



ROBOTİK REHABİLİTASYON

Editör

Yrd. Doç. Dr. Hamza Sucuoğlu



GÜNEŞ TIP
KİTABEVLERİ

ROBOTİK REHABİLİTASYON

Editör

Yrd. Doç. Dr. Hamza Sucuoğlu

İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu

İstanbul Özel Nisa Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon



GÜNEŞ TIP KİTABEVLERİ

ROBOTİK REHABİLİTASYON

Copyright © 2018

Bu Kitabın her türlü yayın hakkı **Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti.**'ne aittir.

Yazılı olarak izin alınmadan ve kaynak gösterilmeden kısmen veya tamamen kopya edilemez; fotokopi, teksir, baskı ve diğer yollarla çoğaltılamaz.

ISBN: 978-975-277-710-1

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni: Murat Yılmaz

Genel Yayın Yönetmeni Yardımcısı: Polat Yılmaz

Yayın Danışmanı ve Tıbbi Koordinatör: Dr. Ufuk Akçıl

Dizgi - Düzenleme: Ümit Saçı

Kapak Tasarımı: Ümit Saçı

Baskı: Ayrıntı Basım Yayın ve Matbaacılık Hiz. San. Tic. Ltd. Şti.
İvedik Organize Sanayi Bölgesi 28. Cad. 770 Sok. No: 105-A
Ostim/ANKARA
Telefon: (0312) 394 55 90 - 91 - 92 • Faks: (0312) 394 55 94
Sertifika No: 13987

UYARI

Medikal bilgiler sürekli değişmekte ve yenilenmektedir. Standart güvenlik uygulamaları dikkate alınmalı, yeni araştırmalar ve klinik tecrübeler ışığında tedavilerde ve ilaç uygulamalarındaki değişikliklerin gerekli olabileceği bilinmelidir. Okuyuculara ilaçlar hakkında üretici firma tarafından sağlanan ilaca ait en son ürün bilgilerini, dozaj ve uygulama şekillerini ve kontrendikasyonları kontrol etmeleri tavsiye edilir. Her hasta için en iyi tedavi şeklini ve en doğru ilaçları ve dozlarını belirlemek uygulamayı yapan hekimin sorumluluğundadır. Yayıncı ve editörler bu yayından dolayı meydana gelebilecek hastaya ve ekipmanlara ait herhangi bir zarar veya hasardan sorumlu değildir. Bölümlerin içerik ve bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir.

GENEL DAĞITIM GÜNEŞ TIP KİTABEVLERİ

ANKARA

M. Rauf İnönü Sokak No: 3
06410 Sıhhiye / Ankara
Tel: (0312) 431 14 85 • 435 11 91-92
Faks: (0312) 435 84 23

İSTANBUL

Gazeteciler Sitesi Sağlam Fikir Sokak
No: 7 / 2 Esentepe / İstanbul
Tel: (0212) 356 87 43
Faks: (0212) 356 87 44

KADIKÖY

Rasimpaşa Mah. İskele Sokak
No: 4 / A Kadıköy / İstanbul
Tel: (0216) 546 03 47

www.guneskitabevi.com
info@guneskitabevi.com



ÖNSÖZ

“İlim bir avdır, yazmaksa onun bağı... Avladığın bilgileri sağlam iplerle bağla...”
“İlim bir nurdur, zulümatı dağıtır”

Rehabilitasyon, kişinin çeşitli kısıtlılıklarının farklı tedavi yöntemleri kullanılarak mümkün olan en üst fonksiyonel seviyeye ulaştırılması işlemidir. Son yıllarda artan engelli ve özürlü birey sayısı ve yaşlı nüfus nedeniyle rehabilitasyon ihtiyacı olan hasta sayısı da artmıştır. Günümüzde en sık kullanılan konvansiyonel (geleneksel) tedavi yöntemlerinin istenilen neticeyi vermekte yetersiz kalması nedeniyle rehabilitasyonun daha etkili ve hızlı olması için yapılan arayışlar, özellikle son iki dekattır biyomedikal mühendisliği alanında da devam etmiştir. Günümüzün ilerleyen teknolojilerine eş zamanlı olarak tıp teknolojilerinde de önemli gelişmeler olmuş, yapılan araştırmalar neticesinde rehabilitasyon mühendisliği kavramı ile robotik cihazlar rehabilitasyon tıbbının kullanım alanına girmiştir.

“Robotik rehabilitasyon” kavramı; bu gelişmelere paralel olarak robotların rehabilitasyon alanındaki kullanımları sonrası ortaya çıkmış ve yaygın kabul görerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu rehabilitasyon yöntemiyle göreve özgü tekrarlı terapilerin yapılması motor yeniden öğrenmeyi ve nöroplastisiteyi artırarak pozitif etki etmektedir. Son yıllarda sıklıkla tüm dünyada ve ülkemizde kullanım alanı bulan bu robotik cihazlar ile rehabilitasyon alanında yeni bir umudun ortaya çıktığına inanılmaktadır.

Tüm bu nedenlerle ülkemizdeki rehabilitasyon camiasının (FTR uzman hekimleri, fizyoterapistler, ergoterapistler, diğer hekimler gibi) “Robotik Rehabilitasyon” kavramına farkındalığını artırmak; bu tedavi yönteminde kullanılan cihazları, özelliklerini, klinik kullanımlarını ve etkinliklerini aktarabilmek; rehabilitasyon tıbbında görev alacak tüm sağlıkçıların eğitim süreçlerinde yardımcı olmak için bu kitap hazırlandı. Büyük bir boşluğu dolduracağını düşündüğümüz bu kitap, ülkemizde bu alanda yazılmış ilk kaynak eseridir.

Özverili çalışmalarıyla kitabın yazımında büyük emekleri olan yazarlar; FTR uzman hekimleri: Dr. Havva Kazdal Kabakulak, Dr. Günay Er, Dr. Büşra Değirmenci, Dr. Hasan Hüseyin Gökpinar, Dr. Hasan Battal ve rehabilitasyon robotlarının üretim süreçlerinin ülkemizdeki öncülerinden Mekatronik Mühendisliği Öğretim Üyesi Doç. Dr. Erhan Akdoğan’a çok teşekkür ederiz.

Ayrıca bizlerin eğitiminde büyük emekleri olan İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi FTR Ana Bilim Dalı hocalarına ve tüm rehabilitasyon camiasına çok teşekkür ederiz.

“Robotik Rehabilitasyon” kitabı rehabilitasyon alanında çalışan kişilere, kurumlara ve ülkemize hayırlı olsun.

Yrd. Doç. Dr. Hamza SUCUOĞLU

İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksekokulu
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Uzmanı

İÇİNDEKİLER

Önsöz

iii

BÖLÜM 1: ROBOTİK REHABİLİTASYONA GENEL BAKIŞ..... 1

Dr. Hamza Sucuoğlu

- 1.1 TANIM 1
- 1.2 SANAL GERÇEKLİK KAVRAMI VE ROBOTİK REHABİLİTASYONDA KULLANIMI 2
- 1.3 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ SINIFLANDIRILMASI 4
 - 1.3.1. Terapinin Hedeflendiği Ekstremitte Bölümüne Göre 4
 - 1.3.2. Mekanik Özellikleri ve Tasarımlarına Göre 4
 - 1.3.3. Egzersiz Kontrol Stratejilerine Göre..... 5
 - 1.3.4. Tedavinin Uygulama Alanlarına Göre 5

BÖLÜM 2: REHABİLİTASYON ROBOTLARININ ÇEŞİTLERİ..... 11

Dr. Hamza Sucuoğlu

- 2.1 ÜST EKSTREMİTE ROBOTLARI 11
 - 2.1.1 Sabit Sistem End-efektör ve Eksoskeletal Tip 11
 - 2.1.2 Giyilebilir (Wearable) Eksoskeletal Tip 22
- 2.2 ALT EKSTREMİTE ROBOTLARI..... 34
 - 2.2.1 Sabit Sistem End-efektör ve Eksoskeletal Tip 35
 - 2.2.2 Giyilebilir (Wearable) Eksoskeletal Tip..... 42

BÖLÜM 3: GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ROBOTİK REHABİLİTASYON 65

Dr. Büşra Değirmenci, Dr. Hamza Sucuoğlu

- 3.1 DÜNYA'DA... 65
 - 3.1.1 Gelişim Süreci 65
 - 3.1.2 Üreticiler ve Pazar Piyasası..... 71
- 3.2 TÜRKİYE'DE... 73
- 3.3 SONUÇ 74

