

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YÜZ TRANSPLANTASYON VE KOL REPLANTASYON HASTALARI İÇİN
KİŞİYE VE HAREKETE ÖZGÜ FES ODAKLI REHABİLİTASYON SÜREÇ
TASARIMI**

Ela Naz DÖĞER

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZ TRANSPLANTASYON VE KOL REPLANTASYON HASTALARI İÇİN
KİŞİYE VE HAREKETE ÖZGÜ FES ODAKLI REHABİLİTASYON SÜREÇ
TASARIMI**

Ela Naz DÖĞER

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

(Bu tez TÜBİTAK tarafından 215E012 nolu proje ile desteklenmiştir.)

TEMMUZ 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZ TRANSPLANTASYON VE KOL REPLANTASYON HASTALARI İÇİN
KİŞİYE VE HAREKETE ÖZGÜ FES ODAKLI REHABİLİTASYON SÜREÇ
TASARIMI

Ela Naz DÖĞER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Bu tez ~~2/3~~2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Ömer Halil ÇOLAK

Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

Doç.Dr. Özlenen ÖZKAN



ÖZET

YÜZ TRANSPLANTASYON VE KOL REPLANTASYON HASTALARI İÇİN KİŞİYE VE HAREKETE ÖZGÜ FES ODAKLI REHABİLİTASYON SÜREÇ TASARIMI

Ela Naz DÖĞER

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Ömer Halil ÇOLAK

Temmuz 2018; 94 sayfa

Organ nakli geçmişi 17. yüzyıla dayanmaktadır. İlk defa 1942 yılında organ reddinin, İngiliz zoolog Sir Peter Brian Medawar tarafından bağışıklık sisteminin sebep olduğu belirtilmiştir. Buna takiben 1954 yılında Şikago'da Joseph Murray tarafından ilk böbrek nakli gerçekleştirilmiştir. Her iki bilim insanı da sırasıyla 1960 ve 1990 yılında Tıp Nobel ödülüne layık görülmüştür. Organ nakli sayısı dünya çapında giderek artmaktadır. Günümüzde mikro cerrahi tekniklerinin gelişmesi ve bağışıklığı baskılayıcı ilaçların yan etkilerinin kayda değer şekilde azaltılması kompozit doku nakil operasyonunun yolunu açmıştır. Kompozit dokular, yüz, el, ayak, gırtlak, karın ön duvarı, ince barsak, vb. gibi birden fazla doku içeriği olan yapıları kapsamaktadır. Kompozit doku nakli, vücut bütünlüğünü bozan ve fonksiyon kaybına yol açacak şekilde doku kaybı yaşayan hastalara form ve fonksiyon açısından iyileştirme ve yaşam kalitesini artırmak amacıyla uygulanan ameliyatlardır.

Bu çalışmada kompozit doku nakilleri içerisinde yer alan yüz ve kol nakilleri olguları çalışmaya dahil edilmiştir. Aynı zamanda ani travma sonucu kol replantasyon operasyonu geçirmiş olgularda çalışmamıza dahil edilmiştir. Yapılan başarılı transplantasyon ve replantasyon sonrasında hastaların iyileşme süreçleri ve doğru otomatikleşmiş hareket fonksiyonlarının oluşturulması gerektiği önemini ön plana çıkarmıştır. Bu iyileşme sürecinde karşılaşılan en büyük zorluk hastaların sinir reinervasyonuna bağlı olarak uzayan hareket yetenekleridir. Sinirsel yenilenme oluşsa bile hastanın hareketlerinin normal sağlıklı bir insanın hareketlerine benzer hale dönüşmesi çok uzun bir sürece yayılır. Fizik tedavide kullanılan elektriksel stimülasyonlarla bu sürece katkıda bulunma işlemi genel bir stimülasyon mekanizmasına dayandığı için belirli hareketleri tanımlamak ve hastanın motor yeteneklerindeki gelişimi gözlemlemek çok zordur. Çalışmamızın motivasyonunu oluşturan bu problem kas dinamikleri ve beyin plastisitesi odaklı rehabilitasyon süreci tasarımı ve analizini kapsamaktadır. Tam yüz nakil olguları, çift kol nakil olguları ve scapular kol replant olgularının operasyon sonrası iyileşme sürecini hızlandırılması açısından en efektif rehabilitasyon sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmada bu olgulardan alınan biyomedikal elektrofizyolojik verilerin bilgisayar ortamında oluşturulan çalışma hedefleri göz önünde bulundurularak çoklu algoritmalar oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bunların yanı sıra bu olgular başarı nakil operasyonu geçirmiş bulunan ve dünya üzerinde sayılı olgular olması bu olguların ve sağlıklı bireylerin beyin dinamikleri, kas ve sinir iletim mekanizmalarını çözülmesi ve yorumlanması açısından oldukça değerli verilerin oluşumu sağlamıştır. Elde edilen verilerin analizi sonucunda kas

dinamiğine ve beyin plastisitesine odaklanan kişiselleştirilmiş bir rehabilitasyon sistemi oluşturuldu. Kişiselleştirilmiş ve harekete özel FES odaklı rehabilitasyon sistemi, hastaların sıklıkla tekrarlayan, yoğunlaştırılmış hareket tedavisi, taklit öğrenme (görsel imitasyon), zihinsel uygulama, hedef ve görev odaklı eğitim, doğru hareket eğitimi, yardımcı hareket yoluyla ilerlemesini sağlamak için rehabilitasyon uygulamalarının tasarlanmasıyla kullanılmıştır. Hastaların nakil özellikleri doğrultusunda oluşturulan kayıt sistemi tekrarlanan kayıtlarla güncellendi. Rehabilitasyon sonrası elde edilen kayıtlara göre, harekete özgü kaslardaki organizasyonun arttığı tespit edildi. Benzer şekilde rehabilitasyon molası sırasında rehabilitasyon duraklatıldı ve hastalar biraz dinlendi. Bu dinlenme döneminden önce ve sonra yapılan kayıtlar incelendiğinde, hastaların hareketleri gerçekleştirme kabiliyetlerinde zayıfladıkları ve harekete özgü kas kullanımında düzensizlik olduğu tespit edilmiştir. Bu, analizler doğrultusunda tasarladığımız ve güncellediğimiz sistemin, geleneksel yöntemlere kıyasla, kasların hareket öğrenme ve fonksiyonel elektriksel stimülasyonu sayesinde daha başarılı olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Kompozit doku, Yüz Nakli, Kol Nakli, Elektromiyografi (EMG), Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon (FES), Rehabilitasyon, Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD)

JÜRİ: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ
Doç. Dr. Özlenen ÖZKAN

ABSTRACT

PERSONALIZED AND MOVEMENT SPECIFIC FES ORIENTED REHABILITATION PROCESS DESIGN FOR FACE TRANSPLANT AND ARM REPLANTATION PATIENTS

Ela Naz DÖĞER

MSc Thesis, in Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK

July 2018; 94 pages

The history of organ transplantation dates back to 17th century. In 1942, British zoologist Sir Peter Brian Medawar indicated for the first time that organ rejection occurred due to immune system. Later in 1954, Joseph Murray performed the first kidney transplant in Chicago. Both scientists were deemed worthy of the Nobel Prize in Medicine in 1960 and 1990 respectively. The number of organ transplants gradually increases around the world. Recent improvements in microsurgical techniques and considerable reduction in the side effects of immunosuppressive drugs have paved the way for composite tissue transplantation. Composite tissues involve structures containing multiple tissues such as face, hands, feet, larynx, anterior abdominal wall, small intestines and etc. Composite tissue transplantation is an operation performed on patients with tissue loss impairing physical integrity and causing loss of function with the aim of improving the form and function of that tissue and increasing patients' quality of life.

This study involves face and arm transplant cases among other composite tissue transplantations. Patients who previously had an arm replantation due to sudden traumas were also included in our study. Successful transplants and replantations highlight that such operations are important for the recovery period of patients and that correct, automated movement functions must be created. The biggest challenge in recovery process is the extended period of time needed to restore movement capability of patients due to nerve reinnervation. Although neural regeneration takes place, it takes a very long time for the patient to move like a normal, healthy individual. Contribution of electrical stimulations used in physical therapy to this process is based on a general stimulation mechanism. It is thus very hard to describe some specific movements and to observe the improvement in motor capabilities of patients. This challenge constitutes the motive behind our study, involving muscle dynamics and brain plasticity-oriented rehabilitation process design and analysis. The aim was to create the most effective rehabilitation system to accelerate the post-operative recovery period of full-face, double arm transplant and scapular arm replantation cases. Considering the aims of the study, multiple algorithms were created and analyses were performed in computer environment based on biomedical electrophysiological data obtained from these patients. Valuable data were obtained as these cases with a history of successful transplant operation are limited in number around the world and they provide a considerable contribution in the understanding and interpretation of brain dynamics, muscular and neural transmission mechanism. A personalized rehabilitation system focusing on muscular dynamics and brain plasticity was created as a result of the analysis of obtained data. Personalized and movement specific FES oriented rehabilitation system was used by designing

rehabilitation practices to make sure patients go through frequently repetitive, intensified movement treatment, imitative learning (visual imitation), mental practice, target/task-oriented training, correct movement training, assisted movement training and to regulate the organization of muscle and brain dynamics as a result of these tasks. Registry system created in line with transplant characteristics of patients was updated with repeated records. According to the records obtained after the rehabilitation, it was found that organization in movement specific muscles had improved. Similarly, rehabilitation was paused during the rehabilitation break and patients had some rest. When the records kept before and after this resting period were analyzed, it was found that patients had weakening in their capability to perform movements and there was disorganization in movement specific muscle use. This shows us that the system we designed and updated in line with analyses has been more successful thanks to movement learning and functional electrical stimulation of muscles compared to conventional methods.

KEYWORDS: Composite tissue, Face transplant, Arm transplant, Electromyography (EMG), Functional Electrical Stimulation Rehabilitation (FES) and Wavelet Packet Transformation (WPT)

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ
Assoc. Prof. Dr. Özlenen ÖZKAN

ÖNSÖZ

Üniversite lisansında beri çalışma imkânı bulduğum, çalışmalar boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, beni destekleyip yönlendiren, teşvik eden, daima en iyinin ve doğrunun olması için çalışan ve benim yetişmem için emeğini esirgemeyen, her zaman desteklerini hissettiren, hayatımın her döneminde örnek almaya devam edeceğim değerli danışmanım Doç.Dr. Ömer Halil ÇOLAK'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Ekip ruhunu yaşatan, çalışmalarımız boyunca eşsiz desteği, çalışma tutkusu ile motive ettiği, işlere keyifli bakmamı sağladığı, verdiği öneriler ve sunduğu eleştirilerle sadece tezin oluşumuna değil akademik yaşamımın bundan sonrasına da eşsiz katkılarda bulunan Öğr.Gör. Kadir GÖK'e teşekkür ederim.

Yapılması imkânsız gözükken çok sayıda nakil ameliyatlarını başarıyla gerçekleştiren Doç.Dr. Özlenen ÖZKAN ve Prof.Dr. Ömer ÖZKAN hocalarıma katkılarından ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca fizik tedavi konusunda bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen değerli Kadriye TOMBAK'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Bir benzerini başka kimsede görmediğim azmi ve sabrıyla, kafamda hep daha iyisini yapmam gerektiğini ve yapabileceğimi söyleyen ses oldukları için, ne zaman ihtiyaç duysam yanımda oldukları için canım ikizim ve ablalarım; her zaman yanımda olan, fedakârlıkları, hayatlarındaki her şeyi evlatları ekseninde düzenlemeye çalışan, fikirleri ve destekleriyle motivasyonumu hep yüksek tutan, en önemlisi sevgilerini bizden esirgemeyen canım anneme ve canım babama bütün kalbimle minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Cerrahi Operasyonların Tanımlamaları.....	3
2.1.1. Yüz nakli cerrahisi	4
2.1.2. Kol nakli cerrahisi	5
2.1.2.1. Çift kol nakli	5
2.1.2.1. Kol replantasyon	6
2.2. Uyarılabilir Dokulardan Kaslar	7
2.2.1. Mimik kasları	9
2.2.1.1. Üst yüz kasları.....	10
2.2.1.2. Orta ve alt yüz kasları	11
2.2.2. Üst ekstremite kasları.....	12
2.3. Elektromiyografi	14
2.3.1 Elektromiyografi tarihçe	14
2.3.2. EMG sinyallerindeki gürültü kaynakları.....	15
2.3.2.1. Elektrottaki doğal gürültü	15
2.3.2.2. Hareket artefaktı.....	15
2.3.3. Elektromiyografi sinyal analiz teknikleri.....	16
2.3.3.1. Wavelet dönüşümü.....	17
2.3.3.2. Görgül kip ayrışımı	19
2.4. Elektriksel Stimülasyon	19
2.5.1. Elektriksel stimülasyon tarihçesi	19
2.5.2. Elektriksel stimülasyon çeşitleri	20
2.5.2.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon (FES)	20

3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. EMG ve FES Cihazları EMG Sinyal İşleme Algoritması.....	22
3.1.2. EMD (Empirical Mode Decomposition) algoritması ve filtre modelleri.....	22
3.1.3. Dalgacık paket dönüşüm ağacı	24
3.2. Kol Replant Olgularına Özgü Rehabilitasyon Süreci Tasarımı	25
3.2.1. Skapular sol kol replant olgusu P.L.	26
3.2.1.1. Kol kaslarının sınıflandırılması ve EMG elektrot pozisyonu	26
3.2.1.2. EMG kaydının alınması	28
3.2.1.3. FES odaklı rehabilitasyon sistemi için uygulanan prosedür	30
3.2.2. Skapular sağ kol replant olgusu O.M.D.....	36
3.2.2.1. Kol kaslarının seçimi ve elektrot pozisyonun oluşturulması	37
3.2.2.2. EMG kaydının alınması	38
3.2.2.3. FES odaklı rehabilitasyon için uygulanan prosedür.....	39
3.3. Yüz Nakli Olgularına Özgü FES Odaklı Rehabilitasyon Tasarımı	43
3.3.1. Yüz kaslarının seçimi ve elektrot pozisyonun oluşturulması.....	43
3.3.2. Tam yüz nakli U.A.....	47
3.3.2.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon için uygulanan prosedür	47
3.3.3. Tam yüz nakli T.Ç.....	49
3.3.3.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon için uygulanan prosedür	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Scapular Sol Kol Replant Olgusu P.L. Bulguları.....	51
4.1.2. Sol kol (replantasyon geçiren kolu) bulguları.....	51
4.1.2.1. Baş parmak abdüksiyon hareketi	51
4.1.2.2. Baş parmak addüksiyon hareketi	53
4.1.2.3. Baş parmak fleksiyon hareketi	55
4.1.2.4. Yumruk hareketi.....	57
4.1.2.5. Kalem tutma hareketi	59
4.2. Kol Nakli Olgu 3 (Scapular Sol Kol Replant Olgusu O.M.D.).....	61
4.2.1. Sağ kol (replantasyon geçiren kolu) bulguları	62
4.2.2.1. Baş parmak abdüksiyon hareketi	62
4.2.2.2. İşaret parmak kasma hareketi.....	63
4.2.2.3. Dört parmak ekstensiyon hareketi.....	65
4.2.2.4. Yumruk hareketi.....	66
4.2.2.5. Silindir kavrama hareketi	68

4.3. Tam Yüz Nakli Olgusu T.Ç.	69
4.3.1. Tam yüz nakli olgusu T.Ç. bulguları	70
4.3.1.1. Kaş kaldırma hareketi	70
4.3.1.2. Göz kapama hareketi.....	71
4.3.1.3. Islık çalma hareketi	73
4.3.1.4. Dişleri gösterme hareketi	75
4.3.1.5. Üzgün ifadesi hareketi.....	77
4.4. Tam Yüz Nakli Olgusu U.A.....	78
4.4.1. Tam Yüz Nakli olgusu U.A. bulguları	78
4.4.1.1. Kaş kaldırma hareketi	78
4.4.1.1. Göz kapama hareketi.....	80
4.4.1.1. Islık çalma hareketi	81
5. SONUÇLAR	83
6. KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüz Transplantasyon ve Kol Replantasyon Hastaları için Kişiyeye ve Harekete Özgü FES Odaklı Rehabilitasyon Süreç Tasarımı.” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.



02/07/2018

Ela Naz Döğeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

- * : kompleks eşleniği
- A_{ort} : kanalların değerlerinin ortalaması
- M_i : sinyalin maksimum noktaları
- e_{ort_i} : i.nci kanalın ortalama değeri
- m_k : sinyalin minimum noktaları
- $\omega_{s,\tau}(t)$: dalgacık ya da ana dalgacık fonksiyonu
- $g(t)$: dönüşümü yapılacak fonksiyon
- $h(n)$: sinyalin üst ve alt zarflarının ortalaması
- s : ölçek parametresi
- a : son düğümdeki alçak frekanstan itibaren enerji değerleri
- d : daubechies derecesi
- i : kanalın numarası
- k : hareketin numarası
- $r(n)$: IMF fonksiyonları artığı
- $\alpha(n)$: IMF fonksiyonları
- σ : standart sapma değeri
- τ : kaydırma parametresi
- $\omega(x)$: dalgacık fonksiyonu

Kısaltmalar

- ADD : Ayrık Dalgacık Dönüşümü
- DPD : Dalgacık Paket Dönüşümü
- EEG : Elektroensefalografi
- EMD : Empirical Mode Decomposition
- EMG : Elektromiyografi
- EMS : Elektriksel Kas Stimülasyonu
- ETS : EMG Tetiklemeli Stimülasyon
- FES : Fonsiyonel Elektriksel Stimülasyon
- fMRI : Fonksiyonel Manyetik rezonans görüntüleme
- IRB : Institutional Review Board
- KSFD : Kısa Süreli Fourier Dönüşümü
- MCS : Myoelectric Control Systems
- NMES : Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu
- RETS : Karşılıklı EMG Tetiklemeli Stimülasyon
- SDD : Sürekli Dalgacık Dönüşümü
- TENS : Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu
- TMS : Transkraniyal Manyetik Stimülasyon
- VCA : Vaskülerize Kompozit Allotransplantasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yüz nakli operasyonu	4
Şekil 2.2. Akdeniz Üniversitesi yüz nakli operasyonları öncesi ve sonrası.....	5
Şekil 2.3. Kol nakli	6
Şekil 2.4. Kol replantasyonu.....	7
Şekil 2.5. Çizgili kasların iç yapısı ve kas lifi.....	8
Şekil 2.6. Çizgili kasların kasılma ve gevşemesi.....	8
Şekil 2.7. Yüz kasları.....	9
Şekil 2.8. Vücut düzlemleri	12
Şekil 2.9. Üst ekstremitte kasları hareketlerinin gösterimi	13
Şekil 2.10. Üst ekstremitte kasları	13
Şekil 2.11. Sabit güçte kastan alınan EMG sinyalinin frekans spektrumu	16
Şekil 2.12. Dalgacık analizinde ölçek-zaman alanı	17
Şekil 2.13. Örnek dalgacık şekilleri.....	18
Şekil 2.14. FES motor nöron stimülasyonu	21
Şekil 3.2. EMG ve FES uygulamasının şeması	23
Şekil 3.1. Yüzey EMG ve FES kayıt düzeneği.....	24
Şekil 3.3. El bölgesi elektrot pozisyonu	27
Şekil 3.4. Orta kol elektrot pozisyonu	27
Şekil 3.5. Üst kol elektrot pozisyonu	27
Şekil 3.6. Dalgacık paket ağacı 7 düğümü.....	28
Şekil 3.7. P.L. sağlıklı sol kol ilk 15 harekete özgü etkin kas noktaları	31
Şekil 3.8. P.L. sağlıklı sol kol son 15 harekete özgü etkin kas noktaları.....	32
Şekil 3.9. P.L. ilk 10 hareket uyarım noktaları ve akım değerleri	33
Şekil 3. 10. P.L. 10-20 arası hareketlerin uyarım noktaları ve akım değerleri	34
Şekil 3.11. P.L. son 10 hareket uyarım noktaları ve akım değerleri.....	35

Şekil 3.12. P.L. el modeli ile hareketlerin taklidi	36
Şekil 3.13. O.M.D. yerleştirilen elektrot-kas noktaları.....	37
Şekil 3.14. O.M.D sağlıklı sağ kol ilk 4 harekete özgü etkin kas noktaları.....	39
Şekil 3.15. O.M.D sağlıklı sağ kol sonraki 8 harekete özgü etkin kas noktaları	40
Şekil 3.16. O.M.D. sağlıklı sağ kol son 7 harekete özgü etkin kas noktaları	41
Şekil 3.17. O.M.D. noktaları ve akım-elektrot değerleri	42
Şekil 3.18. Yüz nakillerinde çalışma organizasyonu diyagramı.....	44
Şekil 3.19. Yüz nakli olgularına yerleştirilen elektrot-kas noktaları	45
Şekil 3.20. Gönüllü grubu etkin elektrot tablosu	46
Şekil 3.21. U.A. uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri	48
Şekil 3.22. T.Ç. uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri	50
Şekil 4.1. Sağlıklı sağ kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi	51
Şekil 4.2. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi.....	52
Şekil 4.3. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi.....	52
Şekil 4.4. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi.....	53
Şekil 4.5. Sağlıklı sağ kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi	53
Şekil 4.6. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi.....	54
Şekil 4.7. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi.....	54
Şekil 4.8. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi.....	55
Şekil 4.9. Sağlıklı sağ kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi.....	55
Şekil 4.10. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi	56
Şekil 4.11. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi	56
Şekil 4.12. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi	57
Şekil 4.13. Sağlıklı sağ kol için yumruk hareketi analiz verisi.....	57
Şekil 4.14. Sol replant kol için yumruk hareketi analiz verisi.....	58
Şekil 4.15. Sol replant kol için yumruk hareketi analiz verisi.....	58

Şekil 4.16. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi.....	59
Şekil 4.17. Sağlıklı sağ kol için kalem tutma hareketi analiz verisi	59
Şekil 4.18. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi.....	60
Şekil 4.19. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi.....	60
Şekil 4.20. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi.....	61
Şekil 4.21. Sağlıklı sol kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi	62
Şekil 4.22. Sağ kol replant için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi	62
Şekil 4.23. Sağ kol replant için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi	63
Şekil 4.24. Sağlıklı sol kol için işaret parmak hareketi analiz verisi	63
Şekil 4.25. Sağ kol replant için işaret parmak hareketi analiz verisi	64
Şekil 4.26. Sağ kol replant için işaret parmak hareketi analiz verisi	64
Şekil 4.27. Sağlıklı sol kol için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi	65
Şekil 4.28. Sağ kol replant için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi	65
Şekil 4.29. Sağ kol replant için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi	66
Şekil 4.30. Sağlıklı sol kol için yumruk hareketi analiz verisi	66
Şekil 4.31. Sağ kol replant için yumruk hareketi analiz verisi	67
Şekil 4.32. Sağ kol replant için yumruk hareketi analiz verisi	67
Şekil 4.33. Sağlıklı sol kol için silindir kavrama hareketi analiz verisi.....	68
Şekil 4.34. Sağ kol replant silindir kavrama hareketi analiz verisi.....	68
Şekil 4.35. Sağ kol replant için silindir kavrama hareketi analiz verisi.....	69
Şekil 4.36. Gönüllü ortalaması için kaş kaldırma hareketi analiz verisi.....	70
Şekil 4.37. Yüz nakli T.Ç. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi.....	70
Şekil 4.38. Yüz nakli T.Ç. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi.....	71
Şekil 4.39. Gönüllü ortalaması için göz kapama hareketi analiz verisi.....	71
Şekil 4.40. Yüz nakli T.Ç. için göz kapama hareketi analiz verisi	72
Şekil 4.41. Yüz nakli T.Ç. için göz kapama hareketi analiz verisi	72

Şekil 4.42. Yüz nakli T.Ç. İçin göz kapama hareketi analiz verisi.....	73
Şekil 4.43. Gönüllü ortalaması için ıslık çalma hareketi analiz verisi.....	73
Şekil 4.44. Yüz nakli T.Ç. için ıslık çalma hareketi analiz verisi.....	74
Şekil 4.45. Yüz nakli T.Ç. için ıslık çalma hareketi analiz verisi.....	74
Şekil 4.46. Yüz nakli T.Ç. için ıslık çalma hareketi analiz verisi.....	75
Şekil 4.47. Gönüllü ortalaması için dişleri gösterme hareketi analiz verisi.....	75
Şekil 4.48. Yüz nakli T.Ç. için dişleri gösterme hareketi analiz verisi.....	76
Şekil 4.49. Yüz nakli T.Ç. için dişleri gösterme hareketi analiz verisi.....	76
Şekil 4.50. Gönüllü ortalaması için üzgün ifadesi analiz verisi.....	77
Şekil 4.51. Yüz nakli T.Ç. için üzgün ifadesi analiz verisi.....	77
Şekil 4.52. Yüz nakli T.Ç. için üzgün ifadesi analiz verisi.....	78
Şekil 4.53. Gönüllü ortalaması için kaş kaldırma hareketi analiz verisi.....	78
Şekil 4.54. Yüz nakli U.A. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi	79
Şekil 4.55. Yüz nakli U.A için kaş kaldırma hareketi analiz verisi	79
Şekil 4.56. Gönüllü ortalaması için göz kapama hareketi analiz verisi	80
Şekil 4.57. Yüz nakli U.A. için göz kapama hareketi analiz verisi	80
Şekil 4.58. Yüz nakli U.A için göz kapama hareketi analiz verisi	81
Şekil 4.59. Gönüllü ortalaması için ıslık çalma hareketi analiz verisi.....	81
Şekil 4.60. Yüz nakli U.A. için ıslık çalma hareketi analiz verisi	82
Şekil 4.61. Yüz nakli U.A için ıslık çalma hareketi analiz verisi	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye’de gerçekleşen yüz ve kol nakilleri ilgili bilgiler.....	3
Çizelge 2.2. Üst yüz kasları	10
Çizelge 2.3. Orta ve üst yüz kasları	11
Çizelge 3.1. P.L olgusuna yaptırılan hareketler	26
Çizelge 3.2. O.M.D. yaptırılan hareketler.....	37
Çizelge 3.3. Yüz nakli olgularına yaptırılan ifadeler	44
Çizelge 3.4. Yüz nakli olgularına yerleştirilen elektrot-kas noktaları	45

1. GİRİŞ

İlk organ nakli denemeleri 17. yüzyıldan itibaren başlamıştır. O zamanlar karşılaşılan en büyük problem naklin başarısız sonuçlanması ve hastanın hayatını kaybetmesidir. İlk defa Medawar (1942) tarafından nakil başarısızlığının sebebinin bağışıklık sistemi olduğunu belirtmiş ve Tıp Nobel ödülünü almıştır. Şikago 'da Murray (1954) tarafından ilk böbrek nakli gerçekleştirilmiş olup Tıp Nobel ödülünü almıştır. Nakil ile ilgili problem çözüldükten sonra dünya üzerinde çeşitli organ nakli operasyonları yapılmaya devam etmektedir.

Günümüzde mikro cerrahi tekniklerinin gelişmesi ve bağışıklığı baskılayıcı ilaçların yan etkilerinin kayda değer şekilde azaltılması kompozit doku nakillerinin yolunu açmıştır. Kompozit doku nakli, vücut bütünlüğünü bozan ve fonksiyon kaybına yol açacak şekilde kompozit doku kaybı olan hastalara form ve fonksiyon açısından iyileştirme ve yaşam kalitesini artırmak amacıyla uygulanan ameliyatlardır. Dünyada ve ülkemizde yapılan başarılı kompozit doku nakilleri olarak yüz nakli ve kol nakilleri yer almaktadır. Yapılan başarılı nakiller sonrasında hastaların iyileşme süreçlerinin önemini de ön plana çıkarmıştır. Bu iyileşme sürecinde karşılaşılan en büyük zorluk hastaların sinir reinervasyonuna bağlı olarak uzayan hareket yetenekleridir. Sinir uzama hızının en iyi koşullarda yaklaşık yılda 1 mm olması sonucu nakil yapılan uzuvdaki kasların denervasyonunun tetiklenmesi olası bir sorundur. Ek olarak sinirsel yenilenme oluşsa bile hastanın hareketlerinin normal sağlıklı bir insanın hareketlerine benzer hale dönüşmesi çok uzun bir sürece yayılır. Fizik tedavide kullanılan elektriksel stimülasyonlarla bu sürece katkıda bulunma işlemi genel bir stimülasyon mekanizmasına dayandığı için belirli hareketleri tanımlamak ve hastanın motor yeteneklerindeki gelişimi gözlemlemek çok zordur. Bu kapsamda Çolak Ö. ve ekibimizin yaptığı güncel çalışmada, tam yüz naklinden sonra duygusal ifadelerin değerlendirilmesi ve fonksiyonel elektriksel stimülasyon kullanılarak yüz ifadelerinin geliştirildiği gösterilmiştir (Topçu vd. 2016; Topçu vd. 2017). Aynı ekibin diğer bir çalışmasında yüz nakli hastalarında duygusal ifadelerin görüntü tabanlı analizi ile duygusal gelişimi değerlendirilmiştir (Bedeloğlu vd. 2017).

Bu tezde, scapular kol replant ve yüz nakli hastalarının kas dinamikleri ve beyin plastisitesi odaklı rehabilitasyon süreci tasarımı ve analizi amaçlanmıştır. 215E012 TÜBİTAK 1001 projesi tarafından desteklenmiştir. Proje kapsamında Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS), Fonksiyonel Manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), Elektroensefalografi (EEG) ve çok kanallı Elektromiyografi (EMG) ile oluşturulan prosedürler dahilinde kayıtları alınmış ve analiz edilmiştir. Beyin plastisitesi, beynin dış ve iç etkenlere karşılık yapısal ve işlevsel bağlantılarının yeniden düzenlenmesi ya da yeniden bağlantılar kurma çabası olarak tanımlanır. Beynin duysal ve motor korteksin nakil ve replant sonrası çoklu beyin dinamikleri analizi ile keşfedilmeye çalışılmıştır. Kontrol grubu ve olgulardan alınan yanıtlar analiz edildikten sonra karşılaştırılmalı istatistiksel metotlar kullanılarak farklılıklar ortaya konulmuştur. TMS ile motor korteksin yeniden organizasyonu ve sıcak nokta temelli analizleri sunulmuştur (Gök vd. 2017; Gök vd. 2017; Döğler vd. 2017). Bu tezde çok kanallı EMG ve kişiye ve harekete özgü FES odaklı rehabilitasyon sistemi kullanılarak hastaların iyileşme süreçleri ve beyin organizasyonunun düzenlenmesi desteklenmiştir. Periyodik şekilde yapılan rehabilitasyon uygulaması dinlenme durumlarındaki zamanlar ile kıyaslanarak rehabilitasyonun etkisi

ortaya konulmuştur. 3 yüz nakli olguları EMG kaydı, 12 hareket, 14 kanallı ve 2kHz örneklemeyle alınmıştır. Kontrol grubu için aynı prosedür uygulanmış olup, 30±10 yaş arası 20 kişilik erkek gruptan yüz bölgesinden kayıt alınmıştır. 2 tek kol replant olgularından EMG kaydı, sol replant kol olgusu 17 yaşında olan P.L. 34 hareket, 21 kanallı 2kHz örneklemeyle alınmış olup 5 yaşında olan sağ kol replant O.M.D. EMG kaydı, 26 hareket, 10 kanallı 2kHz örneklemeyle alınmıştır. Replant olgularımız tek kol replant oldukları için sağlıklı kollarında aynı prosedürler dahilinde alınan kayıtlar karşılaştırılmıştır. EMG kayıtlarında öncelikle filtreleme işlemleri uygulanmıştır. Empirical mod ayrışımı (EMD) filtreleme algoritması kullanılmış olup şebeke hattı gürültüsü, beyaz gauss gürültüsü ve hareket artefaktı özel algoritmalar ile kullanılmıştır. Bu işlemden sonra EMG sinyalinin anlamlı olduğu aralık butterworth filtre yapısı ile 5 yüksek geçiren ve 450 alçak geçiren filtre kullanılarak filtrelenmiştir. Daha sonra dalgacık paket enerji değerleri her hareket içerisinde her kanal için hesaplanmıştır. Kontrol grup ve replant olgularda sağlıklı kol enerji değerleri eşik değer algoritması belirlenerek harekete özgü kaslar seçilmiştir. Olgularda ise bu etkin elektrotların karşılaştırılmalı analizleri yapılmış olup hareketi yapma yoğunluklarına göre akım-elektrot grafikleri ve tabloları oluşturulmuştur. Olguların FES için akım ve elektrot tabloları hazır konuma getirildikten sonra rehabilitasyon haftalık sıklıkları ve ev egzersizleri hazırlanmış olup doğru hareket yapma beceresine dayanan elektrikli egzersizler yaptırılmıştır. Kol olguları için rehabilitasyon seanslarında hareket destekli ve desteksiz olarak 2 türlü yaptırılmıştır. Yüz olguları için yüz felci egzersizleri yaptırılmıştır. Ortalama 2018 yılında Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran'ın yarısına kadar minimum 24 saat 12 seans maksimum 50 saat 25 seans rehabilitasyon süreci uygulanmıştır. 2017 yılında Mart, Nisan ve Mayıs'a kadar ortalama 15 seans olgulara rehabilitasyon uygulanmıştır. 2 periyodik rehabilitasyon döneminde başlangıç, bitiş ve EMG prosedürü uygulanmış olup periyot arasında olgular 1 yıl dinlenmeye bırakılmışlardır. Bu çalışmada her iki periyodik arada FES 'in iyileşme sürecine olan olumlu katkısını ortaya koymuştur. Dinlenim durumuna giren hastalarda iyileşme süreçleri rehabilitasyon periyoduna göre yavaşlama tespit edilmiş olup genlik düşüşü ve hareketi unutma yani kas organizasyonun değişmesine sebep olmuştur. Aynı zamanda tezde 2018 yılı 2. yarısında oluşturulan FES uygulamasında gelişim sürecindeki etkisi de ortaya konulmuştur.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Cerrahi Operasyonların Tanımlamaları

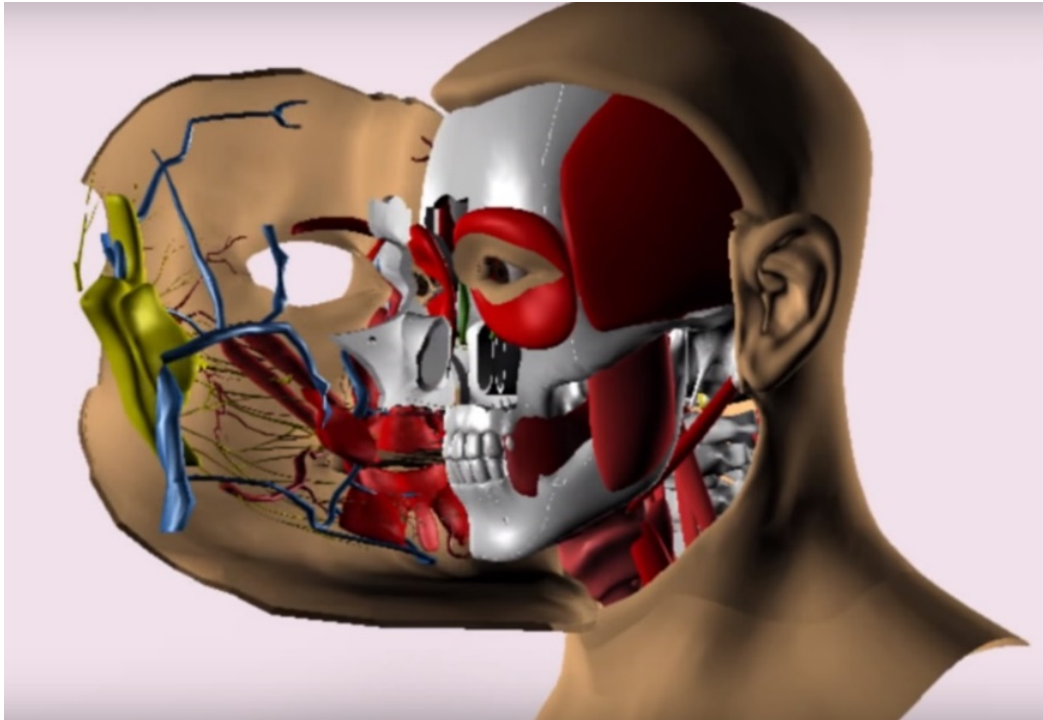
Çalışmada yer alan yüz nakil, kol nakil ve kol replantasyon tanımlamaları bu bölüm içerisinde yer almaktadır. (Kaya vd. 2016)'da Türkiye'de gerçekleşen yüz ve kol nakilleri ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 2.1. Türkiye'de gerçekleşen yüz ve kol nakilleri ilgili bilgiler

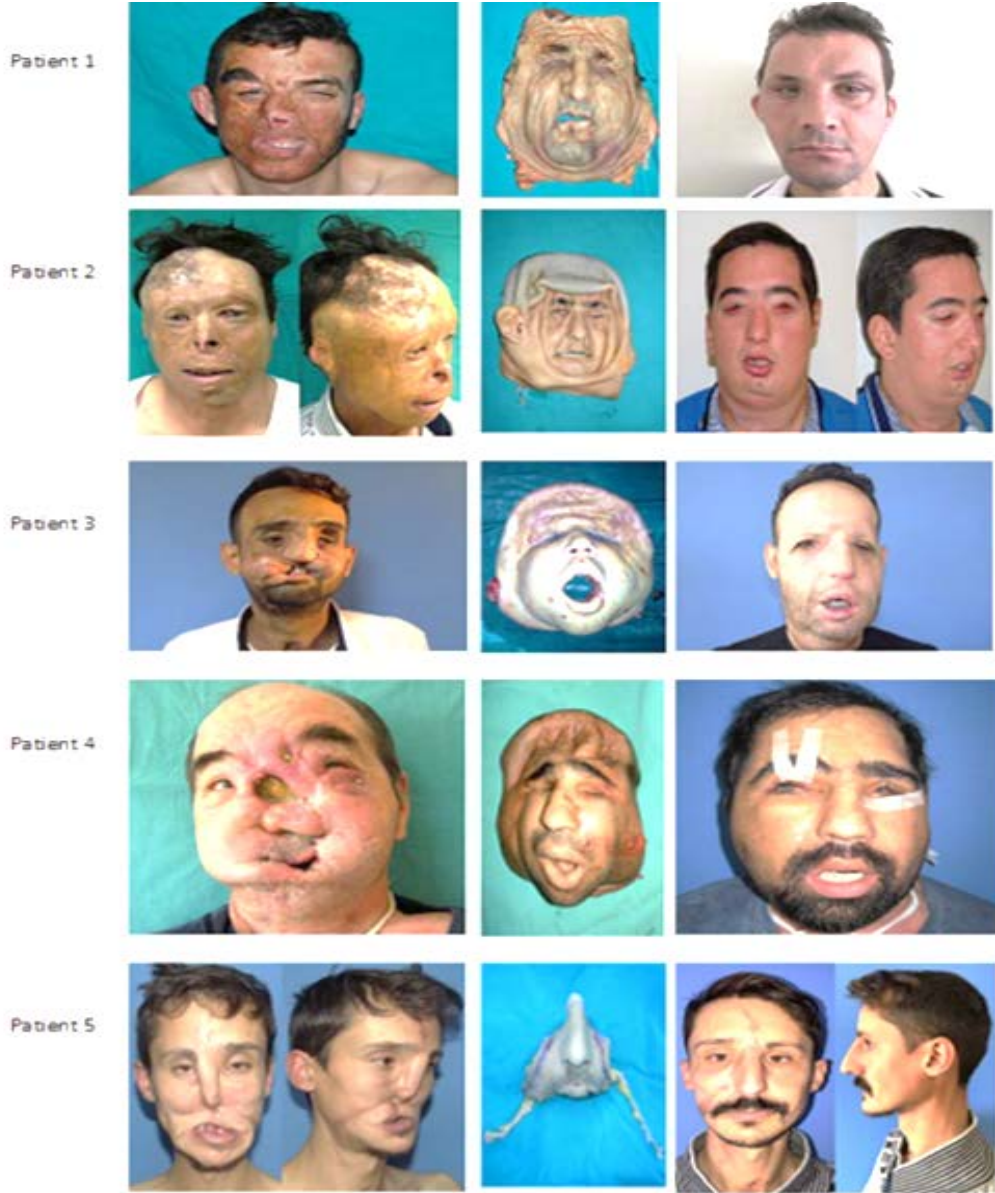
Nakil ve replantasyon tarihi	Gerçekleştiren ekip	Açıklama
2010 Eylül Ç. Kol Nakli Olgusu: Cihan Topal	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de ilk, dünyada da 16'ncı Çift Kol Nakli.
2010 Ekim Kol Replantasyon Olgusu: Pelin Leyman	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	9 yaşında travma sonrası sol kolu kopan hastanın kol replantasyon işlemi.
2012 Ocak Tam Yüz nakli Olgusu: Uğur Acar	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de yapılan ilk yüz nakli
2012 Ocak Üçlü Ekstremitte Nakli Olgusu: Atilla Kavdır	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Aynı anda iki kol ve bacak nakli yapıldı. Kol ve bacak nakli olan Atilla Kavdır enfeksiyon sonucunda hayatını kaybetti.
2012 Şubat Yüz Nakli Olgusu: Cengiz Gül	Gökhan Tunçbilek ve ekibi, Ankara Hacettepe Üniv. Hastanesi	Türkiye'de 2. yüz nakli.
2012 Şubat Dörtlü Ekstremitte Nakli Olgusu: Şevket Çavdar	Gökhan Tunçbilek ve ekibi, Ankara Hacettepe Üniv. Hastanesi	İlk dörtlü ekstremitte nakli.
2012 Mart Kısmi Yüz Nakli Olgusu: Hatice Nergiz	Selahattin Özmen ve ekibi, Gazi Üniv. Tıp Fakültesi Hastanesi	Türkiye'de 3. yüz nakli, türkiye'de ilk kez kadına yapılan yüz nakli.
2012 Mayıs Tam Yüz nakli Olgusu: Turan Çolak	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de 4. yüz nakli.
2013 Temmuz Tam Yüz Nakli Olgusu: Recep Sert	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de 5. yüz nakli, Türkiye'de ilk çene nakli.
2013 Ağustos Tam Yüz Nakli Olgusu: Salih Üstün	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de 6. yüz nakli, Temmuz 2014 ise hayatını kaybetti.
2013 Aralık Kısmi Yüz Nakli Olgusu: Recep Kaya	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Türkiye'de 7. yüz nakli, burun, üst dudak, üst çene ve damak.
2016 Şubat Çift Kol Nakli Olgusu: Mustafa Sağır	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	Donörden alınan çift kol nakledilmiştir.
2016 Haziran Kol Replantasyon Olgusu: Onur Mert Dönmez	Ömer Özkan ve ekibi, Akdeniz Üniv. Tıp Fakültesi	3 yaşında travma sonrası sağ kolu kopan hastanın kol replantasyon işlemi.

