



T. C.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

**NÖROMÜSKÜLER ELEKTRİK STİMÜLASYONU VE MANYETİK  
STİMÜLASYONUN EL BİLEK FLEKSÖR İZOKİNETİK KAS KUVVETİ  
VE EL KAVRAMA KUVVETİNE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

(UZMANLIK TEZİ)

Dr. TUTKU ALTUNDERE

FİZİKSEL TIP VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Aylin REZVANİ

İSTANBUL, 2020



T. C.

İSTANBUL MEDİPOL UNIVERSITY

MEDICINE FACULTY

**COMPARISON OF THE EFFECT OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL  
STIMULATION AND NEUROMUSCULAR MAGNETIC STIMULATION  
ON HEALTHY WRIST FLEXOR ISOKINETIC MUSCLE STRENGTH AND  
HAND GRIP STRENGTH**

(MASTER THESIS)

Dr. TUTKU ALTUNDERE

PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION DEPARTMENT

SUPERVISOR

Prof. Dr. Aylin REZVANİ

İSTANBUL, 2020

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içerisinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Dr. Tutku Altundere



## TEŞEKKÜR

Başta tezimin yazımında, değerlendirilmesinde ve meslek hayatımda bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Aylin REZVANİ'ye ve tez çalışmam sırasında desteğini hiç esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Sena TOLU'ya, uzmanlık eğitimimde ve yetişmemde büyük emekleri olan değerli hocalarım Prof. Dr. Ahmet Salim GÖKTEPE, Doç. Dr. Didem Sezgin ÖZCAN, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AĞIRMAN ve Uzm. Dr. Ahmet ÜŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlık eğitimimin bir sürecinde beni yetiştiren, bilgi ve tecrübelerini aktaran İnönü Üniversitesindeki değerli hocalarım Prof. Dr. Yüksel ERSOY, Prof. Dr. Zuhal ALTAY, Doç. Dr. Semra Aktürk, Doç. Dr. Raikan BÜYÜKAVCI, Dr. Öğr. Üyesi Tülay YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çalışmaktan gurur ve mutluluk duyduğum, bilgilerimizi her zaman paylaştığımız sevgili asistan arkadaşlarıma; Dr. Nurbanu Hindioğlu, Dr. İbrahim Ethem Kirez, Dr. Serhat Yıldırak, Dr. Hatice Betigül Meral, Dr. Hilal Güner'e, İnönü Üniversitesinde birlikte çalıştığım değerli asistan arkadaşlarıma; Dr. Emine Kolu, Dr. Ezgi Deniz Çıplak, Dr. Mustafa Baltacı, Dr. Hakan Apaydın, Dr. Hüseyin Çolak, Dr. Ayşe Öz, Dr. Emine Burcu Balcı, Dr. Hatice Kübra Yıldırım, Dr. Meral Kırmızı Bingöl, Dr. Ali Recai İsmailoğlu'na ve büyük bir uyum içinde çalıştığımız fizyoterapist ve tekniker tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin istatistik değerlendirmesinde büyük emeği olan, değerli arkadaşım Arş. Gör. Zilan Bazancir Apaydın'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan başta annem, babam ve ağabeyim olmak üzere tüm aileme, tüm hayatım ve uzmanlık eğitimimin her anını benimle paylaşan ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan sevgili eşim Dr. Serhat Altundere'ye teşekkürlerimi bir borç bilir, sonsuz sevgilerimi sunarım.

Dr. Tutku Altundere

# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI .....	i
BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
KISALTMALAR .....	vii
TABLO LİSTESİ .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
RESİM LİSTESİ.....	x
1. ÖZET.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. GİRİŞ VE AMAÇ .....	3
4. GENEL BİLGİLER.....	5
4.1. Ön Kol Anatomisi .....	5
4.1.1. El Bileği.....	5
4.1.2. El Bileği Biyomekaniği .....	5
4.1.3. El Bilek Fleksiyonu Yaptıran Kaslar .....	5
4.1.4. El Bilek Ekstansiyonu Yaptıran Kaslar .....	7
4.2. İskelet Kası Fizyolojisi .....	9
4.2.1. İskelet Kası Morfolojisi .....	9
4.2.2. İskelet Kasının Hücre Yapısı .....	10
4.2.2.1. Miyoflamanlar .....	11
4.2.2.2. Kas Lifi Tipleri.....	12
4.2.3. İskelet Kasında Dolaşım .....	13

4.2.4. Motor Ünite.....	13
4.2.5. Motor Son Plak .....	14
4.2.6. Kasın Kasılma Mekanizması .....	14
4.2.7. Kasılma Tipleri .....	16
<b>5. EGZERSİZ TİPLERİ.....</b>	<b>17</b>
5.1. Kuvvet Arttırıcı Egzersizler .....	17
5.2. Kas Kuvvet Arttırma Yöntemleri .....	18
5.3. İzotonik Egzersizler.....	18
5.4. İzometrik Egzersizler.....	18
5.5. İzokinetik Egzersiz .....	19
<b>6. İZOKİNETİK KAS KUVVET ÖLÇÜMÜ .....</b>	<b>20</b>
6.1. İzokinetik Test Parametreleri .....	21
6.2. İzokinetik Testin Kesin Kontrendikasyonları.....	22
6.3. İzokinetik Testin Göreceli Kontrendikasyonları .....	22
<b>7. ELEKTRİK STİMÜLASYONU.....</b>	<b>23</b>
7.1. Sağlıklı Kasın Uyarılması .....	23
7.2. Elektrik Stimülasyonunun Sağlıklı Kas Üzerine Etkisi .....	24
7.3. Sağlıklı Kasın Uyarılabilirliğini Etkileyen Faktörler .....	24
7.4. Elektrik Stimülasyonunda Parametreler .....	25
7.5. Elektriksel Stimülasyonun Endikasyonları.....	27
7.6. Elektriksel Stimülasyonun Kontrendikasyonları.....	28
7.7. Elektroterapi Uygulama Prensipleri .....	28
<b>8. MANYETİK STİMÜLASYON .....</b>	<b>30</b>
8.1. Manyetizma .....	30
8.2. Periferik Manyetik Stimülasyon.....	31

8.3. Periferik Manyetik Stimülasyon Cihazı .....	31
8.4. Manyetik Stimülasyonda Parametreler.....	33
8.4.1. Görev döngüsü, açık ve kapalı dönemleri .....	33
8.4.2. Periferik Manyetik Stimülasyon Klinik Kullanım Alanları.....	34
8.4.3. Nöromusküler manyetik stimülasyon ve nöromusküler elektrik stimülasyon uygulamalarının karşılaştırılması .....	34
8.4.4. Manyetik Stimülasyon Kontrendikasyonları .....	35
<b>9. BİREYLER VE YÖNTEM .....</b>	<b>36</b>
<b>10. BULGULAR .....</b>	<b>46</b>
<b>11. TARTIŞMA .....</b>	<b>54</b>
<b>11. KAYNAKÇA .....</b>	<b>61</b>
<b>12. ETİK KURUL ONAY FORMU .....</b>	<b>66</b>
<b>13. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>70</b>

## KISALTMALAR

A	: Amper
ADP	: Adenozin difosfat
ATP	: Adenozin trifosfat
ASHT	: American Society of Hand Therapists
EHA	: Eklem hareket açıklığı
F	: Fibröz
G	: Globüler
Hz	: Hertz
M	: Muskulus
N	: Nervus
NMES	: Nöromüsküler elektriksel stimülasyon
NMMS	: Nöromüsküler manyetik stimülasyon
PMS	: Periferik manyetik stimülasyon
TMS	: Transkraniyal manyetik stimülasyon
VKI	: Vücut kitle indeksi
$\mu$ sn	: Mikrosaniye



## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 4.1.</b> Grupların demografik özelliklerinin karşılaştırılması.....	47
<b>Tablo 4.2.</b> Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s peak tork değerlerinin karşılaştırılması.....	47
<b>Tablo 4.3.</b> Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s tork değerlerinin karşılaştırılması .....	49
<b>Tablo 4.4.</b> Grup içi ve gruplar arası el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti değerlerinin karşılaştırılması .....	50
<b>Tablo 4.5.</b> Gruplar arasında el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti değerlerinin karşılaştırılması .....	51
<b>Tablo 4.6.</b> Grup içi ve gruplar arası başlangıç ve 5. hafta sonunda el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması .....	52
<b>Tablo 4.7.</b> Gruplar arasında başlangıç ve 5. hafta sonunda el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması .....	53

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.</b>	El bilek fleksör grup kasları.....	7
<b>Şekil 2.</b>	El bilek ekstansör grup kasları .....	9
<b>Şekil 3.</b>	İskelet kas yapısı.....	10
<b>Şekil 4.</b>	İskelet kas lifi yapısı .....	12
<b>Şekil 5.</b>	İskelet kası kasılma mekanizması.....	15
<b>Şekil 6.</b>	Çalışmanın akış diyagramı .....	46
<b>Şekil 7.</b>	El bileği fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s peak tork değerlerinin karşılaştırılması.....	48
<b>Şekil 8.</b>	Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s peak tork değerlerinin karşılaştırılması .....	49
<b>Şekil 9.</b>	Grup içi ve gruplar arasında el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	52

## RESİM LİSTESİ

<b>Resim 1.</b>	İzokinetik egzersiz ve değerlendirme sistemi .....	21
<b>Resim 2.</b>	Nöromüsküler elektrik stimülasyon cihazı.....	23
<b>Resim 3.</b>	Periferik manyetik stimülasyon cihazı .....	32
<b>Resim 4.</b>	Periferik magnetik stimülasyonda kullanılan başlıklar .....	32
<b>Resim 5.</b>	Magnetik stimülasyon uygulaması.....	38
<b>Resim 6.</b>	Chattanooga İntelect Advenced Combo cihazı .....	39
<b>Resim 7.</b>	Ön kol fleksör kaslarına yönelik NMES elektrotların yerleşimi Değerlendirme .....	39
<b>Resim 8.</b>	İzokinetik dinamometre ile el bilek fleksör kas kuvvetinin ölçümü .....	41
<b>Resim 9.</b>	İzokinetik test sonuç örneği.....	42
<b>Resim 10.</b>	Jamar hidrolik dinamometre.....	43
<b>Resim 11.</b>	Jamar hidrolik dinamometre ile el kavrama gücü ölçümü .....	44

## 1. ÖZET

### NÖROMÜSKÜLER ELEKTRİK STİMÜLASYONU VE MANYETİK STİMÜLASYONUN EL BİLEK FLEKSÖR İZOKİNETİK KAS KUVVETİ VE EL KAVRAMA KUVVETİNE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Nöromüsküler elektrik stimülasyonu (NMES) ve son yıllarda kullanıma giren nöromüsküler manyetik stimülasyon (NMMS) istemli kasların kuvvetlendirilmesinde kullanılan fizik tedavi modaliteleridir. Bu çalışmanın amacı sağlıklı bireylerde NMES ve NMMS'in dominant el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti ve el kavrama kuvveti üzerine etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmaya 18-40 yaş arası 32 sağlıklı erkek birey alındı. Katılımcılar, NMMS grubu (n=16) ve NMES grubu (n=16) olarak randomize edildi. Katılımcıların dominant taraf el bileği fleksör kaslarına 1. Grupta (NMMS grubu) sadece nöromüsküler manyetik stimülasyonu ile 2. Gruba (NMES grubu) ise sadece nöromüsküler elektrik stimülasyonu ile 5 hafta süre ile haftada 3 seans olmak üzere toplam 15 seans kuvvetlendirme programı kullanılarak uygulama yapıldı. Her iki grubun el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti ve el kavrama kuvveti, tedavi öncesi ve 5. Hafta bitiminde (15. seansın sonunda), sırasıyla CYBEX izokinetik dinamometre ve JAMAR hidrolik dinamometre ile değerlendirildi. 5 hafta süre ile, 15 seans NMES ve NMMS uygulamaları sonucunda sadece NMMS grubunda el bilek fleksör izokinetik kas gücünde 90°/sn ve 180°/sn peak torkta istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulundu. Gruplar arası değerlendirmede ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamadı. El kavrama gücünde her iki grupta uygulama sonrası istatistiksel olarak anlamlı artış gerçekleşirken, gruplar arasında anlamlı bir fark tespit edilemedi. Çalışmamızda NMMS'nin el bilek fleksör kas grubu gibi küçük kas gruplarında anlamlı kuvvet artışı sağladığı gösterildi. NMES uygulamasının yapılamadığı ya da yetersiz olduğu koşullarda NMMS'nin iyi bir alternatif olduğunu düşünüyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** Nöromüsküler elektrik stimülasyonu, nöromüsküler manyetik stimülasyonu, izokinetik kas kuvveti, el bilek fleksör kasları

## **2. ABSTRACT**

### **COMPARISON OF THE EFFECT OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION AND NEUROMUSCULAR MAGNETIC STIMULATION ON HEALTHY WRIST FLEXOR ISOKINETIC MUSCLE STRENGTH AND HAND GRIP STRENGTH**

Neuromuscular electrical stimulation (NMES) and neuromuscular magnetic stimulation (NMMS), which have been used in recent years, are physical therapy modalities used to strengthen muscles. The aim of this study is to compare the effect of NMES and NMMS on dominant wrist flexor isokinetic muscle strength and hand grip strength in healthy individuals. Thirty-two healthy male individuals aged 18-40 were included in the study. Participants were randomized as NMMS group (n=16) and NMES group (n=16). Neuromuscular magnetic stimulation was applied to the NMMS group, neuromuscular electrical stimulation was applied to the NMES group for 5 weeks, 3 sessions, per week total of 15 sessions as a strengthening programs. The wrist flexor isokinetic muscle strength and hand grip strength of both groups were evaluated by CYBEX isokinetic dynamometer and JAMAR hydraulic dynamometer at the end of the 15th session before and after treatment, respectively. As a result of 15 sessions of NMES and NMMS applications for 5 weeks, there was a statistically significant increase in wrist flexor isokinetic muscle strength in NMMS group at 90°/sec and 180°/sec peak torque. No statistically significant difference was found between the groups. While there was a statistically significant increase in hand grip strength in both groups after application, there was no significant difference between the groups. In our study, NMMS was shown to provide significant strength increase in small muscle groups such as wrist flexor muscle group. We think that NMMS is a good alternative modality when NMES application is not possible or insufficient.

**Keywords:** Neuromuscular electrical stimulation, neuromuscular magnetic stimulation, isokinetic muscle strength, wrist flexor muscles

### 3. GİRİŞ VE AMAÇ

Elektrik stimülasyonu iskelet kası kuvvetlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Nöromüsküler elektriksel stimülasyonu (NMES), merkezi sinir sistemi'nin yeniden düzenlenmesini sağlayan, kas liflerinde biyokimyasal, fizyolojik ve histolojik değişikliklere neden olan, kas atrofisini önleyen ve merkezi sinir sistemi lezyonları olan hastalarda kas kuvveti ve fonksiyonunun iyileşmesini kolaylaştıran bir yöntemdir (1). Yapılan çalışmalarda unilateral ekstremiteye uygulanan NMES'in kas kuvveti artışı sağladığı gösterilmiştir (2). NMES kas kuvvetinde azalmaya neden olan hastalıklarda ve immobilizasyon sonucu gelişen kas atrofisinde kullanılmaktadır. Ancak, NMES ile yeterli kas kasılması oluşturmak için verilen uyarılar, yüksek yoğunluklu stimülasyonlar olup derideki nosiseptörleri ve mekanoreseptörleri uyarak ağrıya veya rahatsızlığa neden olabilmekte ve bu nedenle bazı hastalar tarafından tolere edilememektedir.

Nöromüsküler manyetik stimülasyonu (NMMS) ise kasları güçlendirmek için invaziv olmayan yeni bir yöntemdir. Bir koil içinden geçen tekrarlayıcı elektrik akımının etrafında oluşan manyetik alan kasta kontraksiyon oluşturmaktadır. NMMS, cilde, yağa ve kemiğe nüfuz edebileceğinden, NMES'den daha az ağrıya neden olurken, nöromüsküler sistem içinde derin dokuları uyatabilmektedir (3). Han ve ark. sağlıklı bireylerin quadriseps kasına uyguladıkları NMMS'nin NMES' a göre daha az ağrılı olduğunu göstermişlerdir. Manyetik stimülasyonların, derin dokuya nüfuz edebileceği ve kütanöz nosiseptörlerin minimum aktivasyonu ile propriyoseptif afferentleri uyardıkları gösterilmiştir (4).

Bu çalışmanın amacı, sağlıklı bireylerde NMES ve NMMS'nin dominant el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti ve el kavrama kuvveti üzerine etkisinin karşılaştırılmasıdır.

Literatürde NMES ve NMMS'nin kas kuvveti üzerine etkisi incelenmiştir. Ancak bu uygulamaların izokinetik kas kuvveti üzerine etkisini araştıran ve bu iki uygulamayı karşılaştıran çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmamızın hipotezi, bu iki uygulamanın sağlıklı bireylerin unilateral dominant el bileği fleksör kasları

izokinetik kas kuvveti ve el sıkma kuvveti değişimleri üzerindeki etkisinin farklı olmadığıdır.



## **4. GENEL BİLGİLER**

### **4.1. Ön Kol Anatomisi**

#### **4.1.1. El Bileği**

El bileği ön kol ile parmaklar arasında yer alır. Dirsek, el bileği ve omuz ekleminin koordinasyonu ile üst ekstremité çok geniş hareket yeteneğine sahip olur. Elin kavrama, tutma, çevresel etkileşimlerden duysal veriler toplama gibi birçok fonksiyonu vardır (5).

#### **El Bileği Eklemi (Radiokarpal eklem)**

Proksimal karpal kemikler (skafoïd, lunatum, triquetrum) ile Radius arasında yer alır. Pisiforme bu eklemeye katılmaz. Elipsoid tipte sinoviyal bir eklemdir. Distal radioulnar eklemde artiküler disk eklemle temastadır. Bu eklemde fonksiyonları: fleksiyon, ekstansiyon, addüksiyon (ulnar deviasyon), abdüksiyon (radial deviasyon) ve sirkümdüksiyon hareketleridir. Fleksiyon yönündeki hareket açıklığı, ekstansiyon yönündeki hareket açıklığından daha fazladır. Çünkü fleksiyon yönündeki hareket sadece radiokarpal eklemle olmaz, aynı zamanda distal ve proksimal karpal kemikler arasındaki eklemler de dahil olurlar (6).

#### **4.1.2. El Bileği Biyomekaniği**

El bileğinde ortalama 65-80 derece fleksiyon, 55-75 derece ekstansiyon, 35-45 derecelik ulnar deviasyon ve 15-25 derecelik radial deviasyon hareketleri mevcuttur. Ancak 5 derece fleksiyon, 30-40 derece ekstansiyon, 10 derece radyal deviasyon ve 15-30 derece ulnar deviasyon hareket açıklığı günlük yaşam aktivitelerinin çoğunun gerçekleştirilmesi için yeterli olmaktadır (7).

#### **4.1.3. El Bilek Fleksiyonu Yaptıran Kaslar**

Ön kolun ön fasiyal kısmında yüzeyel tabakada yer alırlar.