BÖLÜM 4: KLİNİK KULLANIMDA ÜST EKSTREMİTE REHABİLİTASYON ROBOTLARI..... 78

Dr. Günay Er

- 4.1 REHABİLİTASYON ROBOTUNDA OLMASI BEKLENEN ÖZELLİKLER 78

4.2 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ SINIFLANDIRILMASI	78
4.3 ROBOT ÇEŞİTLERİNE GÖRE KLİNİK ÇALIŞMALAR.....	79
4.4 KLİNİK ÇALIŞMALARDA GÖRÜLEN YAN ETKİLER.....	95
4.5 KLİNİK ÇALIŞMALARDAKİ DAHİL EDİLMEME KRİTERLERİ	95
4.6 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ KULLANIMINDAKİ ÖZELLİKLER DURUMLAR	96
4.7 HASTALIKLARA GÖRE ÜST EKSTREMİTE ROBOTLARININ REHABİLİTASYONDA ETKİNLİĞİ	97
4.7.1 Serebral Palsi ve Çocuk Hastalar	97
4.7.2 Spinal Kord Yaralanması.....	99
4.7.3 Parkinson Hastalığı.....	99
4.7.4 Multipl Skleroz (MS).....	100
4.7.5 İnme (Serebrovasküler Hastalık)	101
4.8 SONUÇ	104

BÖLÜM 5: KLİNİK KULLANIMDA ALT EKSTREMİTE REHABİLİTASYON ROBOTLARI111

Dr. Havva Kazdal Kabakulak

5.1. REHABİLİTASYON SÜRECİ.....	111
5.1.1 Robotların Rehabilitasyonda Kullanım Alanları	112
5.1.2 Robotların Rehabilitasyonda Kullanım Nedenleri.....	113
5.1.3 Alt Ekstremitte Robotik Rehabilitasyonunun Kontrendikasyonları.....	113
5.2 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ SINIFLANDIRILMASI	114
5.2.1 Sabit Rehabilitasyon Robotları.....	115
5.2.2 Hareketli Rehabilitasyon Robotları.....	116
5.3 ROBOT ÇEŞİTLERİNE GÖRE KLİNİK ÇALIŞMALAR.....	117
5.3.1 Sabit Rehabilitasyon Robotlarının Klinik Çalışmaları	117
5.3.2 Hareketli Rehabilitasyon Robotlarının Klinik Çalışmaları	126
5.4 ROBOT YARDIMLI YÜRÜME EĞİTİMİNİN YÜRÜME FONKSİYONLARINDAKİ ETKİNLİĞİ	132
5.5 ALT EKSTREMİTE ROBOTİK REHABİLİTASYONUNUN SİSTEMİK FAYDALARI	133
5.6 HASTALIKLARA GÖRE ALT EKSTREMİTE ROBOTLARININ REHABİLİTASYONDA ETKİNLİĞİ	134
5.6.1 İnme (Serebrovasküler Hastalık)	134

5.6.2 Serebral Palsi	135
5.6.3 Spinal Kord Yaralanması	137
5.6.4 Parkinson Hastalığı	138
5.7 ALT EKSTREMİTE ROBOTLARINDA GÜVENLİK VE OLASI YAN ETKİLER	139
5.8 SONUÇ	140

BÖLÜM 6: ASİSTİF (YARDIMCI) ROBOTLAR.....151

Dr. Hasan Battal

6.1 GİRİŞ VE SINIFLANDIRMA	151
6.2 SOSYAL YARDIM ROBOTLARI	152
6.3 FİZİKSEL YARDIM ROBOTLARI	158
6.3.1 Manipülasyon Yardımı	159
6.3.2 Mobilizasyon Yardımı	162

BÖLÜM 7: REHABİLİTASYONUN ROBOTİK GELECEĞİ

Dr. Hasan Hüseyin Gökpınar

7.1 TANIMLAMA VE SINIFLANDIRMA	167
7.2 KLİNİK UYGULAMALAR VE GÜNCEL DURUM	169
7.2.1 Üst Ekstremité Robotları	169
7.2.2 Alt Ekstremité ve Yürüme Rehabilitasyon Robotları	170
7.2.3 Duygusal Terapi Robotları	171
7.2.4 Sosyal Etkileşim Robotları	172
7.2.5 Fiziksel Etkileşim Robotları	172
7.3 GÜNCEL SORUNLAR	173
7.3.1 Güvenlik	173
7.3.2 Fiyat ve Maliyet	174
7.3.3 Kullanıcı Ara Yüzleri	175
7.4 GELECEKTEKİ UYGULAMALAR, ZORLUKLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	175
7.4.1 Kişiselleştirme (Hasta ve Hastalık Odaklı Uygulamalar)	176
7.4.2 Donanım ve Tasarım	177
7.4.3 Tedavi Kombinasyonları	178
7.4.4 Yaşlılık	178
7.4.5 Etik	179
7.4.6 İnsansı Robotlar	179
7.5 BİLİMSEL ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ	180

BÖLÜM 8: REHABİLİTASYON ROBOTLARININ MÜHENDİSLİK BOYUTLARI: TASARIM, DONANIM VE KONTROL*Dr. Erhan Akdoğan*

8.1 GİRİŞ	187
8.2 ROBOT MÜHENDİSLİĞİ VE TEMEL KAVRAMLAR	188
8.2.1 Robotik Sistemlerin Temel Üniteleri	189
8.2.2 Robotik Sistemlerde Temel Kavramlar	189
8.3 REHABİLİTASYON ROBOTLARINDA TASARIM SÜREÇLERİ	191
8.3.1 Bir Rehabilitasyon Robotunun Tasarım Süreci	192
8.4 REHABİLİTASYON ROBOTLARINDA ÜNİTELER	194
8.4.1 Robot Mekanizması	194
8.4.2 Sensörler	196
8.4.3 Aktüatörler (Tahrik Elemanları-Eyleyiciler)	203
8.4.4 Kontrolcüler	208
8.4.5 Arayüzler	209
8.5 ROBOTİK KONTROL AÇISINDAN REHABİLİTASYON ROBOTLARI	210
8.6 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ GELECEĞİ	212

YAZARLAR

Doç. Dr. Erhan Akdoğan

Yıldız Teknik Üniversitesi,
Mekatronik Mühendisliği

Uzm. Dr. Hasan Battal

Sinop Devlet Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

Uzm. Dr. Büşra Değirmenci

Edirne Uzunköprü Devlet Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

Uzm. Dr. Günay Er

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
İzzet Baysal Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon
Eğitim Araştırma Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

Uzm. Dr. Havva Kazdal Kabakulak

İstanbul Erenköy Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

Yrd. Doç. Dr. Hamza Sucuoğlu

İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu
İstanbul Özel Nisa Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

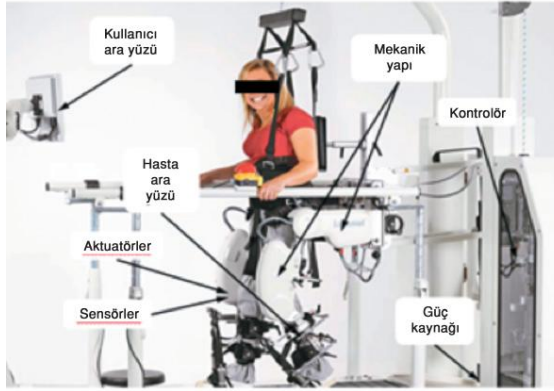
Uzm. Dr. Hasan Hüseyin Gökpinar

Kütahya Yoncalı Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi,
Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

edilmesini sağlar. Bununla birlikte, bir end-efektör tabanlı cihazdan daha karmaşıktır. Bir veya birden fazla eklemde hareketleri kısıtlayan veya destekleyen ortezler, eksoskeletal tabanlı cihazlar olarak da düşünülebilir. (Tablo 1) (4,30).

Rehabilitasyon robotlarının mekanik yapısı, tasarımı ve bu elementlerin genel özellikleri Şekil 1’de görülmektedir. Bu şekildeki örnek eksoskeletal tip, sabit sistem bir alt ekstremité robotik cihazına aittir (30).

