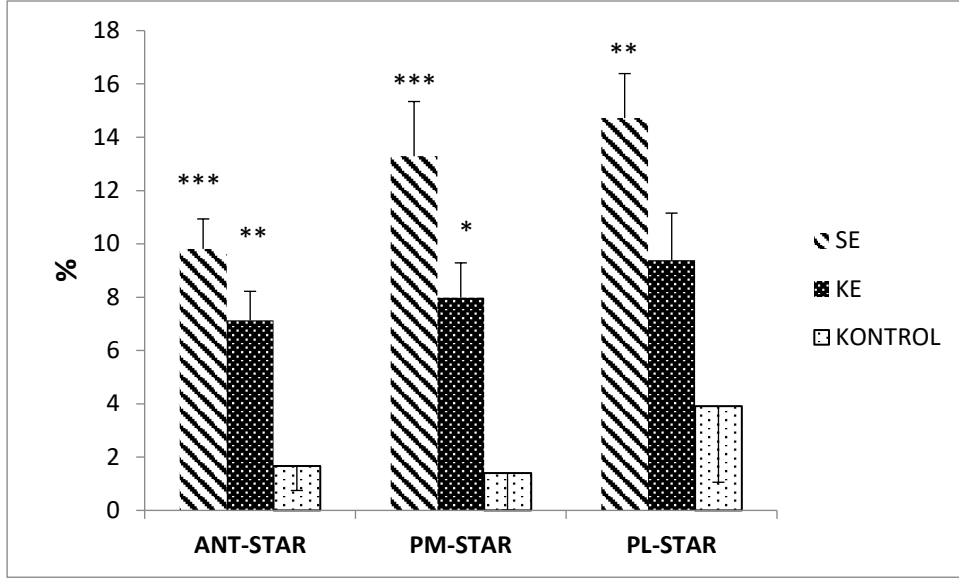
Elektriksel stimülasyon öncesi değerler elektriksel stimülasyon sonrası değerlerle kıyaslandığında, elektriksel stimülasyon sonrası SE grubunda yıldız denge testi anterior, posterolateral ve posteromedial yönlerde uzanımlarılarındaki artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo-4; $p < 0.001$). KE grubunda da yıldız denge testi anterior, posterolateral ve posteromedial yönlerde uzanımlarılarındaki artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo-4; $p < 0.01$). Kontrol grubun değerlerinde ise hiç bir yönde anlamlı değişim bulunmamıştır (Tablo-4; $p > 0.05$).

Tablo-4: Elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası STAR (yıldız denge) testi değerleri

	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
ANT- STAR (cm)	75.8 (1.5)	83.2 (1.8)***	76.7 (1.6)	82.2 (1.7)***	75.6 (1.5)	76.9 (1.6)
PM- STAR (cm)	82.3 (2.6)	92.7 (2.0)***	86.8 (1.2)	93.6 (1.4)***	83.8 (2.5)	84.9 (2.5)
PL- STAR (cm)	76.3 (2.3)	87.1 (1.8)***	78.1 (1.5)	85.3 (1.5)***	75.5 (2.8)	77.8 (1.7)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimölasyon grubu, **KE:** Kişiyi Özel Elektriksel stimölasyon grubu, **ANT:** Anterior yön, **PM:** Posteromedial yön, **PL:** Posterolateral yön. **Ö:** Elektriksel stimölasyon öncesi, **S:** Elektriksel stimölasyon sonrası *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 grup içi elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Yüzdesel değişim değerleri kıyaslandığında yıldız denge testi anterior ve posteromedial yönler uzanımında SE - kontrol ve KE - kontrol grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (Şekil-15; Anterior; SE: %9.81 ± 1.12, KE: %7.12 ± 1.09, Kontrol: %1.67 ± 0.92, p<0.001-0.01, Posteromedial; SE: %13.28 ± 2.05, KE: %7.98 ± 1.29, Kontrol: %1.40 ± 1.38, p<0.001-0.05). Posterolateral uzanımında ise SE-kontrol grupları arasında anlamlı farklılık varken KE-kontrol grupları arasında anlamlı farklılığa rastlanmamıştır (Şekil 15; Posterolateral; SE: %14.72 ± 1.66, KE: %9.38 ± 1.76, Kontrol: %3.91 ± 2.85 p<0.01,p>0.05). Her iki elektriksel stimölasyon grupları arasında istatistiksel anlamlı fark görülmemiştir (p>0.05).



Şekil-15: Elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası STAR testi ölçümlerinin yüzdesel değışim değeri. **SE:** Standart Elektriksel stimölasyon grubu, **KE:** Kişiyeye Özel Elektriksel stimölasyon grubu **ANT:** Anterior yön, **PM:** Posteromedial yön, **PL:** Posterolateral yön. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ kontrol grubuna göre istatistiksel anlamlı farklılığı göstermektedir.

Kuvvet

Ayak bileği invertör, evertör, dorsal fleksör ve plantar fleksör kaslarının izometrik kuvvet değerleri “grup x zaman” etkileşimi göstermemiştir ($p>0.05$).

Tablo-5: Elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası izometrik kuvvet değerleri