### **M. fleksör karpi radialis**

**Başlangıç:** Ortak tendon ile medial epikondilden başlar.

**Bitiş:** II. metakarpal kemiğin tabanının palmar yüzünde sonlanır.

**Sinir:** N.medianus

**Fonksiyon:** El bileğine fleksiyon ve abdüksiyon

### **M. fleksör karpi ulnaris**

**Başlangıç:** Kaput humerale: ortak tendon ile medial epikondilden başlar.

**Kaput ulnare:** olekranonun medial kısmı ve ulnanın arka-üst kenarından başlar.

**Bitiş:** pisiforme, hamatum ve V. metakarpal kemiğin tabanında sonlanır.

**Sinir:** N. Ulnaris

**Fonksiyon:** El bileğine fleksiyon ve addüksiyon

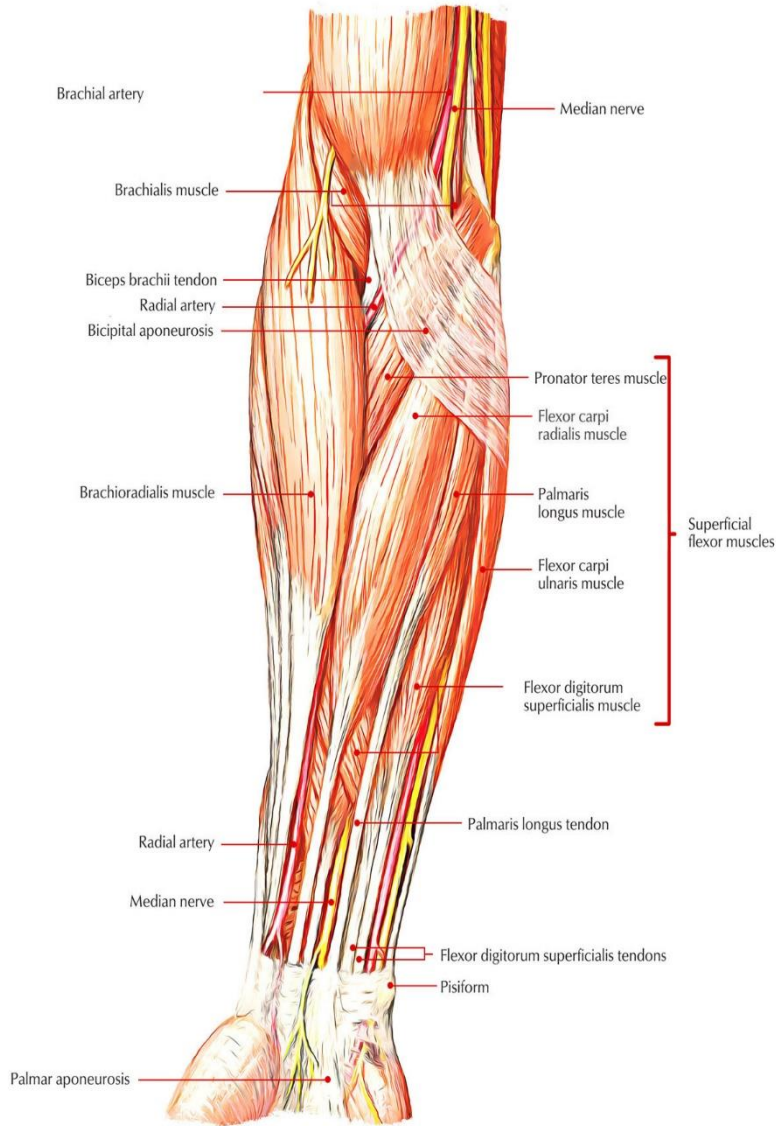
### **M. palmaris longus**

**Başlangıç:** Ortak tendon ile medial epikondilden başlar

**Bitiş:** Palmar aponevrozun orta kısmı ve fleksor retinakulumda sonlanır.

**Siniri:** N. Medianus

**Fonksiyon:** El bileğine fleksiyon yaptırır.



**Şekil 1. El bilek fleksör grup kasları**

#### **4.1.4. El Bilek Ekstansiyonu Yaptıran Kaslar**

Ön kolun arka fasiyal kısmında yer alırlar.

##### **M. ekstansör karpi radialis longus**

**Başlangıç:** Humerusta krista suprakondilaris lateralisin 1/3 alt kısmı ve bu bölgedeki kolun lateral intermusküler septumundan başlar.

**Bitiş:** II. metakarpal kemiğin tabanına yapışır.

**Siniri:** N. Radialis

**Fonksiyonu:** El bileğine ekstansiyon ve abduksiyon yaptırır

**M. ekstansör karpi radialis brevis**

**Başlangıç:** Ortak tendonla lateral epikondilden başlar.

**Bitiş:** III. metakarpal kemiğin arka yüzünün tabanında sonlanır.

**Siniri:** N. İnterosseus posterior

**Fonksiyonu:** Ele ekstansiyon ve abdüksiyon yaptırır.

**M. ekstansör dijitorum**

**Başlangıç:** Ortak tendonla lateral epikondilden başlar.

**Bitiş:** II, III, VI ve V parmakların dorsal aponevrozuna katılarak sonlanır.

**Siniri:** N. İnterosseus posterior

**Fonksiyonu:** Elin ekstansiyonuna yardım eder. Metakarpofalangeal eklemlere ekstansiyon yaptırır.

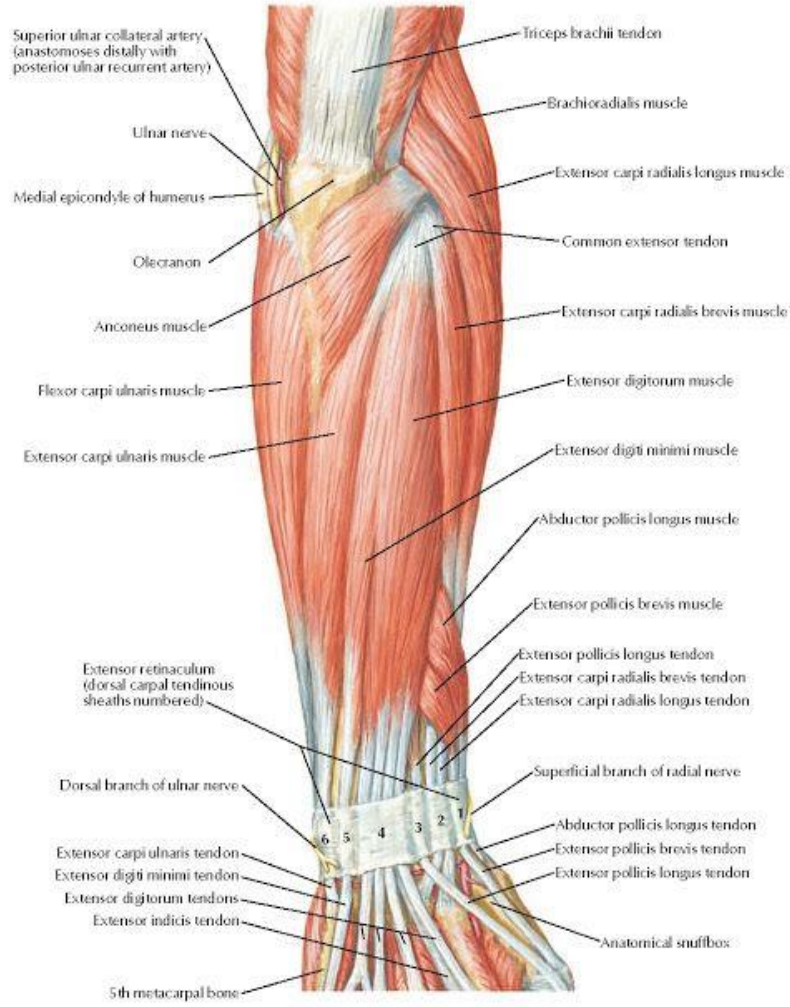
**M. ekstansör karpi ulnaris**

**Başlangıç:** Ortak bir tendon ile lateral epikondilden başlar

**Bitiş:** V. metakarpal kemiğin tabanında sonlanır.

**Siniri:** N. İnterosseus posterior

**Fonksiyonu:** Ele ekstansiyon ve addüksiyon yaptırır (8).



**Şekil 2. El bilek ekstansör grup kasları**

## **4.2. İskelet Kası Fizyolojisi**

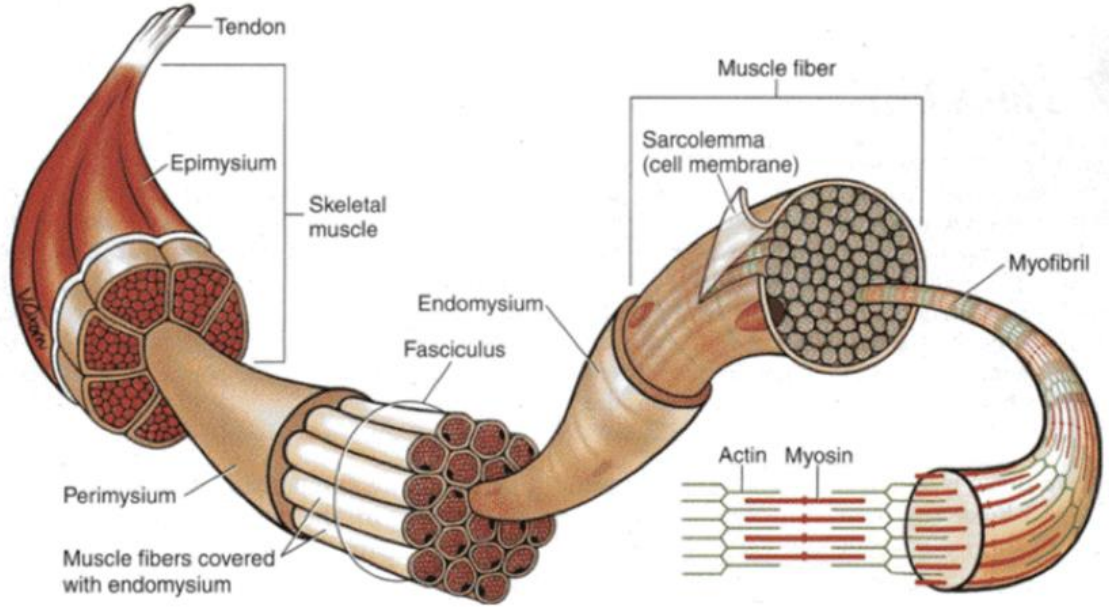
### **4.2.1. İskelet Kası Morfolojisi**

İskelet kası birbirinden bağımsız kas liflerinden oluşur. Kas liflerini bağ dokusu çevreler. Bağ dokularının görevleri gerilme kuvvetini kasın yapışma noktalarına iletmek, kan damarlarını ve sinirleri kasa ulaştırmaktır. Kas liflerini çevreleyen bağ dokuları üç tabaka oluşturur. Bunlar dıştan içe doğru sırasıyla epimisyum, perimisyum ve endomisyumdur. Epimisyum tüm kası çevreler, nispeten serttir, kasın kemiğe yapıştığı noktada tendonlar, ligamanlar, aponevrozlar ve periost ile karışır. Perimisyum epimisyumla devamlılık gösteren bir tür septadır, kası daha

küçük fasiküllere ayırır. Endomisyum her bir kas lifini tek tek saran ince bir kollagen tabakasıdır. Sarkolemma adı verilen yapı kas lifinin bazal laminası ile endomisyumun birleşimidir. Sarkolemma her bir kas lifini sıkıca saran bir tüp gibidir. Bir hasardan sonra kas lifinin rejenerasyonu bu yapının bütünlüğünün bozulmamış olmasına bağlıdır.

#### 4.2.2. İskelet Kasının Hücre Yapısı

Kas hücreleri miyoblastlardan gelişir. Bir iskelet kası içindeki kas lifi sayısı doğumdan sonra değişmez, kasın büyümesi hücre büyüklüğünün artması ile mümkündür. Sitoplazmasına sarkoplazma denir. Sarkoplazmanın bir bölümü miyofibril adı verilen kontraktil üniteleri oluşturmak üzere değişikliğe uğramıştır. Sarkoplazma içinde bulunan endoplazmik retikuluma sarkoplazmik retikulum denir. Sarkoplazmik retikulumun kas kasılmasının kontrolünde oldukça önemli bir rolü vardır. Hızlı kasılan kas tiplerinde sarkoplazmik retikulumun yoğun olması bu yapının hızlı kasılmasında önemli olduğunu gösterir (9, 10).



Şekil 3. İskelet kas yapısı

Kasın yapısındaki kontraktil bileşenler miyofibrillerdir. Miyofibrilde miyozin, aktin, troponin ve tropomiyozin proteinleri bulunur. Mikroskop altında kas liflerinde çapraz çizgilenmeler görülür. Aktin ve miyozin filamanlarının iç içe girmesinden dolayı miyofibriller koyu ve açık bantlar şeklinde görülür. Kalın filamanlar miyozinden, ince filamanlar ise aktin, tropomiyozin ve troponinden oluşur. Kalın filamanlar A bandını, ince filamanlar ise I bandını oluşturur. A bandının ortasında açık H bölgesi, I bandının ortasında koyu Z çizgisi bulunmaktadır. Birbirini izleyen iki Z çizgisi arasındaki bölüm miyofibrilin temel segmenti sarkomerdir.

#### 4.2.2.1. Miyoflamanlar

**Miyozin:** Uzun bir kuyruk ve iki globüler baş kısmı bulunur. Aktin ile çapraz köprüler oluşturur. Baş kısmında ATPaz aktivitesi mevcuttur.

**Aktin:** İnce filamentin temel proteini, globüler (G) ve fibröz (F) aktin olmak üzere iki bölümü vardır. F aktin kalsiyum iyonlarını güçlü bir şekilde bağlar. Her F aktin bandının üzerinde 200 kadar G aktin monomeri yerleşmiştir ve her ünite miyozin başı ile birleşebilen bir aktif bölge bulunur.

**Tropomiyozin:** İki polipeptid zincir içeren ince uzun moleküldür. İki aktin zincirin yanlarındaki oluklarda yerleşir. İstirahat sırasında aktin filamanlarının aktif bölgelerini örterek aktin-miyozin etkileşimini önler

**Troponin:** Tropomiyozin molekülleri boyunca belli aralıklara yerleşmiş globüler yapılardır. Üç alt üniteye oluşur

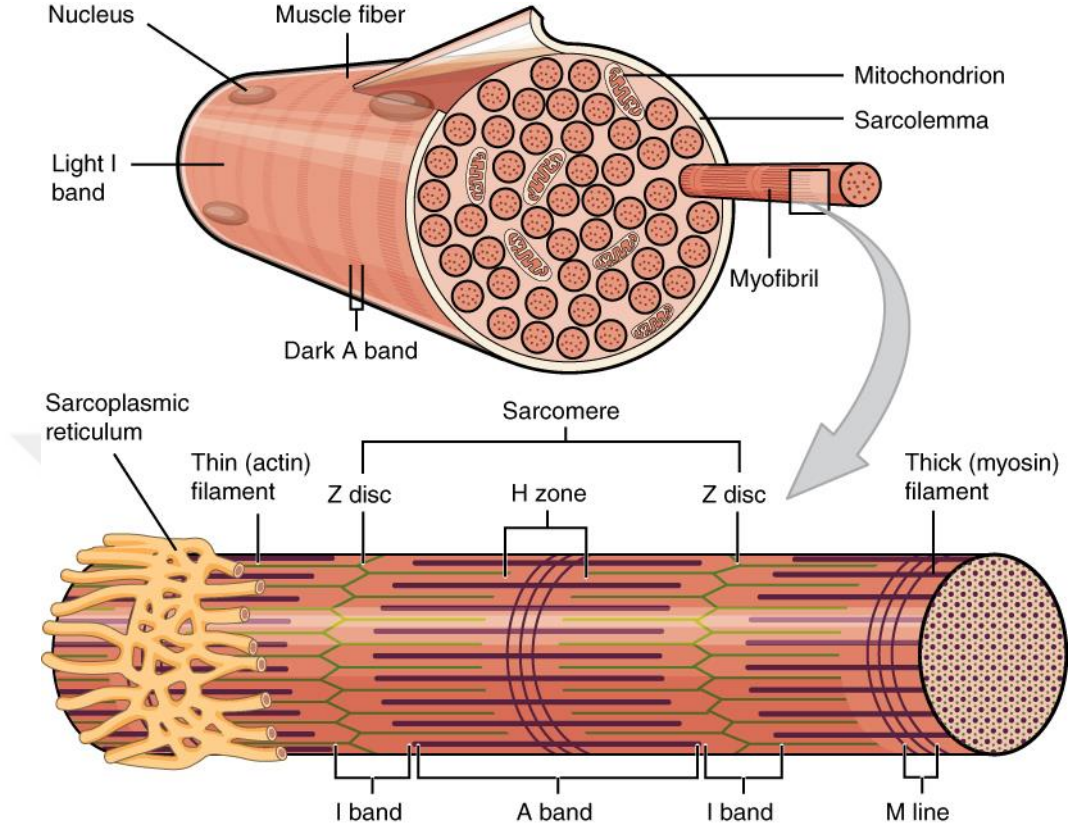
**Troponin T:** Troponin kompleksini tropomiyozine bağlar.

**Troponin C:** Kalsiyum iyonlarını bağlar.

**Troponin I:** İstirahat halinde aktine bağlanır. Aktin-miyozin etkileşimini bozar

**Sarkotübüler sistem:** Kas liflerinin veziküler ve tübüler zarlarla çevrili halidir. Sarkoplazmik retikulum ve transvers tübüler sistemden meydana gelir. T-

tübülün görevi elektrik sinyallerini kas lifi içine iletmektir. Sarkoplazmik retikulumun görevi ise kontraktıl elemanları aktive etmektir (9-11).



Şekil 4. İskelet kas lifi yapısı

#### 4.2.2.2. Kas Lifi Tipleri

Kas lifleri metabolik ve fizyolojik özellikleri farklı olan alt gruplara ayrılırlar. Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki ana lif tipi mevcuttur.

**Tip 1 lifler:** Yavaş, oksidatif liflerdir. Kırmızı görünümlü ve mitokondriden zengindirler. Glikolitik kapasiteleri zayıftır. Uzun süre kasılmaya elverişli, yorgunluğa karşı dirençlidirler. Bu liflerin kasılma hızı yavaştır. Düşük miyozin ATPaz aktivitesi vardır.

**Tip 2 lifler:** Oksidatif hızlı liflerdir. Hızlı kasılırlar ve yüksek miyozin ATPaz aktivitesine sahiptirler. Güç üretimleri yüksek olup yorgunluğa duyarlıdırlar. Tip 2

lifler a ve b diye ikiye ayrılır. Tip 2a lifleri, Tip 2b ile Tip 1 arasında bir özelliğe sahiptir.

**Tip 2b kas lifleri:** Hızlı glikolitik liflerdir. Beyaz renklidirler. Mitokondri sayıları azdır, ATP sentezinde anaerobik yolu kullanırlar. Hızlı ve kuvvetli kasılma yeteneğine sahiptir, ancak çabuk yorgunluk gelişir.