Robotik cihaz elementleri



Mekanik yapı

Hareketli bölümler ve eklemler

Aktuatörler

Mekanizmaya hareket verir, ör, motorlar

Sensörler

Fiziksel parametreleri ölçer, ör, pozisyon, kuvvet yönelme, tork

Kontrolör

Aktuatörleri kontrol etmek için sensör verilerini kullanır

Hasta arayüzü

Hastaya bağlanır ve robottan kuvvetler iletir, ör, kelepçeler

Kullanıcı arayüzü

Kullanıcıların kontrolör ayarlarını yapmasını sağlar

Güç kaynağı

Aktuatörleri, kumandayı çalıştırmak için enerji sağlar

Resim 1 • Robotik cihazların elementleri. Kaynak: "http://www.iisartonline.org/services/education-material/". Education material. Slidepool 3: Principles of New Technologies. IISART. t.y. Web. 06 Ocak 2018

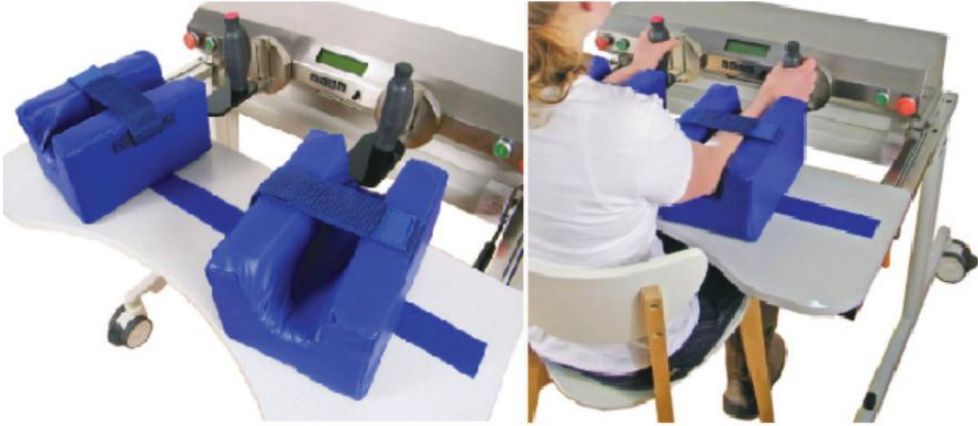
1.3.3. Egzersiz Kontrol Stratejilerine Göre

Egzersiz kontrol stratejilerine göre robotik rehabilitasyon cihazları; pasif, aktif-yardımlı, aktif-yardımsız, dirençli ve bimanuel mod şeklinde beş tipe ayrılarak sınıflandırılabilir (Tablo 1) (7).

Pasif modda, robotik cihaz hastanın ekstremitesini (kolunu) pasif olarak hareket ettirir. Aktif yardımcı modda, hasta hareket etmeye çalışır ve robot isteğe bağlı olarak yetersiz hareketler olduğunda yardım sağlar. Aktif-yardımsız, serbest bırakma modunda kişi egzersizleri kendisi uygulamaya çalışır ve robot yardım etmez. Dirençli modda, hasta robot tarafından sağlanan antagonist kuvvete karşı bir egzersiz yapmaya çalışır. Bimanuel egzersiz modunda ise, etkilenmemiş tarafın aktif hareketinin, etkilenen kolun eşzamanlı aktif / pasif / yardımcı hareketiyle robot aygıtı vasıtasıyla yansıtıldığı tiptir (7).

1.3.4. Tedavinin Uygulama Alanlarına Göre

Tedavi uygulama alanlarına göre rehabilitasyon robotları; günlük yaşam desteği (asistif=yardımcı) robotları, hareket sistemi desteği robotları, terapötik egzersiz robotları ve bilişsel robotlar olarak gruplandırılabilir (Tablo 1) (14,31).



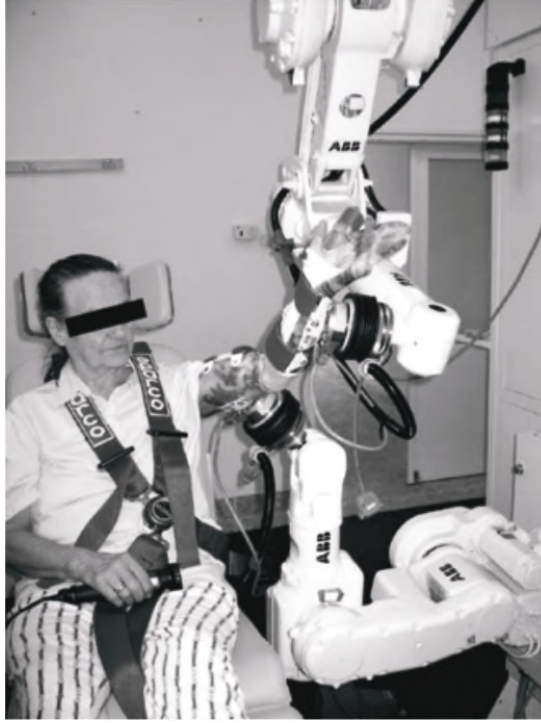
Resim 3 • Bi-Manu- Track: Terapi masasında oturan hastanın ön kolu çukur destek içinde ve orta duruş pozisyonunda ve eller konik tutamakları kavramış vaziyette. Kaynak: " <http://www.reha-stim.de/cms/index.php?id=60>". Bi-manu-Track. Reha Stim. n.d. Web. 7 December 2017

(etkilenmemiş ekstremitte etkilenen ekstremitteyi yönlendirir) ve aktif-aktif (etkilenen ekstremitte ilk izometrik direnci aşar) modlarıdır. Bu modlarda hareketleri gerçekleştirirken aynı zamanda hastaların ihtiyaçlarına ve yeteneklerine göre amplitüd, hız ve direnç kolayca ayarlanabilir. Bu ayarlamalar iki tutamak arasındaki dijital kontrol ünitesinde ve sistemde kurulu bilgisayar programı aracılığıyla gerçekleştirilir. Ayrıca verilerin toplanması, sürücülerin kontrol edilmesi ve gerçekleştirilen eğitim döngülerinin sayısının gösterilmesi de bilgisayar ekranında takip edilir (5,6).

Bi-Manu- Track, paretik üst ekstremitteyi sağlıklı tarafın yardımı ile rehabilite etmeye çalışan ve tedavide ekstremitte distalini hedef alarak omuza kıyasla elin daha büyük bir serebral kortikal temsil alanını kullanan robotik bir sistemdir. Bu gibi avantajlarıyla literatürdeki çalışmalara da sıklıkla konu olmuştur (6).

2.1.1.4 Assisted Rehabilitation and Measurement Guide (Yardımlı Rehabilitasyon ve Ölçüm Kılavuzu) (ARM- Guide®)

Reinkensmeyer ve ark. 2000 yılında inmelili hastalarda üst ekstremitte fonksiyon yetersizliklerinde hem tanı ve hem de tedavi aracı olarak kullanılmak üzere "Yardımlı Rehabilitasyon ve Ölçüm Kılavuzu (ARM-Guide)" adı verilen dört serbestlik dereceli bir robotik cihaz geliştirmişlerdir. ARM-Guide®, hasta oturur pozisyondayken, doğrusal bir ray boyunca kayan özel olarak tasarlanmış bir splinte hastanın etkilenen ön kolu bağlanarak, dikey ve yatay düzlemlerde kolun aktif ve pasif hareketine yardım eden trombon müzik aletine benzer bir cihazdır. Bu cihazda kola kuvvet uygulamak için, splinte bağlı bir zincir sürücüyü yönlendirerek motor yardımıyla hareket gerçekleşir. Ayrıca, cihaz aracılığıyla yapılan kol hareketleri ve kuvvetleri hakkında bilgisayar monitöründe geribildirim de alınır. ARM-Guide® da hareketin yönü farklı yükseklik ve açılarda dikey ve yatay düzlemlerde manuel olarak değiştirilebilir ve bilgisayar kontrollü manyetik parçacık frenleriyle kilitlenebilir. Bu sayede hastanın kol hareketlerinin yer çekimine karşı veya yer çekimine nötr olacak pozisyonlarda gerçekleştirilmesine olanak sağlanmış olur (7,8) (Resim 4).



Resim 6 • REHAROB Terapötik Sistem: İki robot kolu, özel tasarlanmış enstrümantal bir orteziyle etkilenen ekstremiteleri sabitlemek için hastanın üst koluna ve ön koluna bağlanmıştır. Kaynak: Fazekas G, Horvath M, Troznai T, Toth A. Robot-mediated upper limb physiotherapy for patients with spastic hemiparesis: a preliminary study. J Rehabil Med. 2007;39:580-2.