		SE		KE		KONTROL	
		Ö	S	Ö	S	Ö	S
İNV (Nm)	0°	30.6 (3.3)	31.6 (3.8)	35.0 (3.5)	35.0 (3.6)	32.4 (4.0)	30.0 (3.8)
	15°	24.5 (3.1)	27.5 (3.7)	31.3 (4.0)	28.8 (3.6)	25.7 (4.3)	25.2 (3.5)
EV (Nm)	0°	34.6 (1.7)	36.0 (3.0)	46.0 (3.6)	44.4 (4.6)	34.5 (4.8)	33.6 (3.9)
	15°	47.4 (5.5)	60.3 (5.4)	60.2 (4.6)	53.1 (5.5)	45.6 (5.3)	42.8(7.3)
PF (Nm)	0°	91.6 (9.8)	99.8 (12.6)	131.6 (15.0)	136.7 (19.6)	112.9 (20.3)	98.5 (16.6)
	15°	38.7 (8.6)	46.0 (9.6)	79.3 (13.9)	76.8 (15.3)	58.2 (13.1)	54.3 (9.3)
DF (Nm)	0°	41.6 (3.6)	42.2 (2.9)	46.8 (3.8)	49.1 (3.7)	41.4 (3.6)	43.8 (3.6)
	15°	73.5 (3.8)	81.8 (5.0)	70.1 (4.4)	73.8 (3.5)	73.2 (4.2)	76.5 (3.8)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Stimülasyon grubu, **KE:** Kişisel Stimülasyon grubu, **İNV:** Ayak bileği invertör kasları, **EV:** Ayak bileği evertör kasları, **PF:** Ayak bileği plantar fleksör kasları, **DF:** Ayak bileği dorsal fleksör kasları, **Ö:** Elektriksel stimülasyon öncesi, **S:** Elektriksel stimülasyon sonrası, **0°:** 0° inversiyon/plantar fleksiyon, **15°:** inversiyon/plantar fleksiyon. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$ grup içi elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Eklem Pozisyon Hissi

Ayak bileği eklem pozisyon hissi değerleri “grup x zaman” etkileşimi göstermemiştir ($p>0.05$).

Elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası değerler kıyaslandığında, eklem pozisyon hissi algılama testinde inversiyon yönünde standart elektriksel stimülasyon grubunda elektriksel stimülasyon sonrası pasif 10°’de istatistiksel anlamlı bir iyileşme görülmüştür (Tablo-6; $p<0.05$). Bunun dışında diğer gruplarda ve diğer pozisyonlarda anlamlı bir fark bulunmamıştır (Tablo-6; $p>0.05$). Eklem pozisyon hissini algılama testinde plantar fleksiyon yönünde kişiye özel elektriksel stimülasyon grubunda pasif 15° ile aktif 15° ve 30°’lerde anlamlı bir iyileşme görülmüştür (Tablo-7; $p<0.05$). Bunun dışında diğer gruplarda ve diğer pozisyonlarda anlamlı bir fark bulunmamıştır (Tablo-7; $p>0.05$).

Tablo-6: Elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası pasif ve aktif eklem pozisyon hissi testi değerleri

	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
PASİF İNV 10°	2.6 (0.4)	1.4 (0.2)*	2.3 (0.3)	1.8 (0.2)	2.2 (0.4)	2.0 (0.3)
PASİF İNV 20°	3.9 (0.7)	2.6 (0.3)	3.1 (0.4)	2.4 (0.5)	3.7 (0.5)	3.0 (0.4)
AKTİF İNV 10°	2.1 (0.2)	2.3 (0.2)	2.6 (0.3)	1.8 (0.2)	2.5 (0.4)	2.3 (0.4)
AKTİF İNV 20°	4.2 (0.5)	3.1 (0.7)	3.7 (0.6)	2.3 (0.3)	3.1 (0.5)	2.7 (0.2)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimülasyon grubu, **KE:** Kişiyeye Özel Elektriksel stimülasyon grubu, **İNV:** İnversiyon. * $p<0.05$ grup içi elektriksel stimülasyon öncesi ve sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo-7: Elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası pasif ve aktif eklem pozisyon hissi testi değeri

	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
PASİF PF 15°	3.4 (0.5)	3.0 (0.5)	4.1 (0.5)	2.8 (0.4)	4.5 (0.3)	3.2 (0.4)
PASİF PF 30°	4.7 (0.6)	3.8 (0.6)	4.6 (0.4)	2.9 (0.4)*	4.9 (0.7)	5.3 (0.5)
AKTİF PF 15°	3.0 (0.6)	3.1 (0.6)	2.5 (0.3)	1.5 (0.2)*	2.6 (0.4)	2.3 (0.3)
AKTİF PF 30°	4.7 (0.7)	3.2 (0.7)	5.0 (0.5)	3.6 (0.3)*	5.2 (0.5)	5.4 (0.8)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimölasyon grubu, **KE:** Kişiyeye Özel Elektriksel stimölasyon grubu, **PF:** Plantar fleksiyon, **Ö:** Elektriksel stimölasyon öncesi, **S:** Elektriksel stimölasyon sonrası. *p<0.05 grup içi elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası istatistiksel anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Kinestezi

Ayak bileği kinestezi değeri “grup x zaman” etkileşimi göstermemiştir (p>0.05). Kinestezi açısından elektriksel stimölasyon sonrasında gruplar arasında ve grup içi elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası değeriinde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Tablo-8; p>0.05).

Tablo-8: Elektriksel stimölasyon öncesi ve sonrası ayak bileği plantar fleksiyon ve inversiyon yönünde kinestezi testi değeri

	SE		KE		KONTROL	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S
KİN-PF	20.6 (5.1)	22.3 (5.1)	16.8 (2.9)	15.2 (2.5)	28.4 (7.1)	27.2 (9.4)
KİN-İNV	19.7 (3.8)	23.0 (3.7)	13.7 (2.0)	14.2 (2.3)	23.8 (8.1)	25.0 (7.8)

Değerler ortalama (standart hata) şeklinde verilmiştir. **SE:** Standart Elektriksel stimölasyon grubu, **KE:** Kişiyeye Özel Elektriksel stimölasyon grubu, **KİN:** Kinestezi, **İNV:** İnversiyon **PF:** Plantar fleksiyon, **Ö:** Elektriksel stimölasyon öncesi, **S:** Elektriksel stimölasyon sonrası.