2.1.1. Yüz nakli cerrahisi

Travma sonucu yüzünün tamamını ya da bir kısmının tahrip olması sonucu uygun kadavra ya da beyin ölümü gerçekleşmiş donörden alınan yüzün mikro cerrahi süreci ile dikilmesine yüz nakli denir (Özkan vd. 2017). Hayat kurtarıcı özellikte olmayan ancak zarar gören dokuya fonksiyon kazandırmak ve toplumdaki izole olarak yaşayan bireyin yaşam kalitesini artırmak amaçlı yapılan nakildir. Derinin travmaya uğraması ve duyularında fonksiyon kaybı yaşanması sonucu bu hastalar için daha normal bir görünüme sahip olmaları ve kaybedilen duyu fonksiyonlarının yeniden kazanımı amacıyla yapılabilmektedir. Bu tedavi yöntemi ile deri, sinirler, kemik ve kas bir vericiden hastadaki gereken alana nakledilir. Dünyanın ilk tam yüz replant operasyonu 1994 yılında kuzey Hindistan'da yaşayan dokuz yaşındaki bir çocuğun harman makinesinde meydana gelen kazada yüzünü ve saçlı derisini kaybetmesi sonucu gerçekleştirildi (Malt et al. 1964). İlk yüz nakli için ise IRB (Institutional Review Board) tarafından 15 Kasım 2004 günü onay verilmiştir. Neredeyse 1 yıl sonra 27 Kasım 2005 tarihinde Fransa' da ilk başarılı yüz nakil operasyonu yapılmış ve ülkemizde ilk Tam yüz nakli 21 Ocak 2012 tarihinde Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Plastik Cerrahi ve Rekonstrüktif Cerrahi Anabilim dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ömer Özkan ve ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir (Özkan vd. 2017). Şekil 2.2. 'deki resim Akdeniz Üniversitesi yüz nakli operasyonları öncesi ve sonrası gösterilmiştir (Özkan vd. 2017).



Şekil 2.1. Yüz nakli operasyonu



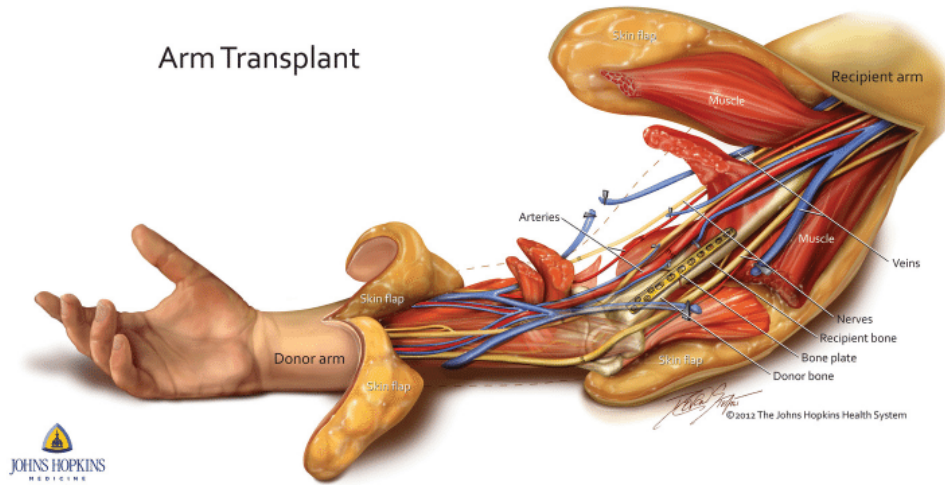
Şekil 2.2. Akdeniz Üniversitesi yüz nakli operasyonları öncesi ve sonrası

2.1.2. Kol nakli cerrahisi

2.1.2.1. Çift kol nakli

Travma sonucu iki kolu ampute edilen hasta bireye, uygun donörden alınan çift kolun mikro cerrahi işlemlerine dayalı dikilmesine kol nakli denir. Verici uzuv genellikle beyin ölümü gerçekleşmiş bir donörden gelip iki el veya kolunu kaybeden bir alıcıya nakledilir. Bugüne kadar çoğu el nakli, dirsek transplantları üzerinde popülerlik kazanıyor olmasına rağmen, dirsek ampute altında gerçekleştirilmiştir. El transplantları, birden fazla organın Vaskülerize Kompozit Allotransplantasyon veya VCA olarak adlandırılan tek bir fonksiyonel ünite olarak nakledildiği yeni bir nakil kategorisinin ilkidir. Operasyon

oldukça kapsamlı ve tipik olarak 8-12 saat sürmektedir. Karşılaştırıldığında, tipik bir kalp nakli operasyonu 6-8 saat sürmektedir. Cerrahlar genellikle kemikleri önce bağlarlar, ardından tendonlar, atardamarlar, sinirler, damarlar ve ciltler. Bir el nakli alıcısı, vücudun doğal bağışıklık sistemi reddetmeye veya yok etmeye çalışacağından, böbrekler veya karaciğerler gibi diğer nakillere benzer bağışıklık bastırıcı ilaçlar almalıdır. Bu ilaçlar, alıcının daha zayıf bir bağışıklık sistemine sahip olmasına ve bu da enfeksiyonların ve bazı kanserlerin artmasına neden olabilir. Bu organları oldukça tolere edebilen yıllar boyunca katı organ transplantasyonunda birçok ilerleme olmuştur. Transplantasyondan sonra, alıcıların nakledilen elin işlevini yeniden kazanmasına yardımcı olan kapsamlı bir el terapisi veya rehabilitasyon dönemi vardır. İlaçları alıp bir el transplantasyonunu takiben fizik tedaviyi gerçekleştirmeye adanmış olan hastalar, yeni ellerin veya kolların fonksiyonlarının yeniden kazanılmasında dikkate değer bir başarıya sahiptir.

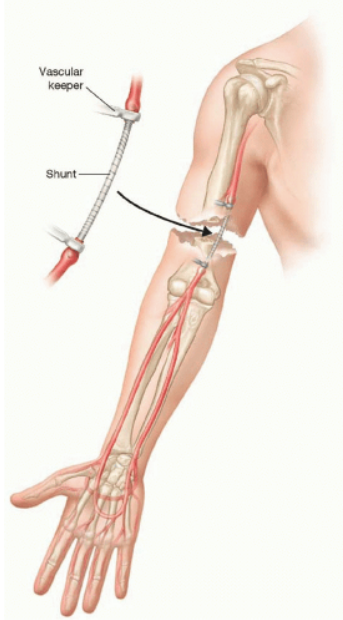


Şekil 2.3. Kol nakli

2.1.2.1. Kol replantasyon

Günümüzde bilek ve daha proksimal seviyelerdeki üst ekstremité amputasyonlarında da damar ve sinir onarımlarının mikroskop altında ve mikrocerrahi teknikler ile yapılması, sonuçların kalitesi yönünden kaçınılmaz bir zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Replante edilen parçanın canlılığının sürdürülebilmesi için kan dolaşımının yeniden sağlanması esastır; ancak günümüzde başarıdan söz edebilmek için replante parçanın yeterli duyunun ve hareketinin de olması gerekmektedir. Bunun sağlanması için, zamanla daha seçici olunmaya başlanılmış ve replantasyon aday kriterleri oluşturulmuştur. Günümüzde tartışılan “ampute parçanın nasıl replante edilebileceği” değil, “onun nasıl daha fonksiyonel yapılabileceği”dir. Tarihteki ilk replantasyon Malt (1962) tarafından 12 yaşındaki bir çocuğa Massachusetts General Hospital’da uygulanmıştır (Chen et al. 1966). Humerus seviyesinden kopan kolu başarıyla yerine dikilmiştir. Büyütme araçları kullanılarak yapılan ilk replantasyon

Zhong-Wei Chen liderliğindeki ekip tarafından 1963 yılında Şangay’da gerçekleştirilmiştir (Chen et al. 1966). Bir makinistin ön kol uç seviyesinden kopan eli başarıyla yerine dikilmiştir. O dönemde çinde mikro dikişler olmadığı için damarlar birleştiriciler ile onarılmıştır. Parmakta kısmi kopma sonrası ilk damar onarımı: Kleinert (1963), ilk parmak replantasyonu Komatsu, Japonya’da 1965 yılında gerçekleştirilmiştir.

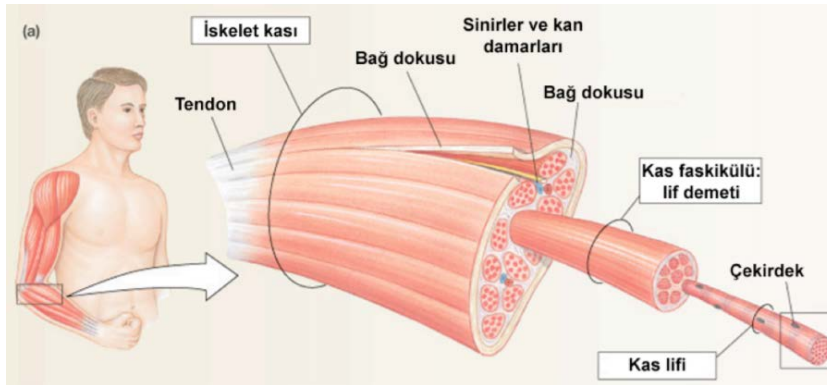


Şekil 2.4. Kol replantasyonu

2.2. Uyarılabilir Dokulardan Kaslar

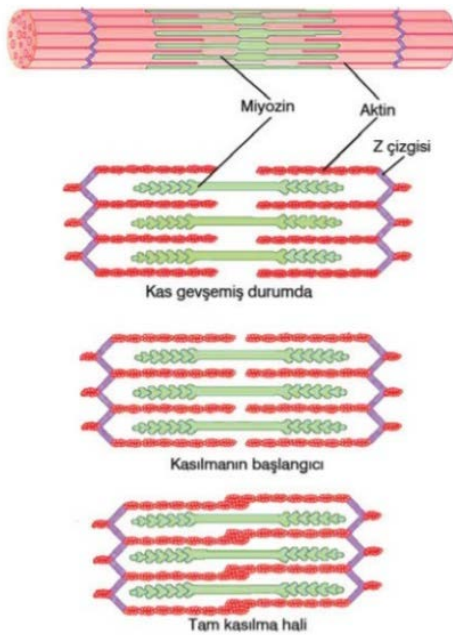
Kas sistemi vücudumuzda hareket fonksiyonu, uyarılabilirlik, iletebilme, kasılabilirlik, uzayabilme, esneyebilme, madde taşınması, postür şeklinin oluşması, ısı üretimi yeteneklerine sahiptir (Eisenberg and Greene 1980). Kaslar görevlerine ve görünüşlerine göre 3 grupta incelenir. Birincisi çizgili kaslar (iskelet kası), yapısal olarak çok çekirdekli, uzun ve ayrı hücrelerden oluşup istemli kasımızdır. İkincisi kalp kası, yapısal olarak çizgili kasa benzeyip görevleri düz kasa benzer olup istemsiz çalışır. Üçüncü kas ise düz kas olup çizgilenme özelliği göstermeyen, yassı yapısı olan hücrelerden oluşur ve istemsiz olarak çalışır (White et al. 2004). Bu bölümde İstemli hareketlerden sorumlu olan çizgili kaslardan bahsedilecektir. Çizgili kaslar, iskelet sistemiyle beraber hareketi oluşturan, uyarılma, iletilme, kasılabilme ve kas hücrelerinin büzülme ve uzama yeteneğine sahip dokulardır. İskelet sisteminin kemik dokusu üzerine tutunarak vücuda şekil verir. Çizgili kaslarda kasılma sinir hücrelerinden kasa uyarım ile başlar ve çoğunlukla istemli olarak kontrol edilir. Tek bir kas hücresi kas lifi olarak tanımlanır. Kas lifleri, çapları yetkin dönemde 10 ile 100 µm arasındadır, uzunlukları ise 20 cm’ye kadar bulabilir. Çok çekirdekli olan kas lifi tek mekanizmalı gibi davranır (Eisenberg and Greene 1980). Çizgili kasdaki çizgili yapı, sitoplazma içerisinde yer alan

ince ve kalın filamentin düzenli dizilmesiyle oluşur. Bir lifin sitoplazmasının çoğu, her biri lifin bir ucundan diğerine kadar uzanan ve lifin sonlarında tendonlara bağlanan miyofibrillerle doludur. Her miyofibrildeki ince ve kalın filamentler miyofibril boyunca tekrarlayan düzenli dizilimler şeklinde düzenlenmişlerdir. Bu tekrarlayan düzenli dizilimlere sarkomer denir. Kalın filamentler her sarkomerin ortasında bulunur. A bandı denilen düzenli olarak birbirine paralel yerleşmiş geniş, koyu bantları oluşturur. Her sarkomerin uç taraflarında iki tane ince filamentler seti bulunur (Eisenberg and Greene 1980).



Şekil 2.5. Çizgili kasların iç yapısı ve kas lifi

Kasılmanın Moleküler Mekanizması; kasılma eylemi sadece “kısılma” anlamını taşımaz. Örneğin, bir dambırı sabit pozisyonda havada taşımak için kas kasılır fakat kasın kısılması gerekmez. Kasılmayı takiben, kuvveti doğuran mekanizmalar kapatılır ve gerilim düşerek kas lifinin gevşemesi sağlanır (Eisenberg and Greene 1980).



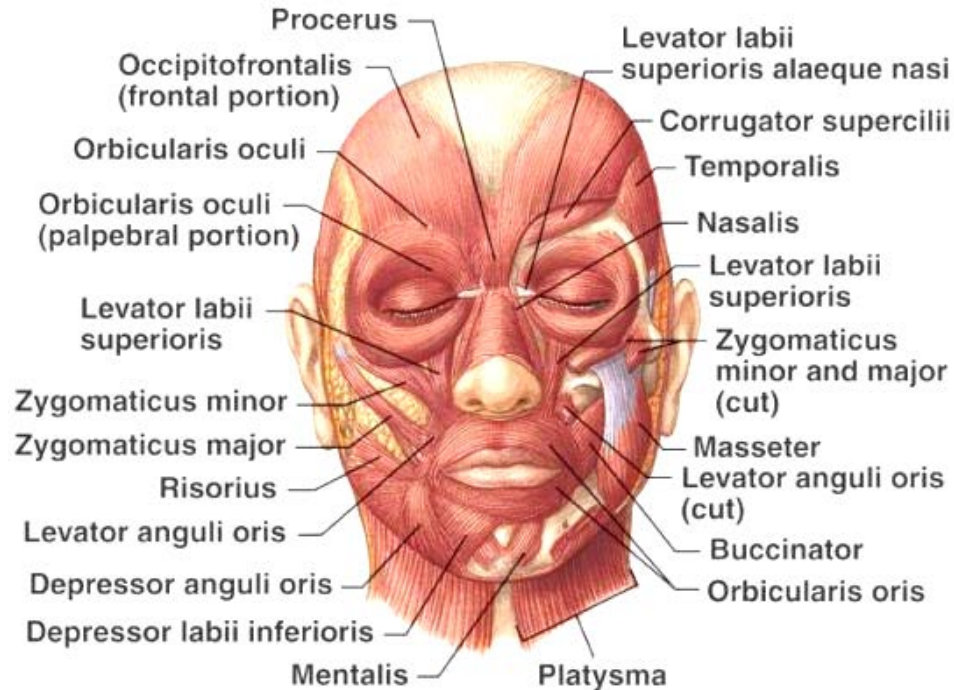
Şekil 2.6. Çizgili kasların kasılma ve gevşemesi

Kuvvet oluşumu sırasında iskelet kas lifi kısalduğunda, her sarkomer içindeki üst üste gelen kalın ve ince filamentler birbirleri üzerinde hareket ederler. Sarkomerlerin bu kısalması sırasında kalın ve ince filamentlerin boylarında bir değişiklik olmaz. Bu duruma kas kasılmasının kayan filament mekanizması denir. Kısalma sırasında, ince filamentteki aktin molekülüne tutunan her miyozin çapraz köprüsü bir kayığın küreğinde olduğu gibi, yay şeklinde hareket eder. Birçok çapraz köprünün yaptığı bu kürek çekme hareketi Z çizgilerine tutunmuş olan ince filamentleri sarkomerin ortasına doğru gelmeye zorlar; böylece sarkomerin boyu kısalır. Bu bölüm içerisinde mimik kasları ve üst ekstremitte kasları ele alınacaktır.

2.2.1. Mimik kasları

Yüz Kasları, 7.kranial sinir olan N. facialis tarafından yüz kasları innerve edilen, bağlantı noktalarını yüz ve boyunun deri tabakalarından alıp yüzde mimik hareketlerinin oluşmasını sağlayan kaslardır (Magnenat et al. 1988). Yüz kaslarının her bir hareketi saliseler içinde değiştiği için çoğu durumda her bir mimikten ortak bir ifade ortaya çıkmaktadır. Özellikle de gözler ve ağız bölgesi yüzün en hareketli kısımları olarak öne çıkmaktadır. İnsanların ilk görünen yeri yüzü olup yüzünde oluşan çoğu ifade duyguları ele verir. Bunu sağlayan ise yüz kaslarıdır. Yüz kasları çok çabuk kişinin ruh halini yansıtır.

Yüz kasları anatomisi: İnsanın çiğneme, konuşma, üfürme gibi birçok hareketlerini yapan yüz kaslarını anatomik olarak tanımak maksadıyla uzmanlar araştırmalar yaparak oluşabilecek komplikasyonlara müdahale edebilmektedirler. Bu bölümde yüz kasları bölümleri 3 grupta anlatılacaktır (Waters 1987).



Şekil 2.7. Yüz kasları

2.2.1.1. Üst yüz kasları

Çizelge 2.2. Üst yüz kasları

<p>Frontal Kas:</p>	<p>Oksipitofrontal kasın ön bölümüdür. Tek fonksiyonu kaşların yukarı kaldırılmasıdır. Bu hareket yüze şaşırma ifadesi verir ve alın çizgilerinin oluşmasına sebep olur. Kas istirahat halindeyken kaşlar normal pozisyonundadır. Fasiyal sinirin temporal dalı tarafından innerve edilir.</p>
<p>Orbikülaris Okuli:</p>	<p>Bu sfinkter benzeri kas göz kapaklarının altında adeta orbital açıklığı çevreleyerek ve lateralde temporale uzanır. Orbita lateralinde üst dudak ve yanak elevatörlerinin üzerinde seyreder. Göz kapağı kapanması kasın farklı bölümlerinin çalışmasıyla ortaya çıkar. Tam ve sıkı kapanma tüm bölümlerin bir arada çalışması sayesinde olur. Fasiyal sinirin temporal ve zigomatik dallarıyla innerve olur.</p>
<p>Corrugator Süpercilii:</p>	<p>Frontal kemiğin orta alt kenarından başlayıp üst laterale doğru fan biçiminde açılarak ilerler. Frontal ve orbikülaris okuli kaslarının altında yer alır. Kasılması kaşları medial-aşağı çeker ve kaşlar arasındaki vertikal çizgilerin oluşmasına sebep olur. Fasiyal sinirin temporal dalıyla innerve olur.</p>
<p>Procerus:</p>	<p>Nazal kemiğin üst orta kısmından başlar, vertikal olarak glabellada corrugatorların arasında ilerlemektedir. Bu kasın kasılması burun kökünde horizontal çizgilerin oluşmasına neden olur. Fasiyal sinirin temporal dalıyla innerve olur.</p>

Üst yüz kasları Çizelge 2.2.'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Üst yüz kaslarının genelini kapsayan frontal ve orbicularis okuli kasları mimik hareketlerinde etkin olarak kullanıldığı için mimik kasları katagorisinde incelenmektedir.

2.2.1.2. Orta ve alt yüz kasları

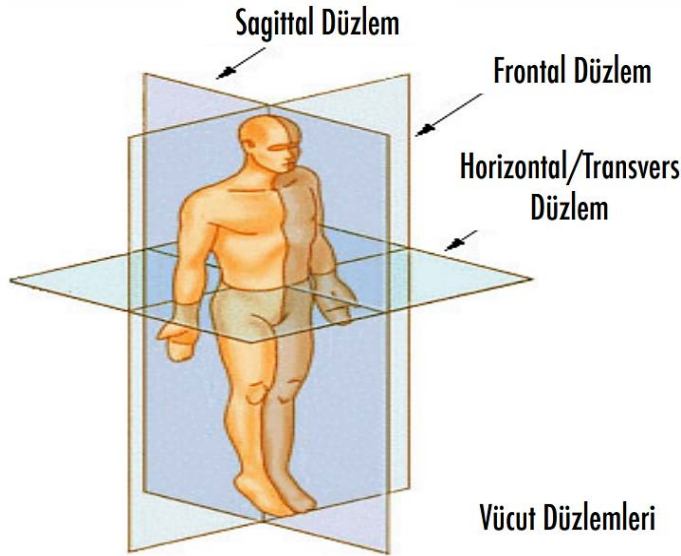
Çizelge 2.3. Orta ve üst yüz kasları

Zigomatik Majör:	Zigomatik kemikten başlar ve ağız köşesinde biter. Kasılması ağzın köşelerinin yukarı kalkmasını sağlar. Fasiyal sinirin bukkal ve zigomatik dallarıyla innerve olur.
Buccinator:	Çiğneme ve üfleme gibi ağız hareketlerinde yanakların molar dişlere doğru bastırır. Fasiyal sinirin bukkal dallarıyla innerve olur.
Zigomatik Minör:	Zigomatik majörün medialinde yer alır. Zigomatik kemiğin lateralinden üst dudağın kenarına uzanır ve üst dudağın yukarı doğru çekilmesini sağlamaktadır. Nazolabial sulkusu derinleştirir. Fasiyal sinirin bukkal ve zigomatik dalları tarafından innerve edilmektedir.
Orbikularis Oris:	Ağız orifisini çevreler. Derin ve yüzeysel bölümleri vardır. Derin bölüm dudakların sıkıca kapanmasını sağlar. Yüzeysel bölüm ise yüzün mimik kaslarına katkı yapar ve alt dudağın retraksiyonunu sağlar. Fasiyal sinirin marginal mandibular ve bukkal dallarıyla innerve olur.
Levator Labii Superioris Alaeque Nasi-Levator Labii Superioris:	Maksillanın frontal çıkıntısından başlayarak burun kenarından üst dudağa inen iki kastır. Levator labii superior infraorbital foramenin üstünden başlar ve infraorbital sinir ve damarın üzerinde seyreder. Üst dudağın yukarı kaldırılmasını sağlarlar. Levator labii superioris alaeque nasi aynı anda burun deliklerinin genişlemesini sağlar.
Levator Anguli Oris:	İnfracorbital foramenin altından başlayıp dudak köşesine uzanır ve dudak köşesinin yukarı kalkmasını sağlar.
Risorius:	Dudak köşelerini yukarı çeken kaslardan biridir. Fasiyal sinirin bukkal dallarıyla innerve olur.
Nasalis:	İki bölümden oluşur. Bir bölümü burun dorsumu üzerinde transvers seyreder ve kompresyon sağlar. Diğer burun kanatlarında yer alır ve burun deliklerinin genişlemesini sağlar.

2.2.2. Üst ekstremite kasları

Üst kol veya üst ekstremite kasları, el dahil olmak üzere deltoid kas bölgesine kadar uzanan fleksiyon, ekstensiyon, abduksiyon, addüksiyon ve ayrıntılı bahsedilmiş olan çoğu hareket çeşidini yapabilme yeteneğinde olup fizyolojik ve sosyal yaşam için öneme sahip vücudun bir bölümüdür (Yenigün 2008). Aynı zamanda üst ekstremite kasları, skapulayı toraksa bağlar ve genellikle skapulayı hareket ettiren, humerusu skapulaya bağlayan ve genellikle kolu hareket ettirenler ve kolun ön kolunu hareket ettiren kol veya önkolda bulunan kasları kapsar. Motor ve duyusal kaynağı, C5-T1 spinal sinirlerinin ventral rami tarafından oluşturulan brakial pleksus tarafından sağlanır (Eisenberg and Greene 1980).

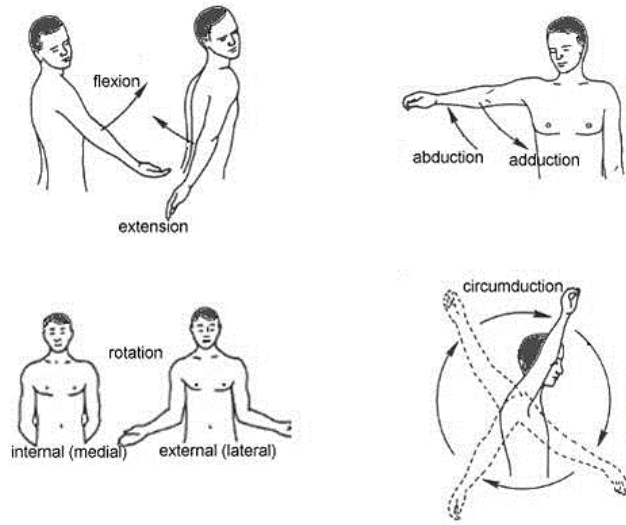
Sosyal hayatta en çok kullanılan uzuv olan kollar, hareket çeşidi olarak en zengin kategoridedirler. Her harekete özgü çalışan kas grupları mevcuttur. Bazı kaslar hareketin çeşidine veya vücuda olan konumuna göre bazen adlandırılabilirler. Kol kas grupları isimleri, vücuda göre konumunun adlandırılmaları ve vücut düzlemleri ayrıntılı olarak aşağıda bahsedilmiştir.



Şekil 2.8. Vücut düzlemleri

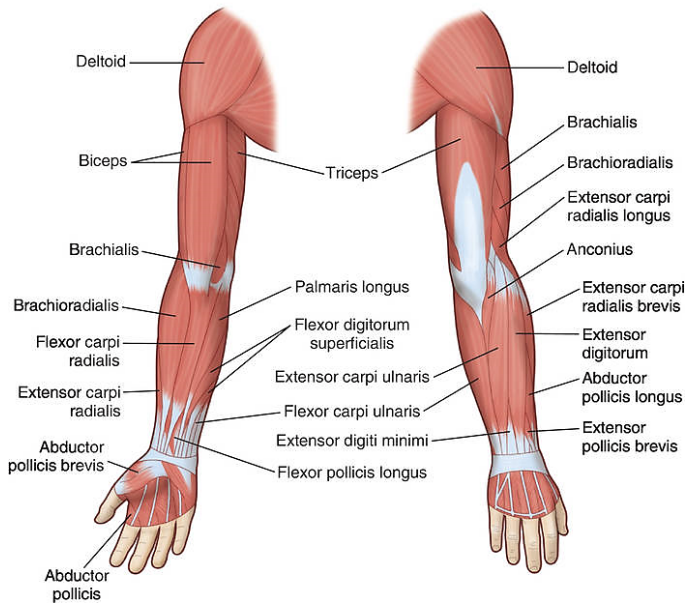
Fleksiyon, bükme hareketi olarak adlandırılır. Sagittal düzlemde yapılıp eklem açısının azalması pozisyonudur. Ekstansiyon, germe hareketi olarak adlandırılır. Sagittal düzlemde yapılıp eklem açısının artması pozisyonudur. Abduksiyon, frontal düzlemde yapılan bu hareket vücut ağırlık merkezinden dışa doğru konumlanır. Addüksiyon, frontal düzlemde yapılan bu hareket vücut ağırlık merkezine doğru konumlanır. Supinasyon, elin dirsek ile birlikte dışa doğru konumlandırılmasıdır. Pronasyon, elin dirsek ile birlikte içe doğru konumlandırılmasıdır. External veya Lateral Rotasyon, Eklemlerin vücudun merkezinden uzaklaştırılacak şekilde LD eksenini etrafında döndürülmesi Transvers/horizontal düzlemde oluşur. Internal ya da medial rotasyon, eklemlerin vücudun merkezine yaklaştırılacak şekilde LD eksenini etrafında döndürülmesi Transvers/horizontal düzlemde oluşur. Circumduction, eklemlerin dairesel hareketlerini

ifade eder. Flexion, extension, abduction ve adduction hareketlerinin bileşimidir. Omuz ve kalça ekleminin sabit bir nokta etrafında dönmesi.



Şekil 2.9. Üst ekstremitte kasları hareketlerinin gösterimi

Fleksiyon hareketini yapmayı sağlayan ön kol kasları m. deltoideus, musculus biceps brachii ve musculus coracobrachialis' dir. Üst kol ön fleksör bölüm kasları; musculus biceps brachii, caput longum, caput breve, musculus brachialis, musculus coracobrachialis'dır. Ön kol kaslarının siniri Nervus musculocutaneus'tur. Alt kol ön fleksör bölüm kasları flexor carpi radialis, palmaris longus, flexor carpi ulnaris, flexor digitorum profundus, flexor digitorum superficialis'dır. Alt kol arka ekstensor bölüm kasları extansor carpi radialis longus, extansor carpi radialis brevis, extansor carpi ulnaris ve extansor digitorum'dur.



Şekil 2.10. Üst ekstremitte kasları

2.3. Elektromiyografi

Elektromiyografi (EMG), kasların kasılması ve onları kontrol eden sinir hücrelerini değerlendirmek için kullanılan tanı prosedürüdür. Sinyal, kasların anatomik ve fizyolojik özelliklerini temsil eder. EMG sinyali, iki tipten oluşan bir kas motor ünitesinin elektriksel aktivitesidir. Bunlar yüzey elektrot ile algılanan ve kas içi elektrot ile algılanan tipleridir (Farina and Negro 2012). Yüzey EMG invaziv olmayan elektrot ile kaydedilirken kas içi EMG invaziv olan elektrotlar tarafından kaydedilir. Bu günlerde yüzey algılamalı sinyaller tercihen yüzeysel kas aktivasyonunun zamanı veya yoğunluğu hakkında bilgi elde etmek için kullanılmaktadır (Merletti et al. 1989). Elektromiyografi (EMG) sinyalleri hem tıbbi hem de mühendislik alanlarında elektrofizyolojik olarak önemli bilgiler içeren değerli bir metot olarak kabul edilir. İnsan vücudunun davranışlarını normal ve patolojik koşullar altında anlamak için temel yöntem, EMG sinyallerinin kaydedilmesiyle sağlanır. Bu nedenle EMG sinyallerinin analiz edilmesi ve sınıflandırılması, özellikle EMG hareketinin meydana gelmesi durumunda EMG'nin karmaşık modeli nedeniyle çok zordur (Alkan ve Günay 2012). EMG sinyalleri, robotik protezler gibi rehabilitasyon ekipmanı için ve İnsan Bilgisayar Ara yüzü (İBA) için genel insan-makine ara yüzlerinde cihaz kontrol komutları üretmek için kullanılabilir. Ayrıca birçok klinik ve endüstriyel uygulamada da kullanılmaktadırlar (Rosa et al. 2010). EMG sinyallerinin işlenmesi ve sınıflandırılması, Elektromiyografik analiz tekniğinin kullanılmasını gerektirir. EMG sinyallerinin sınıflandırılmasına dayanan kontrol sistemleri genellikle Myoelectric Control Systems (MCS) olarak bilinir; güçlendirilmiş üst ekstremité protezleri ve elektrikli tekerlekli sandalyeler, MCS'lerin başlıca potansiyel uygulamalarından iki tanesidir (Phinyomark et al. 2012). Bununla birlikte, bu uygulamaları etkin bir şekilde kullanmak için, doğru bir EMG sinyal edinimi bir ön koşuldur.

2.3.1 Elektromiyografi tarihçe

Elektrofizyolojik bilgiye bilimsel bakışın yolculuğu 17. yüzyılda başlamıştır. Jan Swammerdam, Francesco Redi, Luigi Galvani ve Alessandro Volta gibi 17. ve 18. yüzyıl bilim adamları, elektriksel stimülasyonun kas kasılmasına yol açtığını doğrulamak için deneyler yaptılar. Carlo Matteucci, kaslardaki elektrik potansiyelini ölçmek için modern EMG ile ilgili ilkel bir enstrüman geliştiren ilk kişi oldu. Galvanometresi, mekanik yollarla üretilen küçük elektrik akımlarının yönünü tespit etti ve tespit etti ve sonra kurbağalar üzerinde yapılan çalışmalar ile bunu kas kasılmasına uyguladı. Emil Du Bois-Reymond bunu insan kasının istemli kasılmasına uygulayan ilk kişiydi ve çalışmasının ardından, Guillaume Duchenne tarafından yüz kasları üzerinde daha fazla deney yapıldı. O zamandan beri EMG makineleri rafine edildi ve EMG bilgisi inanılmaz hızlarda ilerledi.

Şimdiki ve Gelecek Kullanımı için EMG şu anda çeşitli nöromusküler hastalıkların tanısında kullanılmaktadır. Aynı zamanda, Alzheimer'in daha derin bir anlayışı için beyin haritalamasına yardımcı olmanın yanı sıra kinezyolojinin incelenmesine yardımcı olmak için de kullanılmıştır. Yaygın bir geleceğe sahip bir akım kullanımı, protez hareketi için EMG'den faydalanmaktadır. Bu, kollar, eller ve bacaklar gibi uzuvlar için protezlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıbbi kullanımlara ek olarak, oyun endüstrisinde EMG kullanımı genişleme için gelecekteki bir kaynaktır.

2.3.2. EMG sinyallerindeki gürültü kaynakları

Kastan alınan ve kasılma mekanizmasıyla gerçekleşen EMG sinyali, çeşitli gürültü sinyallerinin veya yapay dış etmenlerin karıştırılmasından dolayı kaybolur. EMG sinyalinin öznitelikleri, cilt dokusu, kan akış hızı, ölçülen cilt sıcaklıkları, doku yapısı (kas, yağ, vb.), ölçüm bölgesi ve daha fazlası dahil olmak üzere birçok etmenlerin durumuna bağlıdır. Bu etmenler, EMG sinyalleri içinde bulunabilen farklı türde gürültü sinyalleri üretir. Bunun özellik çıkarımı üzerinde bir etkisi olabilir ve bu nedenle EMG sinyallerinin tanısını ve analizini etkiler. EMG sinyali kaydı esnasında çeşitli yöntemlerde gürültü giderme yöntemleri önerilmiş ve sinyal bilimciler tarafından popüler olmaya devam etmektedir. EMG sinyallerinin analiz edilmesindeki başlıca zorluklar aşağıda açıklanmıştır.

2.3.2.1. Elektrottaki doğal gürültü

Her türlü elektronik ekipman, “doğal gürültü” olarak bilinen elektriksel gürültü üretir. Bu gürültü, 0 Hz ile 1000 Hz arasında değişen frekans bileşenlerine sahiptir. Yaygın kullanımda iki çeşit EMG sinyali, EMG yüzeyini ve kas içi (iğne ve ince tel) EMG'yi içerir. Kas içi EMG yapmak için, bir iğne elektrot veya iki ince tel elektrot içeren bir iğne, ilgili kasın içine yerleştirilir (invaziv elektrot). Bununla birlikte, yüzey elektrotlarının kullanımı klinik ve fizyolojik uygulamalarda daha fazla kabul görmüştür (Cavalcanti and Vierie 2011). Yüzey elektrotlarının avantajı, non-invaziv olmaları ve elektrodu yerleştirmeden önce hastanın anestezi edilmemesidir. Operasyon basit ve ağrısızdır.