2.1.1.7 Neuro-Rehabilitasyon-Robot (NeReBot®)

NeReBot®, üç serbestlik derecesine sahip, taşınabilirliği ve hasta başı kullanılabilirliği sayesinde hastalığın erken evrelerinde de kolayca kullanılabilecek robotik bir üst ekstremité cihazıdır. Robot sistemi bir taban, bir sütun ve kolları olan çelik hareketli bir yapıdır. Bu yapıya üç dc motor, bir bilgisayar, bir klavye ve bir monitör yerleştirilmiştir. Cihazın kollarına üç naylon tel/kablo ile tutturulmuş ve hastanın ön kolunu içine alarak sabitleyen atelden askıya alınmış sistem, motorlar tarafından çalıştırılarak hareket ettirilmektedir. Bu hareketle hastanın kolunun gerçek zamanlı bir yazılım sayesinde üç boyutlu sanal bir görüntüsü oluşturulur. Ayrıca, sistemde hastanın askıdaki kolunu humerus başından destekleyecek ve alçalmasını önleyecek yumuşak bir koltuk altı desteği de vardır (12) (Resim 7).

NeReBot®, hastanın omuz ve dirsekte, fleksiyon ve ekstansiyon, pronasyon ve supinasyon, adduksiyon ve abduksiyon ve dairesel hareketler gerçekleştirmesine, hastaneye kolaylıkla taşınabilmesine ve hastalara yalnızca oturma pozisyonunda değil sırt üstü yatar pozisyonunda da tedavi uygulanabilmesine olanak sağlar (12).



Resim 11 • ReoGo: Hasta oturur pozisyondayken robot koluna bağlanan ön kol ateli ile üç boyutlu sanal görüntü ortamında kendisine özgü egzersizleri gerçekleştirir. Kaynak: " <http://motorika.com/product-1/>". ReoGo. Motorika. n.d. Web. 10 December 2017.

latma modu (hasta kısmen pasif ve adım adım hareketi başlatması gerekir), destek modu (hastanın aktif olarak hedefe doğru hareketine destek kuvveti uygulanır) ve serbest mod (hasta aktif olarak hareketi yapar) şeklindedir (19).

2.1.2 Giyilebilir (Wearable) Eksoskeletal Tip

2.1.2.1 Hand Mentor®

Hand Mentor®, Amerika menşeli Motus Nova şirketi tarafından ticarileştirilmiş giyilebilir tip el- bilek rehabilitasyon cihazıdır. Bu sistem bir kontrol paneli (bilgisayar kısmı) ve el ortotik cihazından oluşur. Hand Mentor® cihazındaki bu kontrol paneli yaklaşık 6-7 kg, ve el cihazı kısmı 1-1,5 kg ağırlığa sahip olup, taşınabilir özelliği ile bir masa üzerine konularak evde ve klinikte kolayca kullanılabilir. Hasta oturur vaziyetteyken, etkilenmiş üst ekstremitel el cihazına, ön kol, el bilek ve elin üzerinden giydirilir ve kontrol ekranına bağlanır (Resim 12). Kontrol ekranındaki görüntülenen oyunlar eşliğinde göreve özgü, hedefe yönelik terapötik egzersizler pasif ve aktif asistif modlarda robot yardımıyla gerçekleştirilir. Gerekğinde el cihazındaki mevcut olan pnömötik kas ile yardım da sağlanabilir. Egzersizler el bilek ve el parmakları (başparmak hariç) kuvveti, hareket açıklığı (ekstansiyon) ve motor fonksiyonu artırmaya yönelik olarak gerçekleştirilir (20).

Tablo 2 • Diğer üst ekstremité robotik rehabilitasyon cihazları ve genel özellikleri*

Sistem Adı	DOF	Desteklenen Hareketler ve Bölgeleri	Robot Tipi ve Sistem Şekli	Robotun Gelişim Evresi
MARIONE	1	Dirsek -FE	• End-efektör tip • Sabit sistem	Ç0
MEM-MRB	1	Dirsek -F	• Sabit sistem	Ç0
ASSIST	1	El bilek -F	• Giyilebilir ortez (kuvvet yardımcısı)	Ç0
PolyJbot	1	El bilek - FE	• EMG güdümlü sabit sistem	Ç2
HandCARE	5	Her parmağın bağımsız doğrusal hareketi (biri birer)	• End-efektör tip, kablo güdümlü • Sabit sistem	Ç1
HEXORR	2	Baş parmak -FE, diğer parmaklar birlikte -FE	• End-efektör tip, kablo güdümlü • Sabit sistem	Ç1
HIFE	2	Tek parmak -FE	• End-efektör tip • Haptik sistem	Prototip
MR_CHIROD	1	Tüm parmaklar birlikte -KB	• End-efektör tip egzersiz cihazı (tutamak benzeri)	Ç0
MRAGES	5	Parmaklar - FE	• Kuvvet geri bildirim eldiveni	Prototip
PowerGrip	1	Başparmak, işaret ve orta parmak birlikte -KB	• Giyilebilir ortez, kavrama yardımcısı	Ticari
Reha-Digit, Reha-Stim	1	Dört parmak (başparmak hariç) birlikte -FE	• Taşınabilir sistem (rotasyon tutamaklı)	Ticari
Rutgers Master II-ND	4	Başparmak, işaret, orta ve yüzük parmak -FE	• Kuvvet-geri bildirim eldiveni; sanal ortamla etkileşimli	Ç1
Salford Hand Exoskeleton	7	Başparmak, işaret, orta ve yüzük parmak -FE	• Eksoskeletal tip • Giyilebilir ortez	Ç0
TU Berlin Finger Exoskeleton	4	Bir parmak -FE, AA	• Parmak eksoskeletal tipi	Ç0
TU Berlin Hand Exoskeleton	20	Her bir parmağın tüm eklemlerinin -FE, AA	• Eksoskeletal tip, giyilebilir ortez	Prototip

şirketin tıbbi cihaz olarak pazarladığı NexStep® robot yürüyüş eğitmenidir. G-EO Sistem®; vücut ağırlık desteği sağlayan harnes takımı, her iki ayak için serbestçe programlanabilen ayak tabanı ile hasta ve terapist ara yüz bilgisayar sistemlerinden oluşur. Fizyolojik bir yürüyüş deseninin gerçekçi bir simülasyonunu sunan G-EO Sistem® ayaklara bağlanır ve ayağın hareketlerini kontrol eder. Diz, kalça ve gövde ise yürüme esnasında serbest olarak hareket eder (37).

G-EO Sistem®'i kullanan hastalar bir harnes takımı üzerinden askıya alınarak vücut ağırlıkları desteklenir. Sonrasında hastanın ayakları cihazın ayak tabanlarına bağlanır (Resim 22). Koşu bandı olmayan bu sistemde, diğer alt ekstremité robotlarından farklı olarak; zemin yürüyüşü, merdiven yürüyüşü (çıkma ve inme) ve kısmi hareket (yürüme siklusunun belirli fazını izole ederek yapılan özel kısmi hareketler) şeklinde yürüyüş modlarında terapi yapılabilir. Bu üç farklı yürüyüş türünde de pasif, aktif-asistif ve aktif modlarda yürüme terapisini sürdürmek mümkündür. Aktif mod, hastanın önceden seçilmiş direnç eşiğini aşarak yürüyüş simülasyonunu kendi kendine başlatmasını sağlar. Aktif –asistif mod, hastanın önceden seçilmiş direnç eşiğini aşma çabalarını algılar ve ardından yürüyüş hareketinin başlatılması sırasında hastanın çabasını artırır. Pasif mod ise hareketlerin tamamının cihaz tarafından yapıldığı durumdur (37).



Resim 22 • G-EO Sistem: Erişkin ve çocuk modülleri olan bu sistemde hasta, bir harnes takımı üzerinden askıya alınarak vücut ağırlıkları desteklenir. Ayaklar cihazın ayak tabanlarına bağlanır. Koşu bandı olmayan bu sistemde, zemin yürüyüşü, merdiven yürüyüşü ve kısmi hareket şeklinde yürüyüş modlarında terapi yapılabilir. Kaynak: "https://www.rehatechnology.com/en/products/g-eo-system". G-EO System. Reha Technology. n.d. Web. 15 December 2017.

Ayrıca bu sistem, hastaların gerçek zamanlı geri bildirim alabildiği ve sanal gerçeklik ortamında yürüyebildiği akıllı kontrol araçlarına da sahiptir. Bu görsel senaryolar, ek terapi seçenekleri sunarak hastanın motivasyonunu artırmak ve performansını görselleştirmek için kullanılırlar.