TARTIŞMA VE SONUÇ

FAİ olan bireylerde ayak bileği evertör ve dorsal fleksör kaslarına uygulanan elektriksel stimölasyonun sensorimotor kontrol üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmanın sonucunda; 1) SE ve KE gruplarında peroneus longus kas reaksiyon zamanları elektriksel stimölasyon sonrası öncesine kıyaslandığında ölçüm yapılan bütün pozisyonlarda kısalmıştır. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında; SE grubunda nötralde 30°'lik ve plantar fleksiyon pozisyonunda 15° ve 30°'lik inversiyon açılarında peroneus longus kasının reaksiyon zamanlarındaki kısalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. KE grubunda ise plantar fleksiyon pozisyonunda 15°'lik inversiyon açısında peroneus longus kas reaksiyon zamanının kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı kıaldığı saptanmıştır. Her iki elektriksel stimölasyon grubunda ise peroneus longus kas reaksiyon zamanları arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır. 2) Tibialis anterior kas reaksiyon zamanları incelendiğinde; elektriksel stimölasyon sonrası öncesine göre bütün açısal burkulma pozisyonlarında kısalma gözlenirken, sadece SE grubunda plantar fleksiyon pozisyonunda 30°'lik inversiyon açısında kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır. Her iki elektriksel stimölasyon grubunda ise tibialis anterior kas reaksiyon zamanları arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır. 3) SE ve KE grupları yıldız denge testi sonuçları incelendiğinde; anterior, posterolateral ve posteromedial yönlerde elektriksel stimölasyon uygulaması öncesine göre sonrası anlamlı bir artış saptanmıştır. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında SE grubunda tüm yönlerde, KE grubunda ise anterior ve posteromedial yöne uzanımda istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır. 4) Kontrol grubu ile kıyaslandığında kinestezi, pasif ve aktif eklem pozisyon hissi testi ile izometrik pik tork testi değerlerinde anlamlı değişiklik saptanmamıştır.

Kas Reaksiyon Zamanı

Ayak bileği sensorimotor ölçüm yöntemlerinden biri kas reaksiyon zamanı ölçümüdür. Benesch ve ark. (48) çalışmalarında bir inversiyon platformuyla ölçtükleri peroneal kas reaksiyon zamanı testinin ayak bileği fonksiyonel instabilite tanısı açısından güvenilir bir test olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Literatürde bu zamana kadar yapılan çalışmalara bakıldığında uzun süreli elektriksel stimülasyonun evertör ve/veya dorsal fleksör kaslarındaki reaksiyon zamanı üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Daha önce laboratuvarımızda gerçekleştirilen ve yayın aşamasında olan bir uzmanlık tezinde İlhan ve ark.(46) sağlıklı kişilerde ayak bileği plantar fleksiyon pozisyonundayken ani inversiyon esnasında TA ve PL kaslarının reaksiyon zamanlarında anlamlı kısalma saptamışlardır. Bu azalmanın FAİ olan kişilerde varlığını sorguladığımız mevcut çalışmamızda da benzer şekilde TA ve PL kaslarının reaksiyon zamanında anlamlı kısalma olmuştur. Bunun diğer tedavi modalitelerindeki benzer mekanizma ile yani golgi tendon organı ve kas içiği duyarlılığında artış ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Literatürde farklı tedavi modalitelerinin ayak bileği kas reaksiyon zamanları üzerine olan etkisini inceleyen birçok çalışma vardır (26,27,49-57). Ayak bileği bandaj uygulamasının peroneal kas reaksiyon zamanı üzerine etkilerine bakılan çalışmalarda (49,50) bandaj sonrası reaksiyon zamanlarında anlamlı kısalma görülmüştür. Bu sonucun bandajın mekanik etkisinden ziyade ayak bileği propriosepsiyonunda sağladığı iyileşmeden kaynaklandığı düşünülmektedir (50). Bazı çalışmalarda (41,52,55) kas reaksiyon zamanına denge egzersizlerinin etkileri araştırılmış, uzun süreli denge tahta egzersizlerinin reaksiyon zamanında iyileşme sağladığı gösterilmiştir. Denge egzersizlerinin bunu bağlar ve tendonlar gibi yumuşak dokular ile kastaki adaptasyon sayesinde spinal ve paraspinal refleksler yoluyla sağlayabilceği düşünülmüştür (27). Kas reaksiyon zamanına kuvvet egzersizlerinin etkisinin incelendiği çalışmalarda (26,57) 4-6 hafta yapılan kuvvet antrenmanlarının kas reaksiyon zamanını anlamlı ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Kuvvet egzersizlerinin akut dönemde motor ünit katılımında ve nöranal ileti hızında

artma, agonist kasların seçici aktivasyonu ile birlikte antagonist kasların koaktivasyonu gibi nöronal adaptasyon mekanizmaları vasıtasıyla, kronik dönemde de kas içiğinin reseptör duyarlılığında artış sağlayarak reaksiyon zamanını kısalttığı düşünülmüştür (57). Ayak bileği instabilitesi nedeniyle bağ onarımı cerrahisi geçirenlerde yapılan çalışmalarda (53,54) cerrahinin kas reaksiyon zamanına olumlu bir gelişme sağladığı gösterilememiştir.

Sierra-Guzman ve ark. (58) 50 fiziksel olarak aktif FAİ olan hastayı sadece bosu denge egzersizleri, vibrasyon uygulaması ile birlikte bosu denge egzersizi ve kontrol grubu olarak 3 gruba rastgele olarak ayırmışlardır. Katılımcılara haftada 3 gün olmak üzere 6 hafta süresince egzersiz uygulamasının sonuçlarına bakıldığında; vibrasyon uygulaması ile birlikte bosu denge egzersizi yapılan grupta peroneal ve tibial kas reaksiyon zamanında anlamlı kısaltmalar görülmüştür (58). Bu iyileşmenin vibrasyon uygulamasının gama motor nöron uyarılabilirliğini kolaylaştırarak kas içiği duyarlılığını arttırmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Çalışmamızdaki elektriksel stimülasyon uygulamasının kas reaksiyon zamanında iyileşme sağlayacağı yönünde kurduğumuz hipotezimiz, vibrasyon uygulamalarında olduğu gibi kuvvet ve denge egzersizlerinin etkilediği kas içiğindeki duyarlılık artışına ve nöral uyuma dayanmaktadır.