EMG'yi kaydetmek için, invaziv olmayan elektrotlar deneğin cildine uygulanır. Kayıt amacıyla gümüş / gümüş klorürden (10 x 1 mm) oluşan elektrotların yeterli sinyal-gürültü oranı verdiği ve elektriksel olarak çok kararlı olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, yüzey elektrotları olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar (Navarro et al. 2005). Elektrot boyutu büyüdüğünde, empedans azalır. Bununla birlikte, elektrot boyutu çok büyük olmamalıdır. Öte yandan yüksek elektrot, sinyal kalitesini etkili bir şekilde azaltır ve düşük sinyal-gürültü oranı verir. Bu nedenle, her iki parametre de dikkate alınmalıdır. Araştırmacılar, istatistiksel gücün yüksek olduğu veya çok sayıda elektrotun gerekli olduğu deneyler için yüksek elektrot empedansları kullanmalarına izin verilir, ancak istatistiksel gücün çok düşük olduğu deneyler için düşük elektrot empedanslarına geçme eğilimindedirler (Kappenman and Luck 2010).

2.3.2.2. Hareket artefaktı

Elektrotu amplifikatöre bağlayan kablonun hareketi ve elektrotun saptama yüzeyi ile cildin arasındaki ara yüz, hareketli artefaktlar meydana getirir. Kas lifleri aktif olduğunda kas lifleri elektrik aktivitesi oluştururlar (Luca 1988). EMG sinyalleri, elektrotları kas gruplarına yakın yerleştirilerek kaydedilir. Kas aktive olduğunda, kasın uzunluğu azalır ve kas, deri ve elektrotlar birbirine göre hareket eder. O zaman, elektrotlar bazı hareket artefaktları gösterecek. Hareket gürültüsünün frekans aralığı genellikle 1-10 Hz'dir ve EMG'nin genliği ile karıştırılabilir bir voltaja sahiptir. Dinamik kasılmalar sırasında bir EMG sinyalinden hareket artefaktını reddetmek için dört filtreleme prosedürünü test edilmiştir (Conforto et al. 1999). Bu prosedürler, 20 Hz'de frekansına

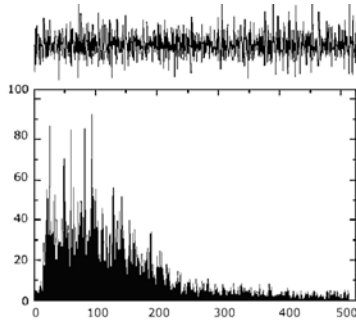
sahip sekizinci sıra Chebyshev yüksek geçişli filtreleri; hareketli ortalama filtre, hareketli medyan filtresi ve ortogonal Meyer dalgacıklarına dayanan adaptif filtre.

2.3.2.3. Elektromanyetik gürültü

İnsan vücudu bir anten gibi davranır. Vücudun yüzeyi, elektromanyetik gürültünün kaynağı olan elektrik ve manyetik ile sürekli etkiler. Çevreden gelen elektromanyetik kaynaklar istenmeyen sinyali oluşturur veya kastan kaydedilen sinyali iptal eder. Ortam gürültüsünün genliği (elektromanyetik radyasyon) bazen ilgi konusu EMG sinyalinden bir ila üç kat daha büyüktür. İnsan vücudunun yüzeyi sürekli olarak elektromanyetik radyasyon yayar ve Dünya yüzeyindeki ortam gürültüsüne maruz kalır (Reaz 2006). Ortam gürültüsüne ilişkin baskın endişe, aynı zamanda Şebeke Gürültüsü olarak da adlandırılan güç kaynaklarından gelen 50 Hz ve harmoniklerinde gelen radyasyondan kaynaklanmaktadır. Bu, elektrot empedanslarındaki ve hasta ile kablolar aracılığıyla kaçak akımlardaki farklılıklardan kaynaklanır. Bununla birlikte, kaydedilen artefaktın çıkarılması için ön işlem gerektirir (Clancy et al. 2002).

2.3.3. Elektromiyografi sinyal analiz teknikleri

İnsan vücudunda bulunan birçok biyolojik sinyal sinir hücreleri ya da kas hücrelerinin elektriksel aktivitesi ile izlenir. Elektrotlar aracılığıyla elde edilen elektriksel aktivite, elektrotların yerleştirildiği vücut bölümüne veya konumuna göre farklı sinyalleri tanımlar. Kasların üzerine yerleştirilen elektrotlar ile kasın elektriksel aktivasyonu hakkında bilgi alırız. Bu kayıt prosedüründe bölümde bahsedildiği gibi EMG kayıt mekanizması denir. Bir ham EMG sinyali bazen kaçınılmaz gürültü içerir. Gürültü varlığıyla, kas kasılma karakteristiği verileri artık gerçek olmayacaktır. EMG sinyallerindeki gürültü kaynakları bölümünde bahsedildiği üzere EMG sinyalindeki gürültü, elektronik ekipmanlardaki doğal gürültüden kaynaklanabilir, elektromanyetik radyasyondan kaynaklanan ortam gürültüsü, hareket artefaktı ve sinyalin yapısal dengesizliği olabilmektedir (Tam and Webster 1977). Ön işleme metotları ile sinyali analiz edilebilecek hale getirilmesi amaçlanır. EMG sinyali anlamlı frekans aralığı 3-500 Hz arasında olup gereksiz alt ve üst frekans alanları temizlenmelidir. Aynı zamanda bahsedildiği üzere şebekeden kaynaklanan 50 Hz ve harmoniklerinin sinyal içerisinden arındırılması gerekir. Gelişmiş filtre mekanizmaları eklemek ve ham EMG sinyalini gürültülerden arınmış doğru bilgiye ulaşmamız verinin analizinden çıkan sonuçların tanı ve yorumlamada güvenilirliğini artıracaktır.

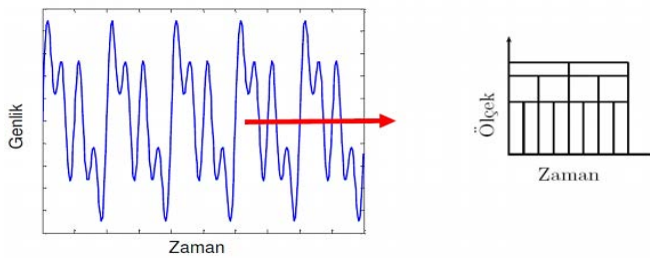


Şekil 2.11. Sabit güçte kastan alınan EMG sinyalinin frekans spektrumu

Sinyal İşleme, elde edilen zaman serisi verilerinin analizi veya iyileştirme amaçları için değiştirilmesinin sanatı ve bilimidir. 1800'lerde Fransız matematikçi Joseph Fourier tarafından ortaya atılan Fourier serileri ile yapılan analizler ile işlemi daha hızlı yapmaya olanak sağlayan algoritmaların da geliştirilmesiyle birlikte günümüzde hala sinyal işlemede en çok kullanılan araçtır. Fourier dönüşümü sinyal işlemede çığır açmış bir yöntem olmasına rağmen, dönüşümde kullanılan temel birimleri sonlu olmayan harmonik fonksiyonlardan oluştuğu için, esas olarak sürekli sinyaller için uygundur. Zamana bağlı değişimler gösteren sinyalleri incelemeye duyulan ihtiyaç ise, Fourier dönüşümünün sinyalin belli zaman aralıklarında alınması yoluyla yapılan Kısa Süreli Fourier Dönüşümü'nü getirmiştir. Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (KSFD), Fourier dönüşümü gibi frekans bilgisi vermenin yanı sıra, frekans bileşenlerinin ne zaman oluştuğu bilgisini de taşımaktadır. Bu özelliği ile, sinyalin bir zaman-frekans ifadesini sunmaktadır. Ancak, zaman bilgisi, KSFD'de kullanılan pencere fonksiyonunun destek (support) genişliğine bağlıdır. Yani, sinyaldeki yüksek ve düşük frekanslı bileşenler aynı analiz parametreleri ile hem frekans ekseninde hem de zaman ekseninde aynı netlikte tespit edilememektedir. Bu durum bir çözünürlük problemi meydana getirmektedir. 1900'lerin başında ilk ve en basit hali ile ortaya atılan dalgacık dönüşümü (Wavelet Dönüşümü, WT) çoklu çözünürlük özelliği ile hem frekans hem de zaman uzayında iyi çözünürlük sağlayabilmektedir.

2.3.3.1. Wavelet dönüşümü

Wavelet (dalgacık) dönüşümünün en önemli parametresi dalgacıktır. Fourier dönüşümündeki pencere fonksiyonunun görevini, dalgacık dönüşümünde ana dalgacık fonksiyonları yerine getirir. Bir fonksiyonun dalgacık olabilmesi, süresinin sınırlı ve ortalama değerinin sıfır olması koşullarına bağlıdır. Bu nedenle dalgacık fonksiyonu genlik ekseninin pozitif ve negatif yönlerinde salınım yapmalı ve bu salınım, zaman ekseninde ilerledikçe genlik ekseninde sıfıra oturarak sona ermelidir. Sinüs ve kosinüs gibi normal bir dalga fonksiyonu ise genlik ekseninde salınım yapar ve sonsuz süreye sahiptir, yani $\pm\infty$ arasında sürekli salınım yapar. Bu nedenle de dalga ve dalgacık farklı kavramlardır. Farklı özellik ve kullanım amaçlarına sahip birçok ana dalgacık mevcuttur. Dalgacık terimi, küçük dalga anlamında dalgacık olarak ifade edilir. Buradaki küçüklük belirli uzunlukta pencere fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Buradaki ana kelimesi ise bir ana fonksiyondan dönüşüm tekniği ile türetilip değişik alanları desteklemek için oluşturulan fonksiyonlardır. Diğer bir ifade ile ana dalgacık bir prototiptir. Dalgacık nitelik yönünden ele alınacak olursa aşağıdaki iki koşulu sağlayan bir gerçek değerli $\omega(x)$ fonksiyonu olması gerekir.

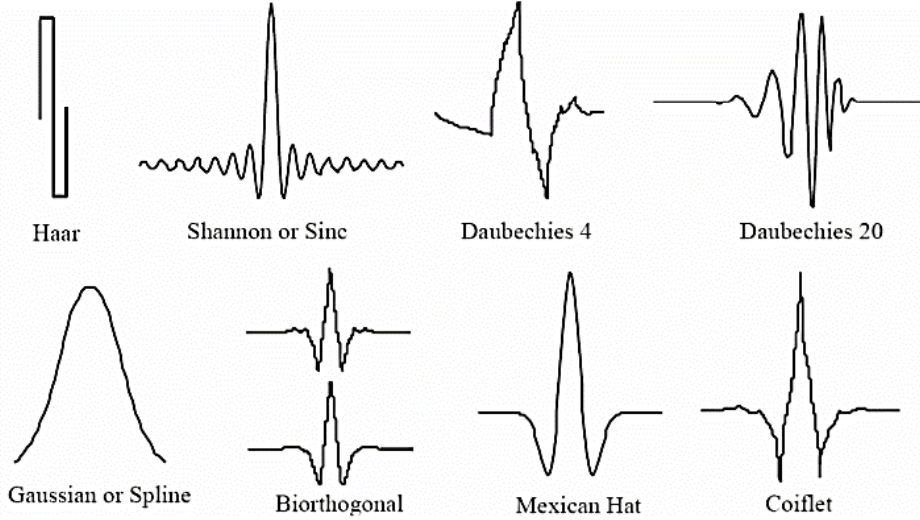


Şekil 2.12. Dalgacık analizinde ölçek-zaman alanı

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty} \omega(x) dx = 0\right) \quad (2.1)$$

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2(x) dx = 1\right) \quad (2.2)$$

Dalgacık dönüşümünde kullanılan bazı ana dalgacık fonksiyonları Şekil 2.12'de verilmiştir. Şekil 2.12'den de görüldüğü gibi ana dalgacıklar genlik ekseninde salınım yaparak sifira oturmaktadır.



Şekil 2.13. Örnek dalgacık şekilleri

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)

SDD, dalgacık fonksiyonunun kaydırılıp bir ölçek ile çarpılmasından sonra, zaman alanı boyunca toplanmasıyla elde edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Arı vd. 2008).

$$SDD_{(s,\tau)} = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \omega_{s,\tau}^*(t) dt \quad (2.3)$$

Ayrık Dalgacık Analizi (ADD)

Elde edilen tüm zaman dizilerinin veri sayısı arttığı zaman, analizin süresi ve hassasiyeti artar. Bunu engellemek için belirli ölçekte gruplar oluşturularak analiz yapılır. Genel olarak (en pratik ve en kullanışlı olan) s ve τ değerlerini ikinin kuvveti olacak şekilde tanımlamaktır. Bu şekilde yapılan dalgacık tanımlanması Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olarak adlandırılır. Matematiksel olarak sürekli dalgacık dönüşümünden hiçbir farkı yoktur. Sadece hesap sınırı, dizinin zaman aralığına, ölçek-kaydırma değerleri de analistin tercihinin bağlıdır. Bir zaman dizisinin ADD değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Arı vd. 2008).

$$ADD_{\tau,s} = \omega(2^s t + \tau) \quad (2.4)$$

Dalgacık güç spektrumu (Wavelet Power Spectrum)

Belirli bir ölçek ve bölgedeki sinyal enerjisinin miktarı olarak tanımlanır ve SDD değerinin karesi ($SDD(s,\tau)$) 2 ile ifade edilir. Hem ölçeğe hem zamana bağlı olan WPS değeri, bir yüzey tarafından gösterilir. Bu yüzeyin konturlarının alınarak bir düzleme çizilmesi, zaman-ölçek gösterimli dalgacık güç spektrumunu oluşturur. WPS değeri, değişimin baskın modlarını tanımlamaktadır. Bu değer her ölçek için hesaplanmalıdır. Genellikle skoloqram olarak ifade edilir ve farklı ölçek veya frekanslardaki değişimin dalgalanmasını iyi bir şekilde ifade tanımlar (Öner vd. 2011).

2.3.3.2. Görgül kip ayrışımı

Görgül kip ayrışımı, İngilizcesi empirical mode decomposition (EMD) olarak bilinen yöntem, Huang (2014) tarafından önerilen doğrusal ve durağan olmayan sinyaller için geliştirilmiş sinyal işleme yöntemidir. Temel olarak kübik spline interpolasyon yardımıyla üst ve alt zarfların bulunarak bunların ortalaması esasını bulma esasına dayanır. Böylece işaret kendini oluşturan yarı ortogonal özgül kip fonksiyonları İngilizcesi intrinsic mode function (IMF) olarak adlandırılan salınımlar cinsinden ifade etmeye dayanmaktadır. Bu yöntemde elde edilen her salınımın IMF olabilmesi için iki koşul gerekmektedir. Üç nokta sayısının sıfır geçiş sayısına eşit veya farkın bir olmalı. Üst ile alt zarfın ortalamasının sıfır olması gerekmektedir.

Fourier Dönüşümü ve Dalgacık Dönüşümü ile kıyaslandığında taban fonksiyonu seçimi gerektirmemesi, sinyal uyarlamalı ve durağan olmayan sinyaller için geliştirilmiş olması sebebiyle işaret işleme uygulamaları için alternatif yöntem olarak başarıyla kullanılmaktadır. EMD algoritmasının en önemli kısmı eleme algoritmasıdır. IMF'leri belirtilen iki özelliği sağlayana kadar sinyalin içinden elde etmeye dayanır.

2.4. Elektriksel Stimülasyon

Kaslara deri yüzeyinden yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla elektriksel uyarım verilerek yapay kasılmalar oluşturularak kasın çalışması sağlanır ve reinervasyon sürecinde kasların güç kaybı azaltılmaya çalışılır. Aynı zamanda elektrik stimülasyonunun, ağrı ve güçsüzlük çeken kişiler için etkili bir tedavi seçeneği olduğu gösterilmiştir. Ağrıyı azaltmak, kas yeniden eğitim ve güçlendirme, hareket aralığını artırma, dolaşımını artırma, spastisiteyi azaltmak, ödem azaltmak, iltihabı azaltmak ve genel vücut dinamiklerine katkısı vardır. Ayrıca, özellikle herhangi bir spinal kord yaralanması veya felç geçirdikten sonra kasların aktif tutulmasında yardımcıdır.

2.5.1. Elektriksel stimülasyon tarihçesi

18. yüzyılda Galvani, akımın kası aktive edebileceğine dair ilk bilimsel kanıtı sağladı. 19. ve 20. yüzyıllarda araştırmacılar kas hareketini yaratan kesin elektriksel özellikleri incelediler ve belgelediler. Elektrik stimülasyonu ile uyarılan vücut fonksiyonlarının kaslarda uzun süreli değişikliklere neden olduğu keşfedildi. 1960'larda Sovyet spor bilim adamları, %40 kuvvet kazancı olduğunu iddia ederek elit sporcuların eğitimine EMS'yi uyguladılar. 1970'lerde, bu çalışmalar Batı spor kuruluşları ile konferanslar sırasında paylaşıldı. Ancak, sonuçların çelişkili olması, belki de EMS'nin

uyguladığı mekanizmaların yeterince anlaşılmamasıydı. Son zamanlarda yapılan tıbbi fizyoloji araştırması, elektriksel stimülasyonun kas hücrelerinin, kan damarlarının ve sinirlerin adaptasyonuna neden olduğu mekanizmaları işaret etmiştir.

2.5.2. Elektriksel stimülasyon çeşitleri

Çok sayıda elektroterapi biçimi, azalan ağrı ve inflamasyondan fonksiyon ve güç geliştirmeye kadar birçok amaca hizmet etmek için kullanılmaktadır. Bunlar: NMES (Nöromusküler Elektrik Stimülasyonu), EMS (Elektriksel Kas Stimülasyonu), FES (Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu), TENS (Transkutanöz Elektriksel Sinir Stimülasyonu), ETS (EMG Tetiklemeli Stimülasyon) ve RETS (Karşılıklı EMG Tetiklemeli Stimülasyon)'dur.

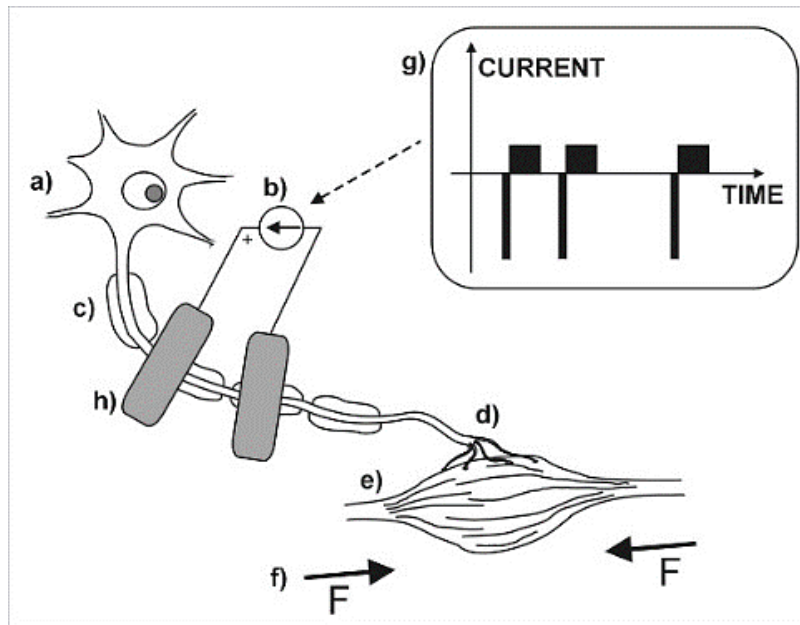
Bu tezde Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon cihazı kullanılmış olup nakil ve replant hastalarında kasların aktif tutulması ve hareket kas dinamiklerinin koordinasyonunun sağlanması amacıyla çalışmada kullanılmıştır.

2.5.2.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon (FES)

Nöronlar elektriksel olarak aktif hücrelerdir (Denny 1929). Nöronlarda, yaklaşık 80-90 mV hücre elektrik potansiyelinde kısa bir değişikliği temsil eden aksiyon potansiyelleri olarak adlandırılan bir dizi elektriksel uyarı olarak kodlanır ve iletilir. Sinir sinyalleri frekans modülasyonudur; yani, bir zaman biriminde meydana gelen aksiyon potansiyellerinin sayısı, iletilen sinyalin yoğunluğu ile orantılıdır. Tipik aksiyon potansiyeli frekansı 4 ila 12 Hz arasındadır. Bir elektriksel uyarım, bir hücrenin dış zarının hemen yakınında elektrik yükünü indükleyerek bir sinir hücresi membranı boyunca bu da sinir aksonunu da içerir elektrik potansiyelini değiştirerek bu aksiyon potansiyelini yapay olarak ortaya çıkarabilir (Buller et al. 1960).

FES cihazları, sinir hücrelerini elektriksel olarak aktive etmek için bu özellikten yararlanırlar. Bu durumda kasları veya diğer sinirleri aktive edebilir (Pette et al. 1973). Bununla birlikte, güvenli FES cihazları tasarlanırken dikkatli olunmalıdır. Çünkü dokudan elektrik akımı geçirilmesi, uyarılabilirlik veya hücre ölümü gibi olumsuz etkilere yol açabilir. Bu, termal zarara, hücre zarının elektroporasyonuna, elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonlardan toksik ürünlere veya hedeflenen nöronların veya kasların aşırı uyarılmasına bağlı olabilir. Tipik olarak FES nöron ve sinirlerin uyarılması ile ilgilidir. Bazı uygulamalarda, FES periferik sinirleri ise, Kopmuş veya hasar görmüş yani denerve kaslar için doğrudan kasları uyarmak için kullanılabilir (Ward and Shkurato 2002). Merkezi sinir sisteminde yaralanmaya bağlı felç olmuş kişilerde yapay olarak vücut hareketleri oluşturmak için düşük enerjili elektrik darbeleri kullanılabilir. Daha spesifik olarak, FES, kavrama, yürüme, mesane işeme ve ayakta durma gibi işlevler üretmek için başka şekilde felç olmuş bacaklarda kas kasılması oluşturmak için kullanılabilir. Bu teknoloji başlangıçta omurilik yaralanması, kafa travması, inme ve diğer nörolojik bozukluklar olan kişilerde sürekli işlevlerin yerini almak için uygulanan nöroprotezleri geliştirmek için kullanılmıştır. Başka bir deyişle, bir tüketici istediği işlevi üretmek istediğinde cihazı kullanacaktır (Salmons and Vrbova 1969).

Klinik FES'te kullanılan tipik stimülasyon protokolleri, elektrik darbelerinin trenlerini içerir. Bifazik yüklü şarjlı darbeler, elektriksel stimülasyonun güvenliğini artırdığı ve bazı olumsuz etkileri en aza indirdikleri için kullanılır. Darbe süresi, darbe genliği ve darbe frekansı, FES cihazları tarafından düzenlenen anahtar parametrelerdir. FES cihazları mevcut veya voltaj regülasyonlu olabilir. Mevcut düzenlenmiş FES sistemleri, her zaman cilt/doku direncine bakmaksızın dokuya aynı yükü verir. Bu nedenle, mevcut düzenlenmiş FES sistemleri, stimülasyon yoğunluğunun sık ayarlanmasını gerektirmez. Voltaj regüle edilmiş cihazlar, cilt/doku direnci değiştikçe, değiştikleri yük değiştikçe, stimülasyon yoğunluğunun daha sık ayarlanmasını gerektirebilir. Stimülasyon nabız trenlerinin özellikleri ve stimülasyon sırasında kaç kanalın kullanıldığı, karmaşık ve sofistike FES kaynaklı fonksiyonun ne olduğunu tanımlar. Sistem, kas güçlendirmesi için FES sistemleri gibi basit olabilir veya aynı anda ulaşma ve kavrama için kullanılan FES sistemleri gibi karmaşık olabilir (Harris 2005).



Şekil 2.14. FES motor nöron stimülasyonu

Şekil 2.14.'de gösterilen FES motor nöron stimülasyonu olup: (a) Hücre çekirdeği, dendritlerden gelen girdileri sentezlemek ve sinyal üretip üretmemeye karar vermekle sorumludur. Bir inme veya omurilik yaralanmasının ardından, kaslar bozulur çünkü motor nöronlar artık merkezi sinir sisteminden yeterli girdi almazlar. (b) Fonksiyonel bir elektriksel stimülasyon sistemi, elektrik akımını hücreye enjekte eder. (c) Sağlam ancak hareketsiz akson uyarını alır. (d) Nöromüsküler bileşke için bir aksiyon potansiyeli yayar. (e) İlgili kas lifleri, kas gücü oluşturur ve üretir. (g) Negatif pulslar üretilir. (h) Negatif akımın belirtilen "aktif" elektrotta aksona girdiği yerde depolarizasyon gerçekleşir.

3. MATERYAL VE METOT

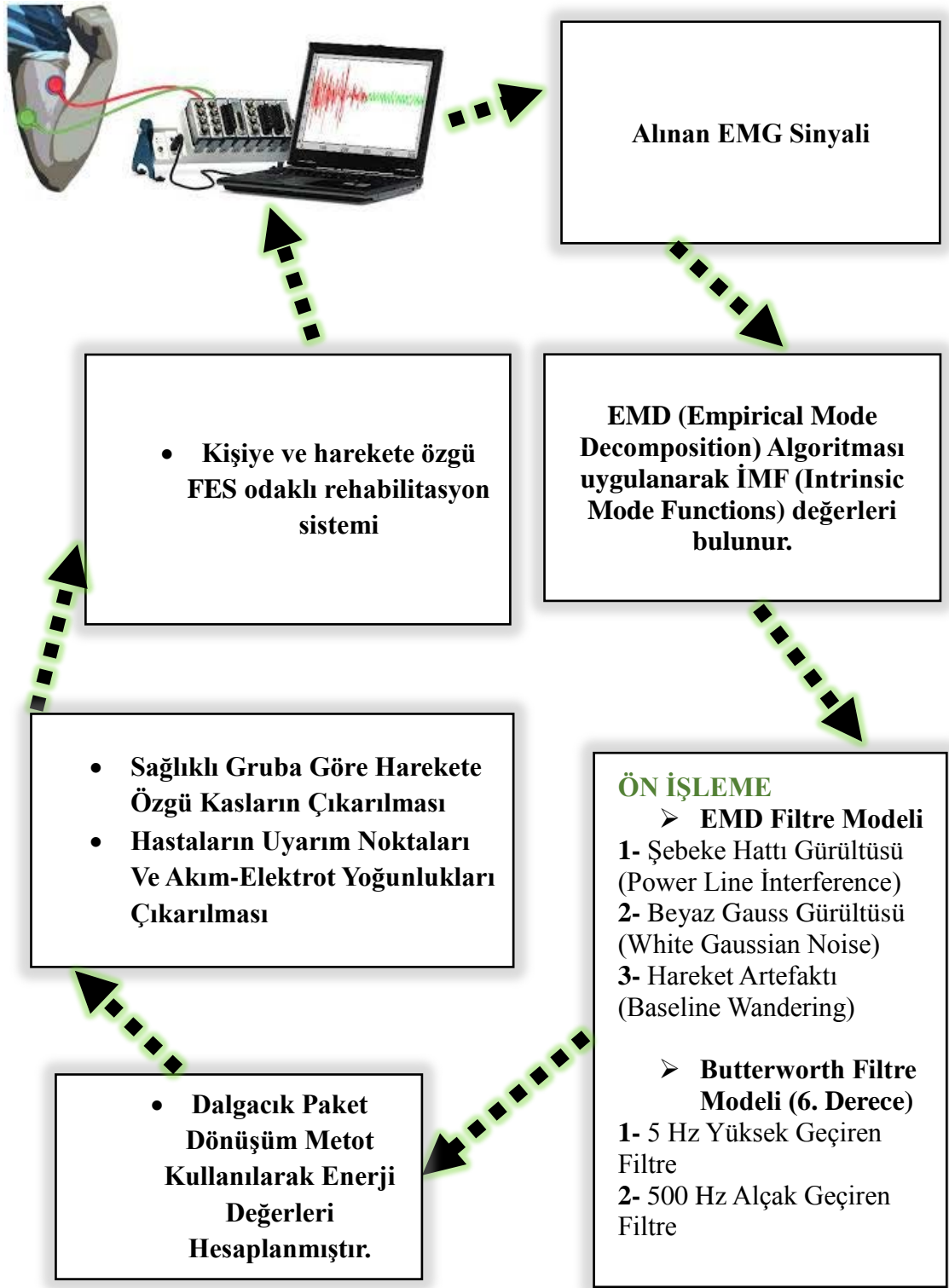
2013-2015 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim Dalı, Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi Anabilim Dallarının gerçekleştirdiği 113E182 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında 'Yüz ve kol transplantasyonlarında ve travma hastalarında fonksiyonel hareketlerin elektriksel uyarılar ile geliştirilmesi' ile nakil ve replantlar da rehabilitasyon prosedürlerin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Aynı ekip Radyoloji Anabilim Dalı ekibinin katılımıyla 2016 yılında halen devam etmekte olan 215E012 nolu TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında 'Yüz nakli, kol nakli ve ampute hastalarında beyin plastisitesinin analizi ve rehabilitasyon amaçlı değerlendirilmesi' beyin ve kas dinamiklerinin haritalanması ve sonuçların dahilinde FES oluşturulması üzerine çalışılmıştır. Dahilinde olduğum iki proje sürecinde oluşturulan bu tezde periyodik yapılan FES uygulamalarının yapıldığı ve yapılmadığı dönemdeki iyileşme süreci değişiklikleri değerlendirilmiş olup rehabilitasyon sonucu iyileşme ve gelişim sonuçları bahsedilecektir. Olguların nakil durumlarına göre farklı ölçüm süreçleri uygulanmış olup detayları ve analizleri gruplandırılarak anlatılacaktır. Bu bölüm 2 kısma ayrılarak incelenecektir. Birinci bölüm EMG ve FES cihazları tanıtımı ve kullanımı, EMG sinyal ön işleme ve sonrasında anlamlı yorumlanabilir hale getirebilmek adına yapılan sinyal işleme uygulamalarından bahsedilecektir. İkinci kısım ise nakil ve replant durumlarına göre olguların kayıt prosedürleri, harekete özgü seçilmiş kas elektrot pozisyonları, etkin ve uyarım noktalarının belirlendiği algoritma ve FES hazırlık aşaması ve uygulama süreçlerinden bahsedilecektir. İyileşme süreçleri ve periyodik FES dinlenimleri arası rehabilitasyonların kalitesinin belirlendiği sonuçlar bulgular ve tartışma kısmında verilecektir.

3.1. EMG ve FES Cihazları EMG Sinyal İşleme Algoritması

Yüzey EMG kayıtları için Biyopotansiyel yükselteç ve ADInstruments PowerLab 35/8 ve 35/16 veri toplama sistemleriyle 9 mm çaplı bipolar elektroensefalografi (EEG) elektrotları kullanılmıştır. FES için Hasomed firmasının RehaStim-1 modeli 8 kanallı cihazlarından üç adet kullanılmıştır. Şekil 3.1'de Sinir Bilim laboratuvarı çalışma ortamı ve kayıt ortamını görmekteyiz.

3.1.2. EMD (Empirical Mode Decomposition) algoritması ve filtre modelleri

Yüzey EMG genellikle üç tip gürültüyle bozulur. Bunlar şebeke hattı gürültüsü (power line interference), beyaz Gauss gürültüsü (white gaussian noise) ve hareket artefaktı (baseline wandering) sinyal üzerinde gürültüye neden olmaktadır. Esas olarak EMD dayanan yeni bir çerçeve, yüzey EMG'deki üç gürültü kirliliğini azaltmak için geliştirilmiştir. Xu Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada EMD tabanlı yöntemlerin avantajları, rutin elektrot dizilim yüzey EMG kayıtlarından elde edilen sinyalleri kullanarak, geleneksel dijital filtreler ile karşılaştırılarak gösterildi. Deneysel sonuçlar, EMD tabanlı yöntemlerin, özellikle işlenmiş sinyalin sinyaline oranı düşük olduğunda, geleneksel dijital filtreler göre daha iyi performans sağladığını göstermiştir.



Şekil 3.1. EMG ve FES uygulamasının şeması



Şekil 3.2. Yüzey EMG ve FES kayıt düzeneği

EMG sinyaliniz $X(t)$ olsun. Sinyalin içerisinde IMF fonksiyonları olan $\alpha(n)$ ve artığı $r(n)$ olsun. IMF fonksiyonlarının algoritması şöyledir: EMG sinyali $x(n)$ içerisinde yerel üst ve alt maksimum/minimum noktaları $M_i, i=1,2,\dots$ ve $m_k, k=1,2,3 \dots$ olarak bulunur. Kübik interpolasyon ile bulunan üst ve alt noktaları birleştirilerek, üst zarf; $M(n) = f_M(M_i, n)$ ve alt zarf; $m(n) = f_m(m_i, n)$ olur. Alt ve üst zarfların ortalaması bulunur.

$$h(n) = (M(n) + m(n))/2 \quad (2.5)$$

Elde edilen IMF'lerin iki koşulu sağlamalıdır: Sıfırdan geçiş ve uç noktaların sayısı ya eşit olmalı ya da en fazla 1 farklı olmalıdır. Yerel maksimum noktalarıyla belirlenen üst zarf ile yerel minimum noktalarıyla belirlenen alt zarfın ortalaması sıfır olmalıdır. Eğer $h(n)$ IMF koşullarını sağlıyorsa; IMF, $\alpha(n) = h(n)$ olarak sakla. Değilse, $h(n)$ sinyalden çıkarılır.

$$x(n) = x(n) - h(n) \quad (2.6)$$

Eğer $x(n)$ durdurma kriterlerini sağlıyorsa durdurulur ve $r(n) = h(n)$ olarak kaydedilir. IMF'ler sabit veya trend şeklinde artıkr (n) elde edilinceye kadar eleme algoritması ile elde edilir. Böylece EMD algoritması ile herhangi bir kabul ve seçim yapılmadan IMF'ler elde edilir. Ayırıştırma işlemi yapılmış olur.

$$x(n) = \sum_{i=1}^L \varphi_i(n) + r(n) \quad (2.7)$$

3.1.3. Dalgacık paket dönüşüm ağacı

EMG analizimizde Dalgacık Paket Dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Filtre yapısına bağlı olarak çoklu düğüm seçenekleriyle ayrıntılı frekans aralıklarının tespitine yönelik çalışmadır. Ölçekleme ve öteleme parametrelerine bağlı olarak bütün frekans

aralıklarının optimum frekans-zaman çözünürlüğü sağlanabilmektedir oldukça etkin bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümü, fonksiyonları, operatörleri veya veriyi farklı frekanstaki bileşenlerine ayıran ve ayrı ayrı her bileşen üzerinde çalışmamıza izin veren bir araçtır. Dalgacık paketleri dalgacık ve çoklu çözünürlük yöntemlerinin arasındaki bağlantının genelleştirilmiş halidir. Bu genelleştirme aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$W_{m,j,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} W_j (2^{-m}t - n) \quad (2.8)$$

Burada $j \in \mathbb{N}$ her m seviyesi için düğüm indeksidir. Her ayrıştırma bileşeninin ortalama karekök (RMS) değeri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$W_{m,j,n}(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum |W_{m,j}(r)|} \quad (2.9)$$

Her düğüm için toplam dalgacık paket enerjisi şeklinde hesaplanır.

$$E_{tot} = \sum_{j=0}^{2^M-1} |W_{m,j}(r)|^2 \quad (2.10)$$

3.2. Kol Replant Olgularına Özgü Rehabilitasyon Süreci Tasarımı

Konu kapsamında da bahsedildiği üzere travma sonucu kolun dirsek üstü veya omuz altı kopması ve acile olgunun ve kopan uzvun getirilip mikrocerrahi süreci içinde kolun yerine dikilmesi olayına kol replantasyon denir. Çalışmamıza katılan 2 kol replant olgusununda omuzun skapula bölgesinden kendi kolları mikrocerrahi operasyonu ile dikilmiştir. Her iki olgunun da yaşları, kol boyutları ve operasyon detayları dikkate alınarak olguya özgü hareket seçimi yapılmış, kol kasları sınıflandırılmış olup çok kanallı yüzey EMG elektrot pozisyonu oluşturulmuştur. Olguya özgü oluşturulan sistem ile EMG kayıtları alınmıştır. Her 2 kol replant olgusununda tek kol replant olması üzerine sağlıklı kollarından da replant olan kollarının süreci uygulanarak kayıt alınmıştır. Sağlıklı kol hareket odaklı etkin elektrot seçimi için kullanılmıştır. Hem replant hemde sağlıklı kol EMG sinyal analizleri sonucunda FES süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. Beyin plastisite odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar:

- i) Sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi.
- ii) İmitasyon (görsel taklit) öğrenme.
- iii) Mental pratik.
- iv) Hedef/görev odaklı eğitim.
- v) Ayna terapisi (sonraki bölümde detaylı bahsedilmiştir).
- vi) Doğru hareket öğrenimi.
- vii) Destekli hareket öğrenimi.
- viii) Eve verilen kısıtlayıcı yoğun terapi egzersizleri mevcuttur.

Birinci olgumuz 17 yaşında sol kol replantasyon, ikinci olgumuz ise 4 yaşında sağ kol replantasyon operasyonu geçirmiştir. Detaylı olarak bu bölümde bahsedilecektir.

3.2.1. Skapular sol kol replant olgusu P.L.

Birinci Kol Replant olgumuz 9 yaşında iken Ekim 2010 tarihinde asansör kazasında sol kolu kopması sonucu Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesinde Prof. Dr. Ömer Özkan ve ekibi tarafından başarılı ameliyat sonucu kolu dikilmiştir. 2014 yılından beri projemize dahil olan P.L. 3 dönem rehabilitasyon sürecine tabi tutulmuştur. 2017 yılında 3 ay 12 seans rehabilitasyon uygulanmıştır. 1 yıl dinlenme dönemi takiben 2018 yılında sıklaştırılmış yeni rehabilitasyon süreci ile 3 buçuk ay 20 seanslık 40 saatlik rehabilitasyon süreci uygulanmıştır.