G-EO Sistem®'de diz destek modülü, pediatrik modül, FES modülü, kalp modülü ve araştırma modülü olarak ek terapi seçenekleri de vardır. Diz destek modülü, hastaya fleksiyon ve ekstremitelerde ek diz stabilitesi sağlar. FES modülünün entegrasyonu ile terapist birden fazla stimülasyon kanalı vasıtasıyla ek kas aktivasyonu sağlar. Kalp modü-



Resim 26 • Bionic bacak cihazı (AlterG): Diz-ayak bilek ortezi şeklindeki cihazın ayakkabı içerisine konulan ince bir tabanlıktaki basınç sensörleri ve cihazın üst kısmına monteli ayarlama düğmeleri ve küçük bir LCD ekran vardır. Kaynak: "https://www.alterg.com/products/bionic-leg/professional-physical-therapy". Robotic Rehabilitation Therapy for Neuro and Ortho Patients. Alter G. n.d. Web. 18 December 2017.

yüksek olarak ayarlanabilir. Ekstansiyon sınırlayıcı: istenilen diz ekstansiyon derecesine göre kısıtlama yapılabilir. Böylelikle, motorlar belirli bir ekstansiyon derecesine ulaşın-caya kadar yardımcı olurlar (42).

2.2.2.3 Stride Management Assist System (SMA[®])

Stride Management Assist (SMA[®]) Sistemi (adım yönetim yardım sistemi) Honda R&D şirketi tarafından Japonya'da geliştirilen bir giyilebilir eksoskeletal robotik cihazdır. Bu cihaz, kalçaların etrafına takılır ve ambulasyon sırasında adım uzunluğunu artırmak ve kullanıcıya yardımcı olmak için her kalça ekleminde bağımsız, aktif fleksiyon ve ekstansiyona yardım sağlar. Bu sayede, yürüme yeteneğini arttırmak ve yürüyüşte bozuklukları olan hastalarda toplumsal hareketliliği ve sosyal etkileşimi artırmak için kullanılır (43).

2-3 kg ağırlığı olan, şarj edilebilir pil ile çalışan ve iki adet DC motora sahip aktüatörleri olan SMA[®], kullanıcının kalça eklemlerinin hareket açısını ve üretilen torku izlemek için açı ve akım sensörleri ile donatılmıştır (Resim 27). Ayrıca, terapist cihazı çalıştırdıktan sonra kullanıcı SMA kullanırken, bir tabletteki yazılım aracılığıyla yardımcı ayarları değiştirilebilir (44).

SMA[®] aktüatöre yerleştirilen açılı sensörler, yürüme sırasındaki kullanıcının kalça eklemlerini tespit eder. Bu açılar, kalça eklemleri açısı simetrisi hesaplayan SMA[®] kontrol cihazına girilir. SMA[®] bu durumda, yürüme paternlerini düzenlemek için yürüyüş sırasında belirli durumlarda yardımcı torklar üretir.



Resim 32 • ExoAtlet: Giyilebilir dış iskelet cihazı ve denge sağlamak için koltuk değnekleri. Kaynak: "https://www.artlebedev.com/exoatlet/".Exoatlet exoskeleton design. Art. Lebedev Studio. n.d. Web. 20 December 2017.

Diğer dış iskelet robotlarına benzer şekilde bu robotta da, koltuk değnekleri ile denge sağlanmaya çalışıldığından hastanın yeterli üst ekstremité kuvvetine sahip olması gerekir. Ayrıca gerekli minimum kendi kendine ambulasyon seviyesinde olması ve tekerlekli sandalyeyi bağımsız kullanma becerisine sahip olması gerekir. Tedaviye alınan hastanın boy uzunluğu 160-190 cm arasında ve vücut ağırlığı maksimum 90 kg olabilir (53).

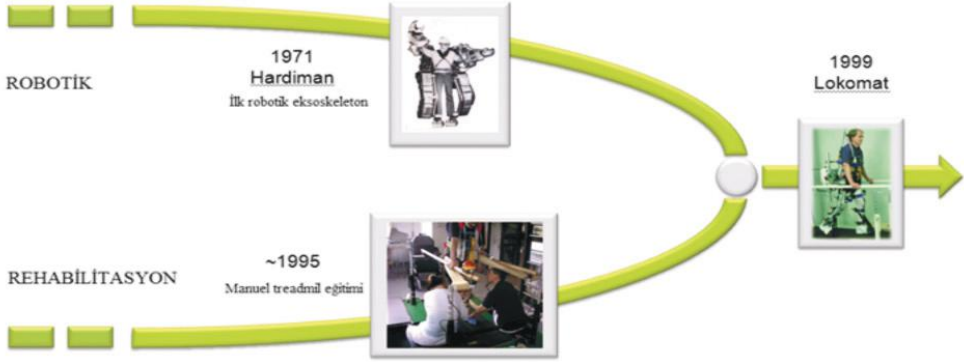
2.2.2.10 Rex®

Rex, Yeni Zelanda merkezli Rex Bionics şirketi tarafından geliştirilmiş, diğer dış iskeletlerden farklı bazı donanımsal özelliklere sahip bir giyilebilir eksoskeletal robottur. Bu cihaz, koltuk değnekleri veya sırt çantası gerektirmiyor. Bunun yerine, joystick'le kontrol edilen iki büyük bacak sistemi kullanıcıyı destekliyor ve kaldırıyor. Cihaz, kendisinin ve kullanıcının ağırlığını bağımsız olarak destekleyebilir ve ağırlığı bir bacadan diğerine geçirebilir (54,55) (Resim 33).

Rex, tam spinal kord hasarı olan veya şiddetli hareket bozukluğu olan hastaların başlangıç tedavisinde kullanılabilmektedir. Bu robot ile oturma, kalkma, yürüme, dönme, merdiven çıkma ve inme gibi aktiviteler yapılabilmektedir. Ayrıca robot, hastaları oturma pozisyonundan robot destekli ayakta durma pozisyonuna kaldırarak, rehabilitasyon hedefleri doğrultusunda tasarlanmış egzersiz uygulamaları terapistler eşliğinde hasta ayakta durma pozisyonunda kullanılabilmektedir. Bu egzersizler; yürüme, germe egzersizleri, kollar serbest olduğundan üst ekstremité egzersizleri ve günlük yaşam aktiviteleri şeklindedir (54,55).

Cihaz, uzun süreli tekerlekli sandalye kullanımına bağlı komplikasyonları olan hastaları, ayakta durma pozisyonuna kaldırması, robot destekli fizyoterapiye imkan sağlaması

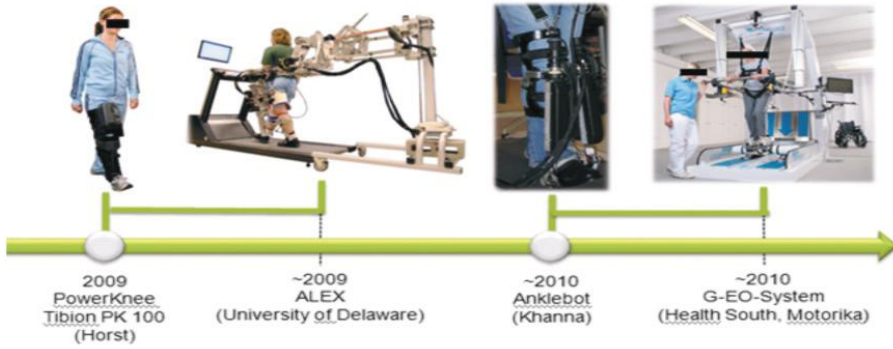
ROBOTİK REHABİLİTASYONUN BAŞLANGICI (ALT EKSTREMİTE)



ALT EKSTREMİTE ROBOTLARI



ALT EKSTREMİTE ROBOTLARI



Şekil 2 • Alt ekstremite rehabilitasyon robotlarının tarihi gelişim süreci. Kaynak: "http://www.iisartonline.org/services/education-material/". Education material. Slidepool 2: History of New Technologies in Rehabilitation. IISART. t.y. Web. 06 Ocak 2018.