Literatür incelendiğinde FAİ olan bireyler ile sağlıklı kişilerin karşılaştırıldığı çalışmalarda (21,59-62) instabilite olan kişilerde peroneal kas reaksiyon zamanlarında anlamlı bir uzama olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada elektriksel stimülasyon öncesi yapılan testlerde katılımcıların nötral pozisyonda 30° inversiyon testinde peroneus longus kas reaksiyon zamanının ortalama değeri 96 ms olarak saptanmıştır. Bu çalışmaya dahil olan gönüllülerde tibialis anterior ve peroneus longus kas reaksiyon zamanları daha önce sağlıklı kişilerde yapılan çalışmalara göre daha uzun bulunmuştur (4,21,22,47,63,64). Sağlıklı sporcularda yapılan birçok çalışmada (21,22,47,63,64) ölçülen peroneal kas reaksiyon zamanı 50 ile 66 ms gibi kısa olarak görülmektedir.

Burkulmadan dinamik korunma reaksiyonu peroneal kaslarda ani inversiyondan minimum 126 ms sonrasında gelişmekte ve bunun 54 ms i başlangıç EMG aktivitesinin reaksiyon zamanı ile 72 ms i kas kuvveti meydana getirmek için gerekli elektromekanik gecikmedir (65). Bizim çalışmamızda her

iki elektriksel stimölasyon grubunun başlangıçta ölölölöl ortalama peroneal kas reaksiyon zamanı 96 ms iken elektriksel stimölasyon sonrası ortalama peroneal kas reaksiyon zamanı 81 ms'dir. Ayak bileği burkulmalarından korunma ağıısından bu iyileşme önceki çalışmalara göre yeterli olduğu söylenebilir.

Kuvvet

Bu çalışmada elektriksel stimölasyon uygulaması peroneus longus ve tibialis anterior kaslarının gergin bir halde ayak plantar fleksiyon ve inversiyon pozisyonunda yapılmıştır, elektriksel stimölasyon ile birlikte eş zamanlı kasılma yapılmamıştır. Minetto ve ark. (66) 14 sağlıklı erkeğin quadriceps femoris kasına 24 seans elektriksel stimölasyon uygulamışlar ve uygulama sırasında gönüllülerin quadriceps femoris kasını eş zamanlı izometrik olarak kasmalarını istemişlerdir. Uygulama sonrasında quadriceps femoris kasının izometrik kas kuvvetinde anlamlı artış sağladığı bildirilmiştir. Grosset ve ark. (67) 15 sağlıklı erkek katılımcının triceps surae kasına 4 hafta süreyle NMES uygulaması ile eş zamanlı izometrik kasılma yaptırılmış ve triceps surae kasında maksimal izometrik kuvvet 105 nm den 123 nm ye çıkmıştır. Bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada kuvvet artışı saptanamamasının nedenlerinden biri eş zamanlı kasılmanın yaptırılmamış olması olabilir. Fakat çalışmanın başındaki hipotezlerimizden biri kasılma ile birlikte kuvvet artışı elde etmek değil, elektriksel stimölasyon etkisiyle golgi tendon organı ve kas iççiği üzerinden kas reaksiyon zamanını etkilemektir. Bununla birlikte Lake (68) kasta kuvvet artışı için en ideal elektriksel stimölasyon modölünün simetrik veya asimetrik bifazik dalga ile %25'lik bir siklus "on/off" şeklinde uygulanmasını önermişlerdir. Kas kuvvetlenmesinin amaçlanmadığı bu çalışmada monofazik monokare dalgayla sürekli akım uygulanmıştır. Kas kuvvetinde artış gözlemleyememizin nedenlerinden biri de bu olabilir.

Denge

Literatüre incelendiğinde, ayak bileği evertör ve dorsal fleksör kaslarına yapılan kronik elektriksel stimülasyonun dengeye etkilerinin incelendiği çalışma sayısı yetersizdir. Daha önce laboratuvarımızda yapılan uzmanlık tezinde İlhan ve ark (46) sağlıklı kişilerde 6 hafta süreyle tibialis anterior ve peroneus longus kaslarına haftanın 3 günü uygulanan elektriksel stimülasyonun dinamik denge ölçütlerinden olan yıldız denge testi posterolateral, posteromedial ve anterior yönler uzanma mesafelerinde anlamlı iyileşme sağladığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da elektriksel stimülasyon FAİ olan kişilere aynı dozda ve yoğunlukta uygulanmıştır. Elektriksel stimülasyon uygulaması sonrası benzer şekilde yıldız denge testinde posterolateral, posteromedial ve anterior yönler uzanma mesafelerinde anlamlı artışlar saptanmıştır.

Literatüre bakıldığında son dönemlerde ayak bileğine yapılan elektriksel stimülasyon uygulamalarının dengeye etkinliği hakkında birkaç çalışma bulunmaktadır (38,42-45,69,70). Bazı çalışmalarda elektriksel stimülasyon inme hastalarında denge duyusunu geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Ng ve ark. (69) 76 subakut dönemdeki inme hastasına 8 egzersizden oluşan denge egzersizi uygularken bu hastaların bir kısmına ortak peroneal sinir ve sural sinir hizasına 8 hafta süresince haftada 2 gün TENS uygulamış, kalan kısmına da plasebo TENS yapılmıştır. TENS uygulaması yapılan grupta plasebo TENS grubuna göre Berg Denge Skalasında çalışma başlangıcından itibaren 1, 2 ve 3 aylık takip zamanlarında anlamlı iyileşme olduğu bildirilmiştir. Kronik inme hastalarında egzersiz ile beraber quadriceps ve gastrocnemius kaslarına TENS ve plasebo TENS uygulayan Park ve ark. (44), 6 haftalık (haftada 5 gün) uygulama sonucunda dinamik denge ölçütlerinden sayılan ayağa kalkıp yürüme testlerinde ve statik denge ölçütlerinden sayılan medial lateral ve anterior posterior postürel salınımda TENS grubunda plaseboya kıyasla anlamlı iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir. Diğer bir kronik inme hastasıyla yapılan başka bir çalışmada Tyson ve ark. (45), TENS plasebo TENS uygulaması karşılaştırılmış, katılımcılara ayakta iken kollarıyla uzanabildiği kadar ileriye uzanabildikleri mesafenin değerlendirildiği denge testi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda TENS uygulanan grupta denge