İnsan çizgili kaslarında her üç kas lifi tipi de bulunur, kasın fonksiyonuna göre oranları farklıdır (11, 12).

#### 4.2.3. İskelet Kasında Dolaşım

Kaslar yüksek enerji ihtiyacı nedeniyle kanlanma yönünden zengindir. Arter ve venler kasa sinirlerle birlikte girerler. Arterler perimisyum içinde dallanır. Buradan çıkan arteriol ve kapillerler endomisyum içine girip kas lifi etrafında bir kapiller şebekesi oluştururlar. Her bir kas lifi bir-iki kapiller tarafından çevrelenir. İstirahat durumunda kastaki kapillerlerin az bir kısmı aktiftir. Egzersiz sırasında kapiller yatak açılır ve böylece kas kan akımı ve oksijen miktarında belirgin artış olur (12).

#### 4.2.4. Motor Ünite

Motor nöronlar birçok kas lifini uyarırlar. Bir motor sinir ve innerve ettiği tüm kas liflerine motor ünite adı verilir. Motor ünite; bir alfa motor nöron, akson, nöromusküler bileşke ve innerve ettiği kas liflerinden oluşur. Bir motor ünitesindeki kas liflerinin sayısı kasların içinde ve kaslar arasında değişir. 3-10 kas lifi içeren en küçük motor üniteleri, ince karmaşık hareketler için kullanılan kaslarda bulunur. Birkaç yüz kas lifi içeren çok daha büyük motor üniteleri, ağır kuvvetli hareketler için kullanılan kaslarda baskındır. Gerginlikte kademeli bir artış üretmek için bir kas gerektiğinde, başlangıçta, kaslara uygulanan yük küçük olduğunda, kas içindeki en küçük motor üniteleri kullanılır. Yük arttıkça ve daha büyük motor üniteleri toplanır, böylece yük bu kas tarafından erişilebilecek maksimum olduğunda, tüm motor üniteleri çalışır (10, 13, 14).



#### 4.2.5. Motor Son Plak

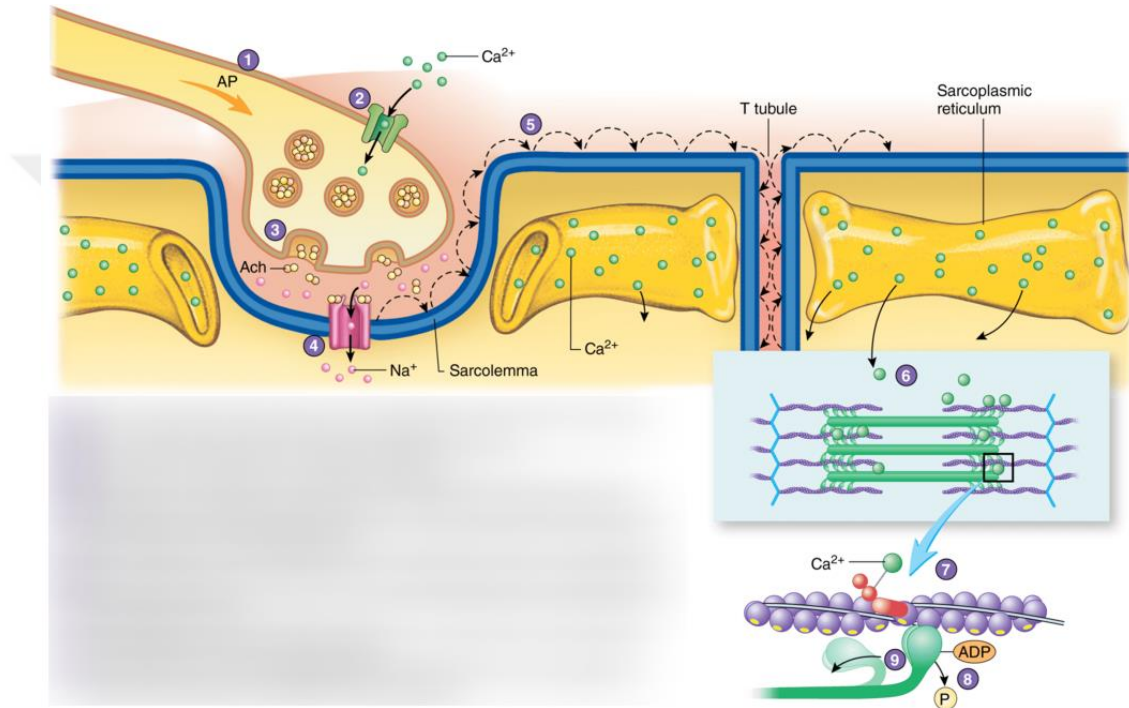
İskelet kas lifleri, miyelinli sinir lifleri ile innerve edilir. Her sinir lifi üç ile birkaç yüz kas lifini uyarır. Sinir ucu, kas lifiyle sinir-kas kavşağı denilen bir bağlantı yapar ve aksiyon potansiyeli kas lifleri boyunca yayılır. Motor sinirlerin kastaki sonlanmalarına motor son plak denir. Sinirler kasa girerken miyelinini kaybeder. Akson terminalinde yer alan mitokondriler, başlıca asetilkolin sentezi için gerekli enerjiyi sağlar. Nöromusküler bağlantıya uyarı geldiğinde asetilkolin serbestlenir, uyarı sinapsın diğer tarafına geçer, kas lifinde elektriksel bir potansiyel oluşturur. Bu potansiyele eksite edici postsinaptik potansiyel denir. Bu potansiyel o sinire bağlı kas lifini uyarır ve motor ünite potansiyelini oluşturur. Eğer uyarıcı postsinaptik potansiyel çok küçükse motor nöron depolarize olmaz, kas lifi de kasılamaz. Uyarıcı postsinaptik potansiyel belli bir seviyeye geldiğinde depolarizasyon oluşur ve ilgili kas lifleri kasılır, (Ya hep, ya hiç yasası) (10, 11, 13).

#### 4.2.6. Kasın Kasılma Mekanizması

Kas kasılma basamakları şunlardır;

- Merkezi sinir sisteminde doğan aksiyon potansiyeli alfa motor nöron boyunca yayılarak kas lifindeki miyonöronal sonlanmaya gelir.
- Aksiyon potansiyeli motor aksonun ucuna gelince veziküllerde bulunan asetilkolin postsinaptik membrana doğru boşalır.
- Asetilkolinin boşalmasıyla kas lifi membrandaki transmembranöz kanallar açılır.
- Kanalların açılması, kas lifi membranında çok miktarda sodyum iyonunun içeri girmesini sağlar. Böylece kas lifinde aksiyon potansiyeli başlar.
- Aksiyon potansiyeli kas lifi membranı boyunca yayılır ve kas lifi membranını depolarize eder.
- Aksiyon potansiyeli kas lifi merkezine doğru yayılarak, t-tübüller aracılığı ile sarkoplazmik retikulumda depolanmış kalsiyum iyonlarının büyük miktarlarda serbestlenmesine neden olur.

- Kalsiyum iyonları, kasılma olayının esası olan filamentlerin kaymasını sağlayan, aktin ile miyozin filamentleri arasındaki çekici güçleri başlatır.
- Kontraksiyonu başlatan depolarizasyonu hızlı bir repolarizasyon izler. Kalsiyum iyonları sarkoplazmik retikuluma kalsiyum membran pompası ile geri pompalanır. Yeni bir kas aksiyon potansiyeli gelinceye kadar kalsiyum iyonları burada depolanırlar; miyofibrillerden kalsiyum iyonlarının uzaklaştırılması kasılmanın sona ermesine neden olur (15).



**Şekil 5. İskelet kası kasılma mekanizması**

Kasılma sırasında kas liflerinin kısalması, ince ve kalın miyofilamanların birbiri üzerine kayma hareketiyle oluşur. İnce flamanların G-aktin ünitlerindeki aktif bölgeler ile kalın filamanların miyozin moleküllerinin yuvarlak başları arasında köprüler kurulur. Miyozin başları filamentin yarısında sağ tarafa doğru, öbür yarısında ise sol tarafa doğru dönük bulunurlar. Bu nedenle, bir sarkomerde ince filamentlerin bir yarısı sağa doğru, öteki yarısı sola doğru kayarak “Z” hatlarını birbirine yaklaşıtırlar. Böylece sarkomer boyu kısalmış olur. Kas kasılması, kayan filaman mekanizmasıyla oluşur. Kasılma işleminin gerçekleşmesi için enerji gerekir. Bu enerji

ATP'nin yüksek enerjili fosfat bağlarından elde edilir, kasılma sırasında ATP, ADP'ye yıkılır (10).

#### 4.2.7. Kasılma Tipleri

**1. İzometrik Kasılma:** Kasın boyunda önemli bir değişiklik olmadan gerçekleşen kasılma tipidir.

**2. İzotonik Kasılma:** Belirli bir yüke karşı yapılan ve kas boyunda uzama ve kısalmanın görüldüğü kasılma tipidir. İzotonik kontraksiyonun iki tipi vardır:

**A. Konsantrik:** Bir hareket oluşturacak şekilde kasın boyunun kısalmasıdır.

**B. Eksantrik:** Kasın uzunluğunun artmasıyla ortaya çıkan hareket tipidir

**3. İzokinetik Kasılma:** Sabit açısal hızlarda yapılan dinamik bir kontraksiyondur. Eksternal direnç değişkenlik gösterir ve ayarlanabilir.

**4. Tetanik Kasılma:** Uyarıların hızlı bir şekilde tekrar edilmesi sonucunda kasın gevşemeden sürekli kasılması durumudur (15) .

## 5. EGZERSİZ TIPLERİ

### 5.1. Kuvvet Arttırıcı Egzersizler

Kuvvet arttırma yöntemleri kasa yük bindirme esasına dayanır. Kasa aşırı yüklenme kas kuvvetini artırır. Bu artış hem kas kontraksiyonuyla hem de gerilmeyle ortaya çıkar. Maksimal dirençli egzersizler uygulanır. Maksimal direnç kas liflerinin büyük çoğunluğunun kasılmasına yol açar.

Kas kuvveti aşağıda sıralanan faktörlere bağlı olarak değişir;

Kasın enine kesit alanının büyüklüğü ile ilişkilidir. Hipertrofik kas daha güçlüdür.

1. Gerim- uzunluk ilişkisi. Hafif uzamış kas kontraksiyon sırasında daha çok gerim oluşturur.
2. Boşalan motor ünite sayısı. Aynı zamanda boşalan motor ünite sayısı ne kadar çoksa ortaya çıkan kuvvet o kadar çok olur.
3. Kasılma tipi: en çok kuvvet eksantrik kasılma ile oluşur.
4. Kontraksiyon hızı: düşük hızlarda daha çok motor ünite deşarj olur bu da daha çok kuvvet açığa çıkarır.
5. Hasta motivasyonu: hasta maksimum kuvvet için, maksimum güç kullanmaya hazır olmalıdır.

Kuvvet egzersizlerinin öne çıkan etkisi kas lifi hipertrofisidir. Bunun protein sentezi ve miyofibril sayısındaki artışla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Hipertrofi bütün kas lif tiplerinde görülebilir. Ancak hızlı kasılanlarda daha belirgindir. Kas hipertrofisi için 6-8 haftalık zaman gereklidir. Kas kuvveti hipertrofi olmadan da artmaktadır. Hipertrofi gerçekleştiğinde ise kuvvetteki artış hipertrofi ile her zaman orantılı değildir. Yapılan çalışmalarda kas hipertrofisi gelişmeden erken dönemlerde kas kuvvetinde artış saptanmıştır. Eğitimin erken dönemlerinde kazanılan kuvvet artışının daha çok nöral uyumla ilgili olduğu düşünülmektedir (11, 16).

## 5.2. Kas Kuvvet Arttırma Yöntemleri

Hareketin hızı, tekrar sayısı veya uygulanan yük arttırılarak kuvvet artışı sağlanabilir. Kuvvetin optimal arttırılması için egzersizler yavaş ve güçlü olarak yaptırılması gerekir.

## 5.3. İzotonik Egzersizler

Eklem hareket açıklığı (EHA) boyunca kas uzarken ya da kısalırken direnç uygulanarak yapılan egzersizlerdir. Progresif rezistans egzersizler de denir. Direnç mekanik olarak veya elle uygulanabilir. EHA'nın farklı noktalarında kuvvet vektörünün açısı değiştiği için kas içindeki gerilim değişir. Maksimum yüklenmenin olduğu açı her kas için farklıdır. Az tekrarlı ve yüksek dirence karşı yapılan egzersizler kas kuvvetini arttırmakta ve hipertrofiye neden olmaktadır. Avantajları; kolay uygulanabilir, ucuzdur ve ev programı olarak verilebilir (16).

## 5.4. İzometrik Egzersizler

Kasın boyunda değişiklik olmadan kasılmanın olduğu statik egzersizlerdir. Fiziksel olarak bir iş yapılmaz ancak kas içinde gerilim ve kuvvet oluşumu mevcuttur. Dirence karşı yapılırsa kas kuvvetinde ve dayanıklılığında artış sağlanabilir. Kuvvet artışının sağlanabilmesi için her bir kasılmanın en az 5-6 saniye sürmesi gerekmektedir. Hareket oluşmadığı için kas kuvveti ancak kasılmanın olduğu eklem açısında artar. Bu nedenle EHA'nın farklı açılarında ayrı ayrı kuvvetlendirme çalışılmalıdır. Bu yöntemle kas kuvvetini arttırmak için maksimum sayıda kas lifinin kasılması gerekir. Bunun nedeni yüksek eşik değerli erken boşalımlı motor ünitelerin maksimum efor elde edilmeden deşarj olmamasıdır (11, 16). Statik egzersiz kalpte basınç yüklenmesine yol açar, dinamik egzersiz ise hacim yüklenmesine yol açar. İzometrik egzersiz sırasında kan basıncında artış olur, bu basınç artışı periferik dirençte değişiklik olmaksızın kalp hızı artışı ile ortaya çıkar (16).

## 5.5. İzokinetik Egzersiz

Egzersiz sırasında tüm eklem hareket açıklığı boyunca kasta maksimum dirençte kasılma olur. İzokinetik dinamometrelerde hareketin hızı sabittir. Hareketin her açısında kasa uygulanan direnç eşittir. İzokinetik sistemde eksantrik veya konsantrik kasılma spesifik olarak uygulanabilir. İzokinetik kuvvet, belirli bir hızda oluşan kasılma sırasında geliştirilebilen en yüksek tork (döndürme momenti) değeridir.

Kas kuvvetini arttırmak için en iyi uyarının yüksek gerilim olarak kabul edilirse, izokinetik yöntem izotonik egzersizlerden daha iyidir. İzometrik egzersizlerde ise sadece belirli bir açıda kuvvetlendirme olur. İzokinetik egzersizler değişik hızlarda ya da en iyi kazanç elde edilecek ortalama bir hızda yapılmalıdır. Ancak kontraksiyonların yoğunluğu hızdan daha önemlidir. İzotonik egzersizler gibi her biri en az 5-7 tekrarlı 3 set halinde yapılır.

Üç egzersiz yöntemi de farklı ölçülerde kuvvet artışı sağlanmaktadır. İzokinetik egzersiz hızlı gelişimin istendiği durumlarda, izometrik egzersiz ise hareketin istenmediği durumlarda tercih edilir. Kuvvetlendirme egzersizlerinde gittikçe artan yüklenme prensibi geçerlidir. Haftada 3-5 tekrar 1-2 tekrara göre daha iyi sonuç verir ve belirgin kas kuvveti artışı için haftada 3 gün tekrarlanan programın 8-12 hafta sürdürülmesi gerekmektedir. Kuvvet artışı kasılma tipine özgüdür. İzometrik kuvvetlendirme sonucu sadece izometrik kuvvet artar. Uygulanan dirence göre değişmek üzere her set arasında 1-3 dakikalık dinlenme dönemleri olmalıdır (16).

## 6. İZOKİNETİK KAS KUVVET ÖLÇÜMÜ

İzokinetik sistemler, kas iskelet sistemi problemlerinin değerlendirilmesinde ve rehabilitasyonunda kullanılır. Tedavi sonuçlarının değerlendirmesine yönelik veriler sağlar. Kas kuvvetinin, dayanıklılığının ve toplam iş değerlerinin objektif ölçülmesini sağlar. İzokinetik sistemlerle iki ekstremite birbiriyle kıyaslanabilir, agonist/antagonist oranları, iş ve yorgunluk parametreleri belirlenebilir. Hareketin kinematik analizi yapılabilir. İzokinetik kuvvet testleri için özel geliştirilmiş elektromekanik aletler kullanılmaktadır. İzokinetik sistem kullanıldığında, bir kas grubunun maksimum kontraksiyonu, tüm normal eklem hareketi boyunca sabit hızda ölçülür. Sabit hız kazanıldığı zaman, izokinetik mekanizma otomatik olarak uygulanan kuvvete eşit karşı bir kuvvet oluşturur. Bilgisayar ortalama kuvvet ve güç çıktılarıyla hareketi kaydeder. İzokinetik sistemin temel parçaları şunlardır:

**Dinamometre:** Kasılma tipi, hızı, döndürme momentinin ölçülmesini sağlayan temel parçadır. İzokinetik dinamometreler, 5°-500°/sn açısal hızlarda değerlendirmeler yapabilmektedir.

**Koltuk ve yardımcı aparatlar:** Hastanın oturacağı koltuk ve test edilecek eklemlerin yerleştirilmesini sağlayan parçalardır.

**Bilgisayar:** İzokinetik cihazla yapılacak tüm işlemlerin başlatılması ve sonlandırılması, hız seçimi, hareket açıları, çeşitli parametrelerin hesaplanması, karşılaştırılması ve oranlanması bu sistemle sağlanır. Sonuçlar sayısal raporlar ve grafikler şeklinde elde edilir. (16-18).



**Resim 1. İzokinetik egzersiz ve değerlendirme sistemi**

### **6.1. İzokinetik Test Parametreleri**

**Açısal hız:** Birim zamandaki yer değiştirmedir. Birimi derece/saniyedir ( $^{\circ}/sn$ ).

**Döndürme momenti (Tork):** İzokinetik sistemlerde bir cismi belli bir eksen etrafında döndürmek amacıyla uygulanan kuvvet tork olarak ölçülür. Birimi Newtonmetre (Nm)'dir.

**Döndürme momenti tepe değeri (Pik tork):** EHA boyunca kaslar tarafından üretilen en yüksek döndürme momentidir. Birimi Nm'dir. En yaygın kullanılan en güvenilir kuvvet ölçüsüdür.

**Pik tork/vücut ağırlığı oranı:** Elde edilen test sonuçlarının kişiler arasında karşılaştırmasını ve ağırlık taşıyan kasların fonksiyonel kuvvetinin değerlendirmesini sağlar.



**Toplam iş (TW):** Kuvvete karşı açısal yer değiştirme mesafesidir. Hıza bağımlıdır. En yüksek değerlere düşük hızlarda ulaşılır. Dayanıklılık ölçümünü sağlar.