Tablo 1 • Alt ekstremitte robotik rehabilitasyonu için kontrendikasyonlar ve risk faktörleri (16,18) (Devamı)

- Ciddi osteoporoz veya eski patolojik kırık varlığı*
- Cihazlara göre değişen antropometrik sınırların dışında bulunmak (boy sınırı, maksimum taşınabilecek kilo miktarı, kalça çevresi ölçümü değeri, üst bacak/uyluk uzunluğu, alt bacak uzunluğu)
- Kalça çıkığı (genel bir kontraendikasyon değil, ağırlı ve instabil ise önemli)
- Bacak uzunluk farkı (fonksiyonelliği engelliyorsa düzeltilmeli)
- Kısıtlı eklem hareket açıklığı (resiprokal yürüyüş paternini karşılayamayanlarda)
- Heterotopik ossifikasyon (kalça ve diz eklem hareket açıklığını kısıtlayan)
- Skolyoz (genel bir kontraendikasyon değil, ancak dik durmayı zorlaştıracak kadar ileri ve ağırlı olması)
- Spinal operasyon (lumbosakral füzyon*)
- İleri diskinetik ve miyoklonik refleksler
- Alt ekstremitte kaslarında ciddi düzeyde spastisite (Modified Ashworth Skalasına göre evre 4 spastisite)
- Kas - tendon transferi operasyonu (6-8 hafta)
- Perkütanöz miyofasyotomi operasyonu (4-6 hafta)
- Pelvis/ femur/diz/ ayak kemik ameliyatları (8-12 hafta)
- Kalça ve diz artrodezi*
- Bası yaraları
- İmplant cihaz (derin beyin stimülatörü, ventriküler şant, vagus sinir stimülatörü, intratekal baklofen pompası)
- EMG stimülatörleri (medikolegal yaptırımlar göz önünde bulundurulmalı, özellikle ITB pompası açısından dikkatli olunmalı)

*Bilinen kesin kontrendikasyonlar

5.2 REHABİLİTASYON ROBOTLARININ SINIFLANDIRILMASI

Robotlar mekanik yapıya, eklem sayısına, kullanım yerine ve kontrol sistemlerine göre birçok şekilde sınıflandırılabilir. En sık kullanılan sınıflandırma sistemi ise mekanik yapıya göre yapılar ve robotik cihazlar eksoskeletal (dış iskelet) ve end-efektör robotlar olarak ikiye ayrılır (19,20).

Eksoskeleton robotik cihazlar hastanın anatomik eksenleri ile hizalanmış eksenlere sahiptir. Ekstremitenin çeşitli kısımlarına sabitlenerek eklem doğrudan kontrolünü sağlayarak; anormal postür ve hareketin oluşmasını ihtimalini azaltırlar. Eksoskeleton tipte robotlar sabit (treadmil tabanlı) ve ambulator olarak (over-ground) ikiye ayrılırlar.

End-efektör tipte cihazlar ekstremitte distaline mekanik kuvvet uygulayarak çalışırlar. Kinetik zincirin son halkası ayaktan desteklenir. Kalça ve diz eklemleri serbest aktif katılım gerektirir. Ekstremitte proksimalini kontrol etmekte yetersiz olduğundan anormal postür ve hareketlerin ortaya çıkmasına neden olabilirler. Değişik yüzeylerde yürüme, yokuş inme, çıkma çalıştırılabilir. End-efektör tipte robotik cihazların farklı hastalara

değiştirmek mümkündür. Konuşabilir ve şarkı söyleyebilir. Boynunu ve kollarını hareket ettirebilir. 90 dakika yürüyebilir veya dans edebilir. Kablolulu ya da kablosuz internetle çalışabilir. İki adet kamerası ve 500 Mhz işlemcisi vardır. Yazılımı, robotun terapi seansları için bir senaryo hazırlamasına izin vermek için geliştirilmiştir. Terapi esnasında, bir Android cihaza kurulan yazılımı ile kontrol edebilir, müzik hareket ve konuşma komutlarıyla durdurulup devam ettirilebilir ya da tekrar ettirilebilir. Ayrıca, yürümek veya başını hareket ettirmek için de bu yazılım ile uzaktan kumanda edilebilir (10, 20).



Resim 3 • NAO. Kaynak: www.animation-innovation.com/robots/robot-nao

KEEPON

Otizm tanısıyla takip edilen çocukların gelişimlerini desteklemek amacı ile Dr. Hideki Kozima ve Dr. Marek Michalowski tarafından geliştirilmiştir (Resim 4). Robotun dört adet motoru vardır ve burun ile göz bölgelerine mikrofon ve iki adet kamera yerleştirilmiştir. Robotun duyularını belli eden tepkileri vardır (keyif aldığı anda iki yana sallanmakta, heyecanlandığında zıplamakta, korktuğunda titremektedir). Terapist tarafından uzaktan kontrol edilebilir. Kayıt etme özelliği sayesinde hastanın gelişimin takibi ve rehabilitasyonun izlemi açısından faydalıdır (5).



Resim 4 • Keepon. Kaynak: <http://www.mykeepon.com/buy>



Resim 11 • DeVAR (25).

HANDY-1

Handy 1, ağır engelli bireyler için tasarlanmış, yemek yeme, içme, yıkama, traş etme, diş temizleme ve makyaj uygulaması gibi günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlık arttırmayı hedefleyen rehabilitasyon robotudur (5, 26) (Resim 12).



Resim 12 • Handy-1 (2).

PR2

Willow Garage firması tarafından üretilen bu cihaz, evde ve işte günlük yaşam aktivitelerinde yardım sağlayan gelişmiş bir robottur. Yemek pişirme, bulaşık ve çamaşır yıkama, kıyafetleri katlama gibi aktiviteleri gerçekleştirirken yardım sağlar. Özellikle yardıma ve bakıma muhtaç hastalar ve yaşlılar için hayatı kolaylaştırabilir. Kişiselleştirilebilir özel-

RİBA

Dev oyuncak ayı şeklindeki bu robotik cihaz, Riken araştırma merkezi ve Tokai kauçuk endüstrileri tarafından geliştirilen yeni interaktif vücut yardımcı robotudur. 176 kg'a kadar vücut ağırlığı olan hastaları kaldırabilir. Ayrıca yere eğilip hastaları oturağa bırakabilir veya alabilir (2) (Resim 20).



Resim 20 • Riba (2).

Kaynaklar

1. Brose, S.W., et al., The role of assistive robotics in the lives of persons with disability. *Am J Phys Med Rehabil*, 2010. 89(6): p. 509-21.
2. David Jaffe. "https://web. stanford.edu/class/engr110/2012/04b-Jaffe.pdf". *Perspectives in Assistive Technology*. Stanford Education. 2 February 2012. Web. 12 February 2018.
3. Feil-Seifer D, Mataric MJ. Defining socially assistive robotics. in *International Conference on Rehabilitation Robotics*. 2005.
4. Torta, E., et al., Attitudes Towards Socially Assistive Robots in Intelligent Homes: Results From Laboratory Studies and Field Trials. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2013. 1(2).
5. Akdoğan, E., & Demir, M. H., Rehabilitation technologies: Biomechanics point of view. In *A Roadmap of Biomedical Engineers and Milestone*, (2012): p. (pp. 1-36).
6. "http://asblab.mie.utoronto.ca/research-areas/assistive-robotics". *Assistive robotics*. Aslab.mie. n.d. Web. 12 February 2018.
7. Heerink, M., et al., Relating conversational expressiveness to social presence and acceptance of an assistive social robot. *Virtual Reality*, 2009. 14(1): p. 77-84.
8. Shibata, T., Therapeutic seal robot as biofeedback medical device: qualitative and quantitative evaluations of robot therapy in dementia care. *IEEE 100*, (2012): p. 2527–2538.
9. Broekens, J., Heerink, M., and Rosendal, H., Assistive social robots in elderly care: are view. *Gerontechnology*, (2009). 8: p. 94–103.
10. Valenti Soler, M., et al., Social robots in advanced dementia. *Front Aging Neurosci*, 2015. 7: p. 133.
11. Bemelmans, R., et al., Socially assistive robots in elderly care: a systematic review into effects and effectiveness. *J Am Med Dir Assoc*, 2012. 13(2): p. 114-120.e1.

Link (bağlantı): Robot mekanizmaları rijit linklerden oluşur.

Eklem (joint): Linkleri birbirine bağlayan noktalara verilen isimdir. Robotun mafsalları *eklem* olarak adlandırılır. Eklemler dönel, prizmatik, küresel yapı da olabilir. Eklemler ya doğrudan eklemeye yerleştirilen tahrik elemanı ile yada uzaktan rijit link, kayış-kasnak gibi çeşitli iletim mekanizmaları ile hareketin aktarılması yolu ile hareket ettirilirler.

Taban (base): Robotun sabitlendiği yere denir. Genellikle ilk eklem taban eklemi olarak ele alınır.

Uç işlevci (end-effector): Robot kolunun en uç noktasına veya linklerden oluşan zincirin son noktasına denir. Tutucu (gripper) veya çevre ile olan temas kuvvetini ölçecek olan sensör gibi elemanlar buraya yerleştirilir.