parametrelerinde anlamlı düzeltilmeler görülmüştür. Yaşlılarda Amiridis ve ark. 'ın (43) yaptığı bir çalışmada, 4 hafta süresince egzersiz grubunda tibialis anterior kasına haftada 4 gün elektriksel stimülasyon ile beraber izometrik kasılmalar yaptırılırken kontrol grubuna egzersiz verilmemiştir. Çalışmanın sonucunda statik denge parametrelerinde ve postürel salınımda gelişme sağlandığı bildirilmiştir. Sağlıklı bireylerde vibrasyon uygulamasının etkilerini inceleyen Borel ve ark. (70), katılımcılara 5 farklı düzeyde vibrasyonu gastrocnemius ve tibialis anterior tendonlarına uygulamışlar ve titreşim esnasında yumuşak zemin, statik ve dinamik üzerindeki postürel kontrollerini kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda ayak bileği tendonlarına yapılan vibrasyonun statik postürel kontrolü anlamlı olarak geliştirdiği bulunmuştur. Bu gelişmenin etki mekanizması olarak yapılan vibrasyon uygulamasının kas içiğinde uyarı oluştururarak proprioseptif geribildirim oluşumunda artış sağladığı ve bunun da postürel kontrolde iyileşme sağladığı şeklinde düşünülmüşlerdir. Rekreatif sporcuları dahil ettiğimiz bu çalışmada tibialis anterior ve peroneus longus kaslarına elektriksel stimülasyonun ardından dinamik denge ölçütlerinden yıldız denge testinde anlamlı iyileşmeler saptanmıştır. Dinamik dengedeki bu iyileşmenin kronik elektriksel stimülasyon uygulamasının kas içiğinde duyarlılık artışı sağladığı ve yukarıda bahsedilen araştırmalardaki benzer adaptasyon mekanizmaları üzerinden bu katkıyı sağlandığını düşünmekteyiz.

Literatürde ayak bileğinde dinamik dengenin değişik egzersiz yöntemleri ile geliştirilebildiğini gösteren pek çok çalışma mevcuttur. Cain ve ark (71) ile Cruz-Diaz ve ark. (72) denge egzersizlerinin, Hale ve ark. (73) denge ile birlikte sıçrama egzersizinin, Hall ve ark. (74) proprioseptif nöromusküler egzersiz ve thera band ile kuvvet egzersizlerinin, Wright ve ark. (75) denge tahtası egzersizleri ve thera band egzersizlerinin, Hale ve ark. (76) hep birlikte yapılan kuvvet, germe, fonksiyonel ve denge egzersizlerinin dinamik dengede iyileşme sağladığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada herhangi bir egzersiz protokolü uygulanmadan ve sadece elektriksel stimülasyon yapılarak dinamik dengede iyileşme gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada dinamik dengeyi değerlendirmek için yıldız denge testi kullanılmıştır. Yıldız denge testinin güvenilirliğini inceleyen çalışmalar hem testler arasında hemde araştırmacılar arasında güvenilirliğin yüksek olduğunu

belirtmişlerdir. Gabriner ve ark. (77) yıldız denge testinde posterolateral ve posteromedial yönlerde uzanımda peroneal kasların anterior yöne uzanımda dorsal fleksör kasların aktif olduğunu ifade etmektedirler. Elektriksel stimülasyon uygulamasının bizim çalışmamızda peroneal ve dorsal fleksör kaslara yapılmış olması nedeniyle yıldız denge testinde posterolateral, posteromedial ve anterior yönler kullanılmıştır.

Propriosepsiyon

Literatürde FAİ olan bireylerde elektriksel stimülasyonun propriosepsiyona etkisi araştıran çalışmaya rastlanılmamıştır. Daha önce laboratuvarımızda yapılan uzmanlık tezinde İlhan ve ark. (46) sağlıklı kişilerde 6 hafta süresince uygulanan elektriksel stimülasyon uygulamasının kinestezi ve eklem pozisyon hissi değerlerinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir değişiklik sağlamadığını saptamışlardır. Bu çalışmada da FAİ olanlarda uygulanan 6 haftalık elektriksel stimülasyon uygulamasının kinestezi ve eklem pozisyon hissinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir iyileşme sağlamadığı saptanmıştır. Literatüre bakıldığında FAİ olan kişilerde Sekir ve ark. (25) konsentrik izokinetik egzersizin, Docherty ve ark.(34) theraband ile progresif-dirençli kuvvet egzersizlerinin, Sefton ve ark. (78) denge egzersizinin eklem pozisyon hissinde, Hanci ve ark. (79) izokinetik eksentrik egzersizin kinestezi ve eklem pozisyon hissi üzerinde iyileşmeler sağladığını saptamışlardır. Bu çalışmada anlamlı iyileşme olmamasının sebebi elektriksel stimülasyon uygulaması sırasında eklemde hareket olmadığından ve sadece golgi tendon organı ve kas içiği gibi yapıların duyarlılığında artış olmasından kaynaklanıyor olabilir. Egzersiz uygulaması içeren çalışmalarda dinamik eklem hareketi, ayak bileği etrafındaki eklem ve ligaman reseptörleri ile serbest sinir uçlarında duyarlılık artışına neden olup eklem pozisyon hissinde gelişme sağladığı düşünülmektedir. Sonraki çalışmalarda FAİ olan hastalarda elektriksel stimülasyon ile beraber egzersiz uygulamalarının kinestezi ve eklem pozisyon hissinde etkileri araştırmak uygun olacaktır.

Kronik inme hastalarına tek seans çorap TENS uygulamasının sonucunda Tyson ve ark. (45) izokinetik dinamometre ile değerlendirilen eklem pozisyon hissinde anlamlı iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir. Tyson ve ark.