**Güç:** Birim zamanda yapılan iştir. Birimi Watt'tır. Açısal hızın artması ile tork azalır, güç üretimi artar.

**Endurans:** Kastaki yorgunluğun ölçüsüdür (16).

## 6.2. İzokinetik Testin Kesin Kontrendikasyonları

- İnstabil eklem
- Testin veya egzersizin yumuşak doku iyileşmesini kısıtlayabileceği dönemler (örnek: ameliyatın hemen sonrası gibi)
- Eklem hareket açıklığının çok kısıtlı olduğu durumlar
- Eklemde efüzyon ve ciddi ağrı
- Akut strain (muskulotendinöz dokularda) veya sprain (kontraktil olmayan dokularda)

## 6.3. İzokinetik Testin Göreceli Kontrendikasyonları

- Eklem laksitesi
- Ödem
- Hafif EHA kaybı
- Ağrı
- Subakut strain ya da sprain (16, 19)

## 7. ELEKTRİK STİMÜLASYONU

Elektrik enerjisinin tıbbi tedavi amacıyla kullanılmasına elektroterapi denir. Kas ve sinirlerin uyarımında kullanılan elektrik akımları bu fonksiyonu hücre membranları arasındaki elektrik potansiyellerinde değişiklik yaparak oluştururlar. Nöromusküler Elektriksel Stimülasyon (NMES), kas kontraksiyonu oluşturmak için düşük seviyeli elektrik akımı kullanımına denir. Sağlıklı kasta ilgili kası innerve eden sinir liflerini, denerve kasta ise kas liflerini elektrik akımı ile uyarıp kontraksiyon oluşturarak işlev görür (16).



**Resim 2. Nöromusküler elektrik stimülasyon cihazı**

### 7.1. Sağlıklı Kasın Uyarılması

Elektrik akımıyla sağlıklı kas lifi kendini innerve eden motor sinir üzerinden indirekt olarak uyarılır. Sinir membran istirahat potansiyeli ve uyarı eşiği daha yüksek olduğu için kas lifini direkt uyarmak için daha kuvvetli uyaranlar gereklidir. Bu

yüzden NMES sistemleri ya siniri doğrudan ya da sinirin nöromusküler kavşağa yakın olan motor noktasını uyarır (17).

## 7.2. Elektrik Stimülasyonunun Sağlıklı Kas Üzerine Etkisi

Sağlıklı kas lifinde elektriksel stimülasyon ile metabolik, fonksiyonel ve histokimyasal değişiklikler meydana gelir. İstemli kasılma sırasında önce ince motor nöronlarla uyarılan hızlı kasılan tip II lifler, daha sonra kalın motor nöronlarla uyarılan tip I lifler uyarılır. Elektik akımıyla stimülasyonda ise önce kalın motor lifler uyarılır yani tip I lifler önce kasılır. Düşük frekanslı (10 Hz) akım ile stimülasyon sonucu hızlı kas lifi (tip IIb), yavaş kasılan tip I liflerine dönüşür. Bunun nedeni elektrik stimülasyonu ile kalın ve ince motor aksonların uyarım sırasının değişmesidir. Kas adaptasyonu ile birlikte tip I liflerin sayısı artar. Stimülasyon sonrası 2-4. günleri içinde sarkoplazmik retikulumda kalsiyum depoları azalır, iyonize kalsiyum oranı ve kapasitesi düşer. Bu sebeple ilk hafta içinde kasılma hızı azalır. Miyozin ağır zincirinin yapısı tip IIb kas lifi özelliğinden tip I kas lifi özelliğine değişir. Stimülasyonla birlikte ilk 3 hafta içinde kalsiyumla aktive olan miyozin adenozin trifosfataz aktivitesi azalmaya başlar. Tropomiyozin molekülü yavaş kas lifinin özelliklerini kazanır. Tip I lif özelliği kazanan bu lifler, fonksiyonel olarak yorgunluğa karşı dirençlidir ve düşük maksimum kasılma hızına sahiptir. Bu yapısal değişikliklerle birlikte enerji metabolizmasında da değişiklikler meydana gelir. Önce glukozun fosforilasyonu ve oksidasyonundan sorumlu enzimlerde artış olur. Mitokondri sayısı ve enzimleri artar. Kas lifindeki kapiller yoğunluğunda ve oksijen tüketiminde artış meydana gelir. Tüm bu değişimlerle kasın yorgunluğa direnci artar. Hızlı kas lifinden yavaş kas lifine dönüşüm sürecinde, kontraktıl proteinlerin değişimi 6 haftada tamamlanırken, enerji metabolizmasındaki değişiklikler 12 hafta sürer. Stimülasyonun sonlanmasıyla birlikte yavaş kas lifi özelliklerini kazanan hızlı kas lifi eski haline dönmeye başlar (11, 20).

## 7.3. Sağlıklı Kasın Uyarılabilirliğini Etkileyen Faktörler

**Motor nöron eksitabilitesi:** Uyarılmak istenen nöron çapları değişiklik gösterir. İnce aksonların uyarılma eşiği kalın çaplı sinir liflerinden daha yüksektir. Bu yüzden kalın çaplı aksonlar daha düşük amplitütle veya daha kısa sürede uyarılır.

Uyarılma eşikleri değişen bu aksonları uyararak için oldukça yüksek, hasta toleransını aşan uyarımlar gerekebilir.

**Uyarıcı elektrodun polaritesi:** Hücre içinde, dışına göre negatif elektrik yük miktarı fazladır. Hücre dışında negatif elektrik yükü birikimi sağlanırsa membran içi ve dışı arasında elektriksel potansiyel fark azalır ve aksiyon potansiyeli oluşur. Bu yüzden innerve kasta doğru akımla kas stimülasyonu yapıldığında aktif elektrod olarak katod seçilir. Aktif elektrod kasın en uyarılabilir bölgesine yerleştirilmelidir.

**Akım yükselme süresi:** Akım şiddeti sıfırdan maksimuma yavaş çıkarılırsa akomodasyon meydana gelmektedir. Bu nedenle sinir veya kas membranında aksiyon potansiyeli oluşturabilmek için akım amplitüdünün hızlı artırılması veya akım yükselme süresinin kısa tutulması önemlidir. Bu süre 60 mikrosaniyeden daha kısa olmalıdır (11).

#### 7.4. Elektrik Stimülasyonunda Parametreler

**Elektrodlar:** En yaygın kullanılan elektrodlar yüzeysel elektrodlardır. Meydana getirdikleri kas kasılmasının kuvveti, elektrod büyüklüğü ve yerleştirme düzeninden etkilenir. Çapraz yerleştirilmiş elektrodlara göre, uzunlamasına yerleştirilen elektrodlar ile daha fazla kuvvet elde edilir. Yüzeysel küçük elektrodlar, yüzeysel büyük elektrodlara göre daha güçlü kas kasılması ve daha az rahatsızlık hissine neden olurlar (21).

**Akım süresi:** İnnerve kaslarda 1-400  $\mu$ s'n'lik faz süreli stimülatörler aktivasyon için kullanılır. Daha kısa atım süreli dalga formu kullanılırsa kontraksiyon elde etmek için daha büyük akım amplitüdü gerekir. Uzun atım süreli akımın kullanımı hastada rahatsızlık hissi yaratır (22).

**Frekans:** İmpulsun birim zamanda tekrarlama sıklığıdır. Düzgün, tetanik kas kontraksiyonu yaratmak için stimulus frekansı yeterli oranda ayarlanmalıdır. Kaslar gruplarına göre değişebilmesine rağmen 30-50 Hz'lik bir frekans genellikle etkilidir. Yüksek frekans (60-100 Hz) ile daha kuvvetli kas kontraksiyonu elde edilebilir fakat bu oran hızla yorgunluğa sebep olur (16, 22).

**Dalga şekli:** Terapötik amaçlı olarak en sık kullanılan atımlı dalga formlarıdır. Monofazik ya da bifazik, simetrik ya da asimetrik dörtgen dalgalar NMES’de kullanılır (18).

Asimetrik bifazik dalga şeklinde katod (-) ve anod (+) elektrodlar belirlenebilir, bu sayede terapist uygulama yapılacak kasın üzerine daha etkili bir kontraksiyon sağlayan negatif elektrodu seçici olarak yerleştirebilir. Simetrik bifazik dalga şeklinde polarite sürekli değişir. Bu yüzden her iki elektrod da aktif elektrod olur. Bu dalga şekli ile öncelikli büyük kas grupları uyarılır. NMES için ideal bir dalga formu henüz netleşmemesine rağmen bazı çalışmalar, simetrik bifazik dalga formunun hem asimetrik bifazik hem de monofazik dalga formundan çok daha konforlu olduğunu ortaya koymaktadır (20).

**Amplitüd:** Amplitüd ve pulse genişliği aktive edilecek kas liflerinin sayısını belirler. Kas kontraksiyonunun kuvveti stimulus parametreleriyle ayarlanır. Kasta kontraksiyon oluşumu için minimum stimulus hızı yaklaşık 12.5 Hz dir. Stimulus sıklığı daha yüksek tutulursa daha fazla kuvvet üretir fakat kas lif yorgunluğuna ve kontraktıl kuvvette hızlı bir düşüşe yol açar. Optimal şartlarda bir NMES sistemi tepki oluşturacak en az stimulus hızıyla çalışır. Stimulusun yoğunluğu veya amplitüdü, istenilen kasılma düzeyine göre kademeli olarak arttırılır. Stimülasyon sırasında olaya katılan motor ünit sayısı akımın amplitüdüyle orantılıdır. Kas kontraksiyonu ile amplitüd ilişkisi doğrusaldır. Elektrik stimülatörünün kas kuvvetinin arttırılmasında etkili olabilmesi için kuvvetli tetanik kontraksiyonlar oluşturabilmesi ve ağırlı cevabını en az şekilde aktive etmesi gerekir. Zayıf kaslarda harekete yardımcı olmak için, güçlü kaslarda ise daha büyük kuvvet oluşturmak için yüksek amplitüd kullanılır. Fakat NMES’in egzersizin yerine değil, egzersize destek amacıyla kullanıldığı unutulmamalıdır (23). Bir atım boyunca amplitüdün sabit olduğu dönemde karıncalanma, yanma, batma gibi duyuusal uyarımlar meydana gelebilir. Bunu ortadan kaldırmak için amplitüdün sabit kaldığı süre 20 msn’den kısa olmalıdır.

**Modülasyon:** Atım modülasyonu ile akomodasyon önlenir. Bu modülasyonda; akımın süresi, amplitüdü veya frekansı otomatik olarak artar ve sonra azalır (17).

**Uyarı ve dinlenme süresi:** Stimülatörün uyarı ve dinlenme süreleri ayarlanabilir olmalıdır. Kas kontraksiyonu periyodunu dinlenme periyodu izlemelidir. Tedavinin başlangıcında uyarı süresi, dinlenme süresinden daha kısa olmalıdır. Bu şekilde yorgunluktan kaçınılabilir. Zaman içinde dinlenme süresi kısaltılarak, akım geçiş süresi arttırılabilir (22, 24)

Uygulanacak en etkin protokol açısından fikir birliği yoktur. Protokoller uygulanan amplitüd, şiddet, frekans yönünden farklılık gösterir. Literatür çalışmalarında uygulanan NMES protokollerinde, haftada 3 yada 4 kez 3-12 hafta boyunca uygulanan, 20-60 dakika boyunca tekrarlayan farklı pulse ve dalgalarla 50-85 Hz frekanslı maksimal istemli izometrik kontraksiyonun %30-50 şiddetinde kas kontraksiyonları kullanılmıştır. NMES tek başına veya istemli kasılma ile birlikte 12 hafta kullanıldığında %44 kuvvet artışı sağladığı belirtilmektedir. NMES ile elde edilen torklar istemli kas kasılmasına göre daha düşüktür (25).

#### **7.5. Elektriksel Stimülasyonun Endikasyonları**

1. Kas güçlendirme
2. Kas atrofisi ve dejenerasyonunun önlenmesi
3. Eklem hareket açıklığının korunması veya arttırılması
4. Spastisitenin azaltılması
5. Motor fasilitasyon ve reedükasyon
6. Eklem sıvısı/interstisyel ödemin tedavisi
7. Ağrının giderilmesi
8. Kas spazminin çözülmesi
9. Deri ülserleri ve yaraları
10. Derin ven trombozu gelişiminin önlenmesi
11. Kırık iyileşmesi
12. Skolyoz tedavisi
13. Üriner inkontinansın tedavisi

#### 14. Lenfödem tedavisi

### 7.6. Elektriksel Stimülasyonun Kontrendikasyonları

1. Demans, bilinç bulanıklığı
2. Hipoestezik, anestezi hastalar
3. Kalp pili ve ağır kalp hastalıkları
4. Ciddi hipertansiyon veya hipotansiyon
5. Tromboz veya tromboflebit
6. Psöriazis, dermatit gibi dermatolojik hastalıklar
7. Neoplazm, enfeksiyon, tüberküloz, ateş gibi vücut ısı artışının sakıncalı olduğu durumlar
8. Düşük vücut kitlesi olanlar
9. Serebrovasküler olay, geçici iskemik atak, epilepsi gibi hastalıklarda baş ve boyun bölgesine uygulanmamalı
10. Gebe hastalar
11. Radyoterapi
12. Çalışmakta olan kısa dalga diatermi cihazından beş metre uzak bir bölgede kullanılmalı (17, 20, 24)

### 7.7. Elektroterapi Uygulama Prensipleri

- Hasta tedavi hakkında bilgilendirilmeli; ağrı hissi veya herhangi bir yan etki durumunda haber vermesi söylenir.
- Kontrendikasyonlar sorgulanmalıdır.
- Uygulama bölgesi temiz olmalıdır: Deri yağlı ise yıkanmalı, kıllar kesilmelidir.
- Deri direnci azaltılmalı: Elektrod nemli-sıcak ped içine koyularak uygulanır.
- Elektriksel stimülasyon için elektrotlar kasa paralel yerleştirilir
- Elektrotlar yerinden oynamaması için sabitlenir.

- Karıncalanma, iğnelenme hissedinceye kadar akım yavaş olarak arttırılır.
- 3-5 dakikada bir deri kontrol edilmelidir.
- Tedavi sonunda yavaş yavaş azaltılarak kesilir (16, 20).





## 8. MANYETİK STİMÜLASYON

### 8.1. Manyetizma

İçerisinden elektrik akımı geçen bir iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşur. Manyetik alan iletkenin şekline göre değişir. Düz bir iletkenen elektrik akımı geçtiğinde oluşan manyetik akımın kuvvet çizgileri iletkenin çevresinde dairesel şekildedir. Bobin şeklinde sarılmış bir iletkenen elektrik akımı geçtiğinde manyetik alan bobinin iki tarafındaki son halkaların yüzeyine dikey yönde oluşur. Bir tel değişen bir manyetik alana maruz kalırsa ya da sabit bir manyetik alanda hareket ettirilirse akım oluşur. 1831de Michael Faraday ve Joseph Henry iletken maddelerde değişken manyetik alanların elektrik akımı oluşturabileceğini göstermiştir. Faradayın indüksiyon kanununa göre oluşan voltaj manyetik akımın değişim hızına bağlıdır. Dairesel bir halkadan geçen akım manyetik alan meydana getirir. Akım akışı başladığında ve durduğunda manyetik alan değişir. Meydana gelen manyetik alanın amplitüdü metrede amper olarak ölçülebilir. Daha çok manyetik alanın gücü gauss veya tesla ünitesi olarak ifade edilir.

Elektromanyetik alan modaliteler 5 gruba ayrılabilir;

- Devamlı manyetik alanlar
- Düşük-frekanslı sinüzoidal dalgalar
- Pulse elektromanyetik alanlar
- Pulse radyofrekans alanlar
- Transkraniyal/periferik manyetik, elektrik stimülasyonu (16)

Yüksek enerji kondansatörü içeren manyetik stimülatör, yüksek voltaj kaynağından şarj edilir ve bir elektronik düğme ile uyarıcı başlığa deşarj olur. Başlık biyolojik dokulara uygulanabilir niteliktedir. Plastik kap içindedir. Başlıktan yüksek akımların geçmesi sonucu, klasik olarak maksimum 4000 A'da, kısa süreli ve şiddetli bir manyetik alan pulsu oluşur. Elektrik alanlarından farklı olarak bu tip manyetik alanlar, geçtikleri hiçbir biyolojik yapıda azalmaz ve derin dokuları uyabilirler (26).

## 8.2. Periferik Manyetik Stimülasyon

Periferik manyetik stimülasyon (PMS) veya transkütanöz manyetik stimülasyon olarak adlandırılan, beyin dışındaki dokulara hızla darbeleri, yüksek yoğunluklu manyetik alan iletiminin invaziv olmayan bir yöntemidir. Birçok nörolojik ve kas-iskelet sistemi için yeni, ağrısız ve kolay bir yaklaşım olarak kabul edildiğinden, araştırma ve klinik uygulamalara ilgi son yıllarda artmıştır. Terminal dallar tarafından innerve edilen kas bölgelerine uygulanan PMS, sadece kas kasılması yaratmakla kalmaz aynı zamanda merkezi sinir sistemine büyük propriyoseptif girdilerle motor korteksin aktivitesini artırarak motor fonksiyonlarını iyileştirebilir. PMS cilt, yağ ve kranial kemik gibi yüksek dirençli dokulara nüfuz edebilir. Derideki kütanöz nosiseptif reseptörden geçebildiği ve daha derin nöromusküler sistemi uyarabildiği için elektriksel stimülasyondan daha az ağrıya neden olur. Avantajları olarak, PMS elektrik stimülasyonundan daha yüksek kas torku üretebilir, ped gerektirmediği ve daha az ağrıya neden olduğu ve farklı kaslara bireysel bir uyarı verebildiği için çocuklara uygulanması kolaydır (27).

Kaslara uygulanan tekrarlayan periferik manyetik stimülasyon (PMS), merkezi sinir sistemine propriyoseptif girişi iki farklı yolla indükler: Birincisi, stimülasyon nedeniyle mekanik reseptörlerin dolaylı aktivasyonu, kasın ritmik kasılmasına ve gevşemesinin yanı sıra titreşmesine neden olur. Bu Ia, Ib ve II akson gruplarının depolarizasyonunu içerir. İkinci olarak, sensorimotor sinir liflerinde ortodromik ve antidromik iletim ile doğrudan aktivasyon olur (28).

## 8.3. Periferik Manyetik Stimülasyon Cihazı

Yüksek miktarda elektrik deşarj akımı (birkaç bin amper) üretebilen yüksek akım jeneratöründen oluşur. Akım, manyetik darbeler üreten uyarıcı bir başlığın içinden akar. Isı, manyetik darbe üretiminden türeyen kaçınılmaz bir yan üründür; bu nedenle cihazda hava veya yağ soğutma sistemi de bulunması gerekir.