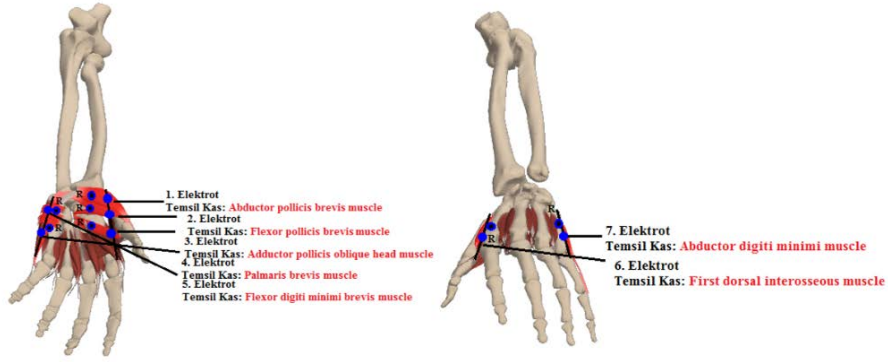
3.2.1.1. Kol kaslarının sınıflandırılması ve EMG elektrot pozisyonu

Konu Kapsam kısmında detaylı olarak üst ekstremitte kaslarından bahsedilmiştir. Hem hareket hem de kasların seçimi ve sınıflandırılması üzerine yapılan çalışmada el bölgesi, orta kol bölgesi ve üst kol bölgesi ayrıntılı hareketleri ve tetikledikleri kaslar seçilmiştir. Arthur Guyton fizyoloji kitabından kas bölgeleri ve çalışma prensibi takip edilmiştir. Görsel olarak harekete odaklı kasların seçimi için anatomy tv sitesinden yararlanılmıştır. Kol kaslarının yaptığı hareketler: Fleksiyon, Ekstansiyon, Abduksiyon, Adduksiyon, Supinasyon, Rotasyon, External ya da Lateral Rotasyon, Internal ya da Medial Rotasyon, Circumduction, Pronation, Supination hareketlerine bağlı kaslar ve hareketler seçilmiştir.

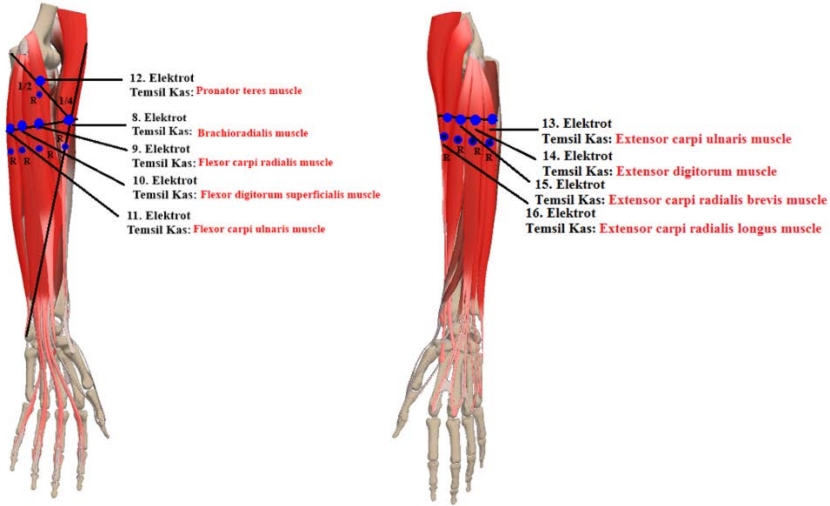
Çizelge 3.1. P.L olgusuna yaptırılan hareketler

Baş Parmak Hareketleri		Parmak Hareketleri	
1	Başparmak Abdüksiyon	6	İşaret Parmağı Kasılması
2	Başparmak Addüksiyon	7	Orta Parmağı Kasılması
3	Başparmak Ekstensiyon	8	Yüzük Parmağı Kasılması
4	Başparmak Fleksiyon	9	Küçük Parmağı Kasılması
5	Başparmak Oppozisyon	10	Destekli İşaret Parmağı Kasılması
Kavrama Hareketleri		11	Destekli Orta Parmağı Kasılması
16	Yumruk	12	Destekli Yüzük Parmağı Kasılması
17	Silindir Kavrama	13	Destekli Küçük Parmağı Kasılması
18	Sıkıca Çubuk Kavrama	14	Dört Parmak Fleksiyon
19	Gevşek Şekilde Çubuk Kavrama	15	Dört Parmak Ekstensiyon
Hassas Kabiliyet Gerektiren Hareketler		Bilek Hareketleri	
20	Yatay Şekilde Para Tutma	23	Bilek Fleksiyon
21	Dikey Şekilde Para Tutma	24	Bilek Ekstensiyon
22	Kalem Tutma	25	Bileği Sağa Hareket Ettirme
		26	Bileği Sola Hareket Ettirme
Kol Hareketleri			
27	Ağırlık Tutma	31	Kol Abdüksiyon
28	Ağırlık Taşıma	32	Kol Addüksiyon
29	Kol Fleksiyon	33	Kol Circular
30	Kol Ekstensiyon	34	Kol Medialden Laterale

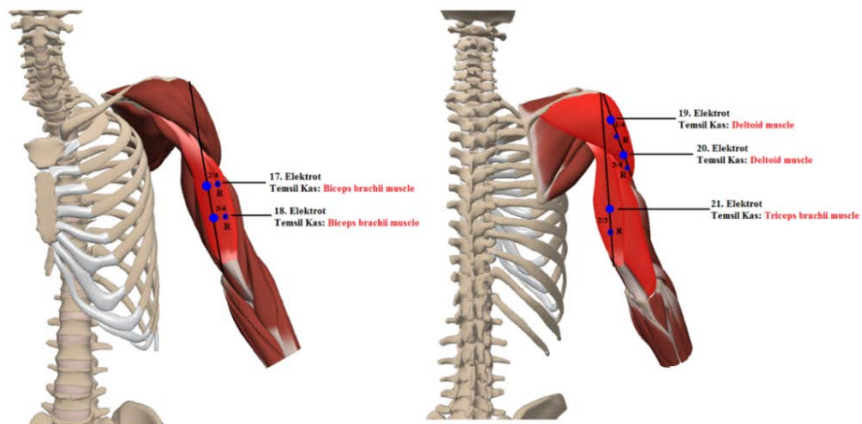
Seçilen Üst Ekstremitate ve El Bölgesi Kas Seçimi ve Elektrot Yerleştirilmesi



Şekil 3.3. El bölgesi elektrot pozisyonu



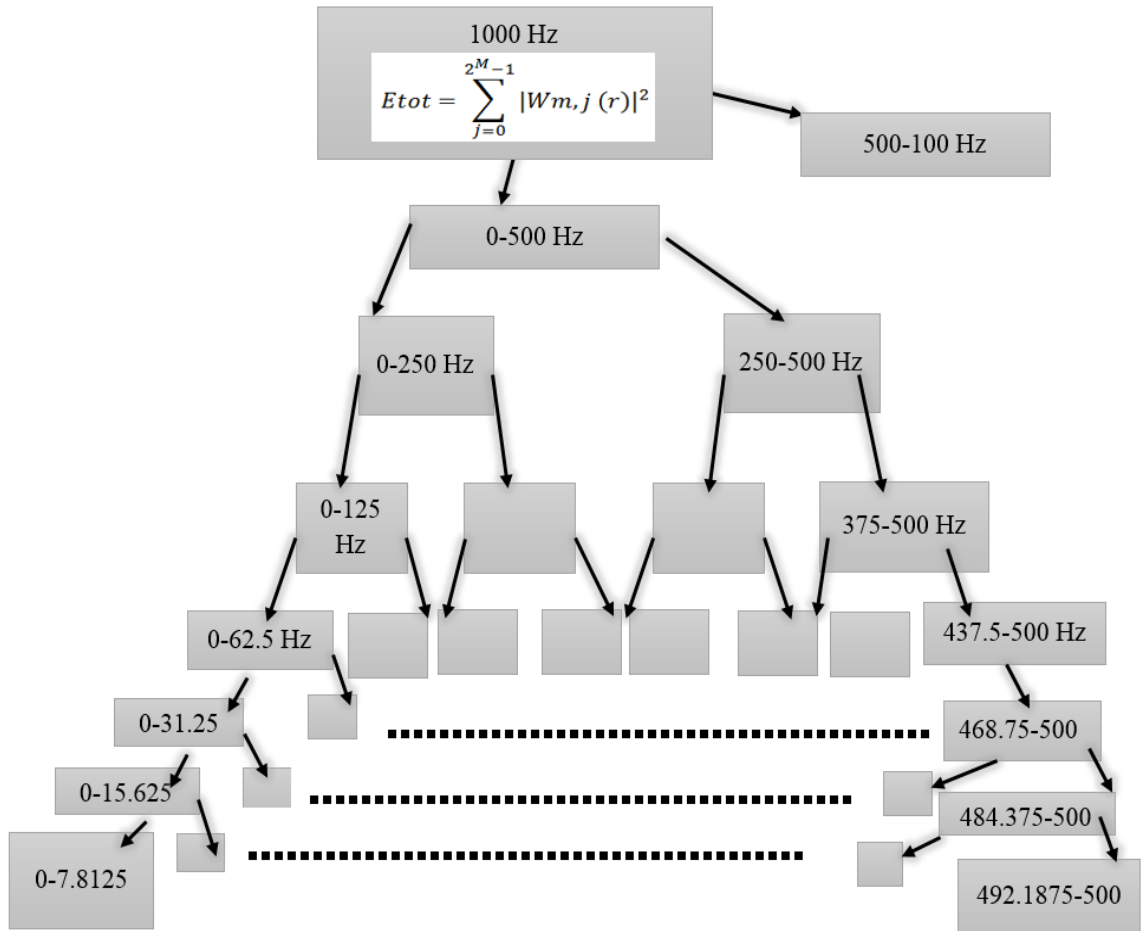
Şekil 3.4. Orta kol elektrot pozisyonu



Şekil 3.5. Üst kol elektrot pozisyonu

3.2.1.2. EMG kaydının alınması

EMG kaydı için ilk önce kol alkol ile silinir ve kurulanır. Seçilen kas bölgeleri kol boyut ölçümlerine göre işaretlenir. Bipolar EMG elektrotları aktif ve referans arası 2 cm olacak şekilde deri empedansını düşürerek iletkenliği artıran jel ile kolun işaretlenen noktalarına yerleştirilir. EMG kaydı 2kHz örnekleme frekansı ile her hareket için 30 saniye ve 4 tekrarlı olarak alınır. Eş zamanlı kamera kayıtları ile ölçüm takip edilir. Bu işlem hastanın her iki kolu içinde uygulanır. EMG dataları için 3.1. bölümde anlatılan filtreleme ve analiz aşamaları uygulanır. Bu bölümde etkin elektrot seçim algoritması, uyarım noktalarının seçimi ve akım-elektrot tablolarının oluşturulmasında bahsedilecektir. Bu süreç FES için hazırlık evresidir. Sağlıklı sağ koldan 21 kanallı alınan EMG dataları filtrelendikten ve dalgacık enerji değerleri çıkarıldıktan sonra etkin elektrot seçimi ve uyarım noktaları ile akım-elektrot değerleri algoritmasına girer.



Şekil 3.6. Dalgacık paket ağacı 7 düğümü

- i) Hareketin bütün kanalları (elektrotları) için 7. dereceden Daubechies (db) dalgacık dönüşüm enerjisi değerleri ortalaması alınır.

$$e_{ort_i} = \frac{1}{2^{d-1}} (a(1) + a(2) + a(3) + \dots + a(2^{d-1})) \quad (2.11)$$

ii) Hareketin kendi içindeki kanalların değerlerinin medyanı (ortanca değer) hesaplanır.

$$H_k = [e_{ort_1} \ e_{ort_2} \ e_{ort_3} \ \dots \ e_{ort_i}] \quad (2.12)$$

iii) Kanallar küçükten büyüğe doğru dizilir.

$$Med_{sirası} = \frac{1}{2}(i + 1) \quad (2.13)$$

$$Med_{değeri} = e_{ort_Med_{sirası}} \quad (2.14)$$

iv) Hareketin kendi içindeki kanalların değerlerinin standart sapması alınır. A_{ort} , kanalların değerlerinin ortalamasıdır. σ ise standart sapma değeridir.

$$A_{ort} = \frac{1}{2}(e_{ort_1} + e_{ort_2} + \dots + e_{ort_i}) \quad (2.15)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{i-1} \sum_{i=1}^i (e_{ort_i} - A_{ort})^2} \quad (2.16)$$

$$Eşikdeğer = Med_{değeri} + \frac{\sigma}{2} \quad (2.17)$$

v) Belirlenen eşik değer etkin elektrot seçimi için kullanılır.

vi) Çok kanallı kas pozisyonunda harekete özgü olan kasların kasılması, harekete özgü olmayan kasların ise gevşemesini bekleriz. Aynı şekilde kanal değerlerine bakıldığında artış ve azalışlarının düzensiz bir sıralama olduğu görülmektedir. Ortalama üzerinden yapılacak işlemler verinin orijinal değerlerinden sapmamıza neden olacaktır. Düzensiz veri setinde medyan(ortanca) değer hesabı veriden uzaklaşmamızı engelleyeceği için tercih edildi. Bir örnek verilecek olursa; P.L. sağlıklı sağ koldan alınan yumruk hareketi enerji değerleri (küsurları silinmiştir.)

A= [662 2075 3555 942 1298 3437 1351 147 23 10 47 15 115 862 187 78 68 198 7 30 0] A'yı küçükten büyüğe sıralayalım.

A= [0 7 10 15 23 30 47 68 78 115 **147** 187 198 662 862 942 1298 1351 2075 3437 3555]

Medyan Değeri: 147 olarak hesaplanmıştır.

Dizideki Eleman Sayısı: 21 olarak hesaplanmıştır.

Dizi Ortalaması: 719.38095238095 olarak hesaplanmıştır.

En Küçük Sayı: 0 olarak hesaplanmıştır.

En Büyük Sayı: 3555 olarak hesaplanmıştır.

Standart Sapma: 1086.0781498672 olarak hesaplanmıştır.

3.2.1.3. FES odaklı rehabilitasyon sistemi için uygulanan prosedür

Kas ve beyin dinamikleri organizasyonu odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar; sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi, imitasyon (görsel taklit) öğrenme, mental pratik, hedef/görev odaklı eğitim, doğru hareket öğrenimi, destekli hareket öğrenimi, eve verilen kısıtlayıcı yoğun terapi egzersizleri mevcuttur.

EMG sinyal analizleri sonucunda Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. P.L. olgusunun el, orta kol ve üst kol elektrik akım eşik değeri cilt üzerine verilen elektriksel uyarılar ile belirlenmiştir. Uyarılar hissedilen akım değerleri alt eşik değerini oluşturmuş olup, şiddetli hissedilen akım altı değerleri ise üst eşik değerini oluşturmuştur. Kol bölgelerin cilt üzerinde elektriksel akım eşik değerleri;

El bölgesi (1,2,3,4,5,6,7 elektrotları kapsar). Alt eşik: 10 mA ve üst eşik: 14 mA bulunmuştur.

Orta kol bölgesi (8,9,10,11,12,13,14,15,16 elektrotları kapsar). Alt eşik: 8 mA ve üst eşik: 10 mA bulunmuştur.

Üst kol bölgesi (17,18,19,20,21 elektrotları kapsar). Alt eşik: 6 mA. Ve üst eşik: 10 mA bulunmuştur.

Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. P.L. sağlıklı sol kol hareket bazlı etkin kasları verilmiştir. Olgunun sol replant kol için tablosu akım-elektrot yoğunluğu değerleri bu verilere göre belirlenmiştir.

Uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri belirlendikten sonra rehabilitasyon sürecine başlanır. FES cihazı olarak 8 kanallı 3 adet Hasomed-RehaStim cihazı 24 kanallı olarak edinilmiştir. 24 Kanallı FES cihazı için EMG’de kayıt için kullanılan 9 mm EEG elektrotları adapte edilerek iki cihazın elektrot boyutları, yapıları ve iletkenlik özellikleri dengelenmiş olmuştur. P.L. olgusu için 3 adet cihaz kullanılmış olup 21 elektrot yerleştirilmiştir. Elektrotlar yerleştirilmeden önce hareketlerin elektrotsuz videoları alınmış olup hareketlerin egzersizleri yapılmıştır. Harekete özgü oluşturulan kas-elektrot pozisyonu kol bölgesine yerleştirilir. Cihaz elde edilen uyarım tablosuna göre frekans, akım, uyarım süresi ve sıklığı programlanır. 50 Hz’de programlanan cihaz her hareket için 4 dakika sürmektedir. Program süresince 4 saniye uyarı 2 saniye dinlenme şeklinde periyodik olarak devam etmektedir. Hareket destekli olarak ve desteksiz olarak yaptırılmıştır. P.L. olgusunun doğru kalem tutma egzersizleri yaptırılmıştır. Yazı yazma beceresine dayanan egzersizler (düz, çapraz, harf yazma vb.) yaptırılmıştır. Seanslar sonucu kısmi olarak yazı yazmaya başlamıştır. El hareketleri yapılan el modeli ile hareketlerin imitasyonu (taklit) yaptırılmıştır. Haftada en az 2 kere rehabilitasyon süreci uygulanmış olup seanslar 2 buçuk saat sürmektedir. Her seansın sonunda 15 dakika kol bölgesine vibrasyon cihazı ile titreşimli masaj yapılmıştır.

P.L. RLL01 - RLL15



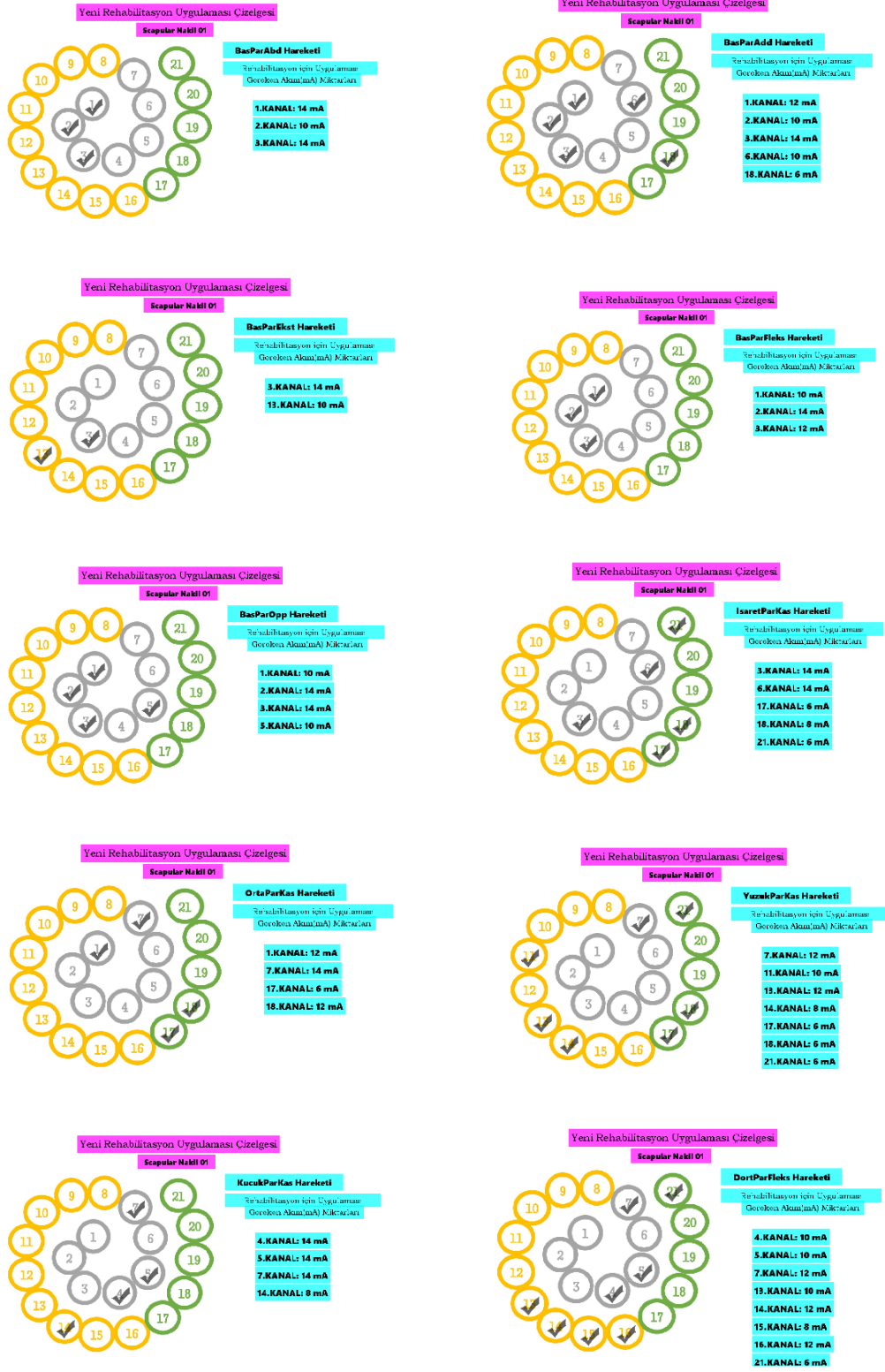
Şekil 3.7. P.L. sağlıklı sol kol ilk 15 harekete özgü etkin kas noktaları

P.L. RLL15 - RLL30



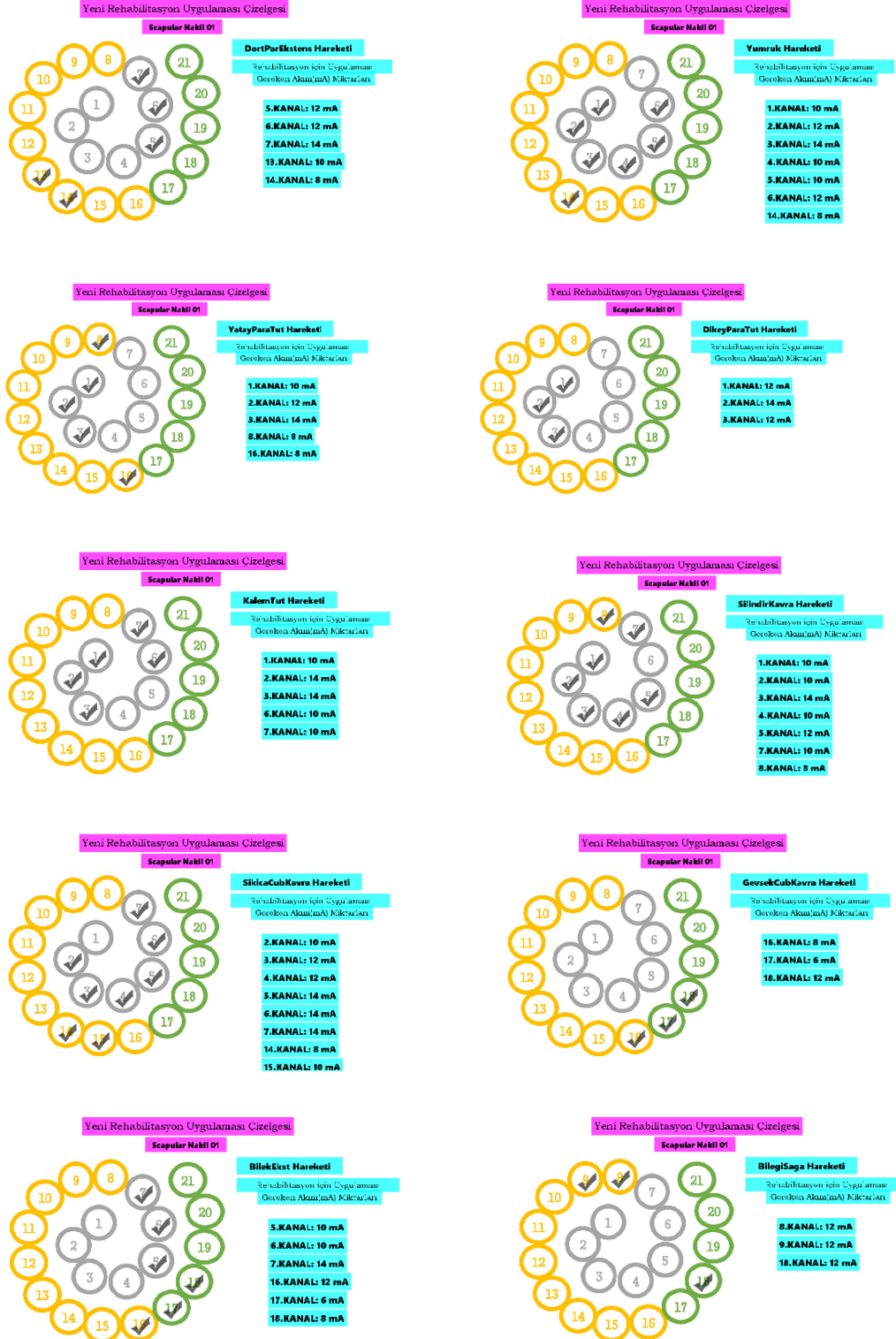
Şekil 3.8. P.L. sağlıklı sol kol son 15 harekete özgü etkin kas noktaları

P.L. YRUC RLL01 – RLL10



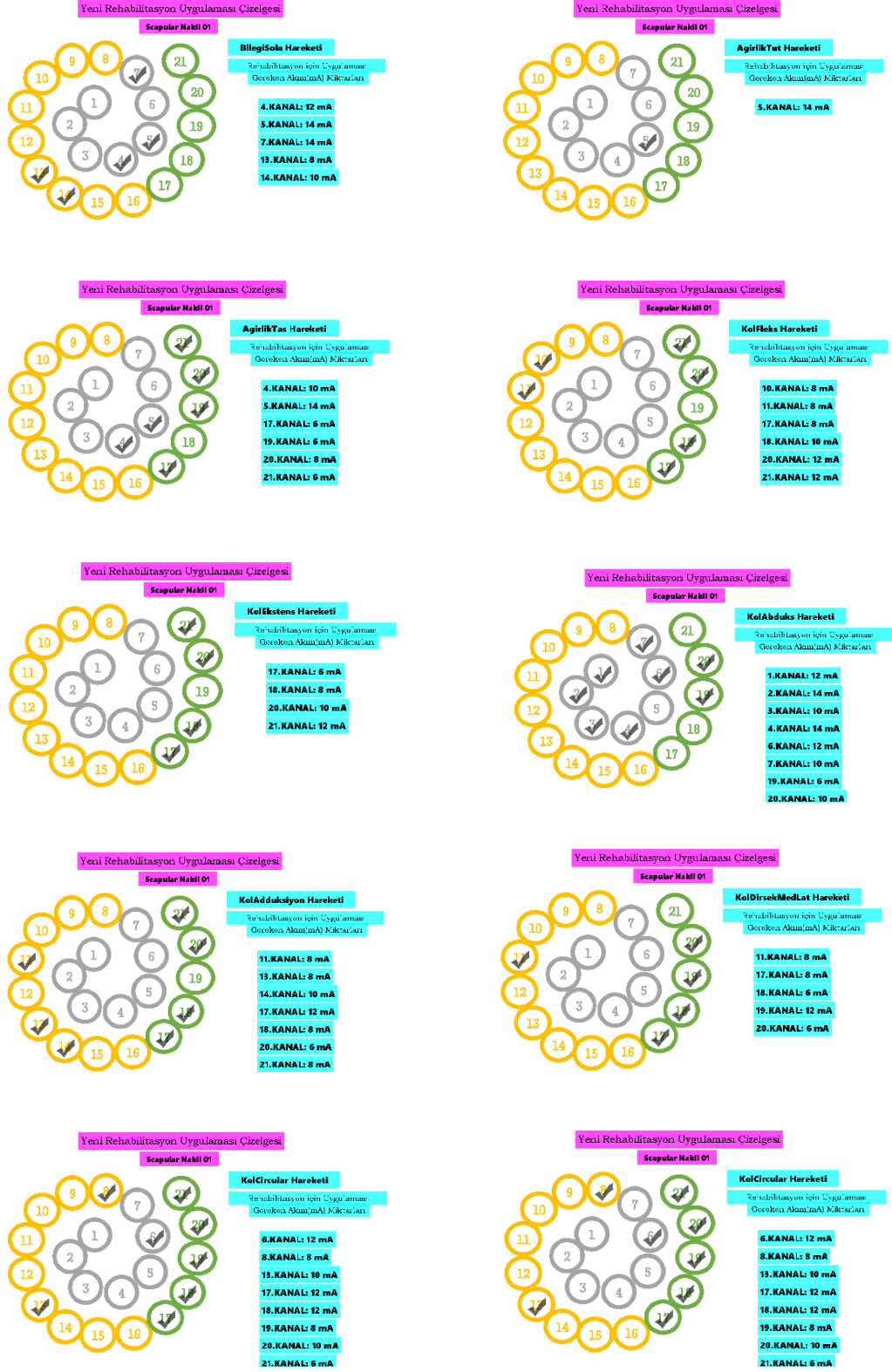
Şekil 3.9. P.L. ilk 10 hareket uyarım noktaları ve akım değerleri

P.L. YRUC RLL10 – RLL20



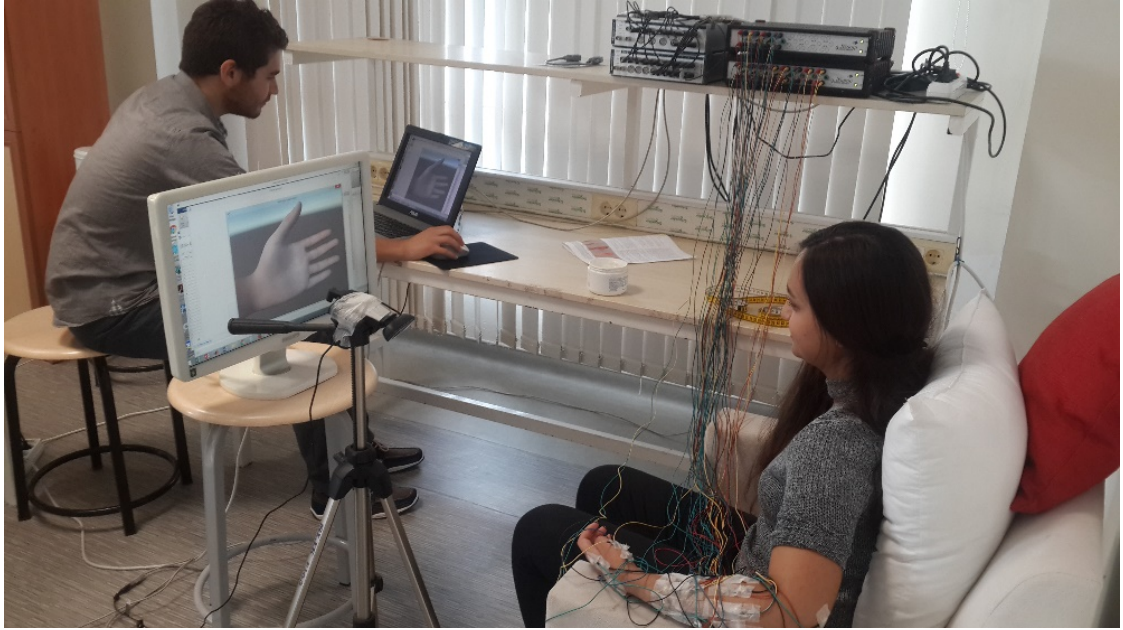
Şekil 3. 10. P.L. 10-20 arası hareketlerin uyarım noktaları ve akım değerleri

P.L. YRUC RLL20 – RLL30



Şekil 3.11. P.L. son 10 hareket uyarım noktaları ve akım değerleri

Uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri belirlendikten sonra rehabilitasyon sürecine başlanır. FES cihazı olarak 8 kanallı 3 adet Hasomed-RehaStim cihazı 24 kanallı olarak edinilmiştir. 24 Kanallı FES cihazı için EMG’de kayıt için kullanılan 9 mm EEG elektrotları adapte edilerek iki cihazın elektrot boyutları, yapıları ve iletkenlik özellikleri dengelenmiş olmuştur. P.L. olgusu için 3 adet cihaz kullanılmış olup 21 elektrot yerleştirilmiştir. Elektrotlar yerleştirilmeden önce hareketlerin elektrotsuz videoları alınmış olup hareketlerin egzersizleri yapılmıştır. Harekete özgü oluşturulan kas-elektrot pozisyonu kol bölgesine yerleştirilir. Cihaz elde edilen uyarım tablosuna göre frekans, akım, uyarım süresi ve sıklığı programlanır. 50 Hz ‘de programlanan cihaz her hareket için 4 dakika sürmektedir. Program süresince 4 saniye uyarı 2 saniye dinlenme şeklinde periyodik olarak devam etmektedir. Hareket destekli olarak ve desteksiz olarak yaptırılmıştır. P.L. olgusunun doğru kalem tutma egzersizleri yaptırılmıştır. Yazı yazma beceresine dayanan egzersizler (düz, çapraz, harf yazma vb.) yaptırılmıştır. Seanslar sonucu kısmi olarak yazı yazmaya başlamıştır. El hareketleri yapılan el modeli ile hareketlerin imitasyonu (taklit) yaptırılmıştır. Haftada en az 2 kere rehabilitasyon süreci uygulanmış olup seanslar 2 buçuk saat sürmektedir. Her seansın sonunda 15 dakika kol bölgesine vibrasyon cihazı ile titreşimli masaj yapılmıştır.



Şekil 3.12. P.L. el modeli ile hareketlerin taklidi

3.2.2. Skapular sağ kol replant olgusu O.M.D

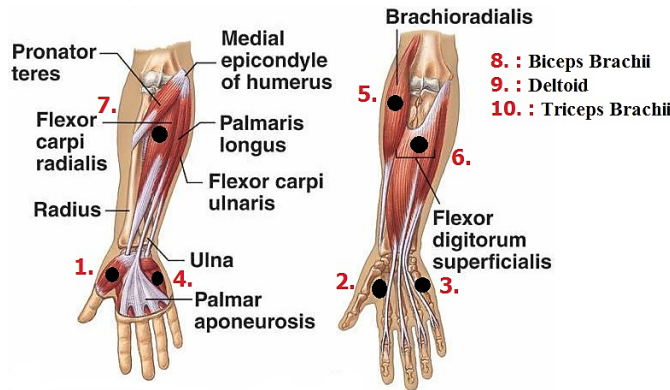
İkinci Kol Replant olgumuz 3 yaşında iken 2016 yılında traktör kazasında sağ kolu kopması sonucu Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesinde Prof. Dr. Ömer Özkan ve ekibi tarafından başarılı ameliyat sonucu kolu dikilmiştir. 2018 yılında projemize dahil olan O.M.D. son dönem rehabilitasyon sürecine tabi tutulmuştur. 2018 yılında sıklaştırılmış yeni rehabilitasyon süreci ile 3 buçuk ay 25 seans 50 saatlik rehabilitasyon süreci uygulanmıştır.

3.2.2.1. Kol kaslarının seçimi ve elektrot pozisyonunun oluşturulması

Olgumuz 5 yaşında çocuk olduğu için kol boyutlarına göre etkin olarak 10 elektrot yerleştirilmiştir. Elde 4 temel kas bölgesine, orta kolda 3 temel kas bölgesine ve üst kolda 3 temel kas bölgesine elektrot yerleştirilmiştir. Kol kaslarının yaptığı hareketler: Fleksiyon, Ekstansiyon, Abduksiyon, Adduksiyon, Supinasyon, Rotasyon, External ya da Lateral Rotasyon, Internal ya da Medial Rotasyon, Circumduction, Pronation, Supination hareketlerine bağlı kaslar ve hareketler seçilmiştir.

Çizelge 3.2. O.M.D. yaptırılan hareketler

Baş Parmak Hareketleri		Parmak Hareketleri	
1	Başparmak Abdüksiyon	6	İşaret Parmağı Kasılması
2	Başparmak Addüksiyon	7	Orta Parmağı Kasılması
3	Başparmak Ekstansiyon	8	Yüzük Parmağı Kasılması
4	Başparmak Fleksiyon	9	Küçük Parmağı Kasılması
5	Başparmak Oppozisyon	10	Dört Parmak Fleksiyon
Kavrama Hareketleri		11	Dört Parmak Ekstansiyon
12	Yumruk	Hassas Kabiliyet Gerektiren Hareketler	
13	Silindir Kavrama	16	Yatay Şekilde Para Tutma
14	Sıkıca Çubuk Kavrama	17	Dikey Şekilde Para Tutma
15	Gevşek Şekilde Çubuk Kavrama	18	Kalem Tutma
Bilek Hareketleri		Kol Hareketleri	
19	Bilek Fleksiyon	23	Kol Fleksiyon
20	Bilek Ekstansiyon	24	Kol Ekstansiyon
21	Bileği Sağa Hareket Ettirme	25	Kol Abdüksiyon
22	Bileği Sola Hareket Ettirme	26	Kol Addüksiyon



Şekil 3.13. O.M.D. yerleştirilen elektrot-kas noktaları

3.2.2.2. EMG kaydının alınması

EMG kaydı için ilk önce kol alkol ile silinir ve kurulanır. Seçilen kas bölgeleri kol boyut ölçümlerine göre işaretlenir. Bipolar EMG elektrotları aktif ve referans arası 2 cm olacak şekilde deri empedansını düşürerek iletkenliği artıran jel ile kolun işaretlenen noktalarına yerleştirilir. EMG kaydı 2kHz örnekleme frekansı ile her hareket için 30 saniye ve 4 tekrarlı olarak alınır. Eş zamanlı kamera kayıtları ile ölçüm takip edilir. Bu işlem hastanın her iki kolu içinde uygulanır. EMG dataları için 3.1. bölümde anlatılan filtreleme ve analiz aşamaları uygulanır. Bu bölümde etkin elektrot seçim algoritması, uyarım noktalarının seçimi ve akım-elektrot tablolarının oluşturulmasından bahsedilecektir. Bu süreç FES için hazırlık evresidir. Sağlıklı sağ koldan 10 kanallı alınan EMG dataları filtrelendikten ve dalgacık enerji değerleri çıkarıldıktan sonra etkin elektrot seçimi ve uyarım noktaları ile akım-elektrot değerleri algoritmasına girer.

i) Hareketin bütün kanalları (elektrotları) için 7. dereceden Daubechies (db) dalgacık dönüşüm enerjisi değerleri ortalaması alınır.

$$e_{ort,i} = \frac{1}{2^{d-1}}(a(1) + a(2) + a(3) + \dots + a(2^{d-1})) \quad (2.11)$$

ii) Hareketin kendi içindeki kanalların değerlerinin medyanı (ortanca değer) hesaplanır.

$$H_k = [e_{ort,1} \ e_{ort,2} \ e_{ort,3} \ \dots \ e_{ort,i}] \quad (2.12)$$

iii) Kanallar küçükten büyüğe doğru dizilir.

$$Med_{sirası} = \frac{1}{2}(i + 1) \quad (2.13)$$

$$Med_{değeri} = e_{ort,Med_{sirası}} \quad (2.14)$$

iv) Hareketin kendi içindeki kanalların değerlerinin standart sapması alınır. A_{ort} , kanalların değerlerinin ortalamasıdır. σ ise standart sapma değeridir.

$$A_{ort} = \frac{1}{2}(e_{ort,1} + e_{ort,2} + \dots + e_{ort,i}) \quad (2.15)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{i-1} \sum_{i=1}^i (e_{ort,i} - A_{ort})^2} \quad (2.16)$$

$$Eşikdeğer = Med_{değeri} + \frac{\sigma}{2} \quad (2.17)$$

v) Belirlenen eşik değer etkin elektrot seçimi için kullanılır.

vi) Algoritma detaylı olarak materyal metot bölümünde yer alan P.L. olgusunda bahsedilmiştir.