Çerçeve (frame): Robot eklemlerine analiz için yerleştirilen sanal eksen takımlarına denir. Robot mühendislerinin robotun kinematiklerini tespit etmek için kullanılan eksenlerin uygun yerleştirilmesi önemlidir. Yanlış yerleştirme analizin yanlış çıkması ile sonuçlanır. Kısaca robot hedefine ulaşamaz.

Serbestlik derecesi (degree of freedom-DOF): Robotu bağımsız hareket veren her eklem bir serbestlik derecesine sahiptir. Bunların toplamı robotun serbestlik derecesini verir.

Kinematik ve dinamik analiz: Kinematik analiz, robotun konum, hız ve ivme parametrelerini, dinamik analiz ise eklem torklarına ilişkin bilgileri üretir.

İleri ve ters kinematik: İleri kinematik eklem açılarını kullanarak robotun uç noktasının çalışma uzayındaki koordinatlarını, ters kinematik ise robotu kolu uç noktası koordinatlarından eklem açılarının elde edilmesini sağlar. Eklem uzayı ile kartezyen uzay arasındaki geçişler bu analizlerle yapılır. Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2 • İleri ve ters kinematik.

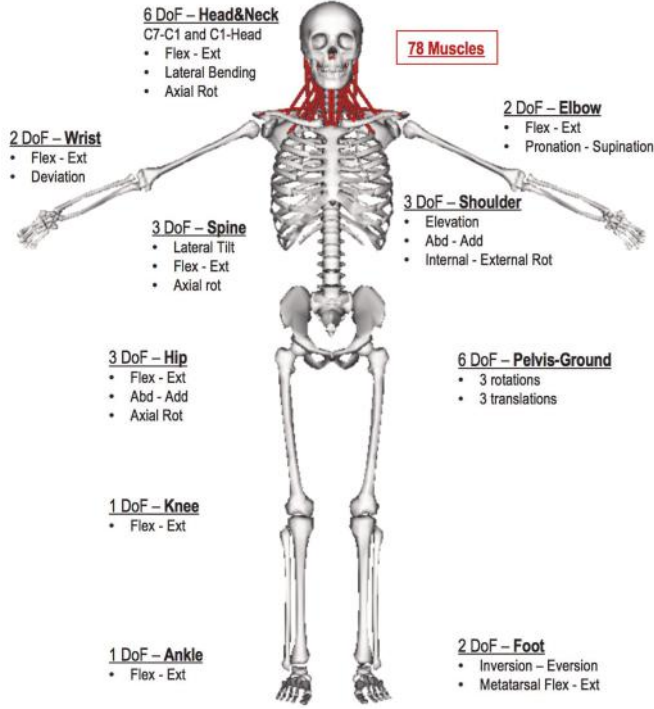
Jakobiyen: Eklem açıları ile robotu kolu uç noktası hızı arasındaki ilişkiyi belirleyen matristir. Şu denklem ile temsil edilir.

$$\dot{X} = J \cdot \dot{\theta} \quad (1)$$

burada $\dot{X}$ kartezyen uzayda robot kolu uç noktasının hız matrisini, J Jakobiyen matrisini, $\dot{\theta}$ ise eklem hız matrisini temsil etmektedir. Ayrıca jakobiyen matrisi eklem torkları ve uygulanan kuvvet arasındaki ilişkiyi de sağlar. Buna ilişkin denklem aşağıda verilmiştir.

$$\tau = J^T \cdot F \quad (2)$$

Serbestlik derecesi: Farklı eksenlerde hareket kabiliyeti olarak tanımlayabiliriz. Mesela x, y ve z koordinatlarında hareketli olan bir robot 3 serbestlik derecelidir. İnsan vücudunun segmentlerine bağlı olarak serbestlik dereceleri Şekil 6'da verilmiştir. Rehabilitasyon robot mekanizmalarının serbestlik derecesi uzuvlara yaptırılmak istenen hareketlere göre ayarlanır.



Şekil 6 • İnsan vücut eklemleri ve serbestlik dereceleri (5).

Atalet (eylemsizlik) momenti: Atalet momenti rijit (katı) cisimlerin, kendi dönme hareketlerindeki değişime karşı eylemsizliğini gösterir. Duran bir cismin ataleti cismin kütle-sidir. Dönen bir cismin ataleti ise atalet momentidir (6). Atalet momenti dönme hareketinde kütle'nin görevini yapar, yani atalet momenti ne kadar büyük ise cisme açısal ivme vermek o kadar zordur (7). Bir robotik sistemin dinamik denklemi şu şekilde verilir (8):

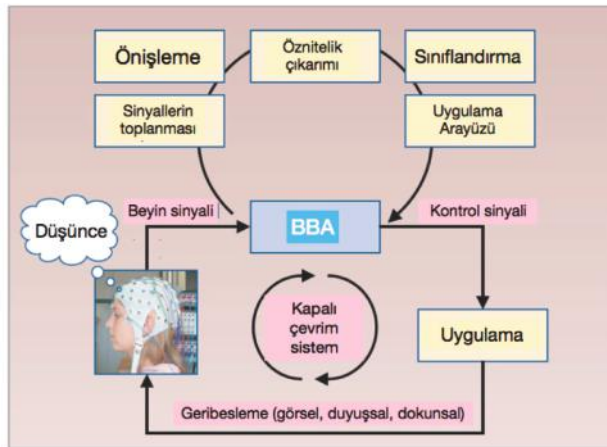
$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta}) \quad (5)$$

burada $M(\theta)$ $n \times n$ kütle(atalet) matrisi, $V(\theta, \dot{\theta})$ $n \times 1$ merkezkaç ve Coriolis terimleri, $G(\theta)$ $n \times 1$ yerçekimi terimi ve $F(\theta, \dot{\theta})$ ise $n \times 1$ sürtünme terimidir.

Denklem 5'te ile gösterilen atalet momenti genel olarak mekanik prensipleri kullanılarak deneysel veya 3 boyutlu çizim programlarından elde edilir. Özellikle karmaşık ve çok parçalı robotik mekanizmalarda atalet hesabı zor ve karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle çizim programlarından bu bilginin elde edilmesi en doğru ve pratik yoldur. Bu parametrenin doğru elde edilmesi sistemin modellenmesi ve dolayısı ile kontrolünü doğrudan etkiler.

Bu çalışmada yapılan deneylerden bir görüntü Şekil 15’te kaydedilen sinyallerden bir örnek ise Şekil 16’ da verilmiştir. İlk grafik terapist (T) ve hasta(P) ham EMG sinyallerini, üçüncü grafik terapist ve hastaya ilişkin hareket sınıflandırmasını, dördüncü grafik terapist ve hastaya ilişkin kas kuvvetini (kas aktivasyon seviyesi), beşinci grafik bu kas kuvvetleri arasındaki farkı, son grafik ise hasta üzerinde bulunan terapist komutlarını hastaya ileten titreşim motorlarına ilişkin kontrol sinyallerini göstermektedir. Üçüncü ve dördüncü grafikten çok net görülmektedir ki hasta terapistin hareketini ve kas kuvvetini taklit etmeye çalışmaktadır.

EEG (Elektroensefalografi): Beynin faaliyetleri sırasında oluşan elektriksel potansiyeller kaydedilmesi yöntemine EEG denir. EEG sinyallerinin işlenmesi ve kontrol amaçlı kullanılması EMG kadar kolay değildir. Çünkü EEG sinyallerinin karakteristikleri çok fazla değişkenlik göstermekte olup dış uyarıcılardan kolaylıkla etkilenmektedir. Ancak bu sinyallerin değerlendirilmesi ve anlam yüklenerek kontrol amaçlı olarak kullanılması biyomekatronik sistem kontrolünde son derece anlamlı ve önemlidir. Bu nedenle araştırma amaçlı birçok çalışmanın yürütüldüğü görülmektedir. Henüz EEG kontrollü ticarileşmiş rehabilitasyon robotu bulunmamaktadır.

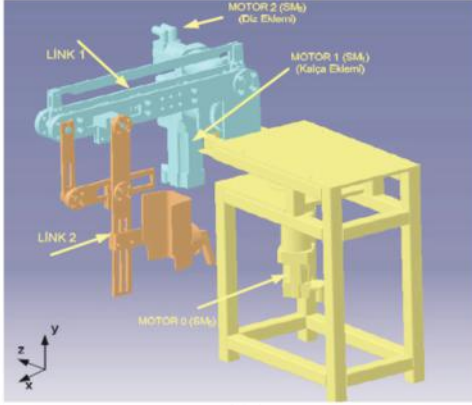


Şekil 17 • Beyin bilgisayar arayüzü kavramsal blok diyagramı (22).