(45) 5 saniyelik siklus boyunca frekansı 70-130 arasında değişen simetrik bifazik dalga ile stimölasyon uygulamışlardır ve değerlendirme testlerini elektriksel stimölasyon uygulaması sırasında yapılmıştır. Bu çalışmada monofazik monokare dalgayla sürekli akım uygulanmış ve değerlendirme testleri elektriksel stimölasyon bittikten sonra yapılmıştır. Proprioepsiyonda anlamlı iyileşme gözlemleyememizin sebeplerinden birisi bu olabilir.

Çalışmada kontrol grubuna plasebo elektriksel stimölasyon yapılmaması ve elektriksel stimölasyon programı sonrası uzun dönem sonuçların olmaması bu çalışmanın temel kısıtlılıkları olarak görülebilir.

Çalışmamız sonucunda FAİ olanlarda 6 hafta süreyle dorsal fleksör ve evertör kaslara yönelik elektriksel stimölasyonun ayak bileği instabilite göstergelerinden tibialis anterior ve peroneus longus kaslarının reaksiyon zamanlarında ve dinamik dengede anlamlı iyileşmeler sağladığı gösterilmiştir. Bu bulgulara dayanarak spor yaralanmaları arasında fazlasıyla karşımıza çıkan ve sporcuların sıkça spordan ayrı kalmasına neden olan ayak bileği yaralanmalarının önlenmesi ve tedavi giderlerinin azaltılması için normal sporcularda ve kronik ayak bileği instabilitesi olanlarda ayak bileği evertör ve dorsal fleksör kas gruplarına yönelik düzenli elektriksel stimölasyon uygulamasının koruyucu önlemler ve rehabilitasyon programlarına dahil edilebileceği düşüncesindeyiz.

KAYNAKLAR

1. Waterman BR, Owens BD, Davey S, Zacchilli MA, Belmont PJ Jr. The epidemiology of ankle sprains in the United States. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(13):2279–84
2. Roos KG, Kerr ZY, Mauntel TC, Djoko A, Dompier TP, Wikstrom EA. The Epidemiology of Lateral Ligament Complex Ankle Sprains in National Collegiate Athletic Association Sports. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):201-9.
3. Sheth P, Yu B, Laskowski ER, An KN. Ankle disk training influences reaction times of selected muscles in a simulated ankle sprain. *Am J Sports Med* 1997;25:538-43
4. Lynch SA, Eklund U, Gottlieb D, et al. Electromyographic latency changes in the ankle musculature during inversion moments. *Am J Sports Med* 1996;24:362-9
5. Doherty C, Bleakley C, Delahunt E, Holden S. Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis. *Br J Sports Med* 2017;51:113-25.
6. Attenborough AS, Hiller CE, Smith RM, Stuelcken M, Greene A, Sinclair PJ. Chronic ankle instability in sporting populations. *Sports Med.* 2014;44(11):1545–56.
7. Swenson DM, Collins CL, Fields SK, Comstock RD. Epidemiology of U.S. high school sports-related ligamentous ankle injuries, *Clin J Sport Med.* 2013;23(3):190–96.
8. Jain N, Murray D, Kemp S, Calder J. Frequency and trends in foot and ankle injuries within an English Premier League Football Club using a new impact factor of injury to identify a focus for injury prevention. *Foot Ankle Surg.* 2014;20(4):237–40.
9. Pasanen K, Ekola T, Vasankari T, et al. High ankle injury rate in adolescent basketball: a 3-year prospective follow-up study. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27(6):643–49.
10. Kucera KL, Marshall SW, Wolf SH, Padua DA, Cameron KL, Beutler AI. Association of injury history and incident injury in cadet basic military training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(6):1053–61.
11. Safran MR, Benedetti RS, Bartolozzi AR. Lateral ankle sprains: a comprehensive review. Part:1 etiology, pathoanatomy, histopathogenesis, and diagnosis. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:429-37.

12. Delahunt E, Coughlan GF, Caulfield B, Nightingale EJ, Lin CW, Hiller CE. Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:2016-21.
13. Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of foot. *J Bone Joint Surg Br* 1965;47(4):669-77.
14. Refshauge KM, Kilbreath SL, Raymond J. Deficits in detection of inversion and eversion movements among subjects with recurrent ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;33:166-73
15. Bernier JN, Perrin DH. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995;27:264-75
16. Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat* 1967;101:505-32.
17. 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 Orthop Sports Phys Ther*. 1995;21(4):206-15
18. Garn SN, Newton RA. Kinesthetic awareness in subjects with multiple ankle sprains. *Phys Ther* 1988;68:1667-71
19. Munn J, Sullivan SJ, Schneiders AG. Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability: A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2010;13(1):2-12.
20. Arnold BL, De La Motte S, Linens S, Ross SE. Ankle instability is associated with balance impairments: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(5):1048-62
21. Löfvenberg R, Karrholm J, Sundelin G, et al. Prolonged reaction time in patients with chronic lateral instability of the ankle. *Am J Sports Med* 1995;23:414-7.
22. Vaes P, Duquet W, Van Gheluwe B. Peroneal reaction times and eversion motor response in healthy and unstable ankles. *J Athl Train* 2002;37(4):475-80.
23. Willems TM, Witvrouw E, Delbaere K, Mahieu N, De Bourdeaudhuij I, De Clercq D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: A prospective study. *Am J Sports Med*. 2005;33(3):415-23.
24. Kim K-J, Kim Y-E, Jun H-J, et al. Which Treatment is More Effective for Functional Ankle Instability: Strengthening or Combined Muscle Strengthening and Proprioceptive Exercises? *J Phys Ther Sci*. 2014;26(3):385-8