3.2.2.3. FES odaklı rehabilitasyon için uygulanan prosedür

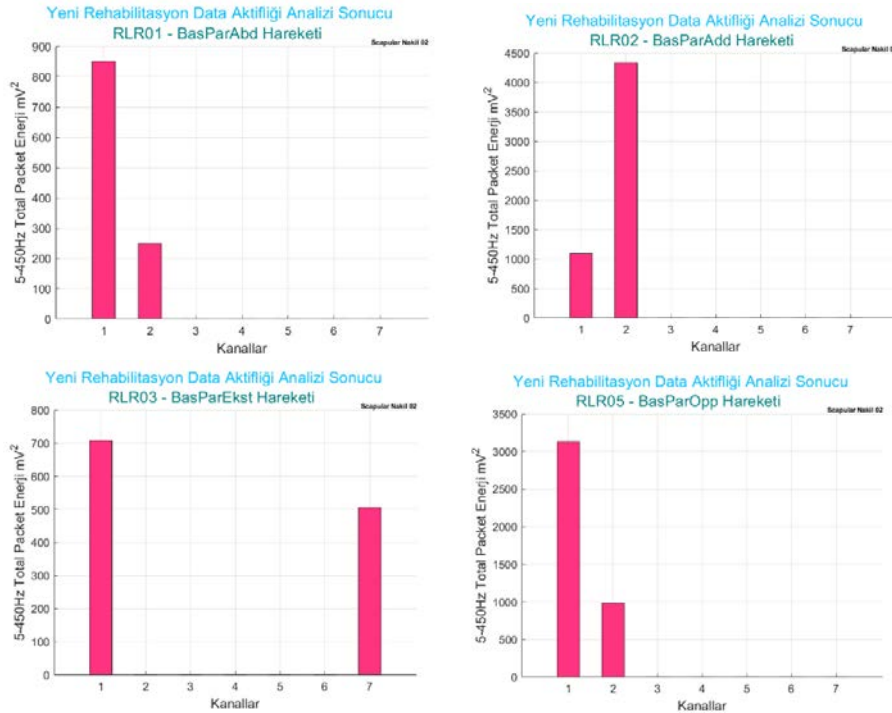
Kas ve beyin dinamikleri organizasyonu odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar; sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi, imitasyon (görsel taklit) öğrenme, mental pratik, hedef/görev odaklı eğitim, doğru hareket öğrenimi, destekli hareket öğrenimi, eve verilen kısıtlayıcı yoğun terapi egzersizleri mevcuttur. EMG sinyal analizleri sonucunda Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. O.M.D. olgusunun el, orta kol ve üst kol elektrik akım eşik değeri cilt üzerine verilen elektriksel uyarılar ile belirlenmiştir. Uyarılar hissedilen akım değerleri alt eşik değerini oluşturmuş olup, şiddetli hissedilen akım altı değerleri ise üst eşik değerini oluşturmuştur. Kol bölgelerin cilt üzerinde elektriksel akım eşik değerleri bulunmuştur.

El bölgesi (1,2,3,4, elektrotları kapsar). Alt eşik: 14 mA ve üst eşik: 20 mA olarak bulunmuştur.

Orta kol bölgesi (5,6,7 elektrotları kapsar). Alt eşik: 12 mA ve üst eşik: 16 mA olarak bulunmuştur.

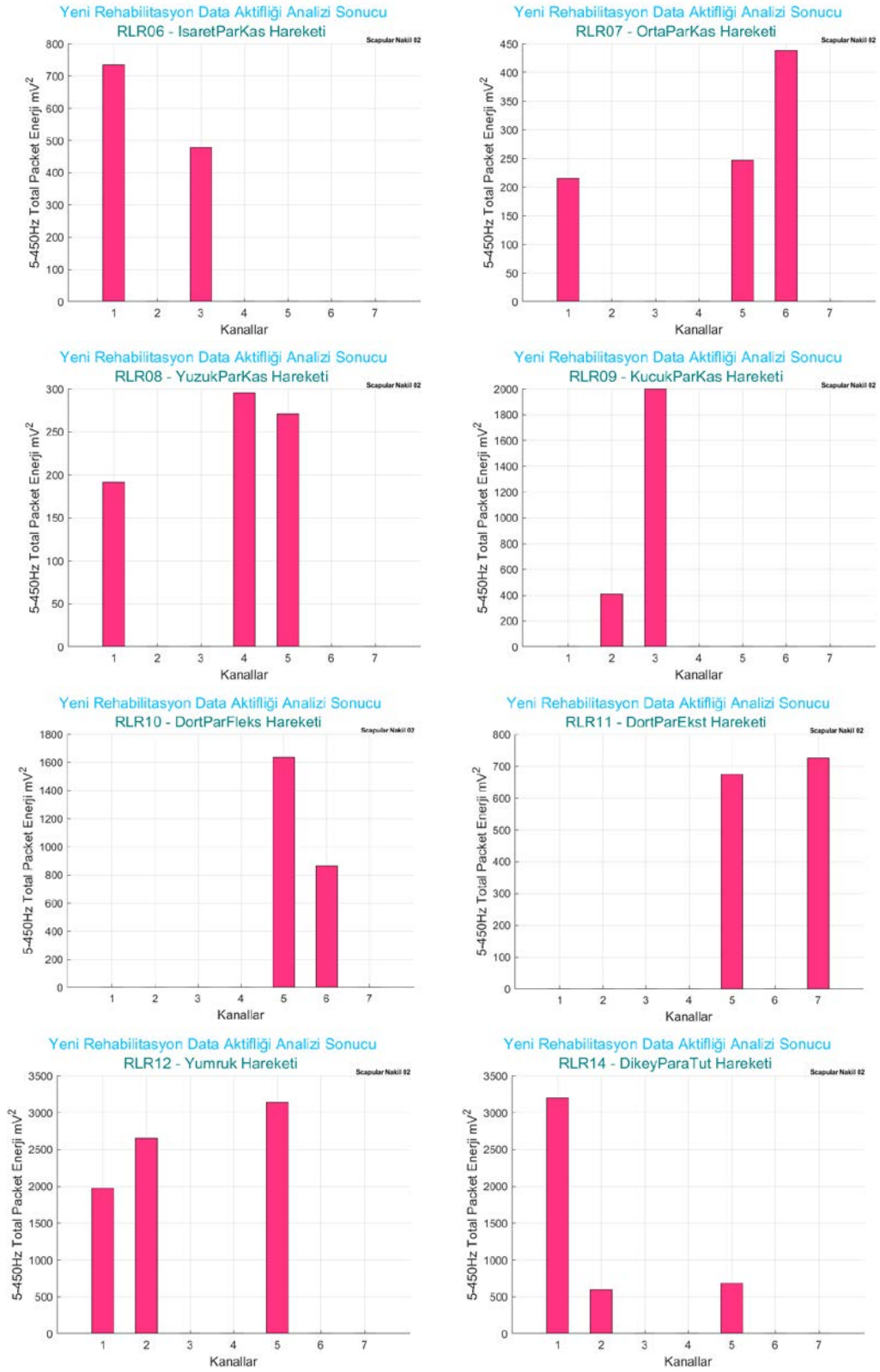
Üst kol bölgesi (8,9,10 elektrotları kapsar). Alt eşik: 10 mA ve üst eşik: 14 mA olarak bulunmuştur.

O.M.D. RLR01 – RLL05



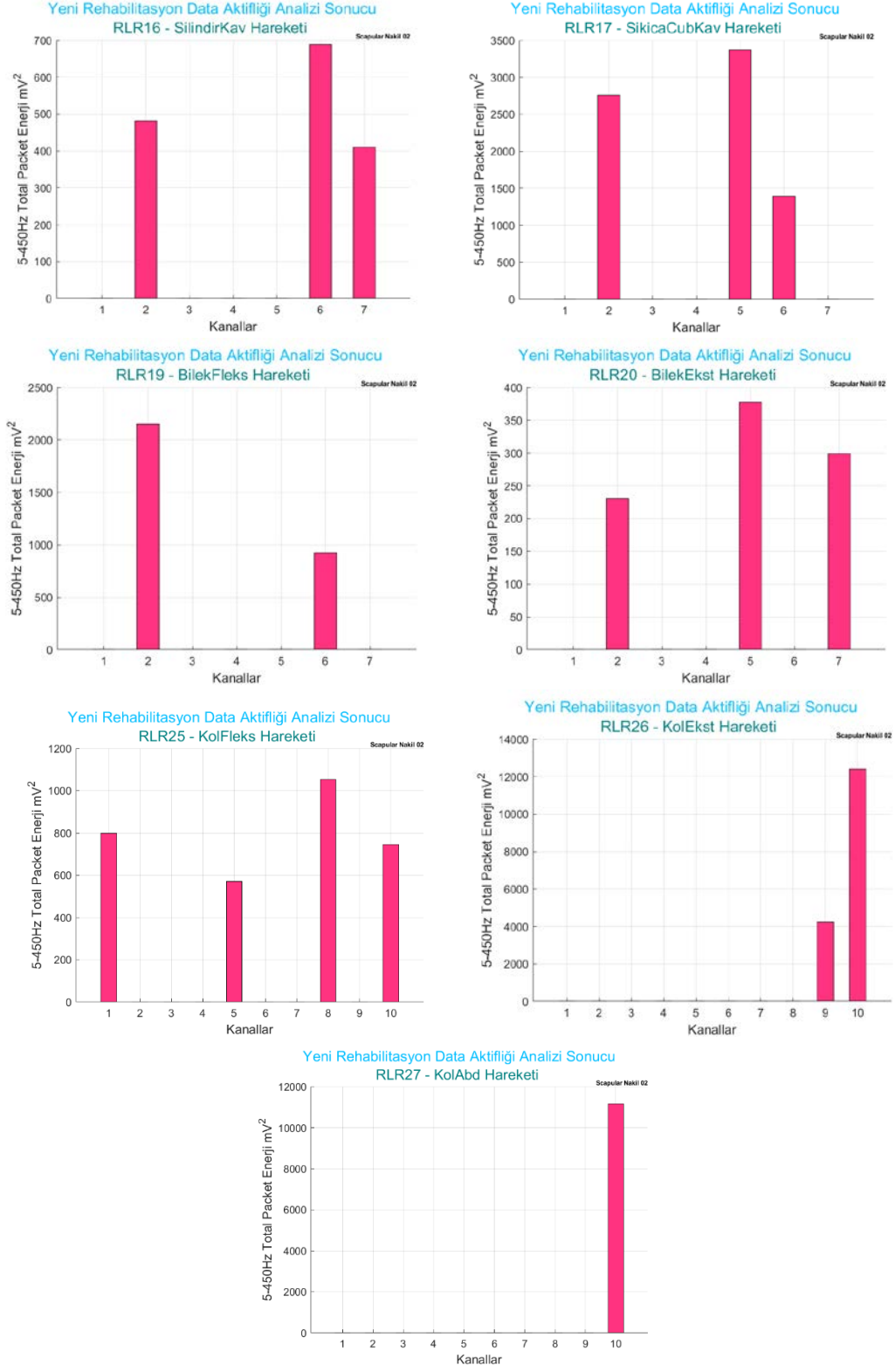
Şekil 3.14. O.M.D sağlıklı sağ kol ilk 4 harekete özgü etkin kas noktaları

O.M.D. RLR06 – RLL14



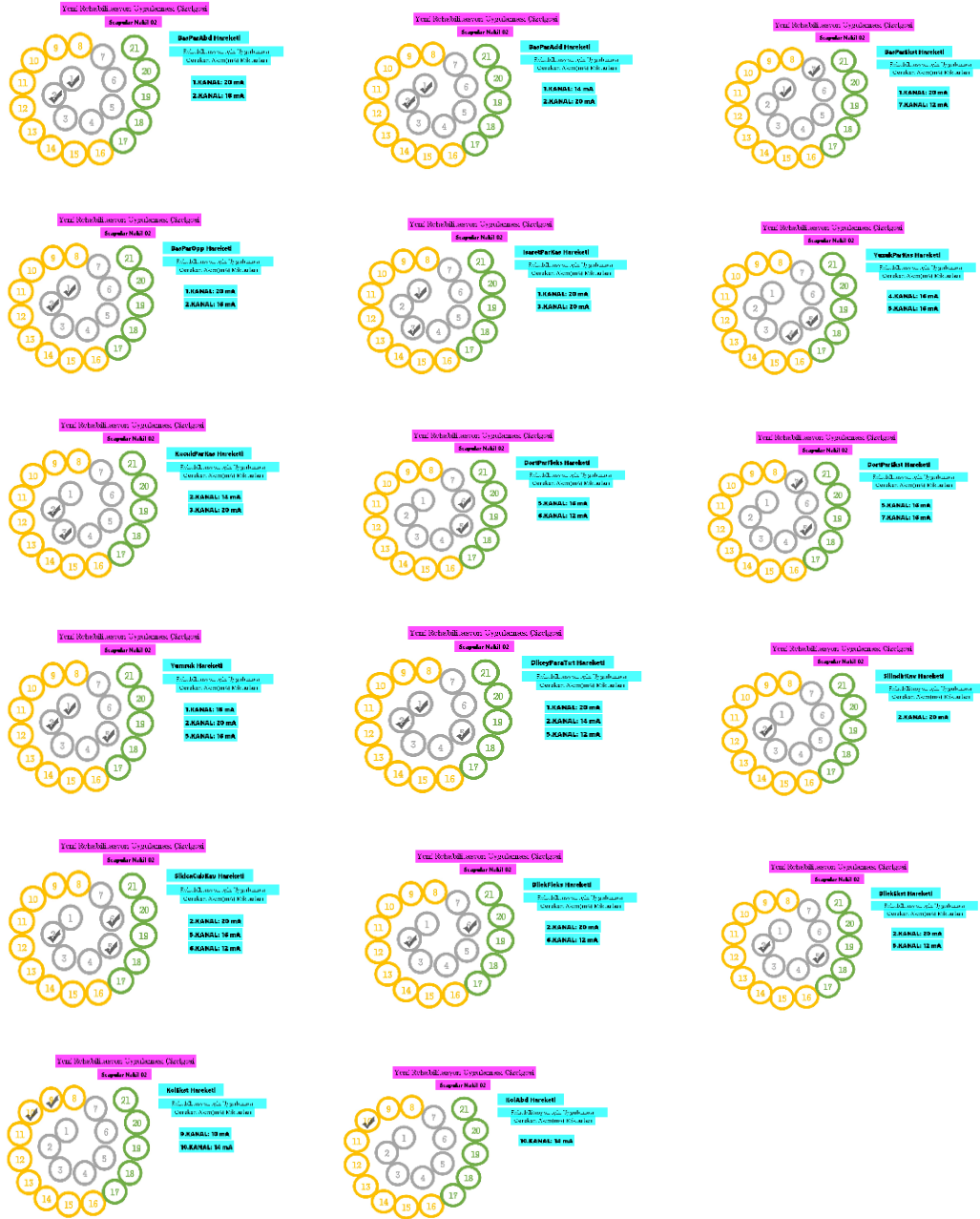
Şekil 3.15. O.M.D sağlıklı sağ kol sonraki 8 harekete özgü etkin kas noktaları

O.M.D. RLR14 – RLL27



Şekil 3.16. O.M.D. sağlıklı sağ kol son 7 harekete özgü etkin kas noktaları

O.M.D. YRUC RLR01 – RLR17



Şekil 3.17. O.M.D. noktaları ve akım-elektrot değerleri

Uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri belirlendikten sonra rehabilitasyon sürecine başlanır. FES cihazı olarak 8 kanallı 3 adet Hasomed-RehaStim cihazı 24 kanallı olarak edinilmiştir. 24 Kanallı FES cihazı için EMG' de kayıt için kullanılan 9 mm EEG elektrotları adapte edilerek iki cihazın elektrot boyutları, yapıları ve iletkenlik özellikleri dengelenmiş olmuştur. O.M.D. olgusu için 2 adet cihaz kullanılmış olup 10 elektrot yerleştirilmiştir. Elektrotlar yerleştirilmeden önce hareketlerin elektrotsuz videoları alınmış olup hareketlerin egzersizleri yapılmıştır. Harekete özgü oluşturulan kas-elektrot

pozisyonu kol bölgesine yerleştirilir. Cihaz elde edilen uyarım tablosuna göre frekans, akım, uyarım süresi ve sıklığı programlanır. 50 Hz 'de programlanan cihaz her hareket için 4 dakika sürmektedir. Program süresince 4 saniye uyarı 2 saniye dinlenme şeklinde periyodik olarak devam etmektedir. El hareketleri yapılan el modeli ile hareketlerin imitasyonu (taklit) yaptırılmıştır. Haftada en az 3 kere rehabilitasyon süreci uygulanmış olup seanslar 2 buçuk saat sürmektedir. Her seansın sonunda 15 dakika kol bölgesine vibrasyon cihazı ile titreşimli masaj yapılmıştır.

3.3. Yüz Nakli Olgularına Özgü FES Odaklı Rehabilitasyon Tasarımı

Travma sonucu yüzünün tamamını ya da bir kısmının tahrip olması sonucu uygun kadavra ya da beyin ölümü gerçekleşmiş donörden alınan yüzün mikro cerrahi süreci ile dikilmesine yüz nakli denir. Çalışmamıza 2 tam yüz nakli olgusu katılmıştır. Her iki olgunun da yaşları, kol boyutları ve operasyon detayları dikkate alınarak olguya özgü hareket seçimi yapılmış, yüz kasları sınıflandırılmış olup çok kanallı yüzey EMG elektrot pozisyonu oluşturulmuştur. 2 olgununda cinsiyeti erkek olup olguya özgü oluşturulan sistem ile EMG kayıtları alınmıştır. Kontrol grubu, 31±5 yaş arasına sahip erkek bireylerdir. Sağlıklı kontrol grubundan alınan kayıttan yüz ifadeleri odaklı etkin elektrot seçimi yapılmıştır. Kontrol grubu ve olguların EMG sinyal analizleri sonucunda Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. Beyin plastisite odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar:

- i) Sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi
- ii) Yüz felci egzersizleri yaptırılmıştır,
- iii) İmitasyon (görsel taklit) öğrenme,
- iv) Mental pratik,
- v) Hedef/görev odaklı eğitim,
- vi) Doğru hareket öğrenimi,
- vii) Destekli hareket öğrenimi mevcuttur.

Birinci olgumuz 25 yaşında, ikinci olgumuz ise 38 yaşında operasyonu geçirmiştir. Detaylı olarak bu bölümde bahsedilecektir.

Çalışma Şekil 3.18. de 'gösterilen çalışma organizasyonu diyagramında gösterilmektedir.

3.3.1. Yüz kaslarının seçimi ve elektrot pozisyonunun oluşturulması

Yüz kasları bağlantı noktalarını yüz ve boyunun deri tabakalarından alıp yüzde mimik hareketlerinin oluşmasını sağlayan kaslardır. Yüz kaslarının her bir hareketi saliseler içinde değiştiği için çoğu durumda her bir mimikten ortak bir ifade ortaya çıkmaktadır. Özellikle de gözler ve ağız yoluyla yüzün en hareketli kısımları olarak öne çıkmaktadır. Konu kapsam kısmında detaylı olarak mimi kaslarından bahsedilmiştir.



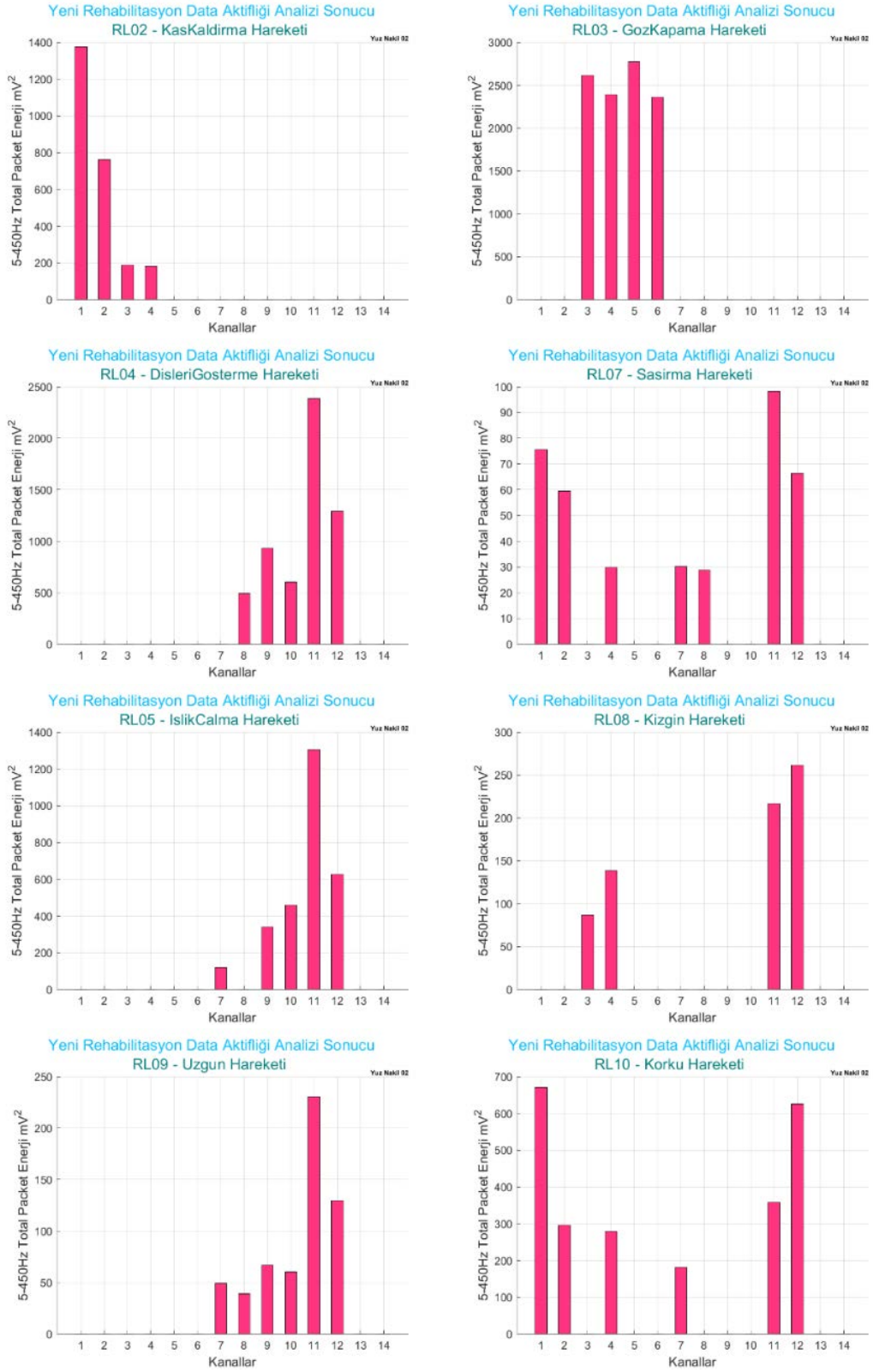
Şekil 3.19. Yüz nakli olgularına yerleştirilen elektrot-kas noktaları

Şekil 3.19’ da numaralandırılan elektrot pozisyonu yüz nakli hastaları için kullanılmıştır. Her elektrot pozisyonuna karşılık gelen noktalar bir kası ifade etmektedir. Çizelge 3.4’ de elektrot noktalarına karşılık gelen kaslar belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Yüz nakli olgularına yerleştirilen elektrot-kas noktaları

Elektrot ve Kas Noktaları	
1.	Occipitofrontalis (Sol Yüz)
2.	Occipitofrontalis (Sağ Yüz)
3.	Orbicularis Oculi (Sol Yüz Göz Üstü)
4.	Orbicularis Oculi (Sağ Yüz Göz Üstü)
5.	Orbicularis Oculi (Sol Yüz Göz Altı)
6.	Orbicularis Oculi (Sağ Yüz Göz Altı)
7.	Zygomaticus Majör (Sol Yüz)
8.	Zygomaticus Majör (Sağ Yüz)
9.	Orbicularis Oris (Sol Yüz Dudak Üstü)
10.	Orbicularis Oris (Sağ Yüz Dudak Üstü)
11.	Orbicularis Oris (Sol Yüz Dudak Altı)
12.	Orbicularis Oris (Sağ Yüz Dudak Altı)
13.	Masseter (Sol Yüz)
14.	Masseter (Sağ Yüz)

G.G.E. RL01 – RLL10



Şekil 3.20. Gönüllü grubu etkin elektrot tablosu

3.3.2. Tam yüz nakli U.A.

Türkiye’ de ilk yüz nakli 21 Ocak 2012’de U.A. ‘a Akdeniz Üniversitesi Plastik, Rekonsrütif ve Estetik Cerrahi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ömer Özkan ve ekibi tarafından Akdeniz Üniversitesi Hastanesi’nde yapıldı. U.A. bebekken evlerinde çıkan yangın nedeniyle yüzünü kaybeden 19 yaşındaki Uğur Acar'a ilk nakil yapıldı.

3.3.2.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon için uygulanan prosedür

Kas ve beyin dinamikleri organizasyonu odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar; sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi, imitasyon (görsel taklit) öğrenme, mental pratik, hedef/görev odaklı eğitim, doğru hareket öğrenimi, destekli hareket öğrenimi, eve verilen yüz felci egzersizleri mevcuttur.

EMG sinyal analizleri sonucunda kişiye ve harekete özgü FES odaklı rehabilitasyon sistemi süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. U.A. olgusunun üst yüz, orta yüz ve alt yüz bölgesi elektrik akım eşik değeri cilt üzerine verilen elektriksel uyarılar ile belirlenmiştir. Uyarılar hissedilen akım değerleri alt eşik değerini oluşturmuş olup, şiddetli hissedilen akım altı değerleri ise üst eşik değerini oluşturmuştur.

Yüz bölgelerinin cilt üzerinde elektriksel akım eşik değerleri bulunmuştur.

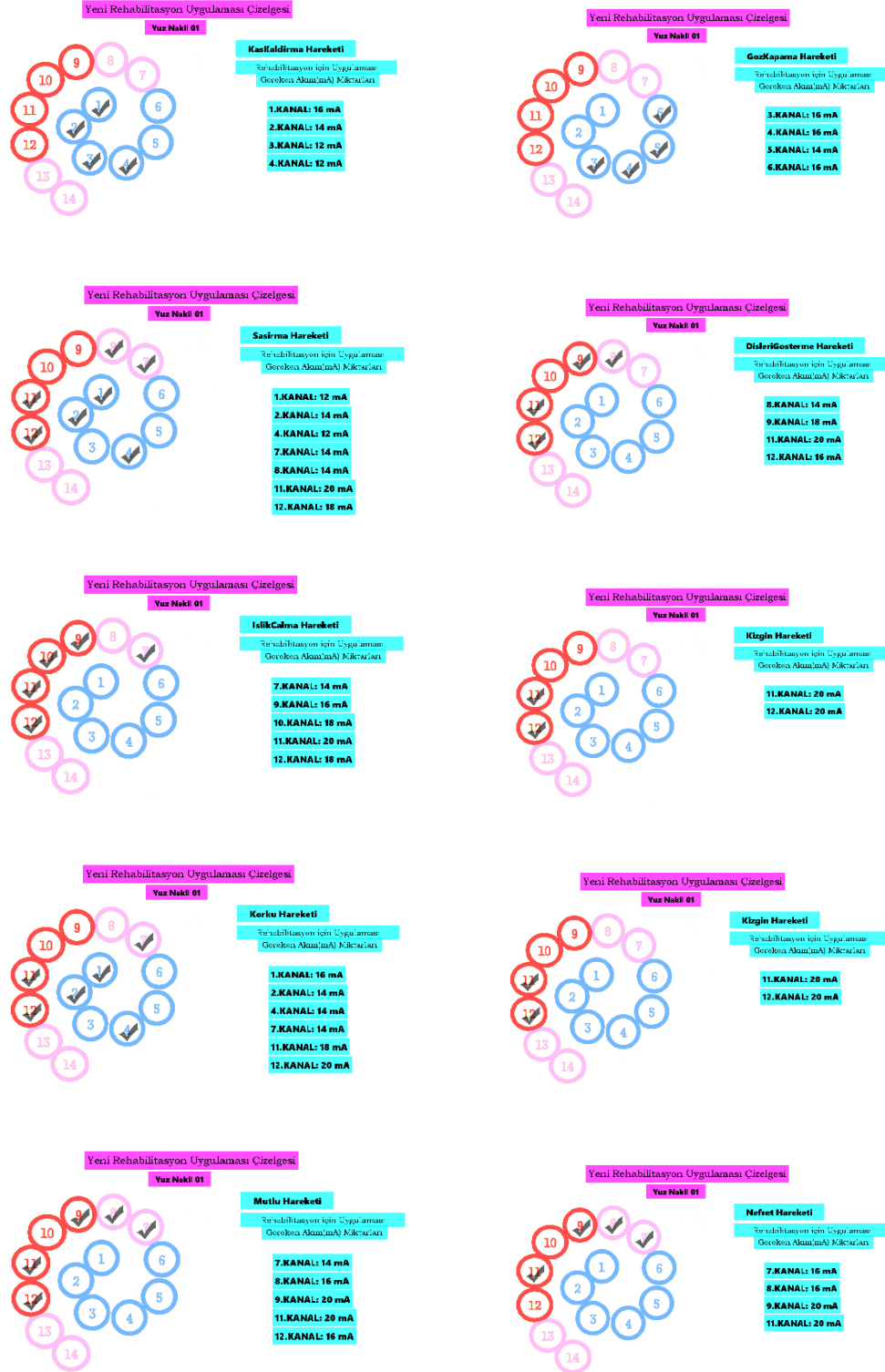
Üst yüz bölgesi (1,2,3,4,5,6 elektrotları kapsar). Alt eşik: 12 mA ve Üst eşik: 16 mA olarak bulunmuştur.

Orta yüz bölgesi (7,8,13,14 elektrotları kapsar). Alt eşik: 14 mA ve Üst eşik: 18 mA olarak bulunmuştur.

Alt yüz bölgesi (9,10,11,12 elektrotları kapsar). Alt eşik: 16 mA ve Üst eşik: 20 mA olarak bulunmuştur.

Uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri belirlendikten sonra rehabilitasyon sürecine başlanır. FES cihazı olarak 8 kanallı 3 adet Hasomed-RehaStim cihazı 24 kanallı olarak edinilmiştir. 24 Kanallı FES cihazı için EMG’ de kayıt için kullanılan 9 mm EEG elektrotları adapte edilerek iki cihazın elektrot boyutları, yapıları ve iletkenlik özellikleri dengelenmiş olmuştur. U.A. olgusu için 2 adet cihaz kullanılmış olup 14 elektrot yerleştirilmiştir. Elektrotlar yerleştirilmeden önce hareketlerin elektrotsuz videoları alınmış olup hareketlerin egzersizleri yapılmıştır. Harekete özgü oluşturulan kas-elektrot pozisyonu kol bölgesine yerleştirilir. Cihaz elde edilen uyarım tablosuna göre frekans, akım, uyarım süresi ve sıklığı programlanır. 50 Hz ‘de programlanan cihaz her hareket için 4 dakika sürmektedir. Program süresince 4 saniye uyarı 2 saniye dinlenme şeklinde periyodik olarak devam etmektedir. Haftada 1 kere rehabilitasyon süreci uygulanmış olup seanslar 2 saat sürmektedir. Her seansın sonunda 15 dakika yüz bölgesine vibrasyon cihazı ile titreşimli masaj yapılmıştır

U.A. YRUC RLY01 – RLY10



Şekil 3.21. U.A. uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri

3.3.3. Tam yüz nakli T.Ç.

Türkiye'nin 4'üncü yüz nakli de 2012 yılında Akdeniz Üniversitesi Hastanesi'nde, Prof. Dr. Ömer Özkan ve ekibi tarafından yapıldı. Donör 19 yaşındaki bir kişinin yüzü, 3,5 yaşındayken ocağa düşmesi nedeniyle yüzü yanan 34 yaşındaki Turan Çolak'a nakledildi. Göz kapakları, saç derisinin yarısı ve kulakları başarılı şekilde nakledildi.

3.3.3.1. Fonksiyonel elektriksel stimülasyon için uygulanan prosedür

Kas ve beyin dinamikleri organizasyonu odaklı tasarlanan rehabilitasyon sürecinde dikkat edilen noktalar; sık tekrarlı yoğunlaştırılmış hareket tedavisi, imitasyon (görsel taklit) öğrenme, mental pratik, hedef/görev odaklı eğitim, doğru hareket öğrenimi, destekli hareket öğrenimi, eve verilen yüz felci egzersizleri mevcuttur.

EMG sinyal analizleri sonucunda kişiye ve harekete özgü FES odaklı rehabilitasyon sistemi süreci için karşılaştırma analizleri yapılarak değişken akım oranları ile rehabilitasyon sürecine başlanılmıştır. T.Ç. olgusunun üst yüz, orta yüz ve alt yüz bölgesi elektrik akım eşik değeri cilt üzerine verilen elektriksel uyarılar ile belirlenmiştir. Uyarılar hissedilen akım değerleri alt eşik değerini oluşturmuş olup, şiddetli hissedilen akım altı değerleri ise üst eşik değerini oluşturmuştur.

Yüz bölgelerinin cilt üzerinde elektriksel akım eşik değerleri bulunmuştur.

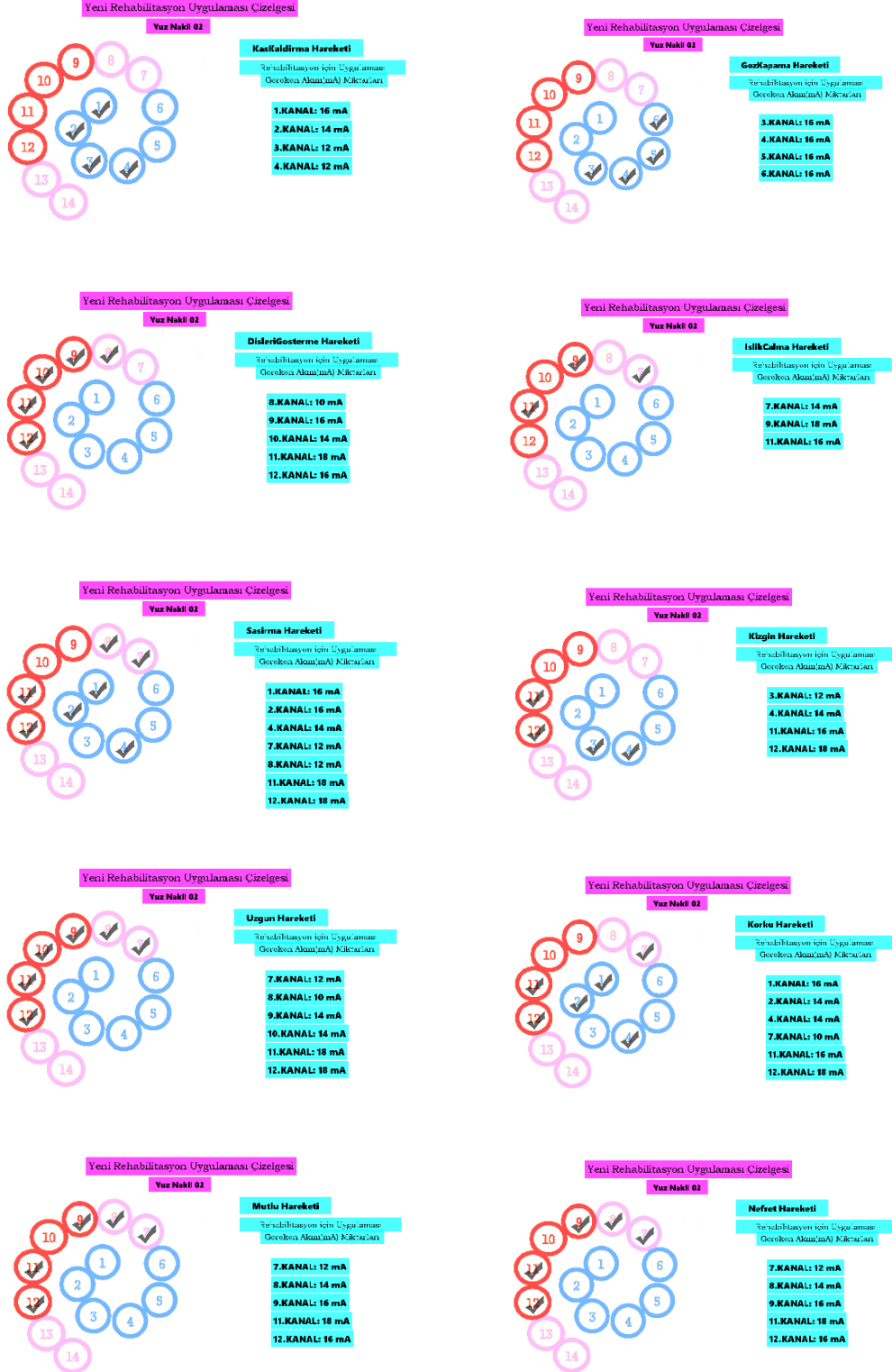
Üst yüz bölgesi (1,2,3,4,5,6 elektrotları kapsar). Alt eşik: 12 mA ve üst eşik: 16 mA olarak bulunmuştur.

Orta yüz bölgesi (7,8,13,14 elektrotları kapsar). Alt eşik: 10 mA ve üst eşik: 14 mA olarak bulunmuştur.

Alt yüz bölgesi (9,10,11,12 elektrotları kapsar). Alt eşik: 14 mA ve üst eşik: 18 mA olarak bulunmuştur.

Uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri belirlendikten sonra rehabilitasyon sürecine başlanır. FES cihazı olarak 8 kanallı 3 adet Hasomed-RehaStim cihazı 24 kanallı olarak edinilmiştir. 24 Kanallı FES cihazı için EMG' de kayıt için kullanılan 9 mm EEG elektrotları adapte edilerek iki cihazın elektrot boyutları, yapıları ve iletkenlik özellikleri dengelenmiş olmuştur. T.Ç. olgusu için 2 adet cihaz kullanılmış olup 14 elektrot yerleştirilmiştir. Elektrotlar yerleştirilmeden önce hareketlerin elektrotsuz videoları alınmış olup hareketlerin egzersizleri yapılmıştır. Harekete özgü oluşturulan kas-elektrot pozisyonu kol bölgesine yerleştirilir. Cihaz elde edilen uyarım tablosuna göre frekans, akım, uyarım süresi ve sıklığı programlanır. 50 Hz 'de programlanan cihaz her hareket için 4 dakika sürmektedir. Program süresince 4 saniye uyarı 2 saniye dinlenme şeklinde periyodik olarak devam etmektedir. Haftada 1 kere rehabilitasyon süreci uygulanmış olup seanslar 2 saat sürmektedir. Her seansın sonunda 15 dakika yüz bölgesine vibrasyon cihazı ile titreşimli masaj yapılmıştır.

T.Ç. YRUC RLY01 – RLY10



Şekil 3.22. T.Ç. uyarım noktaları ve akım-elektrot değerleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Scapular Sol Kol Replant Olgusu P.L. Bulguları

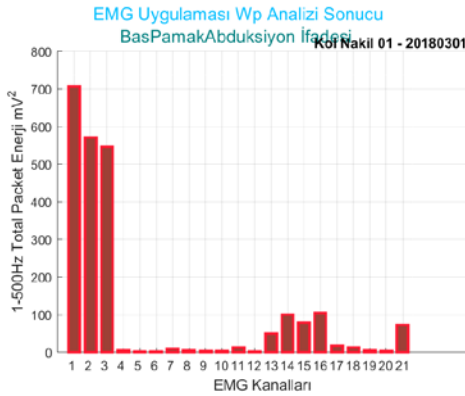
Sol Kol Replantasyon operasyonu geçirmiştir. Sağlıklı kolu olan sağ kolu referans alınarak rehabilitasyon süreci oluşturulmuş ve gelişimi takip edilmiştir. P.L. nin 3 replant kol EMG verisi ve 1 sağ kol EMG verisi analizleri sunulacaktır. EMG tarihleri ve özellikleri:

- i) 27 Mayıs 2017 EMG verisi 2017’de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol,
- ii) 1 Mart 2018 EMG verisi 2018’de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol,
- iii) 1 Mart 2018 EMG verisi sağlıklı sağ kol,
- iv) 20 Haziran 2018 EMG 2018’de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol kayıtları mevcuttur.

Burada en önemli husus 1 Mart 2018 EMG tarihine kadar olan kas pozisyonu olan elektrot pozisyonu yeni rehabilitasyon sürecinde değiştirilmiştir. Çift kol nakilleri dirsek altı nakil olduğu için belirlenmiş olan elektrot pozisyonu kol replantlar için tekrar güncellendi. El bölgesi elektrot sistemi ile karşılaştırılması yapılmış eşlenik elektrotlar şu şekildedir. 1=1 ,2=2, 3=3, 4+5=4, 6=6 ve 7=5 Her hareket için 27 Mayıs 2017 EMG tarihi ve 1 Mart 2018 EMG analiz değerleri bu eşleniğe göre değerlendirilmiştir.

4.1.2. Sol kol (replantasyon geçiren kolu) bulguları

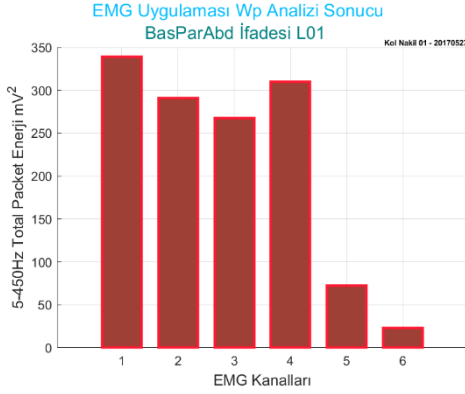
4.1.2.1. Baş parmak abdüksiyon hareketi



Şekil 4.1. Sağlıklı sağ kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

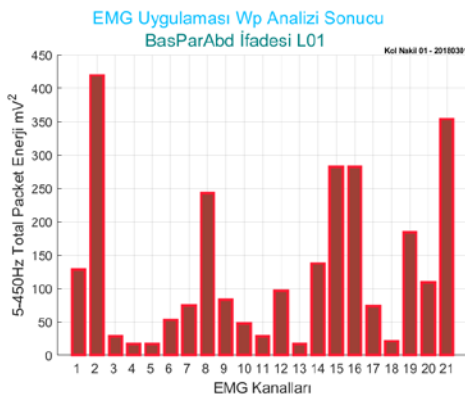
Başparmak Abdüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için şekil 4.1. incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 3. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>2>3 olarak görülmektedir. 1. Kasın Abdüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fizyolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 1. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak

hareketlerinin Addüksiyon ve Fleksiyon hareketlerinden sorumlu 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. Adductor kasların çıkması anlamlıdır. Orta kol bölgesinde bulunan 13 elektrot extensor carpi ulnaris, 14 elektrot extensor digitorum, 15 elektrot extensor carpi radialis brevis ve 16 elektrot extensor carpi radialis longus kas bölgelerinde baş parmak hareketinin hemen hemen 1/6 katına sahip extensor kas aktivitesi görülmüştür.



Şekil 4.2. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

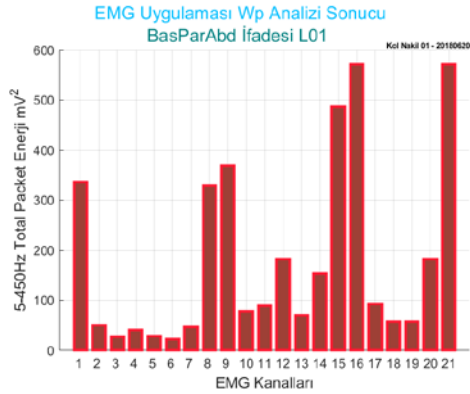
Başparmak Abdüksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol şekil 4.2 bakıldığında, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique 4. ve elektrot palmaris brevis kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>4>2>3 olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Abdüksiyon hareketi için benzer bir kas organizasyona sahip olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir.



Şekil 4.3. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Abdüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için Şekil 4.3 incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis

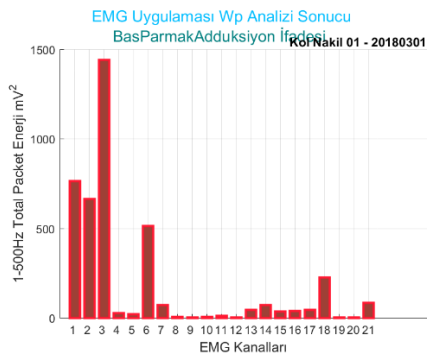
brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>1>3$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis daha etkin çıkmıştır. Baş parmak fleksiyon hareketinde etkin çalışan kanal yüksek olması, harekete özgü geliştirilen rehabilitasyon sürecine verilen aradan olumsuz etkilendiğini yani kas organizasyonunun değişerek hareketi unuttuğu yorumunu yapabiliriz.



Şekil 4.4. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

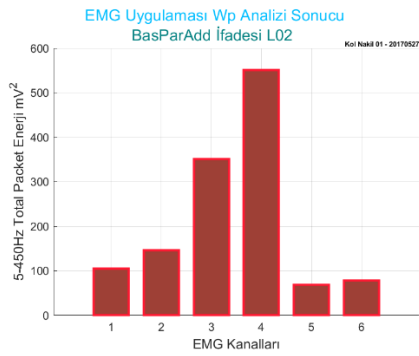
Başparmak Abdüksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için şekil 4.4 incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $1>2>3$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında sağlıklı kol organizasyonu ile benzer çıkmıştır. 1 Mart 2018 EMG verisi analizi değerlerine bakıldığında etkin çıkan flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis rehabilitasyon sürecinde baskılanmıştır.

4.1.2.2. Baş parmak addüksiyon hareketi



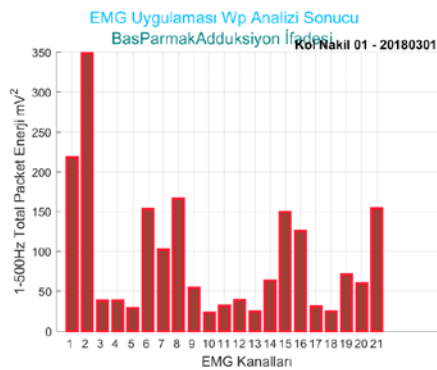
Şekil 4.5. Sağlıklı sağ kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Addüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için şekil 4.5 incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2, 3 ve 6. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique ve 6. elektrot m. first dorsal interosseous kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $3>1>2>6$ olarak görülmektedir. 3. Kasın Addüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fizyolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 3. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak hareketlerinin Abdüksiyon ve Fleksiyon hareketlerinden sorumlu 1. elektrot m. abductor pollicis brevis,2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 6. elektrot m. first dorsal interosseous kaslarının çıkması anlamlıdır.



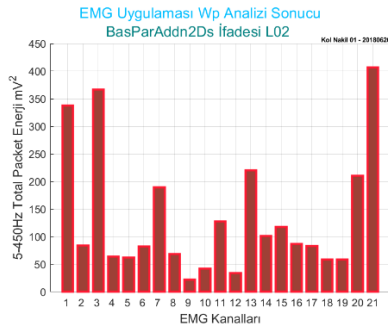
Şekil 4.6. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Addüksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique 4. ve elektrot palmaris brevis kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $4>3>2>1$ olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Addüksiyon hareketi için başparmak kaslarına bakıldığında (1,2 ve 3. elektrotlar) kas organizasyonu olarak 3. elektrotun diğer elektrotlara göre yüksek sonuç çıkması yani Addüksiyon işleminin kısmi olarak yapmaya başladığını gösterir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir.



Şekil 4.7. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi

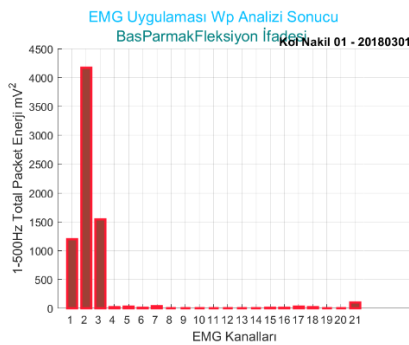
Başparmak Addüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için şekil 4.7 incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>1>3$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis daha etkin çıkmıştır. Addüksiyon hareketini yapabilmesi için etkin çıkması gereken kas 3. elektrot olmalıdır.



Şekil 4.8. Sol replant kol için başparmak addüksiyon hareketi analiz verisi

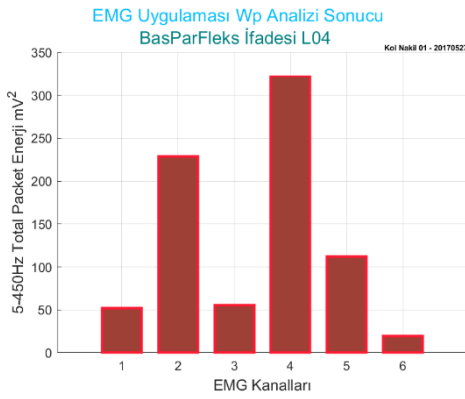
Başparmak Addüksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için şekil 4.8 incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $3>1>2$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Başparmak Addüksiyon hareketi kası olan 3. Elektrotun daha baskın çıkması hareketi kısmi de olsa doğru yapmaya başladığını gösterir. 1 Mart 2018 EMG verisi analizi değerlerine bakıldığında etkin çıkan flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis rehabilitasyon sürecinde baskılanmıştır.

4.1.2.3. Baş parmak fleksiyon hareketi



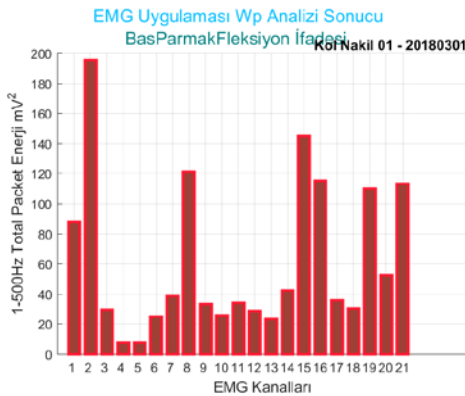
Şekil 4.9. Sağlıklı sağ kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Fleksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 3. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>3>1$ olarak görülmektedir. 2. Kasın başparmak Fleksiyon hareketinden sorumlu olduğunu tıp fiziolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 2. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak hareketlerinin Addüksiyon ve Abdüksiyon hareketlerinden sorumlu 3. elektrot m. m. adductor pollicis oblique ve 1. elektrot m. abductor pollicis brevis kaslarının çıkması anlamlıdır.



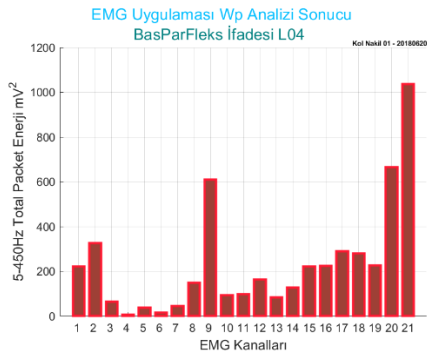
Şekil 4.10. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Fleksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique ve 4. elektrot palmaris brevis kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $4>2>3>1$ olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Fleksiyon hareketi için benzer bir kas organizasyona sahip olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir.



Şekil 4.11. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi

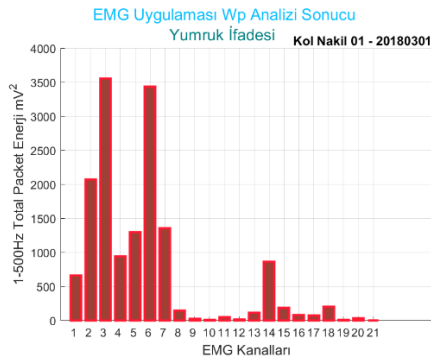
Başparmak Fleksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>1>3$ olarak görülmektedir. Hareketi başarılı şekilde devam ettirmiştir. Diğer başparmak hareketleri 1 Mart 2018 tarihli kayıtlarında da Abdüksiyon ve Addüksiyon hareketleri içinde Fleksiyon hareketinde ki 2. elektrot aktif çıkmıştır. Her 3 başparmak hareketi için fleksiyon hareketi olarak algılanması tarafımızca uygulanan rehabilitasyon sürecinin ince detaylarını hareket ayrıştırma özelliğini göstermektedir. Diğer baş parmak hareketlerini rehabilitasyon sonralarında ayırt etmeye başlamış olup rehabilitasyona yaklaşık 1 yıl ara verilmesi harekete özgü kasların organizasyonunun kaybını ve hareketlerin karıştığını gösteriyor.



Şekil 4.12. Sol replant kol için başparmak fleksiyon hareketi analiz verisi

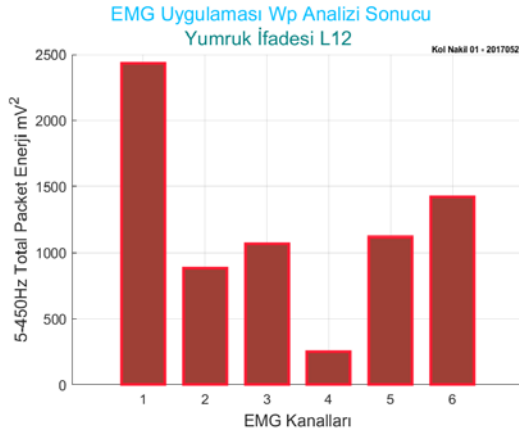
Başparmak Fleksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>1>3$ olarak görülmektedir. Hareketi her 3 EMG analizi sonucunda da doğru devam ettirdiği görülmektedir.

4.1.2.4. Yumruk hareketi



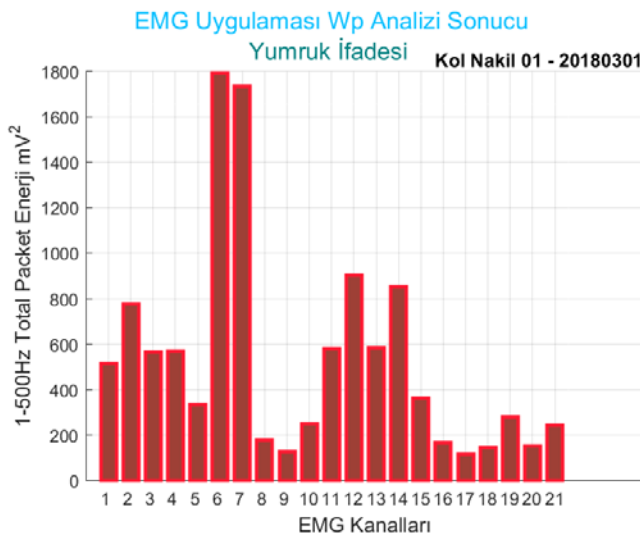
Şekil 4.13. Sağlıklı sağ kol için yumruk hareketi analiz verisi

Yumruk hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5.elektrot m. flexor digiti minimi brevis, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 3>6>2>7>5>4>1 olarak görülmektedir. El bölgesinin tamamında aktivite gözlenmiştir.



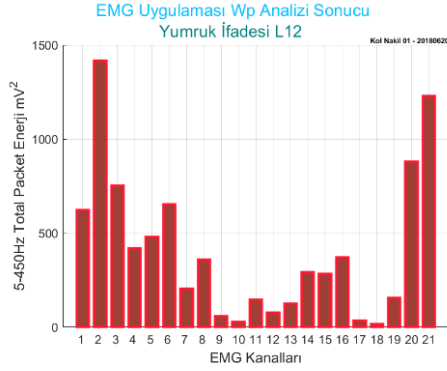
Şekil 4.14. Sol replant kol için yumruk hareketi analiz verisi

Yumruk hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5. elektrot m. abductor digiti minimi ve 6.elektrot m. first dorsal interosseous kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>6>5>3>2>4 olarak görülmektedir. Burada yapılabilecek yorum kas yoğunluk enerji değerleri ortalama $1000 mV^2$ - $2500 mV^2$ arası değişmektedir.



Şekil 4.15. Sol replant kol için yumruk hareketi analiz verisi

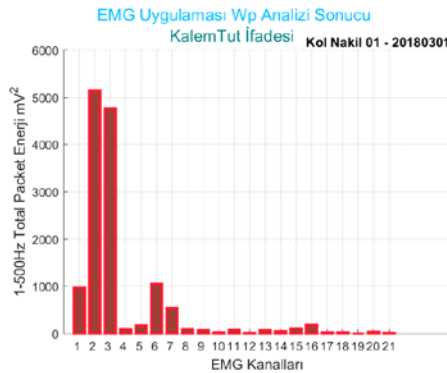
Yumruk hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 orta kol bölgesinde 11,12,13,14 ve 15 kaslarında en etkin bölge olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. El bölgesi kas yoğunluk enerji değerleri ortalama 400 mV^2 - 1800 mV^2 arası değişmektedir. Orta kol ile el bölgesinin yoğunlukları hemen hemen birbirine yakındır. Tam bir yumruk hareketi oluşturulamamış olup yoğunluk değerleri azalma görülmüştür.



Şekil 4.16. Sol replant kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

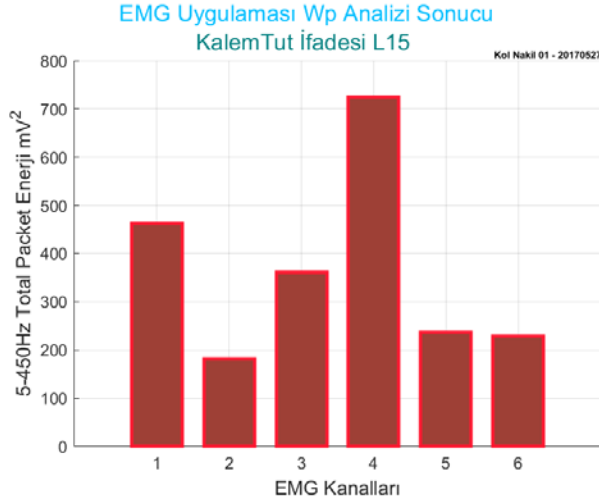
Yumruk hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5.elektrot m. flexor digiti minimi brevis, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>3>6>1>5>4$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. 1 Mart 2018 EMG si ile karşılaştırıldığında orta kol kasları baskılanmış olup el bölgesi güç değeri artırılmıştır.

4.1.2.5. Kalem tutma hareketi



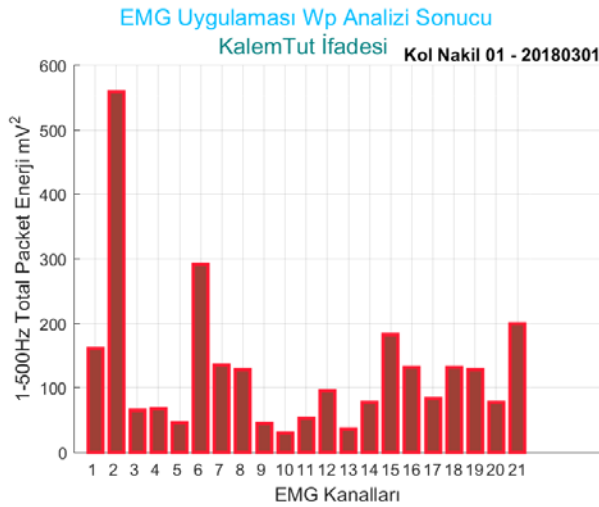
Şekil 4.17. Sağlıklı sağ kol için kalem tutma hareketi analiz verisi

Kalem tutma hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,6 ve 7 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>3>6>1>7 olarak görülmektedir.



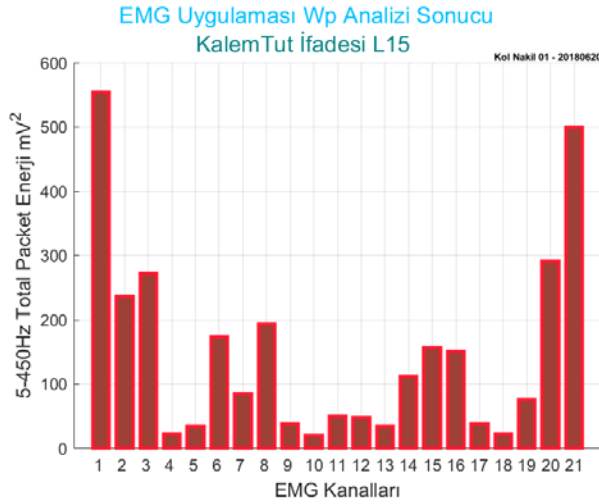
Şekil 4.18. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi

Kalem tutma hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,3ve4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique ve 4.elektrot m. palmaris brevis, kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 4>1>3 olarak görülmektedir. Kalem tutma egzersizleri 2018 yeni rehabilitasyon sürecinde başlamıştır. 2017 rehabilitasyon sonrası aktivite tam anlamıyla sağlanamamıştır.



Şekil 4.19. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi

Kalem tutma hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 6 kaslarında en etkin bölge olarak görülmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>6>1 olarak görülmektedir.



Şekil 4.20. Sol replant kol için kalem tutma hareketi analiz verisi

Kalem tutma hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3, 6, 7 ve 8 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>3>2>8>6>7 olarak görülmektedir. 2018 yeni rehabilitasyon ile kalem tutma ve yazı yazma egzersizleri doğru kalem tuma, bilekten yazı yazma açısı ve basit figürlerin deneyimi yapılmıştır. Bu veriler değerlendirildiğinde ve uygulamada kendi adını yazar ve annesine mektup yazar hale gelmesinden dolayı başarılı olarak hareketi tamamlamıştır.

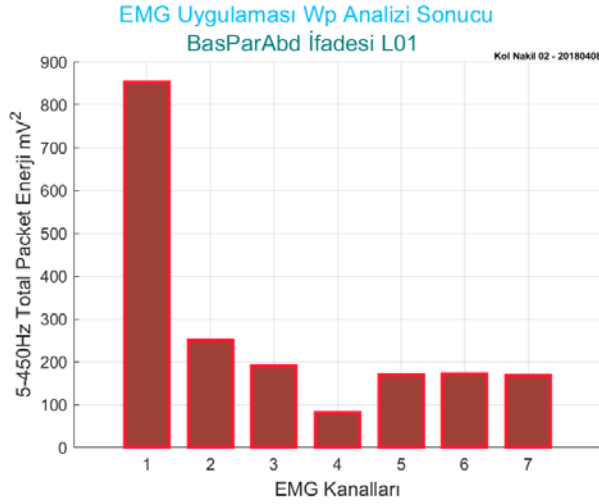
4.2. Kol Nakli Olgusu 3 (Scapular Sol Kol Replant Olgusu O.M.D.)

Sağ Kol Replantasyon operasyonu geçirmiştir. Sağlıklı kolu olan sol kolu referans alınarak rehabilitasyon süreci oluşturulmuş ve gelişimi takip edilmiştir. O.M.D in 2 replant kol EMG verisi ve 1 sol kol EMG verisi analizleri sunulacaktır. EMG tarihleri ve özellikleri:

- i) 2 Mart 2018 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol.
- ii) 8 Nisan 2018 EMG verisi sağlıklı sol kol.
- iii) 18 Mayıs 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol kayıtları mevcuttur.

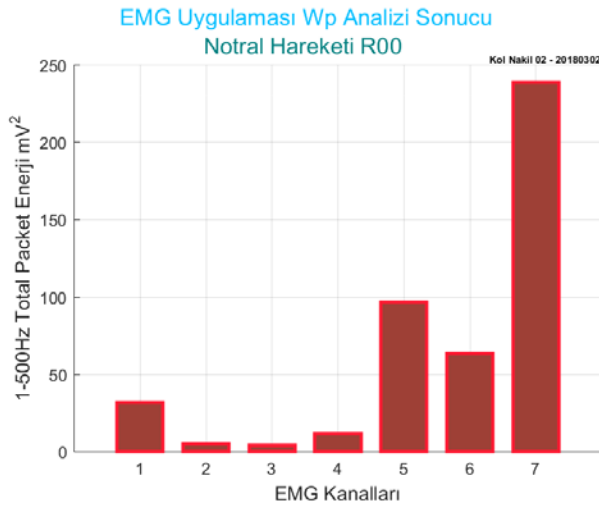
4.2.1. Sağ kol (replantasyon geçiren kolu) bulguları

4.2.2.1. Baş parmak abdüksiyon hareketi



Şekil 4.21. Sağlıklı sol kol için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

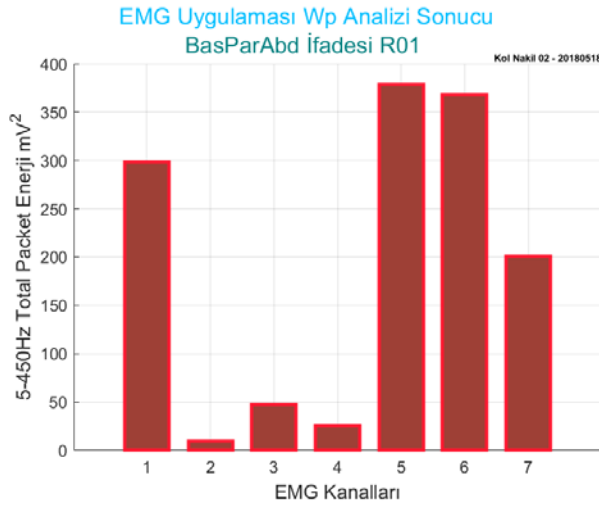
Başparmak Abdüksiyon hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için şekil 4.21 incelendiğinde, el bölgesinde 1. elektrot m. abductor pollicis brevis kası etkin bölge olarak görülmektedir. 1. Kasın Abdüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fiziolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 1. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması anlamlıdır.



Şekil 4.22. Sağ kol replant için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Abdüksiyon hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol, başparmak Abdüksiyon kası olan 1. Elektrot

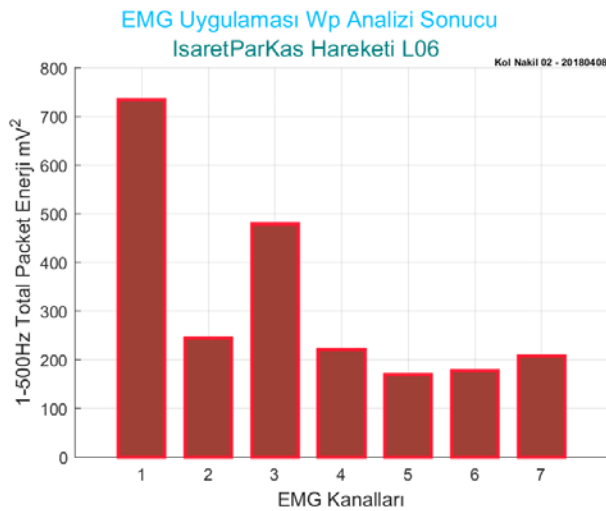
aktivitesi çok küçük çıkmıştır. Olgu hareketi yapamadığı için diğer kas bölgelerini kasmıştır.



Şekil 4.23. Sağ kol replant için başparmak abdüksiyon hareketi analiz verisi

Başparmak Abdüksiyon hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol, başparmak Abdüksiyon kası olan 1. Elektrot aktivitesini belirgin şekilde arttırmıştır. Olgu rehabilitasyon içi geldiğinde yapamadığı hareketi kısmi olarak yapar hale gelmiş aynı zaman da m. abductor pollicis brevis kası aktivitesini anlamlı şekilde arttırmıştır.

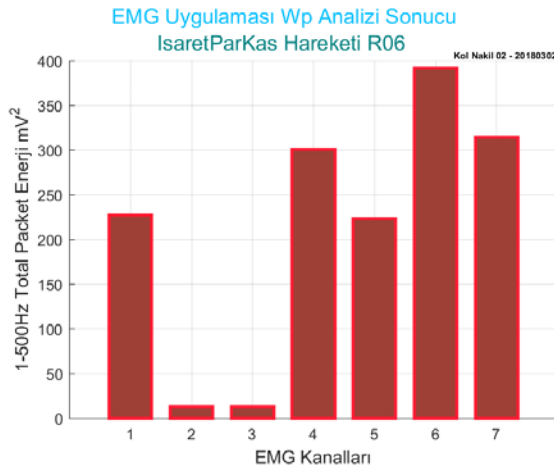
4.2.2.2. İşaret parmak kasma hareketi



Şekil 4.24. Sağlıklı sol kol için işaret parmak hareketi analiz verisi

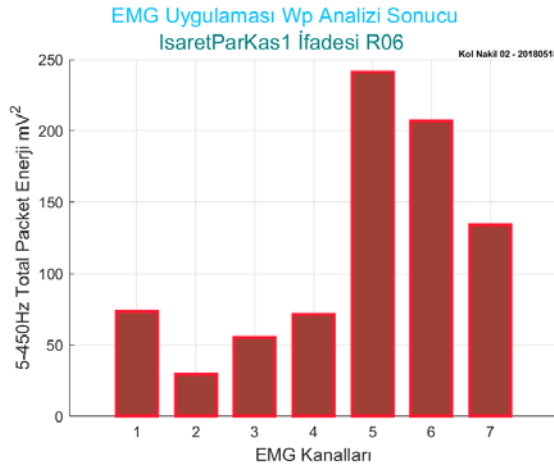
İşaret parmak kasma hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için şekil 4.24 incelendiğinde, el bölgesinde 1,2 ve 3 kas noktaları etkin bölge olarak

görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. first dorsal interosseous ve 3.elektrot m. abductor digiti minimi kas bölgelerini ifade etmektedir.



Şekil 4.25. Sağ kol replant için işaret parmak hareketi analiz verisi

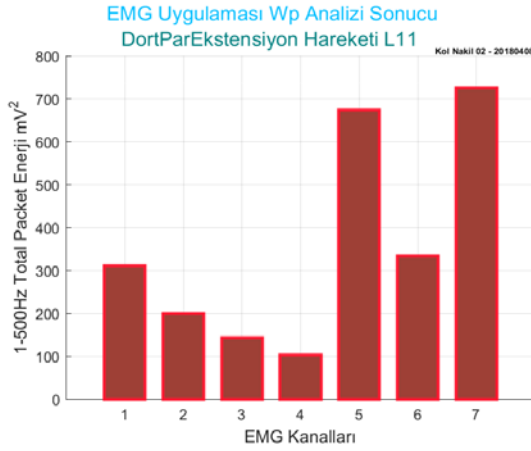
İşaret parmak kasma hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, 1,2 ve 3. Kas bölgeleri aktivite çok az elde edilmiştir. Bu süreçteyken parmak hareketlerini tam olarak gerçekleştirememektedir.



Şekil 4.26. Sağ kol replant için işaret parmak hareketi analiz verisi

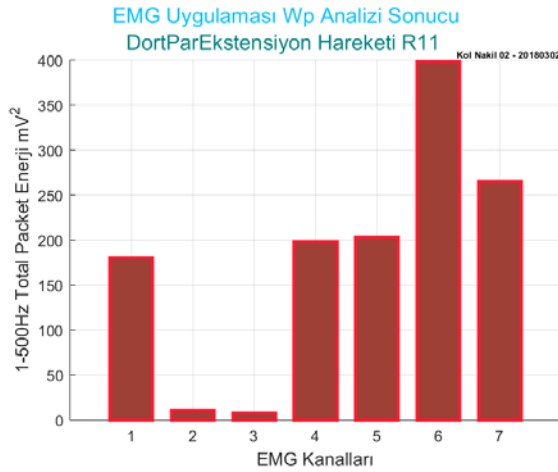
İşaret parmak kasma hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, parmak hareketleri başlamış olup 1,2 ve 3 kasta anlamı olarak enerji artışı gözlenmiştir. Özellikle 3. kas noktası olan abductor digiti minimi kası sıfır aktivite varken artışa geçmesi küçük parmak hareketini başlamasına destek vermiştir. Rehabilitasyonun ortalarına doğru hareketsiz olan küçük parmakta hareketlilik gözlenmiştir. Küçük parmak kasmaya özgü 3. kanalın sorumluluğu bilinmektedir.

4.2.2.3. Dört parmak ekstensiyon hareketi



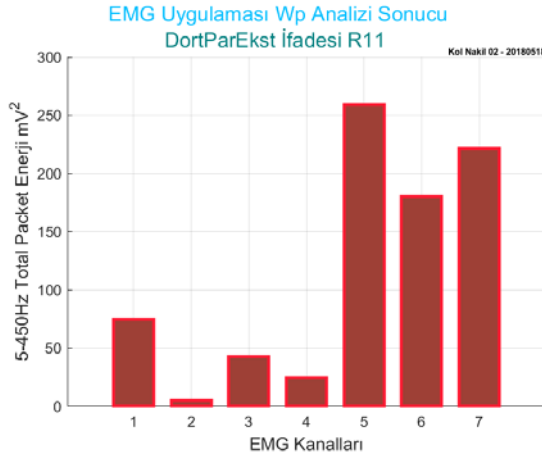
Şekil 4.27. Sağlıklı sol kol için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi

Dört parmak Ekstensiyon hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, orta kol bölgesinde 5,6 ve 7 kas noktaları etkin bölge olarak görülmektedir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Kas organizasyonu 7>5>6 şeklinde kasılmaktadır.



Şekil 4.28. Sağ kol replant için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi

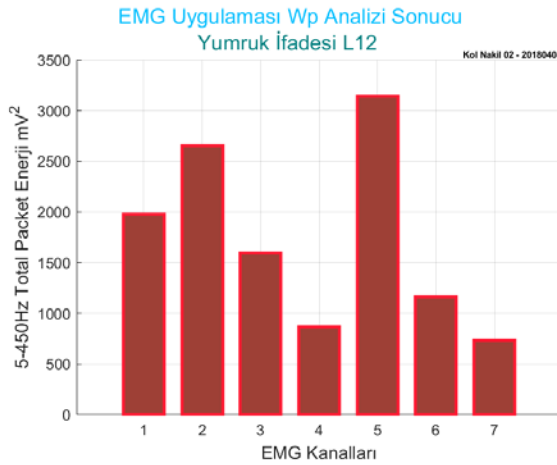
Dört parmak Ekstensiyon hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, orta kol bölgesinde kas kasılma kabiliyeti mevcuttur. Sadece dört parmak Ekstensiyon hareketinde kol extensor kasının (7. elektrot) aktivitesinin, flexor kasından (6. elektrot) yüksek olması beklenir. Rehabilitasyon öncesi bunun tam tersi olduğu gözlenmiştir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir.



Şekil 4.29. Sağ kol replant için dört parmak ekstensiyon hareketi analiz verisi

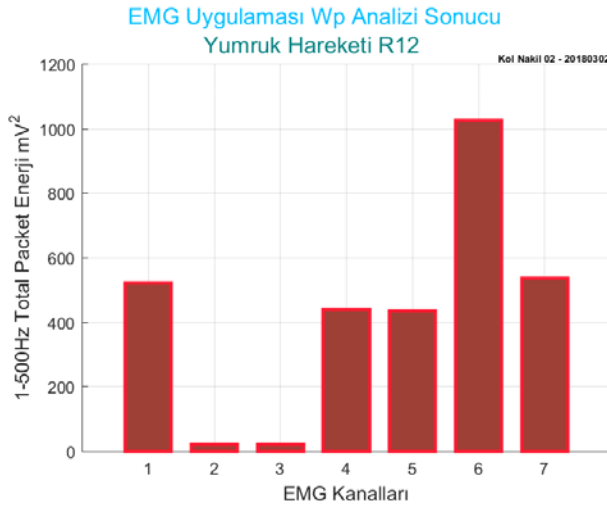
Dört parmak Ekstensiyon hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018’de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda flexor kasın (6. elektrot) extensor’e (7. elektrot) göre daha yüksek iken rehabilitasyon sonunda extensor kas yoğunluğu flexor kasın yoğunluğunu geçmiştir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir.

4.2.2.4. Yumruk hareketi



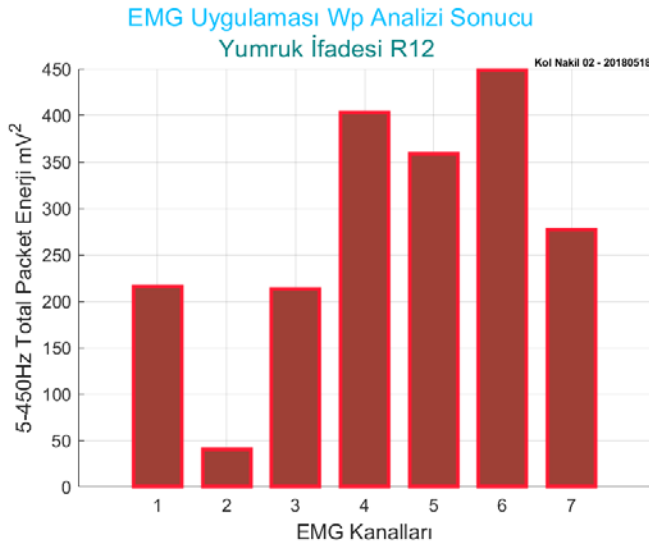
Şekil 4.30. Sağlıklı sol kol için yumruk hareketi analiz verisi

Yumruk hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesi 1,2 ve 3 noktaları aktif, orta kol bölgesinde 5. kas noktası etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. first dorsal interosseous, 3. elektrot m. abductor digiti minimi ve 5. elektrot m. brachioradialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Kas organizasyonu 5>2>1>3 şeklinde kasılmaktadır.



Şekil 4.31. Sağ kol replant için yumruk hareketi analiz verisi

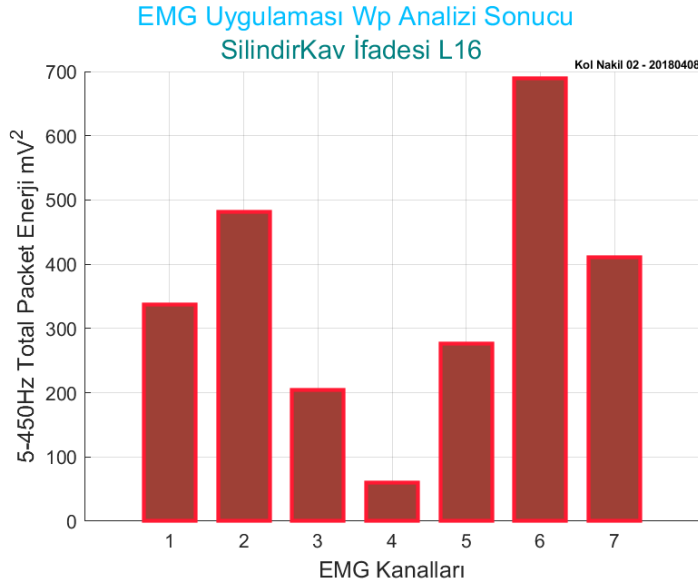
Yumruk hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018’de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, el bölgesi aktivitesi tam olarak oluşmamıştır. Görsel olarak olgu yumruk hareketini yapamamaktadır.



Şekil 4.32. Sağ kol replant için yumruk hareketi analiz verisi

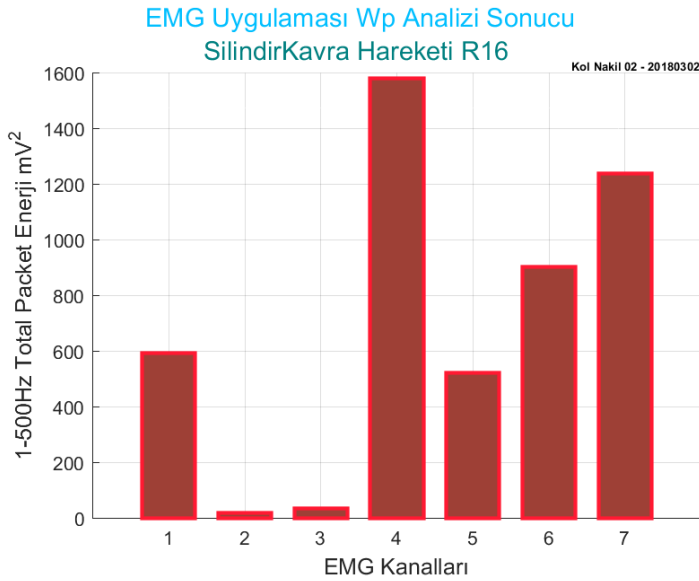
Yumruk hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018’de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol şekil 4.32 incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda el bölgesi sadece 1. kas ve 4. kas noktalarında aktivite varken diğerlerinde yoktu. Rehabilitasyon sonrası hareketi görsel olarak tam olarak yapamasa bile 2 ve 3. kanalda aktivite başlamıştır.

4.2.2.5. Silindir kavrama hareketi



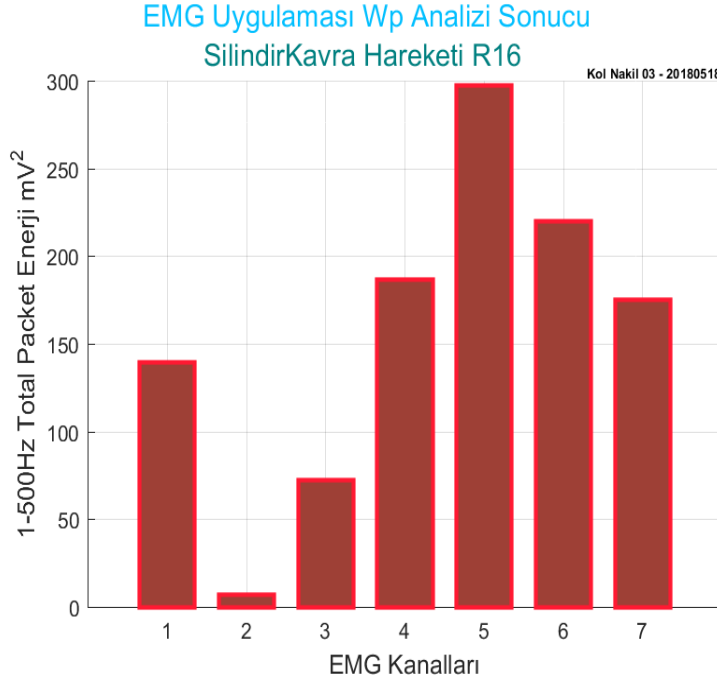
Şekil 4.33. Sağlıklı sol kol için silindir kavrama hareketi analiz verisi

Silindir kavrama hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesi 1,2 ve 3 noktaları aktif, orta kol bölgesinde 5,6 ve 7 kas noktası etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. first dorsal interosseous, 3.elektrot m. abductor digiti minimi, 5. elektrot m. Brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir.



Şekil 4.34. Sağ kol replant silindir kavrama hareketi analiz verisi

Silindir kavrama hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, el bölgesi aktivitesi tam olarak oluşmamıştır. Görsel olarak olgu silindir kavrama hareketini yapamamaktadır.



Şekil 4.35. Sağ kol replant için silindir kavrama hareketi analiz verisi

Silindir kavrama hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda el bölgesi sadece 1. kas ve 4. kas noktalarında aktivite varken diğerlerinde yoktu. Rehabilitasyon sonrası hareketi görsel olarak kavrama kısmi olarak yapamaya başlamış olup 3. kanalda aktivite başlamıştır. Rehabilitasyon açısından olumlu etkileri gözlenmiştir.

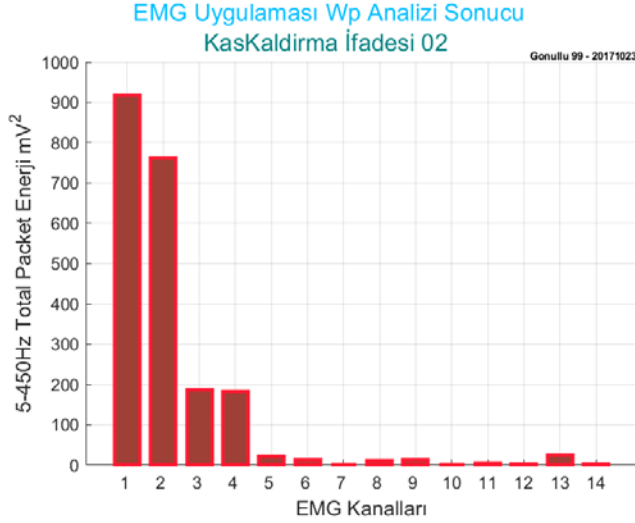
4.3. Tam Yüz Nakli Olgusu T.Ç.

T.Ç. tam yüz nakli operasyonu geçirmiştir. Gönüllü ortalaması referans alınarak rehabilitasyon süreci oluşturulmuş ve gelişimi takip edilmiştir. T.Ç. nin 3 yüz EMG kayıt verisi ve gönüllülerin ortalaması EMG kayıt verisi analizleri sunulacaktır. EMG tarihleri ve özellikleri:

- i) Gönüllü Ortalaması Analizleri,
- ii) 25 Mayıs 2017 EMG verisi 2017'de rehabilitasyon sonrası nakil yüz,
- iii) 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz,
- iv) 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz kayıtları mevcuttur.

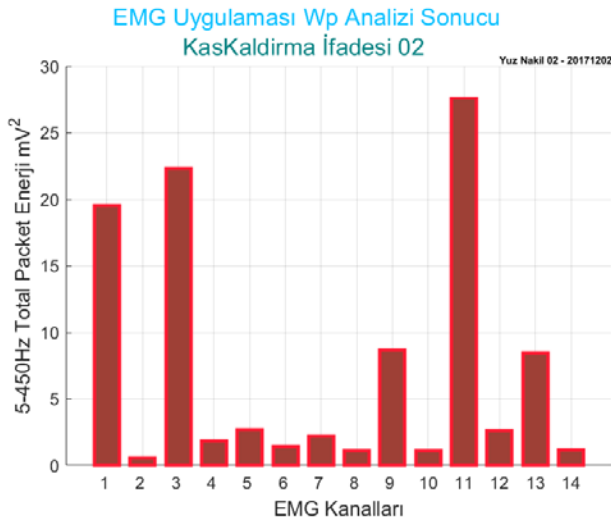
4.3.1. Tam yüz nakli olgusu T.Ç. bulguları

4.3.1.1. Kaş kaldırma hareketi



Şekil 4.36. Gönüllü ortalaması için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

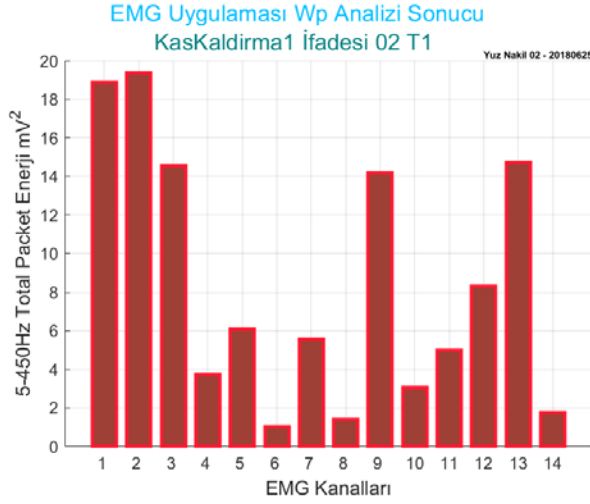
Kaş kaldırma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 1,2,3 ve 4 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz üstünde bulunan orbicularis oculi kasında simetrik. Alın ve göz üstü kaslarının kaş kaldırma ifadesinde aktif olması anlamlıdır.



Şekil 4.37. Yüz nakli T.Ç. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

Kaş kaldırma hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, olgunun göz kapakları dahilinde nakil

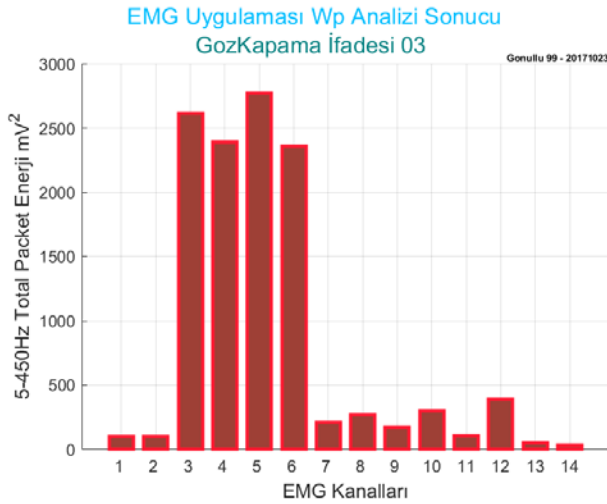
olması durumu ve olgunun sol gözünü kapatması daha aktif olduğu gözletilerek, 1 ve 3 kasları yani sol yüzünde göz üstü ve alın bölümünde aktivite çıkmıştır. Simetrik olarak ifadeyi tamamlayamamıştır.



Şekil 4.38. Yüz nakli T.Ç. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

Kaş kaldırma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1,2,3 ve 4. kas bölgelerinde ki aktivite asimetrik görüntüyü azaltmıştır. 2 ve 4 sağ yüzündeki kas bölgelerinde aktivite artmıştır.

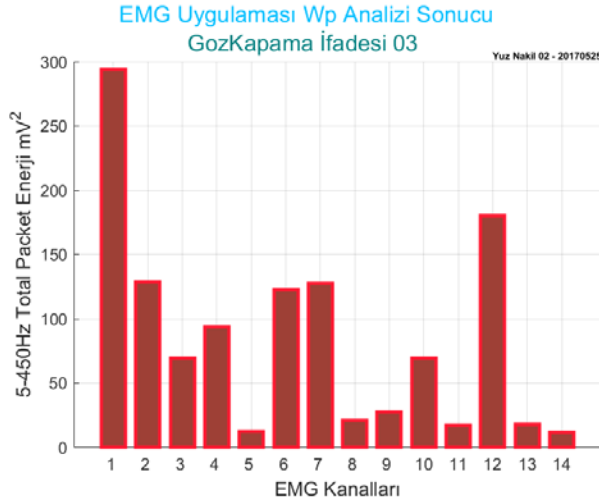
4.3.1.2. Göz kapama hareketi



Şekil 4.39. Gönüllü ortalaması için göz kapama hareketi analiz verisi

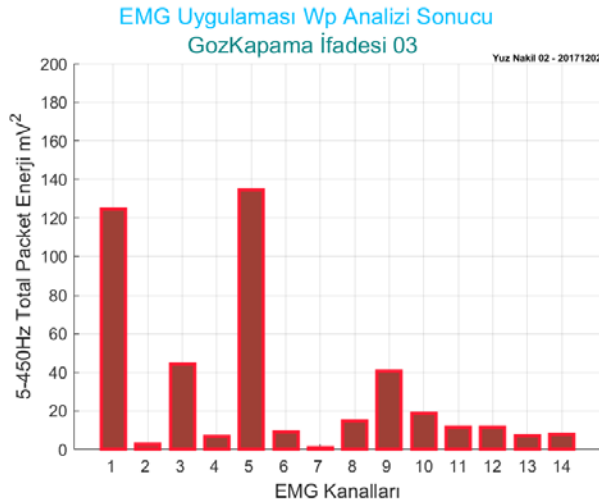
Göz kapama hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 3,4,5 ve 6 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4 elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz altı) ve 6. elektrot

orbicularis oculi (sağ yüz göz altı) kas bölgeleri göz çevresini göstermektedir. Göz kapama hareketinde göz çevresi kasları olan orbicularis oculi kasının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.40. Yüz nakli T.Ç. için göz kapama hareketi analiz verisi

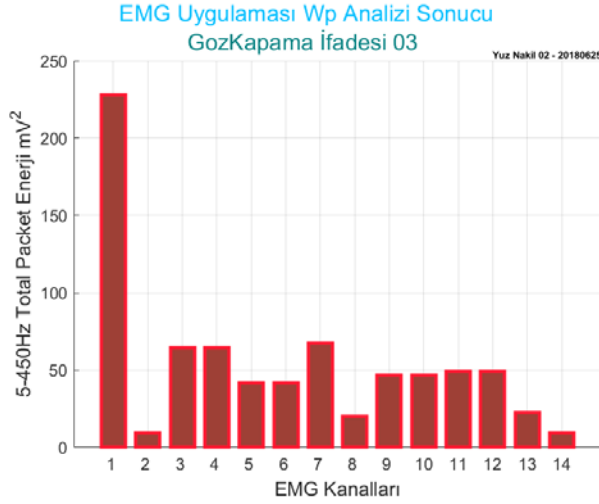
Göz kapama hareketi 25 Mayıs 2017 EMG verisi 2017’de rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1,2,3,4,6 ve 7 kas noktalarında aktivite görülmüştür. Göz çevresi kasları olan 3,4,5 ve 6 kas noktaları değerlerine bakıldığında 5. elektrot hariç 3,4 ve 6 da aktivite görülmüştür.



Şekil 4.41. Yüz nakli T.Ç. için göz kapama hareketi analiz verisi

Göz kapama hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018’de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, hastanın yaklaşık 1 yıla rehabilitasyon görmemesi üzerine alınan EMG kaydı analizlerinde görüldüğü üzere göz çevresi kaslarında aktivite kaybı ve

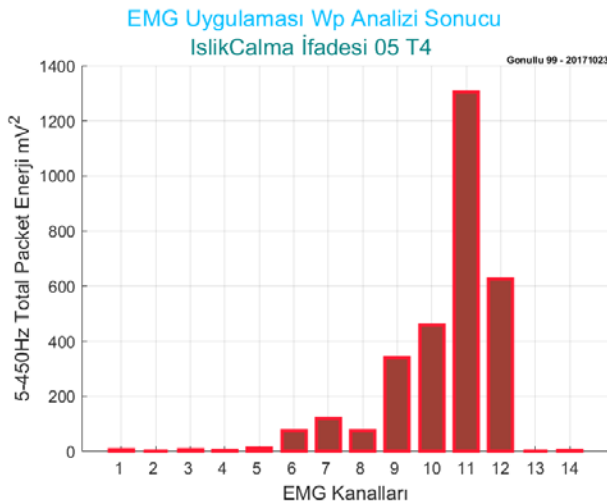
sağ göz çevresinde bulunan 4 ve 6 elektrotlarında aktivitenin olmadığı görülmüştür. Hem aktivite hem de simetrik kayıp görülmüştür.



Şekil 4.42. Yüz nakli T.Ç. İçin göz kapama hareketi analiz verisi

Göz kapama hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018’de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu göz çevresi değerlendirildiğinde 3,4,5 ve 6 elektrot kendi içerisinde simetrik ve aktivite oranları birbirine yakın bulunmuş olup hastanın son 1 yıl içerisinde göz kapama hareketinde aktivite artışı gözle görülür artmıştır.

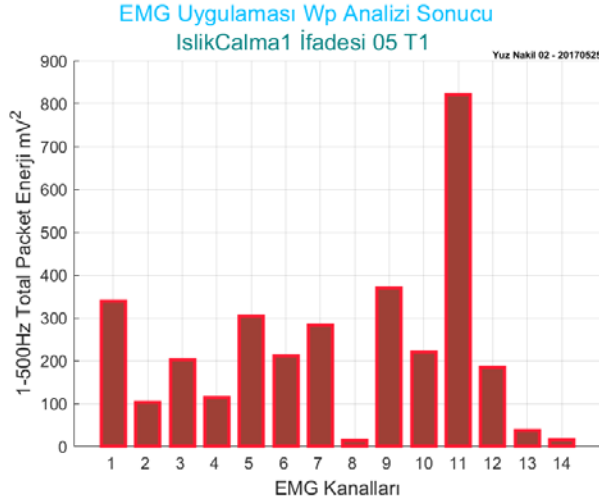
4.3.1.3. Işık çalma hareketi



Şekil 4.43. Gönüllü ortalaması için ışık çalma hareketi analiz verisi

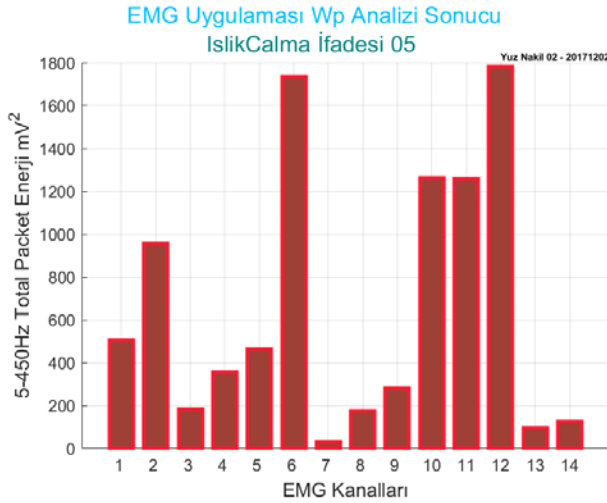
Işık çalma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10.

elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Işık çalma hareketi ağız çevresi kasları olan orbicularis oris kasının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.44. Yüz nakli T.Ç. için ışık çalma hareketi analiz verisi

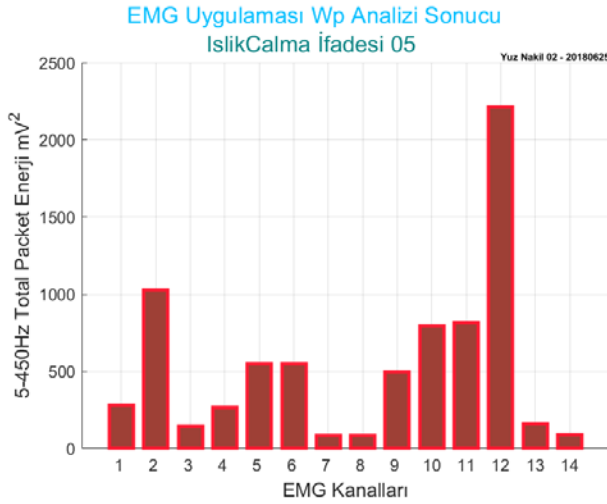
Işık çalma hareketi 25 Mayıs 2017 EMG verisi 2017’de rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, ağız çevresi kasları olan 9,10,11 ve 12 kasılması vardır. Eş zamanlı göz ve yanak bölgesinde ortalama değerinde aktivite görülmüş ve yüz genele olarak aktiftir. Ağız çevresi aktivitesi biraz daha yoğun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.45. Yüz nakli T.Ç. için ışık çalma hareketi analiz verisi

Işık çalma hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018’de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, hastanın yaklaşık 1 yıla rehabilitasyon görmemesi üzerine alınan EMG kaydı analizlerinde ağız çevresinde aktivite devam etmektedir. Fakat göz ve

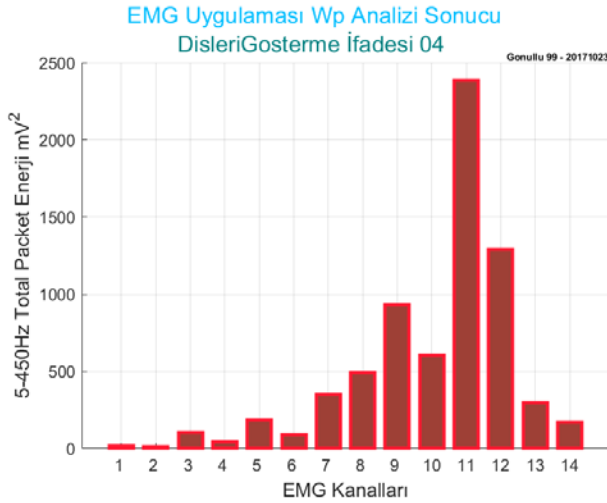
yanak çevresindeki aktivite artmıştır. Bu da hareketin tam yüze oturmadığını göstermektedir.



Şekil 4.46. Yüz nakli T.Ç. için ıslık çalma hareketi analiz verisi

Islık çalma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 2 Aralık ve 25 Mayıs 2017 kayıtlarıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi aktivitesini korumuş ve diğer yüz bölgelerini baskılamıştır. Hareketi daha etkin yapmaktadır.

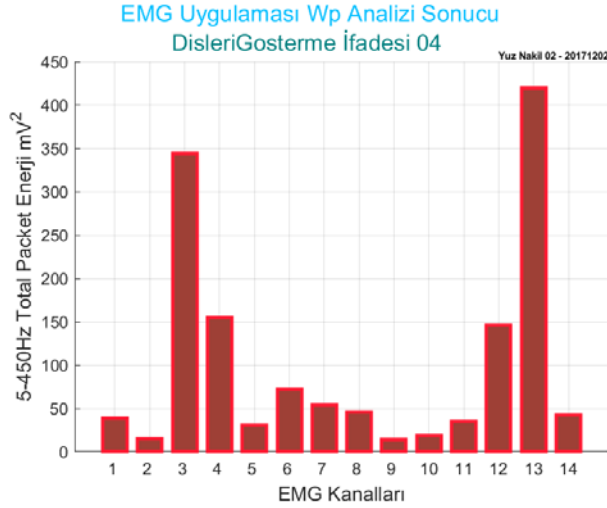
4.3.1.4. Dişleri gösterme hareketi



Şekil 4.47. Gönüllü ortalaması için dişleri gösterme hareketi analiz verisi

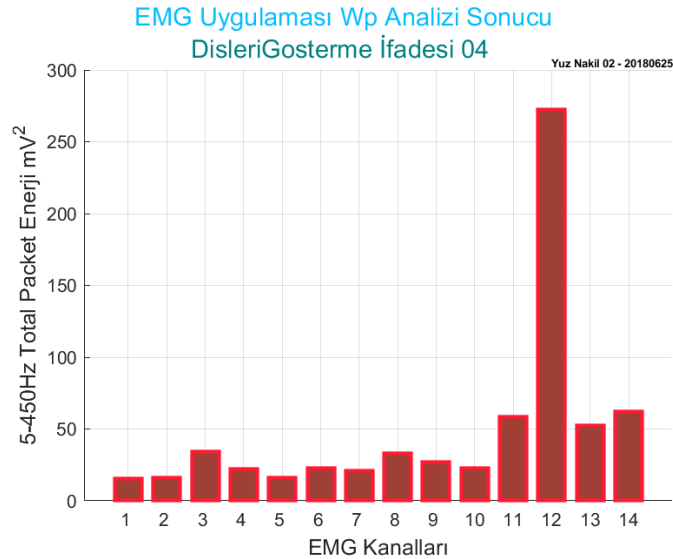
Dişleri gösterme hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 7,8,9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 7. elektrot zygomaticus majör (sol yüz), 8. elektrot zygomaticus majör (sağ yüz) 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak

altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Dişleri gösterme hareketi ağız çevresi kasları ve yanak kaslarının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.48. Yüz nakli T.Ç. için dişleri gösterme hareketi analiz verisi

Dişleri gösterme hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, 3,4,12 ve 13 kas noktaları aktiftir. Hareketin gönüllü ile karşılaştırıldığında ağız çevresi için sadece 12 kas noktası aktif ve göz altı kasları 3 ve 4 kas noktalarında aktif olarak gözlenmiştir. Hareketi etkin yapamamıştır.

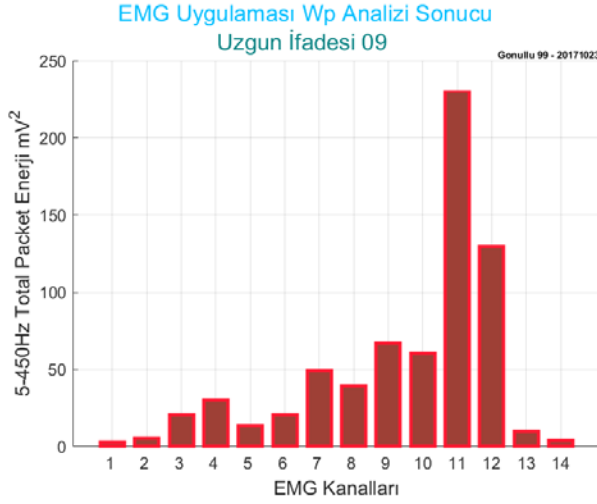


Şekil 4.49. Yüz nakli T.Ç. için dişleri gösterme hareketi analiz verisi

Dişleri gösterme hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 25

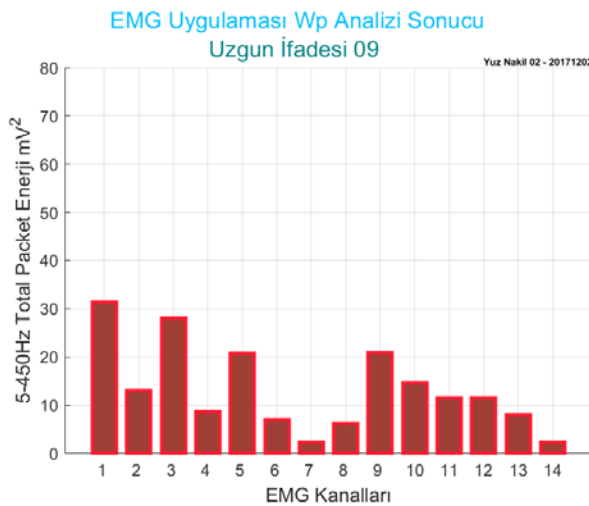
Mayıs 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında göz çevresi baskılanmış olup 11. kas noktasında da aktivite artışı gözlenmiştir.

4.3.1.5. Üzgün ifadesi hareketi



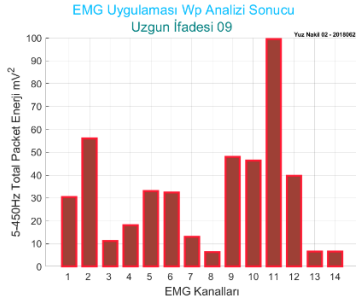
Şekil 4.50. Gönüllü ortalaması için üzgün ifadesi analiz verisi

Üzgün ifadesi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 7,8,9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 7. elektrot zygomaticus majör (sol yüz), 8. elektrot zygomaticus majör (sağ yüz) 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Üzgün ifadesinde dudak büzme ve dudak kenarlarını aşağı indirme hareketleri etkin olduğu için ağız çevresi kasları ve yanak kaslarının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.51. Yüz nakli T.Ç. için üzgün ifadesi analiz verisi

Üzgün ifadesi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, göz çevresi ağız çevresi kas noktalarına göre daha yoğun çıkmıştır. Kas yoğunluğu olarak düşük çıkan ifade tama olarak etkin yapılamamıştır.



Şekil 4.52. Yüz nakli T.Ç. için üzgün ifadesi analiz verisi

Üzgün ifadesi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 25 Mayıs 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi kaslarında aktivite artışı görülürken göz çevresi aktivite ortalama olarak sabit tutulmuştur. İfade bazlı değerlendirilmelerde gösterilen ifadelerin taklidinin yapılması istendiği için ifadelerin imitasyon gelişimi gözlenmektedir.

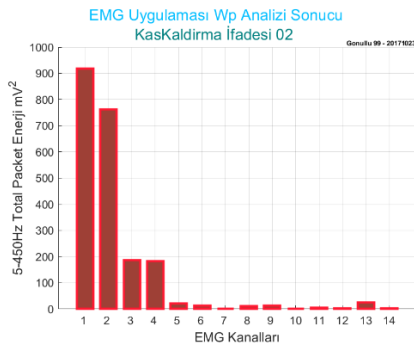
4.4. Tam Yüz Nakli Olgusu U.A.

U.A. Tam Yüz Nakli operasyonu geçirmiştir. Gönüllü ortalaması referans alınarak rehabilitasyon süreci oluşturulmuş ve gelişimi takip edilmiştir.

- i) Gönüllü Ortalaması Analizleri.
- ii) 13 Mayıs 2017 EMG verisi 2017'de rehabilitasyon sonrası nakil yüz.
- iii) 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz.
- iv) 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz kayıtları mevcuttur.

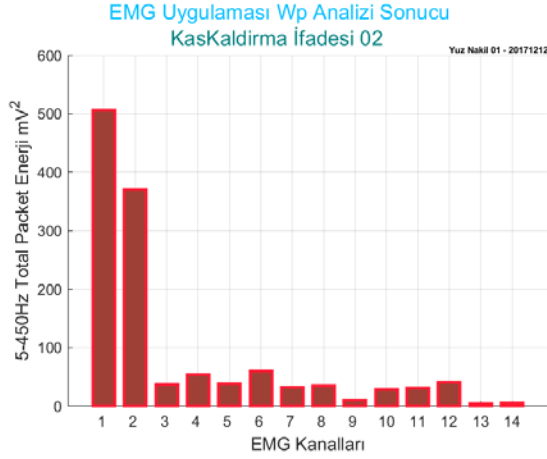
4.4.1. Tam Yüz Nakli olgusu U.A. bulguları

4.4.1.1. Kaş kaldırma hareketi



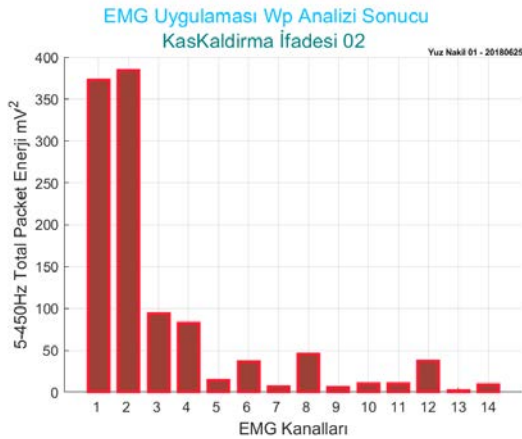
Şekil 4.53. Gönüllü ortalaması için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

Kaş kaldırma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 1,2,3 ve 4 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz üstünde bulunan orbicularis oculi kasında simetrik. Alın ve göz üstü kaslarının kaş kaldırma ifadesinde aktif olması anlamlıdır.



Şekil 4.54. Yüz nakli U.A. için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

Kaş kaldırma hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, 1 ve 2 kas noktası aktiftir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik konumdadır. Gönüllü gruba bakıldığından occipitofrontalis kası simetrik olarak kaş kaldırma hareketinde başarılı çalışmaktadır. Fakat gönüllü gruba göre 3 ve 4 kas noktaları göz üstü orbicularis oculi kasının aktivitesi çok azdır.

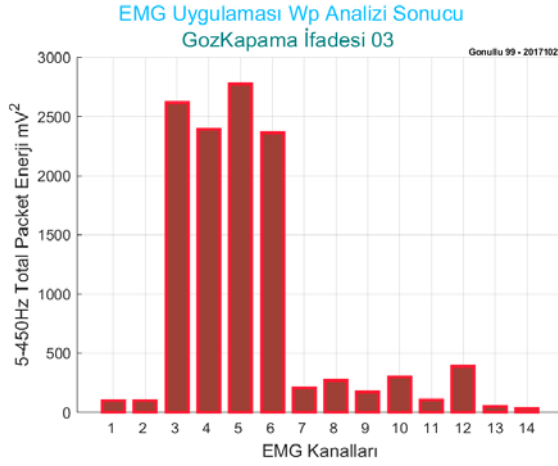


Şekil 4.55. Yüz nakli U.A için kaş kaldırma hareketi analiz verisi

Kaş kaldırma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz

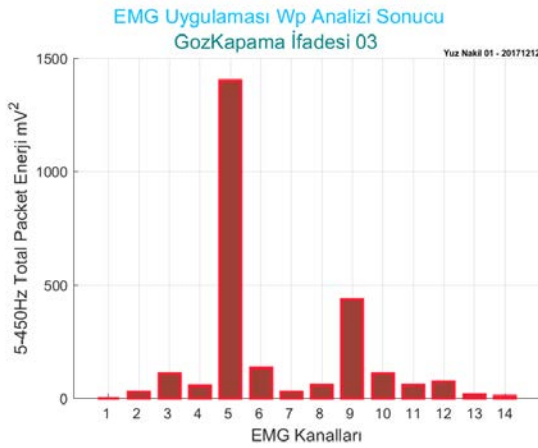
üstünde bulunan orbicularis oculi kası simetrik durumda aktivite dengelenmiştir. Rehabilitasyon sonrası göz üstü kasında anlamlı gelişim gözlenmiştir.

4.4.1.1. Göz kapama hareketi



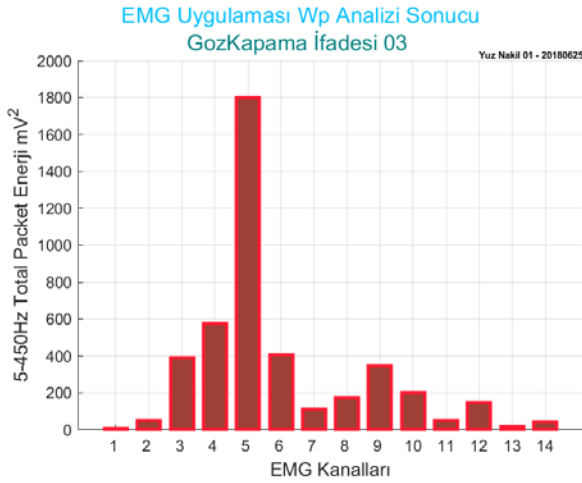
Şekil 4.56. Gönüllü ortalaması için göz kapama hareketi analiz verisi

Göz kapama hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 3,4,5 ve 6 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4 . elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz altı) ve 6. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz altı) kas bölgeleri göz çevresini göstermektedir. Göz kapama hareketinde göz çevresi kasları olan orbicularis oculi kasının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.57. Yüz nakli U.A. için göz kapama hareketi analiz verisi

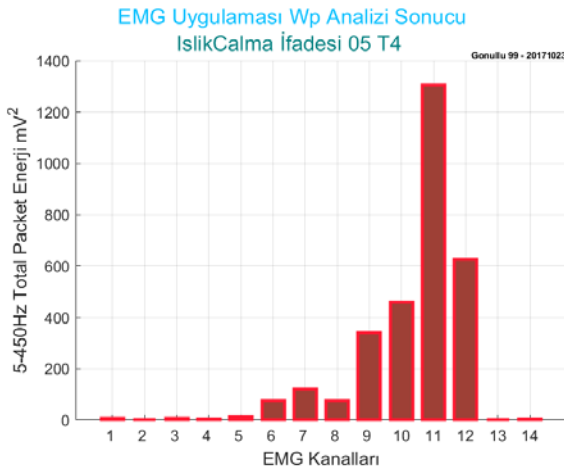
Göz kapama hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, aktivite gönüllü gruba göre göz çevresi kası olan orbiculari oculi kasında çok az enerji değerindedir. Sadece 5. kas noktası sol göz altı kanalında aktivite vardır.



Şekil 4.58. Yüz nakli U.A için göz kapama hareketi analiz verisi

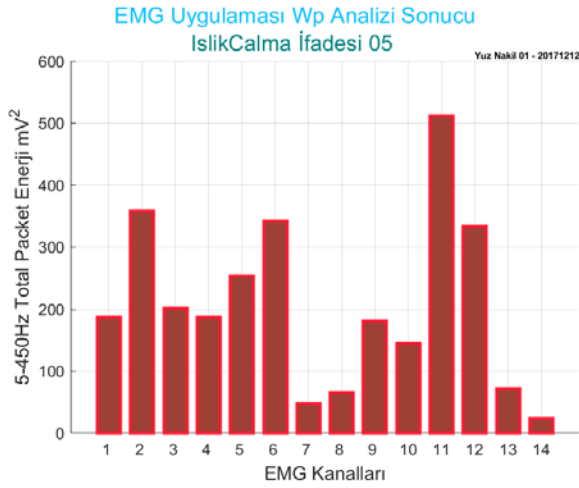
Göz kapama hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz altı) ve 6. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz altı) kas bölgelerinde aktivite başlamıştır. Rehabilitasyon sonrası göz çevresi kası orbicularis oculi kasında anlamlı gelişim gözlenmiştir.

4.4.1.1. Işık çalma hareketi



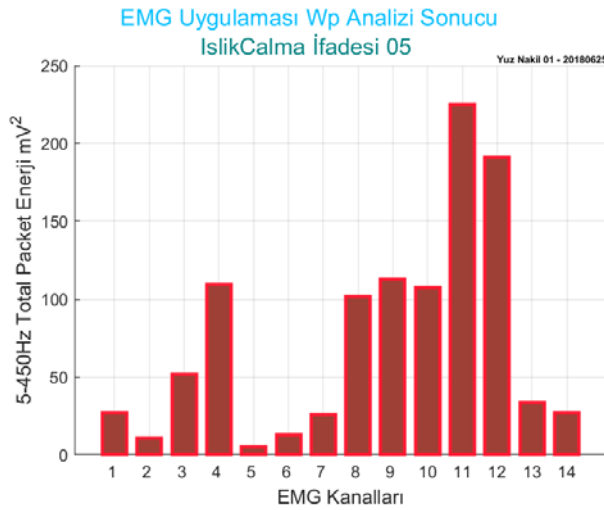
Şekil 4.59. Gönüllü ortalaması için ışık çalma hareketi analiz verisi

Işık çalma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Işık çalma hareketi ağız çevresi kasları olan orbicularis oris kasının kasılması anlamlıdır.