Birçok başlık tipi üretilmiştir. Sık kullanılan iki başlık vardır; yuvarlak ve sekiz şekilli başlık. Başlık hedefe odaklanma ve nüfuz derinliğine bağlı olarak seçilir. Yuvarlak başlık daha az odaklıdır, ancak çapına eşdeğer bir uyarılmış alana

sahip daha derin bir manyetik alan üretir. Sekiz şekilli başlık, merkezde doğru bir odaklanma ile daha güçlü bir manyetik alan üretir. Başlık hedeften uzak olduğunda, sekiz şekilli başlıktaki manyetik alan yuvarlak başlıktan daha hızlı düşer. Başlığın yönü de önemlidir. Başlığı iletken yapının uzunlamasına eksenini ile düz, teğetsel bir yönde yerleştirmek alttaki yapıları uyarmanın en etkili yoludur (29).



**Resim 3. Periferik manyetik stimülasyon cihazı**



**Resim 4. Periferik magnetik stimülasyonda kullanılan başlıklar**

## 8.4. Manyetik Stimülasyonda Parametreler

Periferik manyetik stimülasyon için ortak parametreler şunlardır;

### 8.4.1. Görev döngüsü, açık ve kapalı dönemleri

Görev döngüsüne ilişkin iki farklı protokol vardır. Birincisi, kas spastisitesinin aşırı aktif spinal devrelerini kısaca inhibe ettiği varsayılan sürekli protokol (tüm tedavi seansı boyunca açık). İkincisi fizyolojik kası taklit eden aralıklı protokol kasılma ve gevşeme ile propriyoseptif afferent indükleyici nöroplastisite oluşturur. Bununla birlikte, aralıklı protokolda "açık" ve "kapalı" süresinin optimal uzunluğu belirlenmemiştir. Tedavi sırasında "kapalı" süredeki artış, bobinden kaynaklanan aşırı ısınma riskini azaltabilir.

**Toplam uyarın sayısı:** Transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS) için, elde edilen toplam manyetik darbe sayısı, etkinliği belirlemek için önemli bir faktördür; ancak periferik manyetik stimülasyondaki rolü tam belirlenmemiştir.

**Sıklık:** Toplam uyarın sayısı gibi, frekans da TMS'nin bir başka önemli faktörüdür. Düşük frekanslı stimülasyonun (1 Hz'den az) inhibitör etkileri vardır, yüksek frekanslı stimülasyonun (5 Hz'den fazla) beyindeki uyarıcı etkileri başlatır. Periferik manyetik stimülasyonun etkisi üzerindeki rolü sonuçsuz kalmaktadır.

**Yoğunluk:** Periferik manyetik stimülasyon yoğunluğu tesla birimleri kullanılarak veya maksimum stimülatör çıkışının bir yüzdesi olarak gösterilir. Ancak hedef yapıya ulaşan gerçek manyetik alan kuvveti belirlenemez. Gücü etkileyen faktörler, stimülasyon için kullanılan başlık tipi, hedef dokuların derinliği ve başlığın altındaki alanın geometrisidir. Bu nedenle, yoğunluk bir kas kasılması olup olmadığı kabaca ölçülür ve eşik altı ve eşik üstü uyarım olarak rapor edilir. Eşik üstü stimülasyon için kullanılan hemen hemen tüm çalışmalar, kas kasılmasının nöroplastisiteyi indüklemek için propriyoseptif afferentler üretme gerekçesine dayanmaktadır.

#### **8.4.2. Periferik Manyetik Stimülasyon Klinik Kullanım Alanları**

- Miyofasiyal ağrı sendromu
- Travmatik brakial pleksopati
- Travma sonrası periferik nöropatik ağrı
- Akut bel ağrısı/Kronik bel ağrısı
- Spastisitenin azaltılması
- Disfaji
- Kas kuvvet artırımı (29)

#### **8.4.3. Nöromusküler manyetik stimülasyon ve nöromusküler elektrik stimülasyon uygulamalarının karşılaştırılması**

Hem elektriksel hem de manyetik uyarımın amacı, sinir dokusunda akım, sinir hücre membranının depolarizasyon oluşturarak aksiyon potansiyelinin başlatmaktır. Manyetik stimülasyon, derin sinir yapılarına ulaşmak için kıyafetlere, yumuşak dokuya ve kemiğe nüfuz edebilen yoğun, hızla değişen manyetik alanlar oluşturur. Bu manyetik uyarımlar elektrik sahaları üretir ve indüklenen akım depolarizasyonun meydana geleceği şekilde yeterli genlik ve süreye sahipse, nöral doku geleneksel elektrik stimülasyonuna benzer şekilde uyarılır. Böylece, manyetik alan elektrik akımının üretildiği yöntemdir ve kendisi doğrudan hücre zarlarının depolarizasyonuna neden olmaz (30).

Elektrik stimülasyonu sırasında elektrod altında yüksek akımlı dansite oluşur ve deri reseptörleri uyarıldığından stimülasyon ağrılı olabilir. Manyetik stimülasyonda ise uyarıcı başlık altında deri yüzeyinde böyle lokalize yüksek akımlı bir dansite yoktur. Deri duyusu çok hafiftir veya hiç olmaz. Periferik sinirlerin çalışılması sırasında, derinde seyreden sinirler, örnek olarak median veya ulnar sinir ön kolun ortasında manyetik stimülasyonla ağrı oluşturulmadan uyarılabilir, fakat elektrik stimülasyonu uyarımda belirli ölçüde rahatsızlık oluşur. Manyetik stimülasyonda uyarılmış kas kasılmasına bağlı önemsiz bir duyum olur. Manyetik stimülasyonun standart elektrik yöntemlerine göre ağrısız olması ve derin, ulaşılması zor sinirlerin

kolayca uyarımını sağlaması belirgin üstünlükleridir. Manyetik stimülasyonun başka avantajları da deriyle direkt temasına gerek yoktur. Giysiler üzerinden geçebildiğinden hastanın soyunmasına veya cilt hazırlığına gerek kalmaz. Bu üstünlüğü nedeniyle sinirler vücuttan birkaç santimetreden uyarılabilir. Bu durum travmaya uğramış bölgelerin araştırılmasında önemlidir.

Manyetik stimülasyonun üstünlüklerine rağmen birkaç dezavantajları vardır. En önemlisi kesin stimülasyon yerinin iyi saptanamamasıdır. Bu yüzden iletim hızları hesaplanmasında güvenilirliği önlemektedir. Manyetik stimülasyon cihazı daha pahalı olup elektrik stimülasyonun gerektirdiğinden daha çok yer kaplar. Ayrıca periferik sinir çalışmalarında supramaksimal potansiyel elde etmek zor olabilir. Bu nedenlerle manyetik stimülasyonu özellikle distal sinirlerde kullanmak dezavantaj olabilir (26).

#### **8.4.4. Manyetik Stimülasyon Kontrendikasyonları**

- Pacemaker olan hastalar
- Malignite
- Gebelik
- Epileptik nöbet (31)

## 9. BİREYLER VE YÖNTEM

Bu çalışma prospektif, randomize, tek kör ve tek merkezli bir klinik araştırma olarak gerçekleştirildi. Yapılan power analizinde  $\alpha=0.05$  ve  $1-\beta$  (güç)=0.80 ile örneklem büyüklüğü hesaplanarak, örneklem sayısının 16 kontrol grubu ve 16 deney grubu olmak üzere toplam 32 birey olması gerektiği belirlendi. Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında G\*Power version 3.1.9.4 programı kullanıldı.

Çalışmaya İstanbul Medipol Üniversitesi Mega Üniversite Hastanesi fiziksel tıp ve rehabilitasyon polikliniğine başvuran hasta yakınları arasından 18-40 yaş arası 32 sağlıklı erkek gönüllü Eylül 2019- Mayıs 2020 tarihleri arasında alındı.

Çalışmaya dahil olma kriterleri; sağlıklı olmak, erkek olmak, 18-40 yaş aralığında olmak, son 1 yıl içerisinde üst ekstremitte kaslarına manyetik ya da elektrik stimülasyon tedavisi almamış olmak ve gönüllü olmak idi.

Çalışmaya dahil edilmeme kriterleri: çalışmaya, metabolik/endokrin kemik hastalıkları (osteoporoz, osteomalazi, Paget hastalığı v.b), miyopati, tendinopati (lateral epikondilit, fleksör tenosinovit vb.), uygulama yapılacak ekstremitede yaralanma öyküsü olanlar, nörolojik bozukluklar (hipostezi/anestezi, epilepsi, paralizisi), sistemik hastalık öyküsü olanlar (diyabetes Mellitus, hipertansiyon), nörolojik hastalık öyküsü olanlar (inme, multipl skleroz), dermatolojik hastalıklar, periferik vasküler hastalıklar, romatizmal hastalıklar (romatoid artrit, psöriatik artrit vb.), kalp pili taşıyanlar, koopere olamayanlar, profesyonel sporcular, tenis veya voleybol gibi düzenli spor faaliyeti yapanlar, çok ağır kaldırıcılar dahil edilmedi. Katılımcılara araştırmanın amacı, süresi ve kapsamı ayrıntılı bir şekilde anlatıldı, araştırmaya katılımın gönüllü olduğu belirtilerek katılımcılardan sözlü ve yazılı onam alındı. Katılımcılar, zarf usulü randomizasyon ile NMMS grubuna (n=16) veya NMES grubuna (n=16) alındı. Çalışmaya alınan bireylerin yaşları (yıl), boy uzunlukları (cm), vücut ağırlıkları (kg), ve dominant üst ekstremitte tarafı kaydedildi. Dominant elin belirlenmesinde öncelikli olarak hangi eli ile yazı yazdığı ve günlük yaşamda top atma, bıçakla ve makasla kesme, diş fırçalama ve işaret etme gibi aktiviteleri hangi eli ile yaptığı soruldu. Aktivitelerin tümünde aynı elini kullandığını söylüyorsa belirttiği el

dominant el olarak kabul edildi. Yazı yazma ve diğer aktiviteler için farklı ellerini kullandığını söyleyen olgularda ise belirtilen aktivitelerde en sık kullandığını bildirdiği eli dominant el olarak kabul edildi.

Çalışma için İstanbul Medipol Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığından 01/08/2019 tarihli, 606 karar numarası ile etik kurul onayı alındı ve 27/02/2020 tarihli, 10840098-604.01.01-E.1062 no'lu karar ile gerekli değişiklikler yapıldı.

Katılımcıların dominant taraf el bileği fleksör kaslarına 1. Grupta (NMMS grubu) sadece nöromüsküler manyetik stimülasyonu ile kuvvetlendirme; 2. Gruba (NMES grubu) ise sadece nöromüsküler elektrik stimülasyonu ile 5 hafta süre ile haftada 3 seans olmak üzere toplam 15 seans kuvvetlendirme programı kullanılarak uygulama yapıldı. Her iki grubun el bilek izokinetik fleksör kas kuvvetleri ve el kavrama kuvveti, tedavi öncesi ve 5. Hafta bitiminde, 15. seansın sonunda, sırayla CYBEX izokinetik dinamometre ve JAMAR hidrolik dinamometre ile değerlendirildi. Tedavi sonrası hasta ölçümleri, hastaların hangi grupta olduğunu bilmeyen ikinci bir hekim tarafından yapıldı. Her gönüllünün seans saatleri birbirleri ile karşılaşmayacakları şekilde düzenlendi.

### **NMMS Prosedürü**

NMMS grubuna; manyetik uyarılar BTL® süper indüktif sistem cihazı ile hasta oturur durumda ve ön kol 90 derece fleksiyon ve supinasyon pozisyonunda iken uygulandı. Çapı 12 cm olan manyetik uyarı başlığı, dominant kolun tam ortasında ve ön kol fleksör kasların geçtiği alan üzerine yerleştirildi. Manyetik stimülasyon protokolü, 5 hafta boyunca günaşırı olmak şartı ile haftada 3 gün ve günde bir seans şeklinde 25 saniyelik dinlenme periyodları ile 5 saniyede 10 Hz frekansında tekrarlayıcı uyarılardan oluşarak bir seansta toplam 1500 uyarı şeklinde uygulandı (32). Stimülasyon kuvveti, her katılımcı için maksimum tolere edilebilir seviyeye göre ayarlandı. Manyetik alan uyarıları sırasında gözle görülür kas kasılması izlendi. Manyetik stimülasyon, güvenlik yönergelerine uygun olarak uygulandı ve stimülasyon sırasında hoş olmayan duygular gibi şikayetleri varsa, uyarım derhal durdurarak katılımcıların güvenliği sağlandı (33).





**Resim 5. Magnetik stimülasyon uygulaması**

#### **NMES Prosedürü**

Kendiliğinden yapışkanlı yüzeyel cilt elektrodları sağ el bilek volar yüzüne yerleştirildi. Her katılımcı ve seans için ayrı elektrod kullanıldı. Uygulama öncesi uygulama yapılacak cilt bölgesi antiseptik mendil ile temizlendi. Uygulamaya engel kıllar traş edildi. Elektrik uyarısı, hastalar oturur durumda, ön kol masa üzerinde istirahat halinde iken, dirsek 90 derece fleksiyon ve supinasyon pozisyonunda yapıldı. Elektrik uyarısı Chattanooga İntelect Advanced Combo cihazı ile 5 hafta boyunca, gūnaşırı olmak şartı ile haftada 3 gün ve günde bir seans şeklinde uygulandı. Elektrik uyarısı sırasında hastalardan istemli kontraksiyon yapmamaları istendi. Akım şiddeti optimal kas kontraksiyonu alınca kadar ve katılımcının tolere edebildiği maksimum düzeyde tutuldu. Rus akımı kullanılarak Rus tekniği ile NMES programı uygulanmıştır (34).

Her iki uygulama da cihaz ve uygulama konusunda deneyimli fizyoterapistler tarafından yapılmıştır.



**Resim 6. Chattanooga İntelect Advanced Combo cihazı**



**Resim 7. Ön kol fleksör kaslarına yönelik NMES elektrotların yerleşimi Değerlendirme**

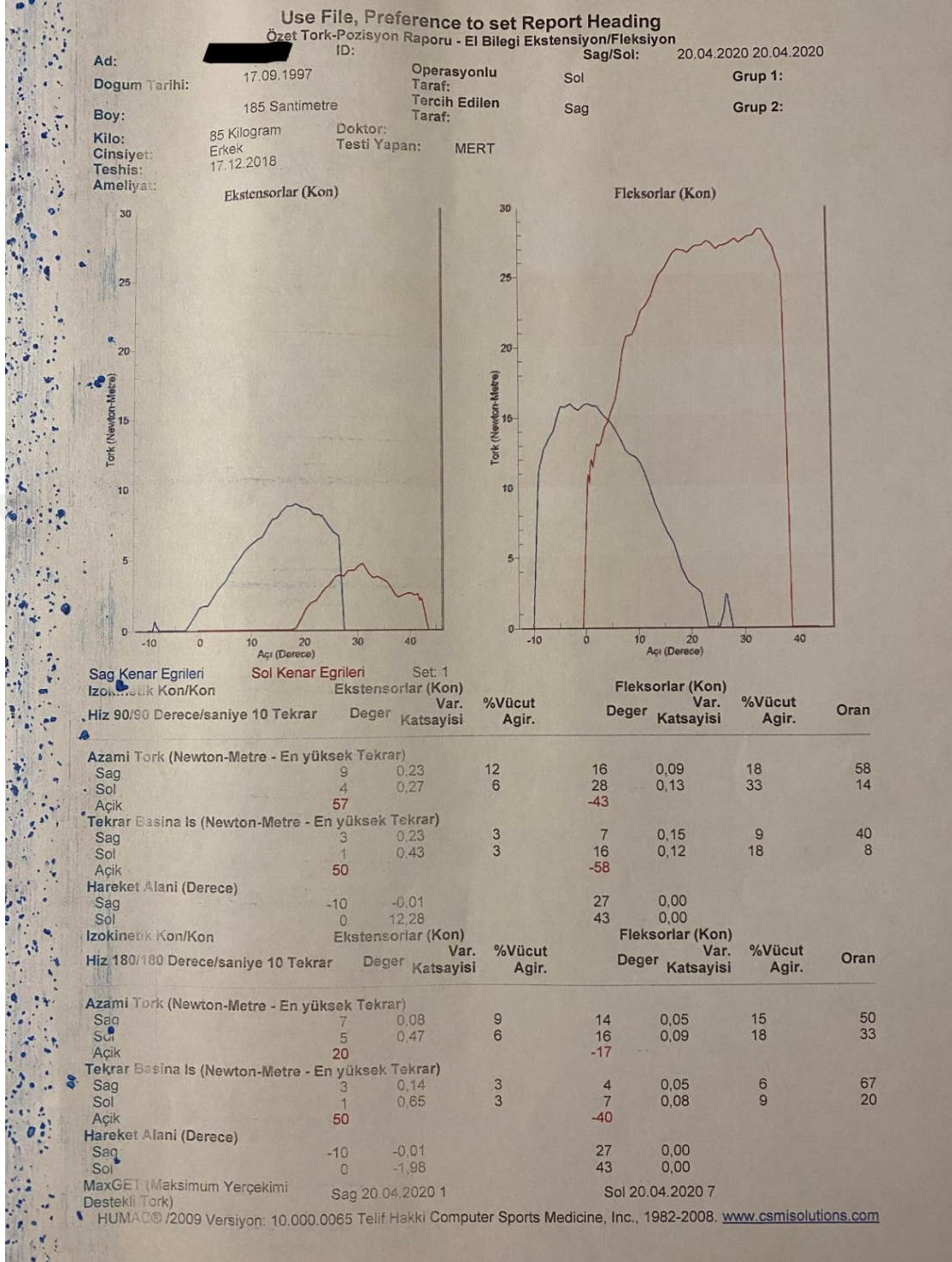
Çalışma öncesi ve 5. haftanın bitiminde (15. seansın sonunda) dominant el bileği fleksör izokinetik kas kuvveti, bilgisayarlı izokinetik dinamometre cihazı ile el kavrama gücü ölçümü ise JAMAR dinamometresi ile değerlendirildi. Ölçümler bireylerin hangi grupta olduğunu bilmeyen bir fizyatrist tarafından yapıldı.

### **İzokinetik Kas Kuvveti Ölçümü**

Katılımcıların el bileği fleksör kaslarının izokinetik eksantrik ve konsantrik kuvvet ölçümleri izokinetik dinamometre (Cybex 6000 Norm, USA) ile ölçüldü. Değerlendirme öncesinde cihaza üreticinin belirttiği şekilde kalibrasyon yapıldı ve test başlamadan önce doğrulama yapıldı. Değerlendirme öncesi katılımcıların yaş, boy, kilo ve dominant el tarafı kayıt edildi. Katılımcılar izokinetik test cihazına rahat ve dik bir pozisyonda oturdu. Dirsek 90 derece fleksiyonda iken, ön kol tam supinasyona ve el bileği ekstansiyona getirildi. Gövde, omuz, ön kol bir kemer yardımıyla sabitlendi. Dinamometrenin dönme eksenini, radius distal tuberkülümü diyagonal eksenini ve ulna başı ile hizalandı. Test edilen el cihazın test kolunu kavradı. Elin ağırlığı, yerçekimi düzeltilmesi için test başlangıcında ölçüldü ve elimine edildi. Değerlendirmelere başlamadan önce katılımcılara testin nasıl yapıldığı öğretildi. Değerlendirmeden önce bir ısınma olarak yapılacak testin tanıtılması için üç tekrarlanan çalışma (submaksimal bir şekilde) gerçekleştirildi. El bileği fleksör ve ekstansör kaslarının maksimal izokinetik kuvveti sırasıyla 90°/sn hızda pik tork, 180°/sn hızda pik tork olarak ölçüldü. Ölçümler 3 set halinde ve ölçümler arasında 3 dk'lık dinlenme aralıkları ile yapıldı. Üç ölçümün sonucunda elde edilen en yüksek tork değeri pik tork değeri (newton\metre) olarak kayıt edildi (35, 36). Uygulama sırasında uygun pozisyon ve maksimum verim elde etmek için katılımcılara sürekli yüksek sesle komutlar verildi.