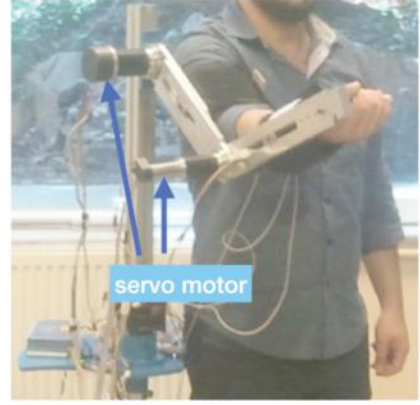
Şekil 17’yi inceleyecek olursak EEG sinyalleri BBA’ya gelmektedir. Burada sinyaller ön işlemeden geçirildikten sonra öznitelik çıkarım işlemine tabi tutulur. Ardından bu öznitelikler kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılır. Üretilen kontrol sinyali uygulamaya gönderilir ki bu bir robotik sistem olabilir. Hastaya görsel, duyuşsal yada dokunsal geri besleme yapılır.

EEG sinyallerinin işlenmesi ile robotik sistemlerin kontrolü akademik olarak çalışılmaya devam eden bir konudur. O nedenle literatürde çok fazla sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Çalışmaların özellikle dış iskelet robotlarında odaklandığı bunun yanı sıra tekerlekli sandalyeler ve terapatik egzersiz robotlarına ilişkin çalışmaların da olduğu görülmektedir. Sanz ve ark. yedi serbestlik dereceli bir dış iskelet robotunu EEG kontrollü olarak geliştirmişlerdir. Sistem altı sağlıklı ve bir kronik hasta üzerinde

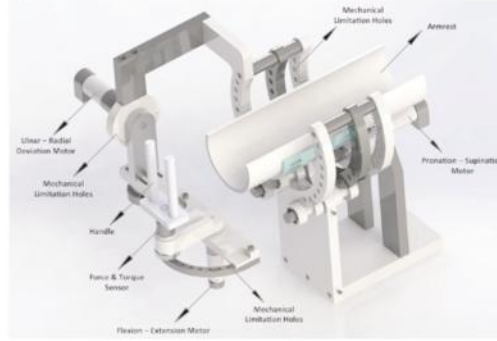
Şekil 21’de bazı rehabilitasyon robotlarında servo motorlar ve pozisyonları gösterilmiştir. (a)’da FİZİYOTERABOT üzerinde Motor 0 kalça abduksiyon-adduksiyon, Motor 1 kalça fleksiyon/ekstansiyon ve Motor 2 ise diz fleksiyon/ekstansiyon hareketlerini yaptırır (2). (b)’de iki adet servo motor mevcuttur. Bunlar omuz ve ön kol için fleksiyon/ekstansiyon yaptırır (31). (c)’de FİZİYOTERABOT/W1 için üç adet servo motor kullanılmıştır (4). Bunlar bilek fleksiyon/ekstansiyon, bilek ulnar/radial deviasyon ve ön kol için pronasyon/supinasyon yaptırır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 21 • Rehabilitasyon robotlarında servo motorlar.

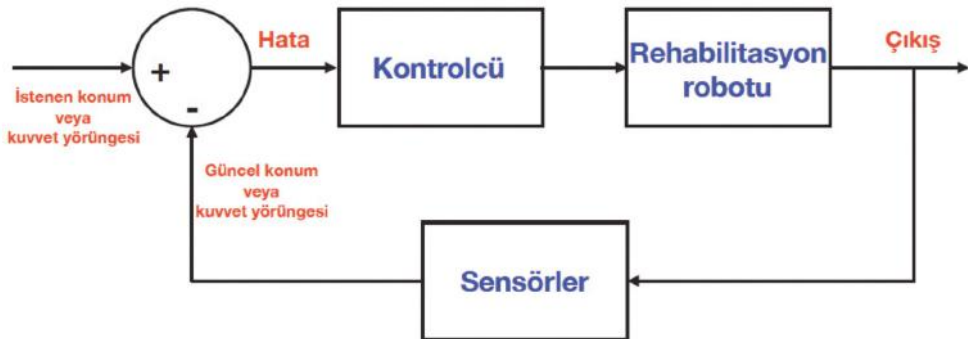
Step (adım) Motorlar:

Adım motorları olarak da adlandırılan step motorlar genellikle düşük güç gerektiren konum kontrolü için kullanılırlar ve diğer motor tiplerinden farklı olarak çalışırlar. Diğer tiplerde terminallere gerilim uygulandığı sürece motor sürekli olarak döner. Step motorlarda motor dijital olarak elektriksel darbelerle sürülür. Step motor, uygulanan darbeleri oransal mekanik dönüşe çevirirler. Step motorlarda dönme miktarı uygulanan darbe sayısı ile orantılı, motorun **dönüş hızı** ise bu darbelerin geliş sıklığı yani **frekansıyla** ilişkilidir. Step motorlar sabit tork değerlerinde üretilirler. Kontrol devreleri karmaşık değildir ve hem bunların hem de step motorların fiyatları son derece uygundur. Şekil 22’de bir step motor ve sürücü devresi gösterilmiştir.

Şekil 27’de arayüz tipleri bir örnek rehabilitasyon destek sistemi üzerinden gösterilmiştir. Bu sistemde arayüz, **sibernetik arayüz platformudur**. Bu platform farklı modlarda farklı arayüzler olarak işlev görebilme özelliğine sahiptir. Terapistin doğrudan hastayı dokunsal geribesleme ve EMG işaretleri ile tedavisini sağlayan tip arayüz **in-san-insan arayüzü** olarak çalışır. Terapistin komutları ile robotun hastayı tedavi etmesi durumunda **insan-makine arayüzü** olarak çalışır. Terapistin tedavi kabiliyetinin çeşitli sensör ve kontrol metodları ile doğrudan ve gerçek zamanlı olarak robota, robottan hastaya iletilmesi durumunda **insan-makine –insan** arayüzü olarak çalışır. Bunu dışında belirli tedavi programının doğrudan bilgisayara yüklenerek bilgisayardan gelen komutlarla hastanın kendi başına tedavisine olanak sağlayan arayüzlere ise **insan-bilgisayar arayüzü** adı verilir.

8.5 ROBOTİK KONTROL AÇISINDAN REHABİLİTASYON ROBOTLARI

Robot mühendisliğinin en önemli konularından biri kinematik ve dinamik analizi yapılan robotik sistemlerin kontrolüdür. Rehabilitasyon robotları hem konum hem de kuvvet kontrol metodlarının kullanımını zorunlu kılar. Buna şöyle örnek verebiliriz. Pasif egzersizlerde hasta uzvunun belirli sayı ve açılarda hareket ettirilmesi gerekir. Kaldı ki CPM cihazları bu amaç için kullanılmaktadır. Bu durum bir robot için konum kontrolüne işaret eder. Gerekli hareket yörüngeleri kullanıcı arayüzü üzerinden robot konum kontrol algoritmasına giriş olarak verilir. Robot istenilen bu hareket yörüngesini(profilini) minimum hata ile takip etmeye çalışır. İzotonik, izometrik, izometrik gibi dirençli egzersizler ve manuel egzersizler ise uygulanan kuvvet ile de ilişkilidir. Bu nedenle bu egzersizlerin modellenmesi kuvvet kontrolünü de gerektirir. Aktif yardımcı egzersiz ise hem kuvvet hem de konum kontrolünü gerektirdiğinden hibrid konum ve kuvvet kontrol teknikleri beraber kullanılır. Robotlarda kuvvet ve konum kontrolü robot mühendisliği açısından kapalı çevrim kontrole işaret eder. Kapalı çevrim kontrole ilişkin blok diyagram Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28 • Kapalı çevrim kontrol sistemi.

ARADIĞINIZ TÜM TIP KİTAPLARI BU ADRESTE



www.guneskitabevi.com

GENEL DAĞITIM

GÜNEŞ TIP KİTABEVLERİ

ANKARA

M. Rauf İnan Sokak No: 3
06410 Sıhhiye / Ankara
Tel: (0312) 431 14 85 • 435 11 91-92
Faks: (0312) 435 84 23

İSTANBUL

Gazeteciler Sitesi Sağlam Fikir Sokak
No: 7 / 2 Esentepe / İstanbul
Tel: (0212) 356 87 43
Faks: (0212) 356 87 44

KADIKÖY

Rasimpaşa Mah. İskele Sokak
No: 4 / A Kadıköy / İstanbul
Tel&Faks: (0216) 546 03 47



Türkiye'nin her yerinden...

0505 734 13 13