25. Sekir U, Yildiz Y, Hazneci B, Ors F, Aydin T. Effect of isokinetic training on strength, functionality and proprioception in athletes with functional ankle instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:654-64.
26. Keles SB, Sekir U, Gur H, Akova B. Eccentric/concentric training of ankle evertor and dorsiflexors in recreational athletes: Muscle latency and strength. *Scand J Med Sci Sports* 2014; 24:29-38
27. Osborne MD, Chou L-S, Laskowski ER, Smith J, Kaufman KR. The Effect of Ankle Disk Training on Muscle Reaction Time in Subjects with a History of Ankle Sprain. *Am J Sports Med*. 2001;29(5):627-32
28. Lee KY, Lee HJ, Kim SE, Choi PB, Song SH, Jee YS. Short term rehabilitation and ankle instability. *Int J Sports Med*. 2012;33(6):485-96
29. Irrgang JJ, Neri R. The rationale for open and closed kinetic chain activities for restoration of proprioception and neuromuscular control following injury. In: Lephart SM, Fu FH (eds). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. USA: Human Kinetics; 2000. 363-74
30. Lephart SM, Pincivero DM, Rozzi SL. Proprioception of the ankle and knee. *Sports Med* 1998; 25:149-55.
31. Riemann BL, Myers JB, Stone DA, Lephart SM. Effect of Lateral Ankle Ligament Anesthesia on Single-Leg Stance Stability. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(3):388-96.
32. Hertel JN, Guskiewicz KM, Kahler DM, Perrin DH. Effect of lateral ankle joint anesthesia on center of balance, postural sway, and joint position sense. *J Sport Rehabil*. 1996;5(2):111-9.
33. Mitchell A, Dyson R, Hale T, Abraham C. Biomechanics of ankle instability. Part 1: Reaction time to simulated ankle sprain. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(8):1515-21
34. 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):310-4.
35. Pavailler S, Hintzy F, Horvais N, Forestier N. Cutaneous stimulation at the ankle: A differential effect on proprioceptive postural control according to the participants' preferred sensory strategy. *J Foot Ankle Res*. 2016;9(1):1-8.
36. Yu M, Piao YJ, Eun HI, Kim DW, Ryu MH, Kim NG. Development of abnormal gait detection and vibratory stimulation system on lower limbs to improve gait stability. *J Med Syst*. 2010;34(5):787-97.
37. Pereira MP, Pelicioni PHS, Lahr J, Gobbi LTB. Does proprioceptive system stimulation improve sit-to-walk performance in healthy young adults? *J Phys Ther Sci*. 2015;27(4):1113-6.

38. Yoshida T, Tanino Y, Suzuki T. Effect of exercise therapy combining electrical therapy and balance training on functional instability resulting from ankle sprain—focus on stability of jump landing. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(10):3069-71.
39. Hwang DY, Lee HJ, Lee GC, Lee SM. Treadmill training with tilt sensor functional electrical stimulation for improving balance, gait, and muscle architecture of tibialis anterior of survivors with chronic stroke: A randomized controlled trial. *Technol Heal Care*. 2015;23(4):443-52.
40. Kim JH, Chung Y, Kim Y, Hwang S. Functional electrical stimulation applied to gluteus medius and tibialis anterior corresponding gait cycle for stroke. *Gait Posture*. 2012;36(1):65-7.
41. Kim K, Lee S, Kim D, Kim KS. The effects of ankle joint muscle strengthening and proprioceptive exercise programs accompanied by functional electrical stimulation on stroke patients' balance. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(9):2971-5.
42. Magalhães FH, Kohn AF. Effectiveness of electrical noise in reducing postural sway: A comparison between imperceptible stimulation applied to the anterior and to the posterior leg muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(6):1129-41.
43. Amiridis IG, Arabatzi F, Violaris P, Stavropoulos E, Hatzitaki V. Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(4):424-33.
44. Park J, Seo D, Choi W, Lee S. The Effects of Exercise with TENS on Spasticity, Balance, and Gait in Patients with Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Monit*. 2014;20:1890-6.
45. Tyson SF, Sadeghi-Demneh E, Nester CJ. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on strength, proprioception, balance and mobility in people with stroke: A randomized controlled cross-over trial. *Clin Rehabil*. 2013;27(9):785-91.
46. İlhan O. Sağlıklı Bireylerde Ayak Bileği Evertör ve Dorsal Fleksör Kas Gruplarına Yönelik Elektromyostimülasyon Uygulamasının Kas Reaksiyon Zamanı ve Proprioepsiyon Üzerine Etkileri (Uzmanlık Tezi). Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi; 2018.
47. Eechaute C, Vaes P, Duquet W, Van Gheluwe B. Test-retest reliability of sudden ankle inversion measurements in subjects with healthy ankle joints. *J Athl Train*. 2007;42(1):60-5.
48. Benesh S, Pütz W, Rosenbaum D, Becker H. Reliability of peroneal reaction time measurements. *Clin Biomech* 2000;15:21–8.

49. Henry B, McLoda T, Docherty CL, Schrader J. The Effect of Plyometric Training on Peroneal Latency. *J Sport Rehabil.* 2010;19(3):288-300.
50. Karlsson J, Andreasson GO. The effect of external ankle support in chronic lateral ankle joint instability. An electromyographic study. *Am J Sports Med.* 1992;20(3):257-61.
51. Knight AC, Weimar WH. Difference in response latency of the peroneus longus between the dominant and nondominant legs. *J Sport Rehabil.* 2011;20(3):321-32
52. Eils E, Rosenbaum D. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1991-8.
53. Li HY, Zheng JJ, Zhang J, Hua YH, Chen SY. The Effect of Lateral Ankle Ligament Repair in Muscle Reaction Time in Patients with Mechanical Ankle Instability. *Int J Sports Med* 2015;36(12):1027-32.
54. Javed A, Walsh HPJ, Lees A. Peroneal reaction time in treated functional instability of the ankle. *Foot Ankle Surg* 1999;5:159-66.
55. Linford CW, Hopkins JT, Schulthies SS, Freland B, Draper DO, Hunter I. Effects of neuromuscular training on the reaction time and electromechanical delay of the peroneus longus muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:395–401.
56. Dias A, Pezarat-Correia P, Esteves J, Fernandes O. The influence of a balance training program on the electromyographic latency of the ankle musculature in subjects with no history of ankle injury. *Phys Ther Sport.* 2011;12(2):87-92.
57. Hagen M, Lescher S, Gerhardt A, Lahner M, Felber S, Hennig EM. Shank muscle strength training changes foot behaviour during a sudden ankle supination. *PLoS One.* 2015;10(6):1-17.
58. Sierra-Guzmán R, Jiménez JF, Ramírez C, Esteban P, Abián-Vicén J. Effects of Synchronous Whole Body Vibration Training on a Soft, Unstable Surface in Athletes with Chronic Ankle Instability. *Int J Sports Med.* 2017;38(6):447-55.
59. Löfvenberg R, Karrholm J, Sundelin G. Proprioceptive reaction in the healthy and chronically unstable ankle joint. *Sportverletz Sportschaden* 1996;10:79-83.
60. Hopkins JT, Brown TN, Christensen L, Palmieri-Smith RM. Deficits in peroneal latency and electromechanical delay in patients with functional ankle instability. *J Orthop Res.* 2009;27(12):1541-6.