**Resim 8. İzokinetik dinamometre ile el bilek fleksör kas kuvvetinin ölçümü**



**Resim 9. İzokinetik test sonuç örneği**

## Elin kavrama kuvveti değerlendirilmesi

Dominant el kavrama kuvveti Jamar Hidrolik Dinamometre ile ölçüldü. Kavrama kuvveti ölçümü ASHT (American Society of Hand Therapists) tarafından tavsiye edilen standart test pozisyonunda (hasta arkalıklı bir sandalyede ve düz bir zeminde dik oturur pozisyonda, diz ve kalça 90° fleksiyonda, önkol nötral pozisyonda, el bileği 0-30° ekstansiyonda ve 0-5° ulnar deviasyonda) yapıldı. Ölçüm sırasında katılımcılara yüksek sesli motive edici komut verildi. Ölçüm sırasında kavrama kuvveti ölçülen kişiden dinamometrenin tutamaçlarını mümkün olduğu kadar kuvvetli bir şekilde sıkması ve daha sonra tamamen gevşek bırakması istendi. Ölçüm 1 dakikalık dinlenme araları yapılarak 3 defa tekrar edildi ve ortalama değer hesaplandı. Ölçümler sırasında, ölçümü değerlendiren kişi tarafından Jamar dinamometresi alt ve üst kısımlarından kavranarak, aletin ağırlığının ölçüm değerlerini etkilememesi sağlandı (37).



**Resim 10. Jamar hidrolik dinamometre**



**Resim 11. Jamar hidrolik dinamometre ile el kavrama g¼cü ölçümü**

### **İstatistiksel Analiz**

Araştırma verileri “SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 22.0 (SPSS Inc, Chicago, IL)” paket programı ile analiz edildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama±standart sapma ve yüzde olarak sunuldu. Kategorik değişkenlerin değerlendirmesinde Pearson Ki-Kare Testi kullanıldı. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu görsel (histogram ve olasılık grafikleri) ve analitik yöntemler (Shapiro-Wilk Testi) kullanılarak incelendi. İki bağımsız grup arasındaki istatistiksel anlamlılıklarda normal dağılıma uyduğu saptanan değişkenler için bağımsız gruplar T testi, normal dağılıma uymayan değişkenlerde Mann-Whitney U testi istatistiksel yöntem olarak kullanıldı. Tedavi öncesi ve sonrası değerlerinin iki bağımlı grupta karşılaştırılmasında normal dağılan değişkenler için eşleştirilmiş T testi, normal dağılmayan değişkenler için Wilcoxon sıralı işaretler testi uygulandı. Ayrıca, uygulama öncesi ve uygulama sonrası iki grubun karşılaştırılmasında (NMMS ve NMES) varyans analizi (Karışık Desen ANOVA) uygulandı. F testinin sonuçları

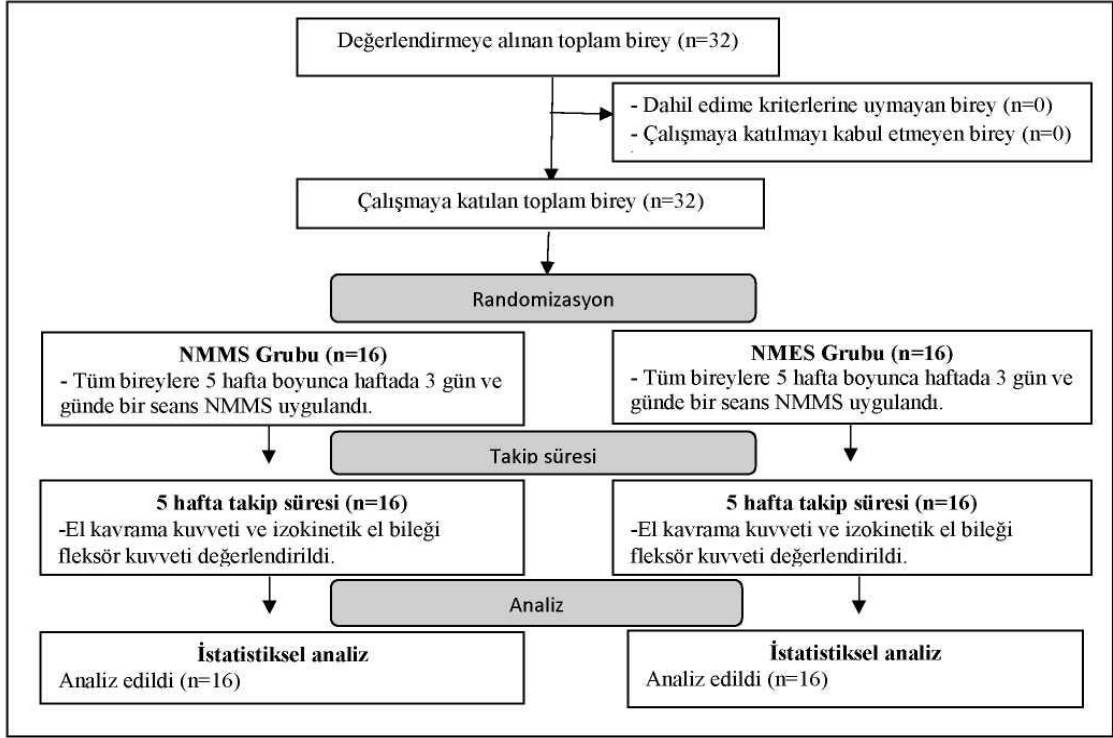
Mauchly'nin küresellik testi ile incelendi. Anlamli ise, Greenhouse-Geisser düzeltmesi kullanıldı. Tüm istatistiklerde p anlamlılık değeri 0.05 olarak alınmıştır.





## 10. BULGULAR

Sağlıklı bireylerde NMES ve NMMS uygulamalarının etkisini karşılaştırmak amacıyla planlanan araştırma kapsamında her bir grupta 16 birey olmak üzere toplam 32 birey incelendi. Araştırmanın akış diyagramı Şekil 4.1 'de sunuldu.



Şekil 6. Çalışmanın akış diyagramı

Araştırmaya katılan bireylerin yaş ortalaması  $26.6 \pm 4.5$  (min: 20 yaş - maks: 40 yaş) yıl olup, tamamı erkekti Hastaların boy uzunlukları ve beden ağırlıkları ölçülerek vücut kitle indeksleri (VKİ) hesaplandı. Buna göre incelenen 32 bireyin VKİ ortalaması  $24.7 \pm 3.4$  (min:19.2-maks:32.4)  $\text{kg/m}^2$  idi. Çalışmaya katılan bireylerin % 96.9'u sağ dominant olarak tespit edildi.

Grupların demografik özellikleri Tablo 4.1'de gösterildi. Yaş, VKİ ve dominant el taraf bakımından NMES ve NMMS grupları arasında istatistiksel olarak fark yoktu ( $p > 0.05$ ) (Tablo 4.1).

**Tablo 4.1. Grupların demografik özelliklerinin karşılaştırılması**

	<b>NMES (n=16)</b>	<b>NMMS (n=16)</b>	<b>p</b>
Yaş (yıl)	26.06± 3.1	27.1± 5.5	0.489*
VKİ (kg/m <sup>2</sup> )	25.2± 3.8	24.3± 2.9	0.430*
Cinsiyet, n (%)			
Kadın	0 (%0)	0 (%0)	1.000†
Erkek	16 (%100)	16 (%100)	
Dominant taraf, n (%)			
Sağ	15 (%93.8)	16 (%100)	0.310†
Sol	1 (%6.3)	0 (%0)	

**NMES:** Nöromusküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromusküler manyetik stimülasyonu

\* Bağımsız gruplar t testi

† Pearson ki-kare testi

### **El Bilek Fleksör İzokinetik Kas Kuvveti Değerlendirme Bulguları**

Her bir grubun başlangıçta ve 5. Hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s peak tork değerlerinin ortalamaları Tablo 4.2 'de sunuldu. Her bir grubun kendi içerisinde başlangıçta ve 5. Hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s peak tork değerleri karşılaştırıldığında, NMMS grubunda el bilek fleksör kas kuvveti 90°/s peak tork ortalamalarının 5 hafta sonunda istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı tespit edilirken (p= 0.001), NMES grubunda el bilek fleksör kas kuvveti ortalamalarının uygulama sonrasında anlamlı bir fark bulunmadı (p= 0.236) (Tablo 4.2)

**Tablo 4.2. Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s peak tork değerlerinin karşılaştırılması**

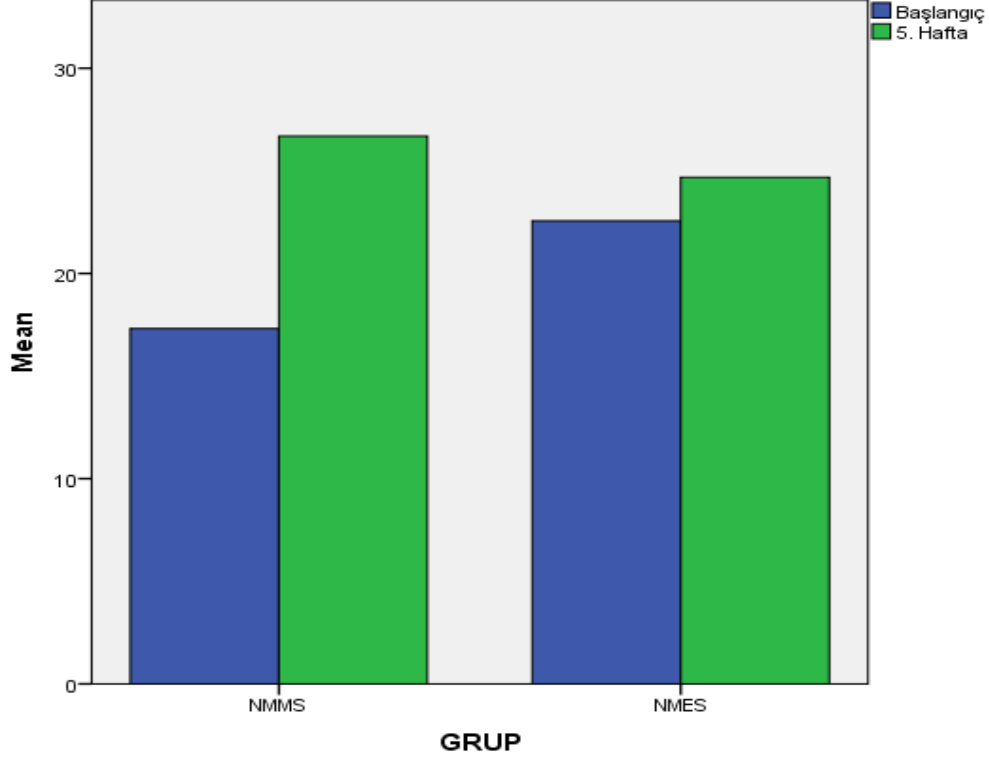
	<b>Başlangıç</b>	<b>5. Hafta</b>	<b>p değeri</b>
90°/s peak tork (N/m)			
<b>NMES</b>	22.5± 8.1	24.6± 8.2	0.236†
<b>NMMS</b>	17.3± 7.1	26.6± 11.6	<b>0.001</b> †

**NMES:** Nöromusküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromusküler manyetik stimülasyonu

† Eşleştirilmiş T testi

p değeri, başlangıç- 5. Hafta

Grup içi ve gruplar arasında el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s pik torkta meydana gelen değişim Şekil 4.2 'de sunuldu. NMMS grubunda zamana bağlı olarak 90°/s pik tork için anlamlı artış olduğu belirlenirken, NMES grubunda zamana bağlı anlamlı bir fark bulunmadı (Şekil 4.2).



**Şekil 7. El bileği fleksör izokinetik kas kuvveti 90°/s pik tork değerlerinin karşılaştırılması**

Her bir grubun başlangıçta ve uygulama sonrası 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik tork değerlerinin ortalamaları Tablo 4.3 'de sunuldu. Her bir grubun kendi içerisinde başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik tork değerleri karşılaştırıldığında, NMMS grubunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik tork ortalamalarının uygulama sonrasında istatistiksel olarak anlamlı Şekilde arttığı tespit edilirken ( $p= 0.046$ ), NMES grubunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik tork ortalamalarında 5. hafta sonunda anlamlı bir fark bulunmadı ( $p= 0.755$ ) (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3. Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s tork değerlerinin karşılaştırılması**

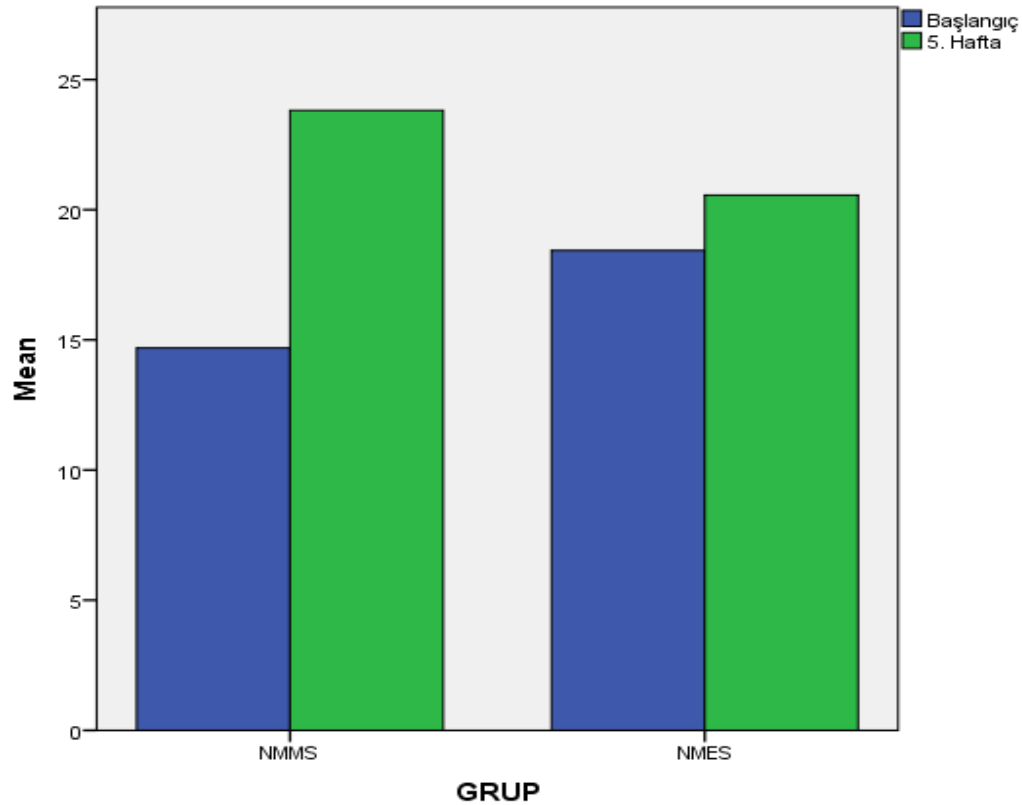
	<b>Başlangıç</b>	<b>5. Hafta</b>	<b>p</b>
180°/s tork (N/m)			
<b>NMES</b>	18.4± 6.2	20.5± 6.4	0.755 <sup>†</sup>
<b>NMMS</b>	14.6± 6.2	23.8± 10.7	<b>0.046<sup>†</sup></b>

**NMES:** Nöromüsküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromüsküler manyetik stimülasyonu

<sup>†</sup> Wilcoxon sıralı işaretler testi

p değeri, başlangıç- 5. Hafta

Grup içi ve gruplar arasında el bileği fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik torkta meydana gelen değişim Şekil 4.3 'de sunuldu. NMMS grubunda zamana bağlı olarak 180°/s pik tork için istatistiksel olarak anlamlı artış olduğu belirlenirken, NMES grubunda zamana bağlı anlamlı bir fark bulunmadı (Şekil 4.3).



**Şekil 8. Grup içi başlangıç ve 5. hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti 180°/s pik tork değerlerinin karşılaştırılması**

Her bir grubun başlangıçta ve 5 hafta sonunda el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti ortalamaları Tablo 4.4 'de sunuldu. Grup içi başlangıç ve 5. Hafta sonunda el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti 90°/s peak tork değerleri karşılaştırıldığında, NMMS grubunda 90°/s peak tork ortalamalarının 5 hafta sonunda istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı tespit edildi (p=0.019). Ancak gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı (p=0.567) (Tablo 4.4).

Grup içi başlangıç ve 5. Hafta sonunda el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti 180°/s peak tork değerleri karşılaştırıldığında, NMMS grubunda 180°/s peak tork ortalamalarının 5 hafta sonunda istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı tespit edildi (p=0.008). Ancak gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı (p=0.918) (Tablo 4.4).

**Tablo 4.4. Grup içi ve gruplar arası el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

	NMES (n=16)	NMMS (n=16)	Gruplar arasındaki ortalama farklar (% 95 CI) Başlangıç- 5. Hafta	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>
90°/s peak tork (N/m)					
Başlangıç	22.5± 8.1	17.3± 7.1	-5.2 (-10.7- 0.27)	<b>0.019</b>	0.567
5. Hafta	24.6± 8.2	26.6± 11.6	3.5 (-5.27- 9.27)		
180°/s peak tork (N/m)					
Başlangıç	18.4± 6.2	14.6± 6.2	-3.7 (-8.2- 0.73)	<b>0.008</b>	0.918
5. Hafta	20.5± 6.4	23.8± 10.7	3.2 (-3.23- 9.73)		

**NMES:** Nöromusküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromusküler manyetik stimülasyonu

P<sub>1</sub>: Zamana göre grup içindeki değişim

P<sub>2</sub>: Gruplar arası etki

CI: Güven aralığı

Mixed model ANOVA

Gruplar arasında başlangıçta ve 5 hafta sonunda el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti değerlerinin ortalamaları Tablo 4.5'de sunuldu. Başlangıçta el bilek fleksör izokinetik kas kuvvetinde gruplar arasında fark tespit edilmedi (p>0.05). 5 hafta sonunda gruplar arasında fark bulunmadı (90°/s peak tork, p= 0.579; 180°/s peak tork, p= 0.623) (Tablo 4.5).