Şekil 4.60. Yüz nakli U.A. için ıslık çalma hareketi analiz verisi

Islık çalma hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, yüzün genelinde aktivite görülmektedir. Gönüllü bireylerin ortalamasıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi aktivite anlamlıdır. Fakat göz çevresi aktivitenin olması anlamlı değildir. İfadeyi yaparken göz kaslarını destek olarak kastığı görülmektedir.



Şekil 4.61. Yüz nakli U.A için ıslık çalma hareketi analiz verisi

Islık çalma hareketi 25 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 12 Aralık 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında olmaması gereken göz çevresi kasılmasının bastırıldığı görülmektedir. Genel anlamda harekete bakıldığında kas organizasyonunu gönüllü bireye yaklaştırmıştır.

5. SONUÇLAR

P.L. olgusu için sonuçlar yorumlandığında, başparmak Abdüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 3. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $1>2>3$ olarak görülmektedir. 1. Kasın Abdüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fizyolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 1. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak hareketlerinin Addüksiyon ve Fleksiyon hareketlerinden sorumlu 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. Adductor kasların çıkması anlamlıdır. Orta kol bölgesinde bulunan 13 elektrot extensor carpi ulnaris, 14 elektrot extensor digitorum, 15 elektrot extensor carpi radialis brevis ve 16 elektrot extensor carpi radialis longus kas bölgelerinde baş parmak hareketinin hemen hemen $1/6$ katına sahip extensor kas aktivitesi görülmüştür. Başparmak Abdüksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique 4. ve elektrot palmaris brevis kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $1>4>2>3$ olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Abdüksiyon hareketi için benzer bir kas organizasyonuna sahip olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir. Başparmak Abdüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $2>1>3$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis daha etkin çıkmıştır. Baş parmak fleksiyon hareketinde etkin çalışan kanal yüksek olması, harekete özgü geliştirilen rehabilitasyon sürecine verilen aradan olumsuz etkilendiğini yani kas organizasyonunun değişerek hareketi unuttuğu yorumunu yapabiliriz. Başparmak Abdüksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında $1>2>3$ olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında sağlıklı kol organizasyonu ile benzer çıkmıştır. 1 Mart 2018 EMG verisi analizi değerlerine bakıldığında etkin çıkan flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis rehabilitasyon sürecinde baskılanmıştır. Başparmak Addüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2, 3 ve 6. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique ve 6. elektrot m. first dorsal interosseous kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında

3>1>2>6 olarak görülmektedir. 3. Kasın Addüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fizyolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 3. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak hareketlerinin Abdüksiyon ve Fleksiyon hareketlerinden sorumlu 1. elektrot m. abductor pollicis brevis,2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 6. elektrot m. first dorsal interosseous kaslarının çıkması anlamlıdır.

Başparmak Addüksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique 4. ve elektrot palmaris brevis kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 4>3>2>1 olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Addüksiyon hareketi için başparmak kaslarına bakıldığında (1,2 ve 3. elektrotlar) kas organizasyonu olarak 3. elektrotun diğer elektrotlara göre yüksek sonuç çıkması yani Addüksiyon işleminin kısmi olarak yapmaya başladığını gösterir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir. Başparmak Addüksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>1>3 olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Kas organizasyonuna bakıldığında flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis daha etkin çıkmıştır. Addüksiyon hareketini yapabilmesi için etkin çıkması gereken kas 3. elektrot olmalıdır. Başparmak Addüksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 3>1>2 olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. Başparmak Addüksiyon hareketi kası olan 3. Elektrotun daha baskın çıkması hareketi kısmi de olsa doğru yapmaya başladığını gösterir. 1 Mart 2018 EMG verisi analizi değerlerine bakıldığında etkin çıkan flexor kası olan 2. elektrot m. flexor pollicis brevis rehabilitasyon sürecinde baskılanmıştır. Başparmak Fleksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 3. kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis ve 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>3>1 olarak görülmektedir. 2. Kasın başparmak Fleksiyon hareketinden sorumlu olduğunu tıp fizyolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 2. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması ve sırasıyla baş parmak hareketlerinin Addüksiyon ve Abdüksiyon hareketlerinden sorumlu 3. elektrot m. m. adductor pollicis oblique ve 1. elektrot m. abductor pollicis brevis kaslarının çıkması anlamlıdır. Başparmak Fleksiyon hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique ve 4. elektrot palmaris brevis

kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 4>2>3>1 olarak görülmektedir. Rehabilitasyon sürecinde yeni çıkmış olan olgunun sağlıklı kol ile baş parmak Fleksiyon hareketi için benzer bir kas organizasyona sahip olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu EMG kaydından sonra yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulanmamıştır. Genel fizik tedavi süreci devam etmiştir.

Başparmak Fleksiyon hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>1>3 olarak görülmektedir. Hareketi başarılı şekilde devam ettirmiştir. Diğer başparmak hareketleri 1 Mart 2018 tarihli kayıtlarında da Abdüksiyon ve Addüksiyon hareketleri içinde Fleksiyon hareketinde ki 2. elektrot aktif çıkmıştır. Her 3 başparmak hareketi için fleksiyon hareketi olarak algılanması tarafımızca uygulanan rehabilitasyon sürecinin ince detaylarını hareket ayırıştırma özelliğini göstermektedir. Diğer baş parmak hareketlerini rehabilitasyon sonralarında ayırt etmeye başlamış olup rehabilitasyona yaklaşık 1 yıl ara verilmesi harekete özgü kasların organizasyonunun kaybını ve hareketlerin karıştığını gösteriyor. Başparmak Fleksiyon hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1. elektrot m. abductor pollicis brevis, 2. elektrot m. flexor pollicis brevis, 3. elektrot m. adductor pollicis oblique kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>1>3 olarak görülmektedir. Hareketi her 3 EMG analizi sonucunda da doğru devam ettirdiği görülmektedir.

Yumruk hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5.elektrot m. flexor digiti minimi brevis, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 3>6>2>7>5>4>1 olarak görülmektedir. El bölgesinin tamamında aktivite gözlenmiştir. Yumruk hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5. elektrot m. abductor digiti minimi, ve 6.elektrot m. first dorsal interosseous kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>6>5>3>2>4 olarak görülmektedir. Burada yapılabilecek yorum kas yoğunluk enerji değerleri ortalama $1000 mV^2$ - $2500mV^2$ arası değişmektedir. Yumruk hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 , orta kol bölgesinde 11,12,13,14 ve 15 kaslarında en etkin bölge olarak görülmektedir. Yaklaşık 1 yıl olguya tarafımızca rehabilitasyon uygulaması yapılmaması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. El bölgesi kas yoğunluk enerji değerleri ortalama $400 mV^2$ - $1800mV^2$ arası değişmektedir. Orta kol ile el bölgesinin yoğunlukları hemen hemen birbirine yakındır. Tam bir yumruk hareketi oluşturulamamış olup yoğunluk değerleri azalma görülmüştür. Yumruk hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon

sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,4,5,6 ve 7 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 4.elektrot m. palmaris brevis, 5.elektrot m. flexor digiti minimi brevis, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>3>6>1>5>4 olarak görülmektedir. Yaklaşık 3 buçuk ay sık yoğunlukta uygulanan FES rehabilitasyonu olguya tarafımızca uygulanması sonucu tekrar EMG alındı ve analiz edildi. 1 Mart 2018 EMG si ile karşılaştırıldığında orta kol kasları baskılanmış olup el bölgesi güç değeri artırılmıştır.

Kalem tutma hareketi 1 Mart 2018 EMG analiz verisi sağlıklı sağ kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3,6 ve 7 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>3>6>1>7 olarak görülmektedir. Kalem tutma hareketi 27 Mayıs 2017 EMG analiz verisi replant kol, el bölgesinde bulunan 1,3ve4 kaslar en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, , 3.elektrot m. adductor pollicis oblique ve 4.elektrot m. palmaris brevis, kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 4>1>3 olarak görülmektedir. Kalem tutma egzersizleri 2018 yeni rehabilitasyon sürecinde başlamıştır. 2017 rehabilitasyon sonrası aktivite tam anlamıyla sağlanamamıştır. Kalem tutma hareketi 1 Mart 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2 ve 6 kaslarında en etkin bölge olarak görülmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 2>6>1 olarak görülmektedir. Kalem tutma hareketi 20 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol için incelendiğinde, el bölgesinde bulunan 1,2,3, 6, 7 ve 8 kaslar el bölgesi için en etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. flexor pollicis brevis, 3.elektrot m. adductor pollicis oblique, 6.elektrot m. first dorsal interosseous ve 7.elektrot m. abductor digiti minimi kaslarını temsil etmektedir. Kas kasılma organizasyonu olarak bakıldığında 1>3>2>8>6>7 olarak görülmektedir. 2018 yeni rehabilitasyon ile kalem tutma ve yazı yazma egzersizlerii doğru kalem tuma, bilekten yazı yazma açısı ve basit figürlerin deneyimi yapılmıştır. Bu veriler değerlendirildiğinde ve uygulamada kendi adını yazar ve annesine mektup yazar hale gelmesinden dolayı başarılı olarak hareketi tamamlamıştır.

O.M.D. olgusu için sonuçları, başparmak Abdüksiyon hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesinde 1. elektrot m. abductor pollicis brevis kası etkin bölge olarak görülmektedir. 1. Kasın Abdüksiyon hareketten sorumlu olduğunu tıp fiziolojisinden bilinmektedir. En yüksek kas bölgesine bu sebepten 1. kas bölgesi abductor pollicis brevis kası çıkması anlamlıdır. Başparmak Abdüksiyon hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol, başparmak Abdüksiyon kası olan 1. Elektrot aktivitesi çok küçük çıkmıştır. Olgu hareketi yapamadığı için diğer kas bölgelerini kasmıştır. Başparmak Abdüksiyon hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol, başparmak Abdüksiyon kası olan 1. Elektrot aktivitesini belirgin şekilde arttırmıştır. Olgu rehabilitasyon içi geldiğinde yapamadığı hareketi kısmi olarak yapar hale gelmiş aynı zaman da m. abductor pollicis brevis kası

aktivitesini anlamlı şekilde arttırmıştır. İşaret parmak kasma hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesinde 1,2 ve 3 kas noktaları etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. first dorsal interosseous, ve 3.elektrot m. abductor digiti minimi kas bölgelerini ifade etmektedir. İşaret parmak kasma hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, 1,2 ve 3. Kas bölgeleri aktivite çok az elde edilmiştir. Bu süreçteyken parmak hareketlerini tam olarak gerçekleştirememektedir. İşaret parmak kasma hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, parmak hareketleri başlamış olup 1,2 ve 3 kasta anlamı olarak enerji artışı gözlenmiştir. Özellikle 3. kas noktası olan abductor digiti minimi kası sıfır aktivite varken artışa geçmesi küçük parmak hareketini başlamasına destek vermiştir. Rehabilitasyonun ortalarına doğru hareketsiz olan küçük parmakta hareketlilik gözlenmiştir. Küçük parmak kasmaya özgü 3. kanalın sorumluluğu bilinmektedir.

Dört parmak Ekstansiyon hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, orta kol bölgesinde 5,6 ve 7 kas noktaları etkin bölge olarak görülmektedir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Kas organizasyonu 7>5>6 şeklinde kasılmaktadır. Dört parmak Ekstansiyon hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, orta kol bölgesinde kas kasılma kabiliyeti mevcuttur. Sadece dört parmak Ekstansiyon hareketinde kol extensor kasının (7. elektrot) aktivitesinin, flexor kasından (6. elektrot) yüksek olması beklenir. Rehabilitasyon öncesi bunun tam tersi olduğu gözlenmiştir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Dört parmak Ekstansiyon hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda flexor kasın (6. elektrot) extensor'e (7. elektrot) göre daha yüksek iken rehabilitasyon sonunda extensor kas yoğunluğu flexor kasın yoğunluğunu geçmiştir. 5. elektrot m. brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir.

Yumruk hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesi 1,2 ve 3 noktaları aktif, orta kol bölgesinde 5 kas noktası etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot m. first dorsal interosseous, 3.elektrot m. abductor digiti minimi ve 5. elektrot m. brachioradialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Kas organizasyonu 5>2>1>3 şeklinde kasılmaktadır. Yumruk hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, el bölgesi aktivitesi tam olarak oluşmamıştır. Görsel olarak olgu yumruk hareketini yapamamaktadır. Yumruk hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda el bölgesi sadece 1. kas ve 4. kas noktalarında aktivite varken diğerlerinde yoktu. Rehabilitasyon sonrası hareketi görsel olarak tam olarak yapamasa bile 2 ve 3. kanalda aktivite başlamıştır.

Silindir kavrama hareketi 8 Nisan 2018 alınan EMG verisi analizi sağlıklı sol kol için incelendiğinde, el bölgesi 1,2 ve 3 noktaları aktif, orta kol bölgesinde 5,6 ve 7 kas noktası etkin bölge olarak görülmektedir. 1.elektrot m. abductor pollicis brevis, 2.elektrot

m. first dorsal interosseous, 3. elektrot m. abductor digiti minimi, 5. elektrot m. Brachioradialis, 6. elektrot m. flexor carpi radialis ve 7. elektrot m. flexor digitorum superficialis kas bölgelerini ifade etmektedir. Silindir kavrama hareketi 2 Mart 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi replant kol incelendiğinde, el bölgesi aktivitesi tam olarak oluşmamıştır. Görsel olarak olgu silindir kavrama hareketini yapamamaktadır. Silindir kavrama hareketi 18 Mayıs 2018 alınan EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası replant kol incelendiğinde, rehabilitasyon öncesi kas organizasyonunda el bölgesi sadece 1. kas ve 4. kas noktalarında aktivite varken diğerlerinde yoktu. Rehabilitasyon sonrası hareketi görsel olarak kavrama kısmi olarak yapmaya başlamış olup 3. kanalda aktivite başlamıştır.

T.Ç. olgusu için sonuçlar, kaş kaldırma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 1,2,3 ve 4 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz üstünde bulunan orbicularis oculi kasında simetriktir. Alın ve göz üstü kaslarının kaş kaldırma ifadesinde aktif olması anlamlıdır. Kaş kaldırma hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, olgunun göz kapakları dahilinde nakil olması durumu ve olgunun sol gözünü kapatması daha aktif olduğu gözetilerek, 1 ve 3 kasları yani sol yüzünde göz üstü ve alın bölümünde aktivite çıkmıştır. Simetrik olarak ifadeyi tamamlayamamıştır. Kaş kaldırma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1,2,3 ve 4. kas bölgelerinde ki aktivite asimetrik görüntüyü azaltmıştır. 2 ve 4 sağ yüzündeki kas bölgelerinde aktivite artmıştır.

Göz kapama hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 3,4,5 ve 6 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz gözaltı) ve 6. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz gözaltı) kas bölgeleri göz çevresini göstermektedir. Göz kapama hareketinde göz çevresi kasları olan orbicularis oculi kasının kasılması anlamlıdır. Göz kapama hareketi 25 Mayıs 2017 EMG verisi 2017'de rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1,2,3,4,6 ve 7 kas noktalarında aktivite görülmüştür. Göz çevresi kasları olan 3,4,5 ve 6 kas noktaları değerlerine bakıldığında 5. elektrot hariç 3,4 ve 6 da aktivite görülmüştür. Göz kapama hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, hastanın yaklaşık 1 yıla rehabilitasyon görmemesi üzerine alınan EMG kaydı analizlerinde görüldüğü üzere göz çevresi kaslarında aktivite kaybı ve sağ göz çevresinde bulunan 4 ve 6 elektrotlarında aktivitenin olmadığı görülmüştür. Hem aktivite hem de simetrik kayıp görülmüştür. Göz kapama hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu göz çevresi değerlendirildiğinde 3,4,5 ve 6 elektrot kendi içerisinde simetrik ve aktivite oranları birbirine yakın bulunmuş olup hastanın son 1 yıl içerisinde göz kapama hareketinde aktivite artışı gözle görülür artmıştır.

Islık çalma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10 . elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Islık çalma hareketi ağız çevresi kasları olan orbicularis oris kasının kasılması anlamlıdır. Islık çalma hareketi 25 Mayıs 2017 EMG verisi 2017'de

rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, ağız çevresi kasları olan 9,10,11 ve 12 kasılması vardır. Eş zamanlı göz ve yanak bölgesinde ortalama değerinde aktivite görülmüş ve yüz genele olarak aktiftir. Ağız çevresi aktivitesi biraz daha yoğun olduğu görülmektedir. Islık çalma hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, hastanın yaklaşık 1 yıla rehabilitasyon görmemesi üzerine alınan EMG kaydı analizlerinde ağız çevresinde aktivite devam etmektedir. Fakat göz ve yanak çevresindeki aktivite artmıştır. Bu da hareketin tam yüze oturmadığını göstermektedir. Islık çalma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 2 Aralık ve 25 Mayıs 2017 kayıtlarıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi aktivitesini korumuş ve diğer yüz bölgelerini baskılamıştır. Hareketi daha etkin yapmaktadır.

Dişleri gösterme hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 7,8,9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 7. elektrot zygomaticus majör (sol yüz), 8. elektrot zygomaticus majör (sağ yüz) 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Dişleri gösterme hareketi ağız çevresi kasları ve yanak kaslarının kasılması anlamlıdır. Dişleri gösterme hareketi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, 3,4,12 ve 13 kas noktaları aktiftir. Hareketin gönüllü ile karşılaştırıldığında ağız çevresi için sadece 12 kas noktası aktif ve göz altı kasları 3 ve 4 kas noktalarda aktif olarak gözlenmiştir. Hareketi etkin yapamamıştır. Dişleri gösterme hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 25 Mayıs 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında göz çevresi baskılanmış olup 11. kas noktasında da aktivite artışı gözlenmiştir.

Üzgün ifadesi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 7,8,9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 7. elektrot zygomaticus majör (sol yüz), 8. elektrot zygomaticus majör (sağ yüz) 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Üzgün ifadesinde dudak büzme ve dudak kenarlarını aşağı indirme hareketleri etkin olduğu için ağız çevresi kasları ve yanak kaslarının kasılması anlamlıdır. Üzgün ifadesi 2 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, göz çevresi ağız çevresi kas noktalarına göre daha yoğun çıkmıştır. Kas yoğunluğu olarak düşük çıkan ifade tama olarak etkin yapılamamıştır. Üzgün ifadesi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, sıklaştırılmış rehabilitasyon sonucu 25 Mayıs 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi kaslarında aktivite artışı görülürken göz çevresi aktivite ortalama olarak sabit tutulmuştur. İfade bazlı değerlendirilmelerde gösterilen ifadelerin taklidinin yapılması istendiği için ifadelerin imitasyon gelişimi gözlenmektedir.

U.A. olgusu için sonuçlar, kaş kaldırma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 1,2,3 ve 4 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz üstünde bulunan orbicularis oculi kasında simetriktir. Alın ve göz üstü kaslarının kaş kaldırma ifadesinde aktif olması anlamlıdır. Kaş kaldırma hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında,

1 ve 2 kas noktası aktiftir. 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik konumdadır. Gönüllü gruba bakıldığından occipitofrontalis kası simetrik olarak kaş kaldırma hareketinde başarılı çalışmaktadır. Fakat gönüllü gruba göre 3 ve 4 kas noktaları göz üstü orbicularis oculi kasının aktivitesi çok azdır. Kaş kaldırma hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 1 (sol yüz) ve 2 (sağ yüz) kas noktaları alın bölgesinde bulunan occipitofrontalis kasında simetrik, 3 (sol yüz) ve 4 (sağ yüz) kas noktaları göz üstünde bulunan orbicularis oculi kası simetrik durumda aktivite dengelenmiştir. Rehabilitasyon sonrası göz üstü kasında anlamlı gelişim gözlenmiştir.

Göz kapama hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 3,4,5 ve 6 kasları aktif olduğu gözlenmiştir. 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz altı) ve 6. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz altı) kas bölgeleri göz çevresini göstermektedir. Göz kapama hareketinde göz çevresi kasları olan orbicularis oculi kasının kasılması anlamlıdır. Göz kapama hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, aktivite gönüllü gruba göre göz çevresi kası olan orbicularis oculi kasında çok az enerji değerindedir. Sadece 5. kas noktası sol göz altı kanalında aktivite vardır. Göz kapama hareketi 25 Haziran 2018 EMG 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 3. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz üstü), 4. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz üstü), 5. elektrot orbicularis oculi (sol yüz göz altı) ve 6. elektrot orbicularis oculi (sağ yüz göz altı) kas bölgelerinde aktivite başlamıştır. Rehabilitasyon sonrası göz çevresi kası orbicularis oculi kasında anlamlı gelişim gözlenmiştir.

Islık çalma hareketi gönüllü ortalamasına bakıldığında, 9,10,11 ve 12 kas noktaları aktif olduğu gözlenmiştir. 9. elektrot orbicularis oris (sol yüz duda üstü), 10. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak üstü), 11. elektrot orbicularis oris (sol yüz dudak altı) ve 12. elektrot orbicularis oris (sağ yüz dudak altı) kas bölgeleri ağız çevresini göstermektedir. Islık çalma hareketi ağız çevresi kasları olan orbicularis oris kasının kasılması anlamlıdır. Islık çalma hareketi 12 Aralık 2017 EMG verisi 2018'de uygulanan rehabilitasyon öncesi nakil yüz bakıldığında, yüzün genelinde aktivite görülmektedir. Gönüllü bireylerin ortalamasıyla karşılaştırıldığında ağız çevresi aktivite anlamlıdır. Fakat göz çevresi aktivitenin olması anlamlı değildir. İfadeyi yaparken göz kaslarını destek olarak kastediği görülmektedir. Islık çalma hareketi 25 Haziran 2018 EMG verisi analizi 2018'de uygulanan rehabilitasyon sonrası nakil yüz bakıldığında, 12 Aralık 2017 kaydıyla karşılaştırıldığında olmaması gereken göz çevresi kasılmasının bastırıldığı görülmektedir. Genel anlamda harekete bakıldığında kas organizasyonunu gönüllü bireye yaklaştırmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Alkan, A. and Günay, M. 2012. Identification of EMG signals using discriminant analysis and SVM classifier. *Expert Systems with Applications*, 39(1): 44-47
- Bedeloglu, M., Topçu, Ç., Akgül, A. Döğler, E.N., Sever, R., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Uysal, H., Polat, Ö., and Çolak, Ö. H. 2018. Image-based Analysis of Emotional Facial Expressions in Full Face Transplants. *Journal of Medical Systems*, 42 (3): 42.
- Blomqvist, C.G. and Saltin, B. 1983. Cardiovascular Adaptations to Physical Training. *Annual Review of Physiology*, 45: 169-189.
- Buller, A.J., Eccles, J.C. and Eccles, R.M. 1960. Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *The Journal of Physiology*. 150: 417-439.
- Burbank, D.P., Webster, J.G. 1978. Reducing skin potential motion artifact by skin abrasion. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 16(1): 31-38.
- Cabric, M., Appell, H.J. and Resic, A. 2008. Stereological Analysis of Capillaries in Electrostimulated Human Muscles. *International Journal of Sports Medicine*. 8 (5): 327-330.
- Cavalcanti, G.M.A. and Vieira, T.M.M. 2011. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del*, 4:17-28.
- Chien, Y.C., Chien, C.W., Lin, C.T. and Pao, Y.S. 1966. Some problems concerning small vessel anastomosis in the reattachment of complete traumatic amputations. *Chinese medical journal*, 85 (2): 79.
- Clancy, E.A., Morin, E.L. and Merletti R. 2002. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*; 12:1-16.
- Conforto, S., Dalessio, T.D. and Pignatelli, S. Optimal rejection of movement artefacts from myoelectric signals by means of a wavelet filtering procedure. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 9:47-57.
- Denny, D. 1929. On the Nature of Postural Reflexes. *Proceedings of the Royal Society*, 104(730): 252-301.
- Eisenberg, E., and Greene, L.E. 1980. The relation of muscle biochemistry to muscle physiology. *Annual Review of Physiology*, 42(1): 293-309.
- Farina, D. and Negro, F. 2012. Accessing the neural drive to muscle and translation to neurorehabilitation technologies. *IEEE Reviews Biomedical Engineering*, 5: 3-14.

- Gök, K. vd. 2017. Analysis of abductor pollicis brevis and orbicularis oris muscles representation of full face transplantation patients using TMS. *Clinical Neurophysiology* 128(9): 250.
- Gök, K. vd. 2017. The analysis of TMS brain mapping of plastic changes in scapular-arm replantation patients. *European Neuropsychopharmacology*, 27(1): 714.
- Gök, K. vd. 2017. TMS-based cortical mapping in double-arm transplantation. *Clinical Neurophysiology*, 128(9): 276-277.
- Harris, B.A. 2005. The influence of endurance and resistance exercise on muscle capillarization in the elderly: A review. *Acta Physiologica Scandinavica*. 185(2): 89-97.
- Kappenman, E.S. and Luck, S.J. 2010. The effects of electrode impedance on data quality and Statistical significance in ERP recordings. *Psychophysiology*. 47(5): 888-904.
- Luca, C.J. 1988. Electromyography. *Encyclopaedia of Medical Devices and Instrumentation*. Wiley, New York, pp. 1111-1120.
- Magenat, N., Primeau, E. and Thalmann, D. 1988. Abstract muscle action procedures for human face animation. *The Visual Computer* 3(5): 290-297.
- Malt, R.A. and Charles, F. 1964. Replantation of severed arms. *JAMA*, 189(10): 716-722.
- Merletti, R. and Luca, C.J. 1989. New Techniques in Surface Electromyography. In: Desmedt J.E. (Ed.) *Computer Aided Electromyography and Expert Systems*. Elsevier, Amsterdam, pp. 115-124.
- Mesin, L., Merletti R. and Rainoldi, A. 2009. Surface EMG: The issue of electrode location. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5): 719-726.
- Navarro, X., Krueger, T.B., Lago, N., Micera, S., Stieglitz, T. and Dario, P. 2005. A critical review of interfaces with the peripheral nervous system for the control of neuroprostheses and hybrid bionic systems. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 10(3): 229-258.
- Özkan, Ö., Özkan, Ö., Ubur, M., Hadımioğlu, N., Cengiz, M., and Afşar, İ. 2017. Face allotransplantation for various types of facial disfigurements: A series of five cases. *Microsurgery*, 27(1).
- Pette, D. and Vrbova, G. 1999. What does chronic electrical stimulation teach us about muscle plasticity. *Muscle & Nerve*, 22 (6): 666-677.
- Pette, D., Smith, M. E., Staudte, H. W. and Vrbova, G. 1973. Effects of long-term electrical stimulation on some contractile and metabolic characteristics of fast rabbit muscles. *European Journal of Physiology*, 338 (3): 257-272.

- Phinyomark, A., Phukpattaranont, P. and Limsakul, C. 2012. Application of linear discriminant analysis in dimensionality reduction for hand motion classification. *Measurement Science Review*, 12(3): 82-89.
- Radford, T. 2004. Scientists prepare to turn fiction into fact with first full-face transplant. [https:// www.theguardian.com/world/2004/may/27/highereducation.health](https://www.theguardian.com/world/2004/may/27/highereducation.health) [Son erişim tarihi: 02.06.2018]
- Ranvier, L. 1874. Some facts relating to the histology and physiology of the striated muscles. *Archives de Physiologie Normale et Pathologique*, 6: 1-15.
- Reaz, M.B.I., Hussain, M.S. and Mohd, F. 2006. Techniques of EMG signal analysis: Detection, processing, classification and Applications. *Biological procedures online*, 8(1): 11.
- Rosa, R., Alonso, A., Carrera, A., Durán R. And Fernández, P. 2010. Man-machine interface system for neuromuscular training and evaluation based on EMG and MMG signals. *Sensors*, 10(12): 11100-11125
- Salmons, S. and Vrbova, G. 1969. The influence of activity on some contractile characteristics of mammalian fast and slow muscles. *The Journal of Physiology*, 201 (3): 535-49.
- Siff, M. 1990. Applications of Electrostimulation in Physical Conditioning: A Review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 4(1).
- Tam, H.W. and Webster, J.G. 1977. Minimizing electrode motion artefact by skin abrasion. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2: 134-139.
- Topçu, Ç., Uysal, H., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Polat, Ö., Bedeloğlu, M., Akgül A., Döğ er E.N., Tombak K. and Çolak, Ö.H. 2017. Assessment of Emotional Expressions after Full-Face Transplantation. *Neural Plasticity*, 1-7.
- Topçu, Ç., Uysal, H., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Polat, Ö., Bedeloğlu, M., Akgül A., Döğ er E.N., Sever, R. and Çolak, Ö. H. 2018. Recovery of facial expressions using functional electrical stimulation after full-face transplantation. *Journal of Neuroengineering And Rehabilitation*, 15(1): 15.
- Ward, A. and Shkurato, N. 2002. Russian electrical stimulation: The early experiments. *Physical therapy*, 82 (10): 1019-30.
- Waters, K. 1987. A muscle model for animation three-dimensional facial expression. *Acm Siggraph Computer Graphics*, 21(4): 17-24.
- White, S.M., Constantine, P.E. and Claycomb, W.C. 2004. Cardiac physiology at the cellular level: use of cultured HL-1 cardiomyocytes for studies of cardiac muscle cell structure and function. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 286(3): 823-829.

- Yenigün, Ö. 2008. The determination of isokinetic performance values of knee joint and Hamstring (flexor) Quadriceps (extensor) ratios differences in Volleyball players. *Journal of Human Sciences* 5(1):15.
- Zhang, X., and Ping, Z. 2013. Filtering of surface EMG using ensemble empirical mode decomposition. *Medical Engineering & Physics*, 35(4): 537-542.

ÖZGEÇMİŞ

ELA NAZ DÖĞER
elanazdoger@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016-2018	Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2016	Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak 2017. Analysis of abductor pollicis brevis and orbicularis oris muscles representation of full face transplantation patients using TMS. Clinical Neurophysiology 128(9): 250.
- 2- Bedeloğlu, M., Topçu, Ç., Akgül, A. Döğer, E.N., Sever, R., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Uysal, H., Polat, Ö., and Çolak, Ö. H. 2018. Image-based Analysis of Emotional Facial Expressions in Full Face Transplants. Journal of Medical Systems, 42 (3): 42.
- 3- Topçu, Ç., Uysal, H., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Polat, Ö., Bedeloğlu, M., A. Akgül, E. N. Döğer ... & Çolak, Ö. H. 2018. Recovery of facial expressions using functional electrical stimulation after full-face transplantation. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 15(1), 15.

4- Topçu, Ç., Uysal, H., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Polat, Ö., Bedeloğlu, M., A. Akgül, E. N. Döğer & Çolak, Ö. H. 2017. Assessment of Emotional Expressions After Full-face Transplantation, Neural plasticity.

5- Gök, K., Döğer, E.N., Göztepe, M., Uysal, H., & Ö. H. Çolak. 2017. The Analysis of Tms Brain Mapping of Plastic Changes In Scapular-arm Replantation Patients, Clinical Neuropsychopharmacology, S0924-977(17)31318-4, 27, 4, S714.

6- Gök K., Döğer E.N., Göztepe M.B., Uysal H., Özkan Ö., Özkan Ö., et al. 2017, Tms-based Cortical Mapping In Double-arm Transplantation, Clinical Neurophysiology, 1388-2457, 128, 9, E276e277.

7- Ç. Topçu, H. Uysal, Ö. Özkan, Ö. Özkan, N. E. Barçın, A. Akgül, M. Bedelolu, E. N. Döğer, R. Sever, Ö. Polat., Ö. H. Çolak. 2016. Electrophysiological Evaluation of Emotional Expressions In The Facial Transplantation Patients, Clinical Neurophysiology, 1388-2457, 127, 3, E127.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Döğer E.N., Gök K., Göztepe M.B., Gök M., Uysal H., Özkan Ö., et al. 2017. Manyetik Uyarım İle Abductor Pollicis Brevis Kası Temsil Alanının İncelenmesi, Sözlü Sunum, 53. Ulusal Nöroloji Kongresi, 24 Kasım 2017, 30 Kasım 2017.

2- Gök K., Döğer E.N., Göztepe M.B., Gök M., Uysal H., Özkan Ö., et al. Scapular Kol Replantlarda Tms İle Yüz Ve El Temsilinin Kortikal Haritalanması, Sözlü Sunum, 53. Nöroloji Kongresi, 24 Kasım 2017, 30 Kasım 2017.

3- Gök K., Döğer E.N., Göztepe M.B., Gök M., Uysal H., Özkan Ö., et al. El Ve Yüz Temsillerinin Serebral Kortekste Kapladığı Alanların Transkraniyal Manyetik Stimülasyon İle Haritalandırılması, Sözlü Sunum, 21. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, 24 Kasım 2017, 26 Kasım 2017.

4- Pamuk Ö., Özkaya Y.G., Hasanli N., Gök K., Döğer E.N., Çolak Ö.H., et al. Adolesan Erkek Basketbolcularda Dirençli Pliometrik Antrenmanın İzokinetik Kas Kuvveti Üzerine Etkisi, Poster Sunumu, International Sport Sciences, 15 Kasım 2017, 18 Kasım 2017.

5- Pamuk Ö., Gök K., Döğer E.N., Çolak Ö.H., Bilgin G., Çolak N., et al. Dirençli Pliometrik Antrenmanın Adolesan Erkek Basketbolcularda Anaerobik Kapasiteye Etkisinin Araştırılması, Sözlü Sunum, International Sport Sciences, 15 Kasım 2017, 18 Kasım 2017.

- 6- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. The Analysis of Tms Brain Mapping of Plastic Changes In Scapular-arm Replantation Patients, Poster Sunumu, 30th Europeanneuropsychopharmacology (ecnp), 01 Eylül 2017, 05 Eylül 2017.
- 7- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. Analysis Of Abductor Pollicis Brevis and Orbicularis Oris Muscles Representation of Full Face Transplantation Patients Using TMS, Poster Sunumu, 16th European Congress on Clinical Neurophysiology, 31 Agustos 2017, 03 Eylül 2017.
- 8- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. Tms-based Cortical Mapping In Double-arm Transplantation, Poster Sunumu, 16th European Congress on Clinical Neurophysiology, 31 Agustos 2017, 03 Eylül 2017.
- 9- Pamuk Ö., Hasanli N., Özkaya Y.G., Gök K., Döğer E.N., Çolak Ö.H., et al. The Effect of The Resistance Plyometric Training on Physical Performance In Basketball Players, Sözlü Sunum, International Sport Sciences, 21 Nisan 2017, 23 Nisan 2017.
- 10- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. Kol Nakillerinde El Ve Yüz Temsilinin Kortikal Haritalanması, Sözlü Sunum, 33. Ulusal Klinik Nörofizyoloji Eeg-emg Kongresi, 06 Nisan 2017, 12 Nisan 2017.
- 11- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. Tam Yüz Nakillerinde Yüz Ve El Temsilinin Kortikal Haritalanması, Sözlü Sunum, 33. Ulusal Klinik Nörofizyoloji Eeg-emg Kongresi, 06 Nisan 2017, 12 Nisan 2017.
- 12- Gök, K., Döğer, E.N., & Ö. H. Çolak. Tms Ile Kortikal Motor Haritalamada Orbicularis Oris Temsil Alanı, Sözlü Sunum, İp Bilisiminde Yenilikler Sempozyumu, 25 Mart 2017, 26 Mart 2017.
- 13- Döğer E.N., Gök K., Özkan Ö., Özkan Ö., Polat Ö., Uysal H., Polat Ö., Çolak Ö.H. Gerçek Ve Taklit Duysal Yüz İfadelerinde Kas Aktivitesi Ve Aktif Olan Yüz Bölgesi Üzerine Farklılıklar, Sözlü Sunum, 52. Nöroloji Kongresi, 25 Kasım 2016, 01 Aralık 2016.
- 14- Döğer E.N., Gök K., Özkan Ö., Özkan Ö., Uysal H., Polat Ö., Çolak Ö.H. Yapay ve Gerçek Yüz İfadelerinin Dalgacık Paket Dönüşüm Tabanlı Analizi, Sözlü Sunum, Biyomut'16 20.biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, 03 Kasım 2016, 05 Kasım 2016.
- 15- Gök K., Yaman D., Erkalp H., Döğer E.N., Polat Ö., Çolak Ö.H. Gerçek ve Yapay Yüz İfadelerinin Kalp Hızı Degiskenliği Üzerine Etkisi, Poster Sunumu, Tıptekno'16 Tıp Teknolojileri Kongresi, 27 Ekim 2016, 29 Ekim 2016.

16- Döger E.N., Gök K., Özkan Ö., Özkan Ö., Uysal H., Polat Ö., et al. Discrimination of Artificial and Actual Expression On Face Using Seng, Poster Sunumu, Icbes'16 Proceedings of The 2nd World Congress On Electrical Engineering and Computer Systems and Science (eecs'16), 17 Agustos 2016, 18 Agustos 2016.

17- Bedeloglu, M., Topçu, Ç., Akgül, A., Sever, R., Özkan, Ö., Özkan, Ö., H. Uysal, H., Polat Ö., & Çolak. Yüz Transplantasyon Hastasında Duysal Ifade Gelistiminin Görüntü Temelli Analizi, Sözlü Sunum, Tıptekno2015, 15 Ekim 2015, 18 Ekim 2015.

18- Topçu, Ç., Akgül, A., Bedeloglu, M., Sever, R., Özkan, Ö., Özkan, Ö., H. Uysal, H., Polat Ö., & Çolak, Ö. H. Muscle Activity Detection For Basic Movements In Patients With Full Face Transplantation, Sözlü Sunum, 37th Annual International Conference of The Ieee Engineering In Medicine and Biology Society, 25 Agustos 2015, 29 Agustos 2015.

19- Topçu, Ç., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Barcın N. E., Döger, E. N., Akgül, A., Bedeloglu, M., Sever, R., Uysal, H., Polat Ö., & Çolak, Ö. H. Yüz Hareketlerinin Sınıflandırılması İçin Yüzey Emg Isaretlerinin Entropi Analizi, Sözlü Sunum, Sinyal Isleme Ve İletişim Uygulamaları (siu) Kurultayı, 16 Mayıs 2015, 19 Mayıs 2015.

20- Uysal, H., Topçu, Ç., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Barcın N. E., Döger, E. N., Akgül, A., Bedeloglu, M., Sever, R., Polat Ö., & Çolak, Ö. H. Yüz Nakli Olgularında Duygu İfadelerinin Elektrofizyolojik Olarak Değerlendirilmesi, Sözlü Sunum, 31. Ulusal Klinik Nörofizyoloji EEG-EMG Kongresi, 08 Nisan 2015, 12 Nisan 2015.

21- Uysal, H., Topçu, Ç., Özkan, Ö., Özkan, Ö., Barcın N. E., Döger, E. N., Akgül, A., Bedeloglu, M., Sever, R., Polat Ö., & Çolak, Ö. H. Electrophysiological Evaluation of Emotional Expressions In The Facial Transplantation Patients, Poster Sunumu, 15th European Congress On Clinical Neurophysiology, 30 Eylül 2014, 03 Ekim 2014.