61. Donahue MS, Docherty CL, Riley ZA. Decreased fibularis reflex response during inversion perturbations in FAI subjects. *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(1):84-9.
62. Konradsen L, Ravn JB, Sorensen AI. Proprioception at the ankle: the effect of anaesthetic blockade of ligament receptors. *J Bone Joint Surg (Br)* 1993;75:433-6.
63. Jackson ND, Gutierrez GM, Kaminski T. The effect of fatigue of and habituation on the stretch reflex of the ankle musculature. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19 (1):75–84.
64. Konradsen L, Voight M, HLjsgaard C. Ankle inversion injuries. The role of the dynamic defence mechanism. *Am J Sports Med.* 1997;25:54–8.
65. Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train.* 2002;37(4):364-75.
66. Minetto MA, Botter A, Bottinelli O, Miotti D, Bottinelli R, D'Antona G. Variability in muscle adaptation to electrical stimulation. *International Journal of Sports Medicine.* 2013;34(6):544–53.
67. Grosset JF, Canon F, Pérot C, Lambertz D. Changes in contractile and elastic properties of the triceps surae muscle induced by neuromuscular electrical stimulation training. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(7):1403-11.
68. Lake DA. Neuromuscular electrical stimulation - An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sport Med.* 1992;13(5):320-36.
69. Ng SS, Lai CW, Tang MW, Woo J. Cutaneous electrical stimulation to improve balance performance in patients with sub-acute stroke: a randomised controlled trial. *Hong Kong Med J.* 2016;22 Suppl 2(1):33-6.
70. Borel L, Ribot-Ciscar E. Improving postural control by applying mechanical noise to ankle muscle tendons. *Exp Brain Res.* 2016;234(8):2305-14.
71. Cain MS, Garceau SW, Linens SW. Effects of a 4-week biomechanical ankle platform system protocol on balance in high school athletes with chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2017;26(1):1-7.
72. Cruz-Diaz D, Lomas-Vega R, Osuna-Pérez M, Contreras F, Martínez-Amat A. Effects of 6 Weeks of Balance Training on Chronic Ankle Instability in Athletes: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Med.* 2015;36(9):754-60.
73. Hale SA, Fergus A, Axmacher R, Kiser K. Bilateral improvements in lower extremity function after unilateral balance training in individuals with chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2014;49(2):181-91.

74. Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *J Athl Train*. 2015;50(1):36-44.
75. Wright CJ, Linens SW, Cain MS. A randomized controlled trial comparing rehabilitation efficacy in chronic ankle instability. *J Sport Rehabil*. 2017;26(4):238-49.
76. Hale SA, Hertel J, Olmsted-Kramer LC. The Effect of a 4-Week Comprehensive Rehabilitation Program on Postural Control and Lower Extremity Function in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2007;37(6):303-11.
77. Gabriner ML, Houston MN, Kirby JL, Hoch MC. Contributing factors to Star Excursion Balance Test performance in individuals with chronic ankle instability. *Gait Posture*. 2015;41(4):912-6
78. Sefton JM, Yarar C, Hicks-Little CA, Berry JW, Cordova ML. Six Weeks of Balance Training Improves Sensorimotor Function in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2011;41(2):81-9.
79. Hanci E, Sekir U, Gur H, Akova B. Eccentric training improves ankle evertor and dorsiflexor strength and proprioception in functionally unstable ankles. *Am J Phys Med Rehabil* 2016; 95:448-58.

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminden yazım aşamasına kadar her aşamada bana yardımı ve anlayışından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Bedrettin Akova'ya, araştırma görevlisi olarak çalıştığım süre boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Hakan Gür ve Prof. Dr. Ufuk Şekir'e, rotasyonlarım süresince eğitimime katkıda bulunan tüm öğretim üyelerine, her yerde desteklerini hissettiğim sağlık personeli arkadaşlarıma, 4 yıl boyunca beraber çalıştığım Spor Hekimliği Anabilim Dalı'nın tüm personeline ve çalışma arkadaşlarıma, pandemi süresince büyük bir özveri göstererek çalışmama gelmeye devam eden tez hastalarım;

Her zaman yanımda bana destek olan değerli eşim Müberra Deniz'e, fedakarlıklarıyla beni bugünlere getiren sevgili babam Ahmet Deniz ve annem Şemsi Deniz'e, hayatımda hiçbir zaman benden desteklerini esirgemeyen ağabeylerim Davut Deniz, İbrahim Deniz ve ablalarım Hava Deniz, Sahibe Şıra'ya teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

11.04.1990 tarihinde Yozgat'ın Akdağmadeni ilçesinde doğdum. İlk ve orta okulu Akdağmadeni 75. Yıl Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Yozgat Şehitler Fen Lisesi'nde tamamladım. 2007 yılında başladığım Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden 2014 yılında mezun oldum. Nisan 2016 TUS'u ile ihtisas hakkı kazandığım Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Spor Hekimliği Anabilim Dalı'nda 23.09.2016 tarihinde göreve başladım ve uzmanlık eğitimime halen devam etmekteyim.