**Tablo 4.5. Gruplar arasında el bilek izokinetik fleksör kas kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

	<b>NMES (n=16)</b>	<b>NMMS (n=16)</b>	<b>p</b>
90°/s peak tork (N/m), mean±SD			
Başlangıç	22.5± 8.1	17.3± 7.1	0.062*
5. Hafta	24.6± 8.2	26.6± 11.6	0.579*
180°/s peak tork (N/m), mean±SD			
Başlangıç	18.4± 6.2	14.6± 6.2	0.053 <sup>‡</sup>
5. Hafta	20.5± 6.4	23.8± 10.7	0.623 <sup>‡</sup>

**NMES:** Nöromüsküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromüsküler manyetik stimülasyonu

\* Bağımsız gruplar T testi

<sup>‡</sup> Mann Whitney U testi

### **El Kavrama Kuvveti Değerlendirme Bulguları**

Her bir grubun başlangıçta ve 5 hafta sonunda el kavrama kuvveti değerlerinin ortalamaları Tablo 4.6 'da sunuldu. Grup içi başlangıç ve 5. Hafta sonunda el kavrama kuvveti değerleri karşılaştırıldığında, her iki grupta da kavrama kuvveti ortalamalarının 5 hafta sonunda istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı tespit edildi ( $p=0.025$ ). Ancak gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ( $p=0.717$ ) (Tablo 4.6).

**Tablo 4.6. Grup içi ve gruplar arası başlangıç ve 5. hafta sonunda el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

	NMES (n=16)	NMMS (n=16)	Gruplar arasındaki ortalama farklar (% 95 CI) Başlangıç- 5. Hafta	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>
Kavrama kuvveti (kg)					
Başlangıç	41.0± 7.7	40.2± 9.8	-0.8 (-6.9- 5.01)	<b>0.025</b>	0.717
5. Hafta	44.3± 7.3	47.3± 9.2	3.0 (-2.81- 8.71)		

**NMES:** Nöromüsküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromüsküler manyetik stimülasyonu

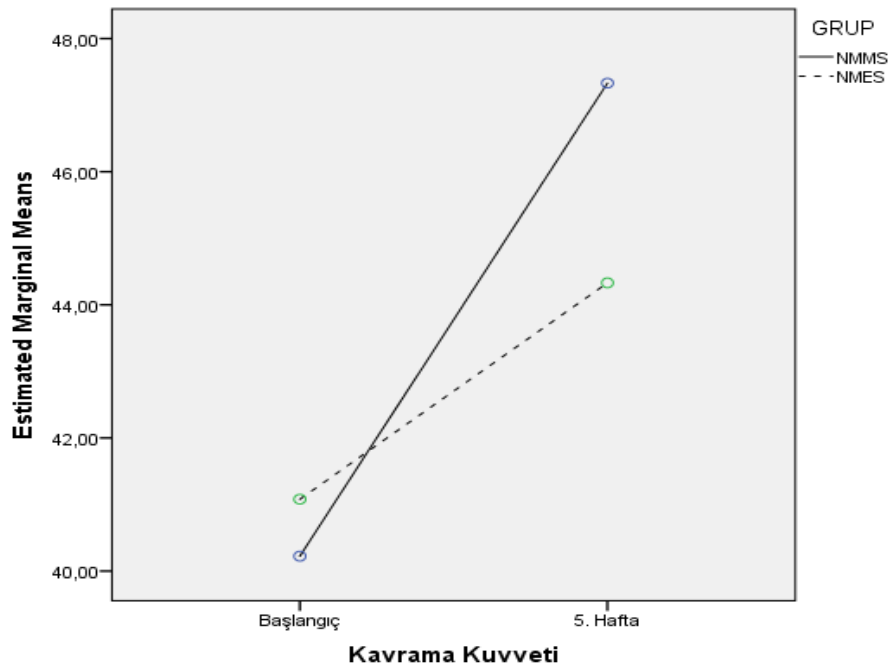
P<sub>1</sub>: Zamana göre grup içindeki değişim

P<sub>2</sub>: Gruplar arası etki

CI: Güven aralığı

Mixed model ANOVA

Grup içi ve gruplar arasında kavrama kuvvetinde meydana gelen değişim Şekil 9 'da sunuldu. Her iki grupta zamana bağlı olarak kavrama kuvvetinde anlamlı artış olduğu belirlenirken, 5. Hafta sonunda gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadı (Şekil 9).



**Şekil 9. Grup içi ve gruplar arasında el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

Grup içi ve gruplar arası, başlangıç ve 5 hafta sonra el kavrama kuvveti değerlerinin ortalamaları Tablo 4.7’de sunuldu. Başlangıçta el kavrama kuvvetinde gruplar arasında fark tespit edilmedi ( $p>0.05$ ). 5 hafta sonra yapılan değerlendirmede gruplar arasında fark bulunmadı ( $p=0.318$ ). 5 hafta sonunda NMMS grubundaki bireylerin el kavrama kuvveti ortalamaları NMES grubundaki bireylerin el kavrama kuvveti ortalamalarından klinik olarak daha fazlaydı (Tablo 4.7).

**Tablo 4.7. Gruplar arasında başlangıç ve 5. hafta sonunda el kavrama kuvveti değerlerinin karşılaştırılması**

	<b>NMES (n=16)</b>	<b>NMMS (n=16)</b>	<b>p</b>
Kavrama kuvveti (kg)			
Başlangıç	41.0± 7.7	40.2± 9.8	0.786*
5. Hafta	44.3± 7.3	47.3± 9.2	0.318*

**NMES:** Nöromüsküler elektrik stimülasyonu, **NMMS:** Nöromüsküler manyetik stimülasyonu

\* Bağımsız gruplar T testi



## 11. TARTIŞMA

Çalışmamız nöromusküler elektrik stimülasyonu (NMES) ve nöromusküler manyetik stimülasyonunun (NMMS) sağlıklı el bilek fleksör izokinetik kas kuvveti ve el kavrama kuvveti üzerine etkilerini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Literatürde elektrik stimülasyonu ve manyetik stimülasyonun izokinetik kuvvet üzerine etkisinin araştırıldığı ve bu iki modalitenin karşılaştırıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır (38).

İnsanların beslenme, kendine bakım gibi aktivitelerde ve kendini yeterince ifade etmesinde üst ekstremite ve elde yeterli kas gücü ve koordinasyon olması gerekir. Çalışmamız daha önceki araştırmalarda sıklıkla değerlendirilmeyen ve üst ekstremite problemlerinin tedavisinde önemli bir yeri olan el bilek fleksör kasları üzerinde yapılmıştır.

Elektrik stimülasyonu ile gelişen kas aktivitesi yapay yollarla oluşturulur. İstemli ortaya çıkan kas kasılması ile elektrik stimülasyonu ile oluşan kas kasılması arasında bazı temel farklılık mevcuttur. İlk olarak, istemli hareketlerde motor üniteler asenkronize aktive olurlar. Sıkı hiyerarşik emirler mevcut durumun devamında etkilidirler. Bu hiyerarşik çalışma sırasında ilk başta en küçük motor üniteler, akabinde daha büyük motor üniteler kasılmaya dahil olur. Bunun sonucunda maksimal istemli hareket durumunda, en büyük motor üniteler kasılmaya en son dahil olurlar ve yalnızca maksimum efor gerektiğinde kullanılırlar. Elektrik stimülasyonunda ise kas kasılması durumunda kasın mevcut çalışma düzenindeki bu emirler iptal edilir; kas innervasyonunda görevli olan aksonların biyofiziksel özelliklerinden ötürü daha büyük çaplı motor üniteler önce aktive olur, bunun sonucunda da genellikle nadir kullanılan kaslar daha sık uyarılır. Ayrıca, elektrik stimülasyonu sırasında normalde çok aktive olmayan motor üniteler daha fazla çalıştırılır ve motor ünite biyokimyasal özelliklerinde büyük değişiklikler meydana gelir. Elektrik stimülasyonunda hiyerarşik emirler devre dışı bırakıldığından, maksimal egzersiz sırasında aktive olan motor üniteler uyarılmış olur. Bu uyarım sadece seçilen kasla sınırlanır. İstenmeyen sistemik etkilerle sonuçlanmaz. Sonuç olarak, başlangıçta kaslara maksimal aktivite düzeyi

yüklenebilir ama bu durum santral sinir sistemi, kardiyovasküler sistem ya da diğer sistemlerin engellemesine ve istemli kasılma sırasında oluşabilecek aktivite düzeyine erişinceye kadar devam eder (39, 40). Elektrik stimülasyonu izole kas gruplarına uygulanabilir fakat istemli egzersizlerde bu durum söz konusu değildir. İstemli kasılmalar sırasında koordine hareketler ön plana çıkar ve bu sayede bireysel beceriler geliştirilebilir. Egzersizle kas koordinasyonunda artış sağlanırken elektrik stimülasyonunda böyle bir etki gözlenmez.

Kas kasılmasını yapay olarak indüklemek için bir başka seçenek de periferik manyetik stimülasyondur. Hücresel stimülasyon mekanizması her iki uygulama için de aynıdır. Hem elektrik stimülasyonu hem de manyetik stimülasyonda, yük, zardan geçen potansiyelde bir değişikliğe neden olan uyarılabilir bir hücre zarına akar. Yeterli bir uyarıcı uygulanırsa, membranın depolarizasyonuna ve bir aksiyon potansiyelinin başlamasına neden olabilir. Periferik manyetik stimülasyon kas kasılmasını uyaran motor aksonları uyarır ve elektrik stimülasyonunun aksine, deride akıma sebep olmaz ve büyük bir penetrasyon derinliği mevcuttur. Kaslara uygulanan tekrarlayan periferik manyetik stimülasyon merkezi sinir sistemine propriyoseptif girişi indükler. Bunu iki farklı yolla gerçekleştirir: Birincisi, stimülasyon nedeniyle mekanik reseptörlerin dolaylı aktivasyonu, kasın ritmik kasılmasına ve gevşemesinin yanı sıra titreşmesine neden olur. Bu da Ia, Ib ve II akson gruplarının depolarizasyonunu içerir. İkinci olarak, sensorimotor sinir liflerinde ortodromik ve antidromik iletim ile doğrudan aktivasyon gerçekleşir (28). Gastroknemius ve soleusun düşük yoğunluklu manyetik stimülasyonunun terminal sinir afferentlerini doğrudan aktive edebildiği ve bu nedenle serebral potansiyelleri indükleyebilir gösterilmiştir (41).

Son dönemde yapılan çalışmalarda manyetik stimülasyon solunum kaslarının fonksiyon tespitinde ve kuvvetlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmalarda hem solunum kas kuvvetini ve hem de periferik kas kuvvetini objektif olarak ölçmek için manyetik stimülasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler kooperasyon gerektirmez, tekrarlanabilir bir şekilde gerçekleştirilebilir ve ayrıca kas gücünde erken azalmaları tespit etme fırsatı sağlar. Bu nedenle özellikle nöromusküler hastalıklarda, KOAH gibi akciğer hastalıklarında ve yoğun bakım ünitelerinde tedavi gören hastalarda periferik

manyetik stimülasyon uygulama ve kullanım kolaylığı nedeniyle son dönemde ön plana çıkmıştır (30).

NMMS etkilerinin, merkezi sinir sistemi aktivitesini modüle eden büyük propriyoseptif girişten kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Merkezi sinir sisteminde periferik manyetik stimülasyon etkilerini araştıran sınırlı sayıda çalışmada, NMMS'nun spesifik spinal devrelerde propriyoseptif afferent uyarımına ve kontralateral somatosensör bölgede, talamokortikal ve interhemisferik kortiko-kortikal lifler yoluyla M1 uyarılabilirliğini arttırdığı gösterilmiştir (42, 43). Bu propriyoseptif girdi manyetik stimülasyon sırasında kasılan kasta mekanik reseptörlerin aktivasyonu ve sensorimotor afferentlerin doğrudan aktivasyonu yoluyla üretilir. Bu, sağlıklı kişilerde NMMS sonrası kas kuvvetini etkileyen kortikal ve spinal uyarılabilirliğe yol açar. Bazı yazarlar, bir işaret parmağı ekstansiyonu sırasında tekrarlayan periferik manyetik stimülasyonun beyin lezyonu olan hastalarda bölgesel serebral kan akışını etkilediğini ve artan hareket genliği ve hızının etkilenen yarımküredeki artmış serebral kan akışı ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (44).

Elektrik stimülasyonun kas fonksiyon etkilerinin incelendiği çalışmalarda önemli noktalardan biri de kullanılan akımın özelliğidir. Sağlıklı kuadriceps kasında bifazik akım ve Russian akım kullanarak bu akımların diz ekstansiyon torkuna etkisini araştıran Holcomb ve ark. bu akımlarla oluşturulan tork miktarı arasında istatistiksel anlamlı fark olmadığını bildirmişlerdir (45). Nelson ve ark tarafından elektrik kas kuvvetini arttırmak için en sık kullanılan akımın Russian akımı olduğu belirtilmiştir. Russian akımı daha derin kas liflerine etki ederek, daha fazla kas lifi aktivasyonuna yol açtığı belirtilmektedir. Bu etkiyi orta frekanslı bir akım olması nedeniyle oluşturduğu düşünülmektedir (39, 40). Bu nedenle bu çalışmada NMES grubu için uygulanan elektrik stimülasyonunda Russian akımı tercih edildi.

Haftalık uygulanan NMES seans sayısının kuadriseps kas kuvvetindeki değişiklik üzerindeki etkilerini Parker ve ark. incelemiştir. Çalışmalarında 27 sağlıklı olguyu 3 gruba ayırarak (1. Grup kontrol; 2. Grup haftada 2 kez; 3. Grup ise haftada 3 kez) ve 10 dk'lık NMES uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1., 2., 3. ve 4. hafta sonunda olgular değerlendirilmiştir. Tedavi grupları arasında yapılan karşılaştırmalarda sadece 4. hafta ölçümlerinde grup 1 ve grup 3 arasında anlamlı bir

fark tespit edilmiştir. Araştırmacılar çalışma sonucunda kuvvet eğitiminin haftada en az 3 kez yapılması gerektiğini vurgulamışlardır (46).

Uzun süreli elektrik stimülasyonu uygulamalarının kuvvet artışı sağlayacağı görüşü son döneme kadar yaygınken, Russian akımı geliştiren Kots'un çalışmalarıyla başlayan yeni dönemde kısa süreli uyarı ve dinlenme sürelerinden oluşan kuvvetlendirme protokollerinin kas kuvvetini arttırılabileceği gösterilmiştir. Haftada 3-5 kez (10 saniye uyarı-50 saniye dinlenmeden oluşan 1:5 geçiş-dinlenme oranında) ve 3-6 hafta arasında değişen sürelerde uygulanması görüşü kabul edilmektedir (39, 40). Bu bilgiler ışığında çalışmamız 5 hafta süre ile haftada 3 seans olacak şekilde gerçekleştirildi.

Kas kuvvetlendirme için optimal NMMS protokolü henüz oluşturulmamıştır. Kas kasılmasını tetiklemek için daha düşük frekansların (örneğin 5 Hz ve daha az) yalnızca kas seğirmesine neden olurken, daha yüksek frekansların (örneğin 10 Hz'nin üzerinde) sürekli kas kasılmaları ürettiği gösterilmiştir (38). Aynı zamanda yüksek frekanslı stimülasyon, manyetik stimülasyon ekipmanının aşırı ısınmasına ve dolayısıyla tüm programının etkisizleşmesine neden olabilir. Önceki çalışmalarda tork üretimi ve kas kuvvetlendirme için 5 ila 40 Hz arasında değişen frekanslar kullanılmıştır (4, 32, 47). Bu çalışmaların sonuçlarına dayanarak, çalışmamızda 10 Hz frekansında yeterli kas kasılması oluşturan bir stimülasyon yoğunluğu seçildi. Kas yorgunluğunu ve ağrıyı en aza indirmek için 25 saniyelik dinlenme fazlarını 5 saniyelik stimülasyon fazlarıyla birleştiren aralıklı bir stimülasyon yöntemi kullanıldı. Bu çalışmada, görünür kasılmaları indüklemek için stimülasyon yoğunluğu maksimum tolere edilebilir seviyeye ayarlandı ve frekans, dalga formları ve stimülasyon süresi gibi diğer değişkenler sabit tutuldu. Bu protokolün uzun süreli manyetik stimülasyon tedavi programı için uygun olduğu düşünüldü.

Manyetik başlığın yönü, boyutu ve şekli, indüklenen akımın genliğini ve derinliğini etkiler. Periferik manyetik stimülasyonda kullanılan birçok farklı başlık tipi mevcuttur. Sık kullanılan iki tanesi yuvarlak bobin ve 8 şekilli başlıktır. Hedefe odaklanma ve nüfuz derinliğine bağlı olarak başlık seçimi değişebilir. Yuvarlak başlık ile daha az odaklı ancak çapına eşdeğer bir uyarılmış alana sahip daha derin bir manyetik alan üretir. 8 şekilli başlık merkeze doğru odaklanma ile daha güçlü bir

manyetik alan üretir. Başlık hedeften uzak olduğunda, 8 şekilli başlığın ürettiği manyetik alan yuvarlak bobinden daha hızlı azalır. Bobinin yönü de önemlidir. Bobini iletken yapının uzunlamasına eksenine ile düz, teğetsel bir yönde yerleştirmek alttaki yapıları uyarmanın en etkili yoludur (29).

Çalışmamızda 5 haftalık NMES ve NMMS uygulamaları sonucunda sadece NMMS grubunda el bilek izokinetik fleksör kas gücünde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulunmuştur. Gruplar arası değerlendirmede ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kavrama gücünde her iki grupta uygulama sonrası istatistiksel olarak anlamlı artış gerçekleşirken, gruplar arasında anlamlı bir fark tespit edilememiştir.

Yang ve ark. 40 sağlıklı bireyi 2 gruba (1. Grup NMMS; 2. Grup kontrol) ayırarak gerçekleştirdikleri çalışmada, 1. Grupta bireylerin dominant kuadriseps kasına 5 hafta boyunca haftada 3 kez, maksimum tolere edilebilir yoğunlukta on beş dakikalık NMMS uyguladılar. Diz ekstansörlerinin izometrik ve izokinetik maksimum ve ortalama pik torkunu uygulama öncesi ve sonrası ölçtüler. NMMS grubunun izokinetik maksimum ve ortalama pik torku, 5 haftalık uygulamanın ardından hem 60 % sn hem de 120 % sn'lik açı hızlarında istatistiksel olarak anlamlı artış göstermiştir. Benzer şekilde Szecsi ve ark. güçlü gövdeli 22 sağlıklı bireyin fonksiyonel manyetik stimülasyon (FMS) ve fonksiyonel elektrik stimülasyonu (FES) ile indüklenen ergometre eğitim sisteminde ürettiği mekanik kuvveti karşılaştırdı. Bisiklet ergometresi sırasında kuadriseps kasına uyguladıkları manyetik stimülasyonla elektrik stimülasyonuna göre istatistiksel olarak anlamlı izometrik pik tork artışı bildirmişlerdir (48). Bustamante ve ark. şiddetli KOAH'ı olan 18 hastayı 2 gruba (1. Grup NMMS, 2. Grup klinik izlem) ayırarak 1. Grupta hastaların kuadriseps kasını 8 hafta boyunca haftada üç kez NMMS ile uyardılar. Her iki grubu kuadriseps kas kuvveti ve dayanıklılık ölçümleri, yaşam kalitesi anketleri ve altı dakikalık yürüme testi açısından karşılaştırdılar. 1. Grupta, 2. Gruba göre maksimum istemli kuadriseps kontraksiyon gücünde ve egzersiz dayanıklılığında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde artış olduğunu bildirdiler (47). Bizim çalışmamız da izokinetik kas kuvvet artışı yönünden bu çalışmalar ile benzerdi (32). Çalışmamızda periferik manyetik stimülasyonun

kuadriseps gibi büyük kas grupları dışında, el bilek fleksörleri gibi küçük kas gruplarında da kas kuvvetini arttırabildiği gösterildi.

Han ve ark. NMMS ve NMES'in karşılaştırdığı çalışmaya 17 sağlıklı gönüllü dahil etmişlerdir. Her bireyin kuadriseps kasına 24 saat aralıklarla her iki stimülasyon yöntemini de uygulamışlardır. Bireylerinde kuadriseps maksimum pik torku Cybex cihazıyla değerlendirilmiştir. Manyetik stimülasyon sırasında kuadriseps kasında oluşan maksimum izometrik pik torkun elektrik stimülasyonu sonucunda elde edilen pik torktan istatistiksel olarak daha yüksek olduğunu, aynı zamanda aynı izometrik pik torkta ölçülen VAS değerlerinin manyetik stimülasyon sırasında anlamlı ölçüde daha düşük olduğunu bildirmişlerdir (4). Bunun aksine çalışmamızda katılımcılar her iki uygulama sırasında da rahatsızlık hissi bildirmediler ve hiçbir katılımcı ağrı sebebiyle çalışmayı sonlandırmak istememiştir. Bu sonucun çalışmamızda uygulanan Russian akımının yüksek akım şiddetinde çok az ya da hiç ağrı oluşturmamasıyla ilişkili olduğu düşünüldü.

Matsuse ve ark.'nın çalışmasında 30 sağlıklı birey 3 gruba ayrılmış (1.grup hibrit program grubu NMES+istemli kasılma egzersiz programı; 2. Grup NMES; 3. Grup kontrol) 1. ve 2. Grupta bireylerin nondominant el bilek fleksör kaslarına haftada 3 seans-6 hafta süreyle Russian akım, düşük yoğunlukta NMES uygulamışlardır. 6 haftanın sonucunda 3 grupta da el bilek izometrik fleksör kas kuvvetinde ve el kavrama kuvvetinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. 1. Grupta ise uygulama öncesi ve sonrası el bilek izometrik ekstansör kas kuvvetinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Yazarlar hibrit uygulamasının tek başına NMES'ten etkin olduğunu belirtirken, grup 2 deki sonucu işe düşük yoğunluklu NMES uygulamasına bağlamıştır (49). Çalışmada hibrit uygulamanın tek başına NMES'ten daha etkin olduğunu belirtmelerine karşın hiçbir grupta el bilek fleksör izokinetik kas gücü ve kavrama kuvvetinde anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Çalışmada kullanılan Russian akımı rahatsızlık oluşturmayacak en düşük yoğunlukta kullanılmıştır. Bizim çalışmamızda da benzer süre ve seans protokolü ile NMES grubunda yüksek yoğunluklu Russian akım kullanılarak uygulama öncesi ve sonrası karşılaştırmada el kavrama gücünde anlamlı fark tespit edildi.

Bu çalışmada çeşitli limitasyonlar mevcuttu. İlk olarak kas kuvvetlendirmek için optimal NMMS protokolü belirlenmemiştir. İkinci olarak uygulama sonrası etkileri takip etmek amacıyla uzun dönem ölçümler gerçekleştirilmedi. Godin ve ark. NMES tedavisi sonrası 4 haftalık sürede hem nöral hem de kas değişiklikleriyle ilişkili kuvvet kayıpları bildirmiştir (50). Çalışmamızda gruplar arası fark tespit edilmedi. Ancak daha geniş bir popülasyonda bu sonucun değişebileceğini öngörüyoruz.

Sonuç olarak çalışmamızda NMMS'nin el bilek fleksör kas grubu gibi küçük kas gruplarında anlamlı kuvvet artışı sağladığı gösterildi. NMES uygulamasının yapılamadığı ya da yetersiz olduğu koşullarda NMMS'nin kas kuvvetinin arttırılmasının amaçlandığı fizik tedavi ve rehabilitasyon programlarında iyi bir alternatif olduğunu düşünüyoruz.

## 11. KAYNAKÇA

1. Golaszewski SM, Bergmann J, Christova M, Nardone R, Kronbichler M, Rafolt D, et al. Increased motor cortical excitability after whole-hand electrical stimulation: a TMS study. 2010;121(2):248-54.
2. Zhou SJE, reviews ss. Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. 2000;28(4):177-84.
3. Struppler A, Havel P, Müller-Barna PJN. Facilitation of skilled finger movements by repetitive peripheral magnetic stimulation (RPMS)—a new approach in central paresis. 2003;18(1):69-82.
4. Han T-R, Shin H-I, Kim I-SJAjopm, rehabilitation. Magnetic stimulation of the quadriceps femoris muscle: comparison of pain with electrical stimulation. 2006;85(7):593-9.
5. Elden H, Nacitarhan V. Üst Ekstremitte Kinezyolojisi. Tıbbi Rehabilitasyon. Ed: Oğuz H, Dursun E. Dursun N. Nobel Tıp Kitabevleri, 2. Baskı, 2004.
6. Moore KL, Dalley AF. Agur AMR. Clinically Oriented Anatomy. 6 ed: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2010. p. 671-819.
7. Turan N. El ve El Bileği. Temel ve Uygulanan Kinezyoloji. Ed: Akman N. ve Karataş M. Ankara, Haberal Eğitim Vakfı, 2003.
8. Doğan T. Fonksiyonel Anatomi Ekstremiteler ve Sırt Bölgesi. 2009;4:100-13.
9. Ganong WF. Review of Medical Physiology. 18th ed. Stamford: Apleton& Lange; 1997.
10. Guyton A, Hall JE. Tıbbi Fizyoloji. 9. ed. Nobel Tıp Kitapevi: İstanbul; s.685-697, 1996.
11. Levendoğlu F. Kan SG. Periferik sinir sistemi ve iskelet kası. Oğuz H, Dursun E, Dursun N. Tıbbi Rehabilitasyon. 3. Baskı, Nobel Tıp Kitabevi, 2009; s:41-57
12. Bingöl AF, Mutluer N. Kas Fizyolojisi. T Klin Tıp Bilimleri 1992;12(4):316-24.



13. Çikler H. İzokinetik ve İzometrik egzersiz çalışmasının kas gücü ve propriyosepsiyonu üzerine etkileri, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Hekimliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi. 2007.
14. Hopkins PM. Skeletal muscle physiology. Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain, 2006, 6.1: 1-6.
15. Guyton AC, Hall JE, Çavuşoğlu H, Yeğen BÇ, Aydın Z, Alican İ. Tıbbi fizyoloji: Nobel Tıp Kitabevleri; 2007.
16. Beyazova M, Kutsal YG. Fiziksel tıp ve rehabilitasyon: Güneş Tıp Kitabevleri; 2016.
17. Oğuz H, Dursun E, Dursun N. Tıbbi rehabilitasyon: Nobel Tıp Kitabevleri; 2004.
18. Şahin Ö. Rehabilitasyonda izokinetik değerlendirmeler. Cumhuriyet Medical Journal (CMJ), 2010, 32.4: 386-396.
19. Çikler H. İzokinetik ve İzometrik egzersiz çalışmasının kas gücü ve propriyosepsiyonu üzerine etkileri, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Hekimliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi. 2007.
20. Karacan İ. Fiziksel tıp ve rehabilitasyonda elektroterapi: Güneş Kitabevi; 2003.
21. Boyacı A. Nöromusküler Elektriksel Stimülasyon. Türkiye Klinikleri Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon-Özel Konular, 2015, 8.1: 44-50.
22. McCulloch K, Nelson C. Electrical stimulation and electromyographic biofeedback. 1995:852-71.
23. Baygutalp F. Hemiplejik üst ekstremitte rehabilitasyonunda, konvansiyonel fizik tedavi modaliteleri ve nöromusküler elektriksel stimülasyon kombinasyonun, tek başına konvansiyonel fizik tedavi modaliteleri ile karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı tıpta uzmanlık tezi. 2010.
24. Pekindil Y. Nöromusküler elektrik stimülasyonu ve izometrik egzersizin kuadriseps kasına etkilerinin TC-99m MİBİ sintigrafisi ile değerlendirilmesi.

Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı tıpta uzmanlık tezi, 2000.

25. Süslü B. Diz osteoartritli hastalarda nöromusküler elektrik stimülasyonu (NMES) ve izokinetik egzersizin yürüme analizine etkisinin karşılaştırılması. Trakya Üniversitesi Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı tıpta uzmanlık tezi. 2019.
26. Bilir E, Baysal Aİ, İrkeç C, Yılmaz N, Tokçaer A. Santral Ve Periferik Sinirlerin Manyetik Stimülasyonu. Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences. 1992;12(2):172-8.
27. Baek J, Park N, Lee B, Jee S, Yang S, Kang S. Effects of Repetitive Peripheral Magnetic Stimulation Over Vastus Lateralis in Patients After Hip Replacement Surgery. Annals of rehabilitation medicine. 2018;42(1):67.
28. Behrens M, Mau-Möller A, Zschorlich V, Bruhn S, medicine. Repetitive peripheral magnetic stimulation (15 Hz RPMS) of the human soleus muscle did not affect spinal excitability. Journal of sports science & medicine. 2011;10(1):39.
29. Kanjanapanang N, Chang KV. Peripheral Magnetic Stimulation (Transcutaneous Magnetic Stimulation). 2019.
30. Man WC, Moxham J, Polkey M. Magnetic stimulation for the measurement of respiratory and skeletal muscle function. European Respiratory Journal. 2004;24(5):846-60.
31. Turan Y, Taşbakan E. Magnetoterapi-Magnetik Akım Tedavisi. Türkiye Klinikleri Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon-Özel Konular. 2015;8(1):98-103.
32. Yang SS, Jee S, Hwang SL, Sohn MK. Strengthening of quadriceps by neuromuscular magnetic stimulation in healthy subjects. PM&R 2017;9(8):767-73.
33. Rossi S, Hallett M, Rossini PM, Pascual-Leone A, neurophysiology. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. Clinical neurophysiology. 2009;120(12):2008-39.

34. Pérez M, Lucia A, Rivero JL, Serrano A, Calbet JA, Delgado M, et al. Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M. vastus lateralis characteristics of healthy young men. *Pflügers Archiv*. 2002;443(5-6):866-74.
35. Seven B, Cobanoglu G, Oskay D, Atalay-Guzel N. Test–Retest Reliability of Isokinetic Wrist Strength and Proprioception Measurements. *Journal of sport rehabilitation*. 2019;28(7).
36. Güler H, Yildizgören MT, Üstün N, Paksoy H, Turhanoglu AD. Isokinetic assessment of the wrist muscles in females with fibromyalgia. *Archives of rheumatology*. 2016;31(3):215.
37. Wang YC, Bohannon RW, Li X, Sindhu B, Kapellusch J. Hand-grip strength: Normative reference values and equations for individuals 18 to 85 years of age residing in the United States. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2018;48(9):685-93.
38. Beaulieu LD, Schneider C. Repetitive peripheral magnetic stimulation to reduce pain or improve sensorimotor impairments: a literature review on parameters of application and afferents recruitment. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2015;45(3):223-37.
39. Vrbová G, Hudlicka O, Centofanti KS. *Application of muscle/nerve stimulation in health and disease*: Springer Science & Business Media; 2008.
40. Nelson ME, Wernick S. *Strong women stay slim*. Bantam; 1999.
41. Zhu Y, Starr A, Haldeman S, Fu H, Liu J, Wu P, et al. Magnetic stimulation of muscle evokes cerebral potentials by direct activation of nerve afferents: a study during muscle paralysis. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*. 1996;19(12):1570-5.
42. Krause P, Straube A. Peripheral repetitive magnetic stimulation induces intracortical inhibition in healthy subjects. *Neurological research*. 2008;30(7):690-4.
43. Nielsen JF, Sinkjær T. Long-lasting depression of soleus motoneurons excitability following repetitive magnetic stimuli of the spinal cord in multiple sclerosis patients. *Multiple Sclerosis Journal*. 1997;3(1):18-30.

44. Struppler A, Binkofski F, Angerer B, Bernhardt M, Spiegel S, Drzezga A, et al. A fronto-parietal network is mediating improvement of motor function related to repetitive peripheral magnetic stimulation: A PET-H2O15 study. *Neuroimage*. 2007;36:T174-T86.
45. Holcomb WR, Journal C. Is neuromuscular electrical stimulation an effective alternative to resistance training? *Strength and Conditioning Journal*. 2005;27(3):76.
46. Parker MG, Bennett MJ, Hieb MA, Hollar AC, Roe AA. Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2003;33(12):719-26.
47. Bustamante V, de Santa María EL, Gorostiza A, Jiménez U, Gáldiz JB. Muscle training with repetitive magnetic stimulation of the quadriceps in severe COPD patients. *Respiratory medicine*. 2010;104(2):237-45.
48. Szecsi J, Straube A, Fornusek C. Comparison of the pedalling performance induced by magnetic and electrical stimulation cycle ergometry in able-bodied subjects. *Medical Engineering & Physics*. 2014;36(4):484-9.
49. Matsuse H, Iwasa C, Imishi K, Nago T, Tagawa Y, Kakuma T, et al. Hybrid-training method increases muscle strength and mass in the forearm without adverse effect of hand function in healthy male subjects. *The Kurume medical journal*. 2010;57(4):125-32.
50. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(8):1291-9.

## 12. ETİK KURUL ONAY FORMU



T.C.  
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı

E-İmza

Sayı : 10840098-604.01.01-E.41134  
Konu : Etik Kurulu Kararı

19/08/2019

Sayın Dr. Sena TOLU

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz "Sağlıklı Bireylerde Unilateral El Bileği Fleksör Kaslarının Nöromusküler Manyetik Stimülasyon (NMMS) ile Kuvvetlendirilmesinin, Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) ile Kuvvetlendirilmesi ile Karşılaştırılması: Prospektif Randomize Tek Kör Araştırma" isimli başvurunuz incelenmiş olup etik kurulu kararı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Haneli ÖZBEK  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar  
Etik Kurulu Başkanı

Eki:  
-Karar Formu (2 sayfa)

Bu belge 7079 sayılı e-İmza Kanununa göre Prof. Dr. Haneli ÖZBEK tarafından 19/08/2019 tarihinde e-imzalanmıştır.  
Erişimi: <https://bys.medipol.edu.tr/ozbe-haneli> linkinden STG270925 kodu ile doğrulanabilmektedir.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSİZ OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

<b>BAŞVURU BİLGİLERİ</b>	ARAŞTIRMANIN ACIK ADI	Sağlıklı Bireylerde Unilateral El Bölge Fleksör Kaslarının Nöromusküler Manyetik Stimülasyon (NMMS) ile Karşılaştırılmasının, Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) ile Karşılaştırılması ile Karşılaştırılması: Prospektif Randomize Tek Kör Araştırma			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADUSÖYADI	Dr. Sena TOLU			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Fiz			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İstanbul			
	DESTEKLEYİCİ	-			
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input checked="" type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>

**İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU**

<b>Değerlendirilen Belgeler</b>	<b>Belge Adı</b>	<b>Tarihi</b>	<b>Versiyon Numarası</b>	<b>Dil</b>	
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ PLANI			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	DEĞERLENDİRİLEBİLİR GÖRÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
<b>Karar Bilgileri</b>	<b>Karar No: 606</b>		<b>Tarih: 01/08/2019</b>		
	Yukarıda bilgileri verilen Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırılmıştır. Gerektiği, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve araştırmanın etik ve bilimsel yönden uygun olduğuna "uygurluğu" ile karar verilmiştir.				

<b>İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU</b>	
<b>BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI</b>	Prof. Dr. Haneli ÖZBEK

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Onay	Onay	Araştırma ile İlgili	Katılım *	İmza
Prof. Dr. Şeref DEMİRAYAK	Eczacılık	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Prof. Dr. Haneli ÖZBEK	Farmakoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Doç. Dr. İlma KESKİN	İstatistik ve Embriyoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dr. Öğr. Üyesi Devrim TARAKCI	Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dr. Öğr. Üyesi Sibel DOĞAN	Patika-onkoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hikmet ÖÇÜŞK	Biyoteknoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dr. Öğr. Üyesi Keziban OLCAY	Endokrin	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

\* : Toplantıda Bulunma



T.C.  
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ

**E-Posta**

Girişimci Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı

Sayı : 10840095-604.01.01-E.10628  
Konu : Etik Kurulu Kararı

27/02/2020

Sayın Dr. Sema TOLU

Üniversitemizin Girişimci Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 01/08/2019 tarihli, 606 karar no ile etik kurul tarafından onaylanan "Sağlıklı Bireylerde Unilateral El Bölge Fleksör Kaslarının Nöromüsküler Manyetik Stimülasyon (NMMS) ile Karşılaştırılması, Nöromüsküler Elektrik Stimülasyonu (NMES) ile Karşılaştırılması ile Karşılaştırılması: Prospektif Randomize Tek Kör Araştırma" isimli çalışmanın Doç. Dr. Aylin REZVANI danışmanlığında Arş. Görv. Dr. Tulu ALTUNDERE'nin ara çalışması olarak değiştirilmesi ve ilgili işlemlerin çalışmaya çıkarması için uygun bulunmuş olup kayıt altına alınmıştır.

Bilgilerinize arz ederim.

Prof. Dr. Mansi ÖZBEK  
Girişimci Olmayan Klinik Araştırmalar  
Etik Kurulu Başkanı

**Bu belge 2019 sayılı e-İmza Kanununa göre Prof. Dr. Mansi ÖZBEK tarafından 27.02.2020 tarihinde e-imzalanmıştır.  
Evrakın <https://ibys.medipol.edu.tr/e-imsa> linkinden A3C98E13D3 kodu ile doğrulanabilmektedir.**



## 13. ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı	Tutku	Soyadı	Altundere
Doğum Yeri	Tarsus	Doğum Tarihi	29.01.1991
Uyruğu	TC	TC Kimlik No	53251080420
E-mail	tutkuerglu@gmail.com	Tel	05077214450

### Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora/Uzmanlık		
Yüksek Lisans		
Lisans	Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi	2015
Lise	Adana İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi	2009

### İş Deneyimi (Sondan geçmişe doğru sıralayın)

	Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
1.	Arş. Gör. Dr.	Medipol Mega Üniversite Hastanesi	-2018-2020
2.	Arş. Gör. Dr.	İnönü Üniversitesi FTR Anabilim Dalı	-2016-2018
3.	Pratisyen Hekim	Kahramanmaraş 112 Komuta Kontrol Merkezi	-2015-2016

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İngilizce	İyi	Orta	Orta

\* Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendirin

Yabancı Dil Sınav Notu								
KPDS	YDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE

Başarılmış birden fazla sınav varsa, tüm sonuçlar yazılmalıdır

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı			
(Diğer) Puanı			

### Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma becerisi

\*Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendirin

