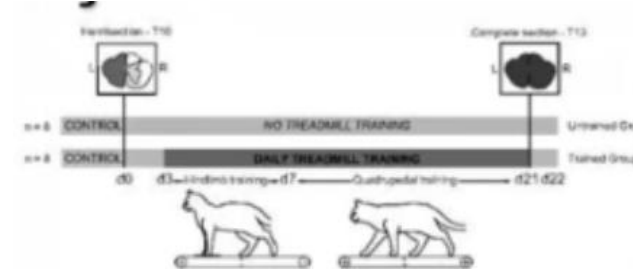


ROBOTİK REHABİLİTASYON

UZM DR EROL BAŞTUĞ

- Robot; bir görevi gerçekleştirmek için değişken programlı malzeme, parça veya özel cihazları taşımak için tasarlanmış yeniden programlanabilir, çok fonksiyonlu manipülatör olarak tanımlanmaktadır
- Son yıllarda robotik sistemlerin birçok alanda kullanıldığı görülmektedir
- Özellikle rehabilitasyon alanında kullanımları son 20 yılda artmıştır

Tarihçe



- İlk robotik rehabilitasyon yaklaşımları 1980’lerde spinalize edilmiş kedilerin vücut ağırlıklarının alınarak treadmillde yürütölmeleri ile başlamıştır
- FES ile kombine edilen ve tek bir eklem fonksiyonu için geliştirilmiş olan “ankle robot”lar ile robotik gelişim devam etmiştir
- 1990’lı yılların sonunda, manuel vücut ağırlığı destekli yürüyüş sisteminin otomatize edildiğı, ilk modern robotik sisteminin (vücut ağırlığı destekli treadmill sistemlerinin) temeli atılmıştır

Tarihçe

- MIT-Manus, Bi-Manu-Track ve MIME gibi enstütilerde robotik sistemlerin üretimi yapılmaktadır
- Ülkemizde de mekatronik mühendislikleri bu alanda çalışmaktadır
- RoboGait denilen ekzoskeleton treadmill egzersiz robotu ODTÜ (BAMA Teknoloji-2013) tarafından üretilmiştir

TÜRK BİLİM İNSANLARINDAN FELÇLİLER İÇİN ÇIĞIR AÇAN BULUŞ:

‘RoboGait’

TÜRK bilim adamları tarafından geliştirilen robot, felçli hastaların iyileşme sürecini kısaltıyor. ODTÜ Teknokent şirketlerinden Bama Teknoloji’nin genel müdürü Murat Topçu yaptığı açıklamada, 2010 yılında KOSGEB projesi olarak başladıkları “RoboGait”i TÜBİTAK desteğiyle yaklaşık 3 yılda bitirdiklerini bildirdi. Bu alanda çalışmaya başladıklarında, dünyada sadece İsviçreli bir firmanın üretim yaptığını anlatan Topçu, şunları kaydetti: “RoboGait’in çalışma prensibi; hastanın ağırlığı, karşı ağırlık sistemi ile kaldırılarak yürüyüş sistemine alınıyor ve yürümenin yeniden taklit edilmesi sağlanıyor.”

İyileşme süreci robotla destekleniyor

Proje danışmanı Prof. Dr. Erbil Dursun ise felç tedavilerinde beynin yeniden organize edilmesi gerektiğini belirterek, robot sayesinde organların beyne sü-



rekli sinyal göndererek iyileşme sürecini desteklediğini bildirdi. Dünyada yapılan çalışmalarda robotik rehabilitasyonun, geleneksel fizyoterapiye göre üstünlüğü olduğunun belirlendiğini vurgulayan Dursun, “Rehabilitasyon tıbbında ‘tek tedavi’ diye bir seçenek yok. Önemli olan birçok tedaviyi birlikte uygulamak” dedi.



- Rehabilitasyonda amaç; fonksiyonu ve yaşam kalitesini arttırmak ve motor iyileşmeyi sağlamak, defisitleri en aza indirmektir
- Robotik rehabilitasyon yüksek dozda ve yüksek yoğunlukta egzersiz yapılmasına olanak tanır
- Robot desteği ile tedavide hareketi yapamayan hastaya ya robot hareketi yaptırır ya da robot harekete yön verir

Rehabilitasyon Robotlarının Amaçları	Biyomekanik Özellikleri
İyileşmeyi hızlandırır	-Robotlar, rehabilitasyondaki periyodik hareketleri kolaylıkla, aynı şartlarda, istenildiği kadar gerçekleştirebilir -Robotlar, ön tanımlı kuvvetleri oluşturabilir ve bu kuvvetlerin sürekli kontrolünü gerçekleştirebilir -Gelişen internet alt yapıları kullanılarak, uzaktan programlanabilen robotlar sayesinde hastalar evlerinde tedavi imkanı bulabilirler
Fizyoterapistin verimliliğini artırır	-Robotlar aynı terapi koşullarını bir fizyoterapiste göre daha kesin ve doğru yerine getirebilir -Robotlar sayesinde, bir fizyoterapist birden fazla hasta tedavi imkanı bulabilir
Hastaların iletişimi gelişir	-Yeni deneyimler kazanılmasına yol açar -Fiziksel çevre ile yeni etkileşimler kurulabilir

- Robotik rehabilitasyon sistemi daha çok inme ve spinal kord yaralanmasında kullanılmakta ve kortikal reorganizasyon mekanizmaları ile iyileşmeye katkıda bulunmaktadır
- Etkilenen ekstremitayı kullanarak yapılan tekrarlayıcı, progresif ve zorlayıcı uygulamalar nöral bağlantılarda nöroplastik değişiklikleri uyararak motor kontrol ve öğrenmeyi desteklemektedir

- Nörolojik iyileşmenin en hızlı olduğu dönem yaralanmadan sonraki ilk 3 ay olup, fonksiyonel iyileşme 6-12 aya kadar devam etmektedir
- Nöronal Rejenerasyon:
 - Bütünlüğü bozulmuş ve hasarlanmış, sonuçta da fonksiyonlarını kaybetmiş sinir dokusunun, olay sonrası kendisini onarabilme işlevidir
- Nöronal Plastisite:
 - Beyin dokusunun çevresel etkilere, deneyimlere ve hasarın yol açtığı doku değişikliklerine adaptasyon ve yeniden yapılanma yeteneği; değişim potansiyelidir
 - Fonksiyonel iyileşmeyi sağlayan nöronal plastisitedir

- Spontan plastisite
 - Komşu sistemler tarafından kayıp fonksiyonların üstlenilmesi
 - Beyinde normalde baskılanmış devrelerin serbest bırakılması
 - Adaptif yeni davranışların ortaya çıkarılması ile oluşur

Plastisite nasıl gerçekleşir

- Dendritler nöronların değişime en açık yapılardır
- Nöroplastisitenin bir diğer önemli başrol oyuncusu nöral kök hücrelerdir
- Kök hücreler oluştuktan sonra olgun nöron yapısına ulaşmak için uygun ortam ve uyarılar varsa seri değişimler geçirirler
- İlk önce hücresel uzantıları şekillenir
- Bunu kutuplaşma izler
- Diğer nöronlar ile afferent ve efferent bağlantılar kurar
- Amigdalanın, frontal korteks'te olfaktör bulbus'da da etkin olarak yeni nöronların oluşturulduğu ve plastisite yetilerinin diğer bölgelere karşın daha yüksek olduğu bilinmektedir

Nöroplastisite

- Nöronal yapılar dinamiktir ve kullandıkça bağlantılar güçlenir
- Plastisiteyi kolaylaştırmak için aktivite tekrarına dayanan ve bir aktivite üzerinde pozitif güçlendirme yaparken, diğerlerinin inhibe edilmesini sağlayan bir «yeniden öğrenme» teknikleri geliştirilmiştir



Nöroplastisite mekanizma

- Nöroplastisitenin, zorlayıcı ve progresif motor öğrenme ile güçlendiği kabul edilmektedir
- Robot destek hareketin bozulmasını ve kişinin buna adaptasyonunu düzenlemektedir
- Bu adaptasyon süreçlerinde kortikostriatal nöral aktivasyonda, kısa aralıklarla intrakortikal inhibisyon ve fasilitasyonun eşlik ettiği kortikal uyarılabilirlikte değişikliklerin varlığı gösterilmiştir
- Adaptasyon hızlı bir süreç olup, aynı hareketi tekrarlayarak sağlanan öğrenmeden farklıdır
- Tekrarlayarak yapılan öğrenmede kullanıma bağlı nöroplastisite söz konusu iken, adaptasyonda serebellar “hata-temelli öğrenme” söz konusudur

Robotik sistemler

- Mekanik tasarım sırasında robotların “back-drivable”, modular ve tekrar konfigüre edilebilen olmaları da önemlidir
- Tasarlanan mekanik sistemlere hareket vermek için de
 - Elektrik, hidrolik, pnömatik
 - Seri elastik eyleyiciler
 - Yapay kaslar
 - Fonksiyonel elektrik stimülasyon sistemleri kullanılmıştır

Robotik sistemler sınıflandırma

- Tasarım esasına göre;
 - End Effektör
 - Ekzoskeleton



- Uygulanan bölgeye göre ;
 - Üst Ekstremité Robotları
 - Alt Ekstremité Robotları

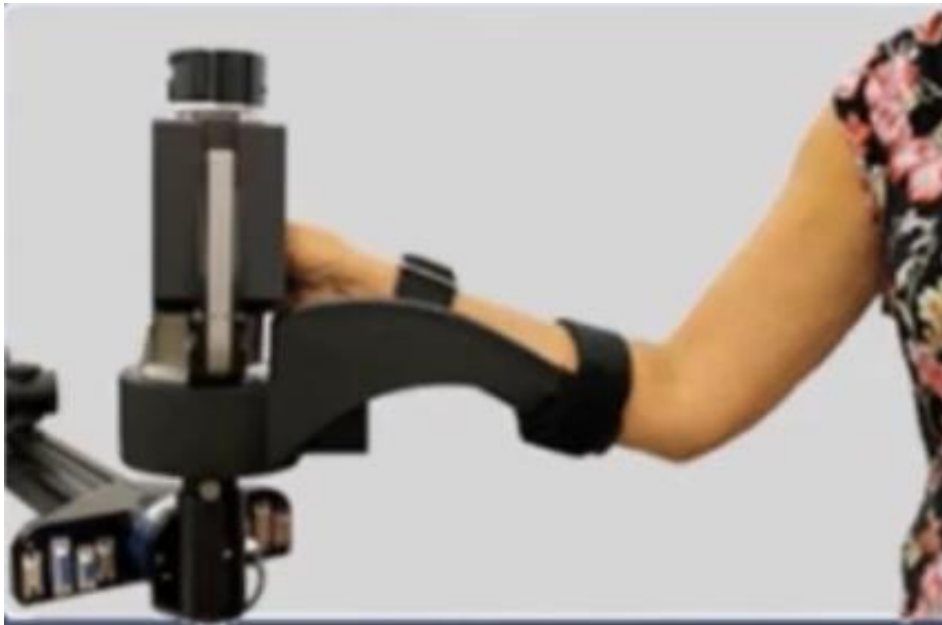


End Effektör Sistem

- Kinematik zincirin son halkasından (ayak-el) mekanik kuvvet uygulayarak çalışır
- End efektör sistemlerde kalça ve diz eklemi serbest olduğundan hastanın yürüme eğitimine aktif katılımı sağlanır
- Hasta bununla birlikte hareket eder ve doğru zamanda, doğru kasını çalıştırmayı öğrenir
- Ekstremité proksimalini kontrol etmekte yetersiz olduğundan anormal postür ve hareketlerin ortaya çıkmasına neden olabilirler

Ekzoskeleton Tip Sistemler

- Sabit ve hareketli olabilir, hastanın anatomik eksenleri ile hizalanmış eksenlere sahiptirler, eklemlerin direkt kontrolünü sağlarlar
- Ekstremiteye pek çok yerden bağlanarak her bir bölümünü ayrı ayrı veya birlikte harekete geçirebilme özelliğine sahiptir
- Anormal postür ve hareketlerin ortaya çıkması ihtimalini azaltırlar
- End effektör sistemlere göre daha kompleks ve daha pahalıdır
- Bu sistemler “aktif ortezer” olarak da değerlendirilebilir



End effektör



Ekzoskeleton tip



End effektör



Ekzoskeleton tip

Üst Ekstremité Robotları

- Pasif, aktif ve interaktif sistemler bulunmaktadır
- Pasif sistemlerde hareket tamamen robot tarafından gerçekleşir
- Aktif sistemler, hastanın ekstremitelerini aktif olarak kullanabilmesi için hidrolik, pnömotik veya elektromekanik parçalar içerir
- İnteraktif sistemlerde kullanıcı ve cihaz etkileşimini algılayabilen pozisyon ve kuvvet sensörleri bulunur

Üst Ekstremitate Robotları

- Lum ve ark.nın geliştirdiği MIME unilateral ve bilateral kullanıma izin veren ilk robotlardandır
- Hasta non paretik kolunu hareket ettirdiği zaman bilateral modda cihaz paretik kolu ayna görüntüsü şeklinde aynı hız ve derecede hareket ettirmektedir
- Unilateral modda ise cihaz paretik kola pasif, aktif asistif, aktif-rezistif modlarda hareket sağlamaktadır



(a)



(b)

Üst Ekstremit  Robotları

- Stefano ve ark.nın geliştirdiği NeReBot inme sonrası rehabilitasyonda kullanılmak amacıyla dizayn edilmiştir
- Fleksiyon, ekstansiyon, supinasyon, pronasyon, abduksiyon, adduksiyon ve sirkümdüksiyon hareketlerine izin verecek şekilde üç serbestlik derecesinde hareket olanağı sunmaktadır



Üst Ekstremitte Robotları

- El robotları
 - Üst ekstremitenin distal kısımlarındaki motor işlev bozukluklarında kullanılmaktadır
 - Başparmak dahil, her parmağın bağımsız olarak tek veya bir arada çalışmasını sağlayan tek mekatronik parmak rehabilitasyon cihazıdır



- Robot destekli tedaviye sanal gerçekiğin ilavesi
 - Sanal gerçeklik bilgisayar ortamında stimüle edilen durumların görsel tecrübelenmesi esasına dayanmaktadır
- Beyindeki ödöl bölgeleri dopaminle uyarılmakta ve primer motor korteks buna yanıt vermektedir



Alt ekstremitte yürüme sistemleri

- Treadmilde manuel yardımcı yürüme sistemi
- Robot yardımcı yürüme cihazları
 - Robot yardımcı yürüme sistemleri
 - Sabit egzersiz robotları
 - Giyilebilir robotlar
 - Ayak tablası dayanaklı (foot-plate-based) yürüme eğiticileri
 - Ayak bileği rahabilitasyon sistemleri

Sabit egzersiz robotları

- Cihaza yerleştirilen paralizel alt ekstremiteler zemin tepkime kuvvetini stimüle eder
- Avantajı gerçek zamanlı duyu kontrollü egzersiz yaptırılmasıdır

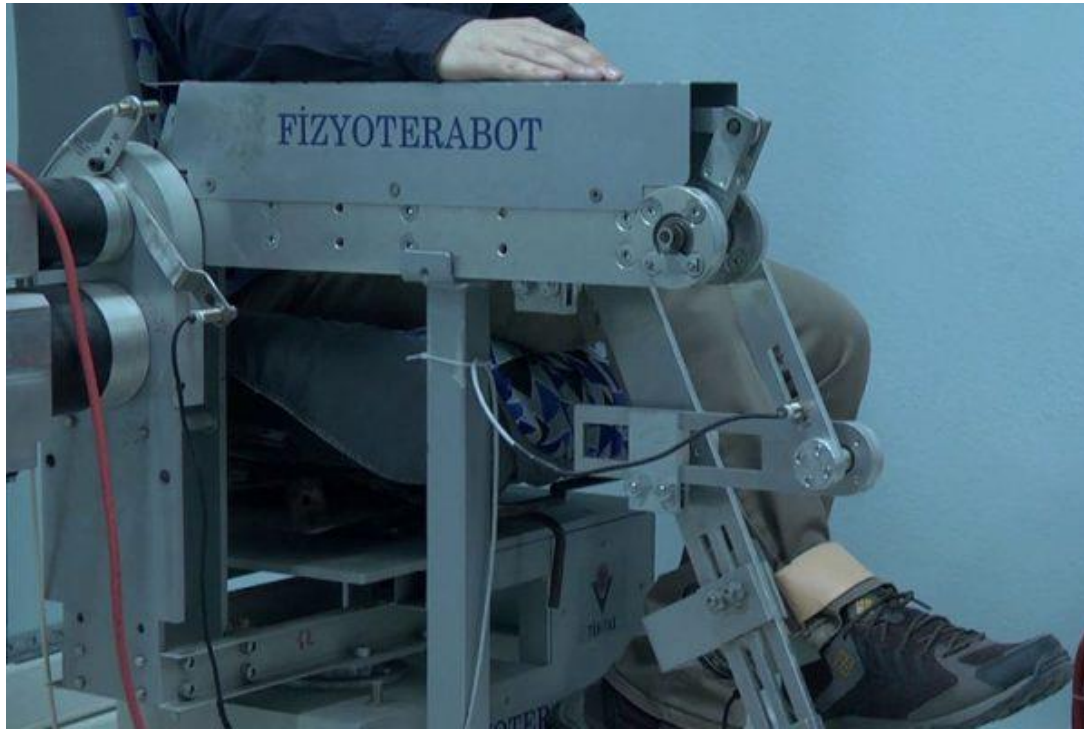


Sabit egzersiz robotları

- Physiotherabot, (FİZYOTERABOT (TM) ülkemizde geliştirilen 3 serbestlik dereceli, diz ve kalça eklemi hareketlerine yönelik tasarlanmış rehabilitasyon sistemidir
- Bu sistem diz ve kalça için fleksiyon-ekstansiyon ve kalça için abduksiyon-adduksiyon yapabilmektedir



Sabit egzersiz robotları



Giyilebilir Robotlar

- Askeri amaçla üretilmiş olup sırt çantası içerisinde ana bilgisayar ile batarya mevcuttur
- Eklem açıları ve yer teması için sensörler ve kalça ve diz eklemine kontrol eden motorlarla hasta diyagonal yönlerde ağırlık aktarımı yaptığı zaman, cihaz otomatik olarak adım atar
- El bileğinde kablosuz mod seçici ya da kumanda vardır
- Koltuk değnekleri ve yürüteçle kullanılabilirler

Giyilebilir Robotlar

- *Re Walk*
 - Spinal kord yaralanması olan kişilere yürüme desteği sağlamak için geliştirilmiş
 - Eklem yerlerinde entegre sensörler olan bilgisayar bazlı kontrol sistemi mevcuttur



Ayak tablası dayanaklı yürüme eğitimcileri

- ‘The Gangtrainer’ adlı cihazda iki ayrı ayak levhası ve koşum ipleri ile dengeli tutulur
- Bu plaklardaki hareketle duruş ve salınım fazı stimüle edilir



Gangtrainer DTI

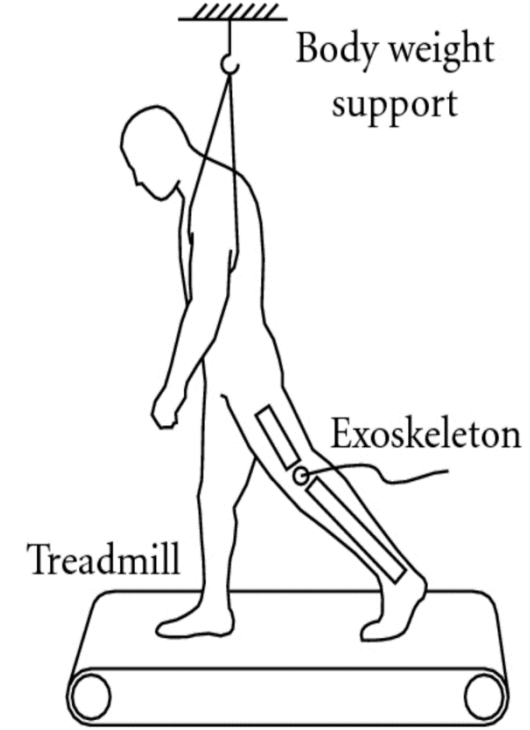
Robot Yardımlı Yürüme Sistemleri

- Robotik bir cihaz yardımıyla bacakların yürüme hareketlerinin taklit edilmesi esasına dayanır
- Treadmill destekli ekzoskeleton sistemlerdir
- Bu yöntemle beyne ve omuriliğe bir ayağı yürüme için diğerinin önüne nasıl atacağı robot yardımıyla tekrar hatırlatılmaktadır
- Hastanın katılımı ve motivasyonunu arttırmaya yönelik yürüyüş siklusunu gösteren grafiklerin yer aldığı görsel feedback ekranı ve sanal gerçeklik ekranı mevcuttur

- Robotik yürüme eğitiminin ve yük aktarımının potansiyel faydaları
 - Kan lipid profilinde düzelme
 - Kalp hızında ve kan basıncında iyileşme
 - Pulmoner fonksiyonlarda iyileşme
 - Kas kitlesinde artış
 - Kemik kütlesi ve bileşiminde gelişme
 - Osteoporoz riskinin azalması

Robot Yardımlı Yürüme Sistemleri

- The Lokomat (Hocoma)
- LokoHelp (LokoHelp Group)
- ReoAmbulator
- Robogait piyasadaki örnekleri





Robot Yardımlı Yürüme Sistemleri

- LokoHelp:
 - LokoHelp sistemine treadmill ortasında paralel yerleştirilen elektromekanik sistem var (“Pedago”)
 - Kelepçe sistemi ile de vücut ağırlığı desteklenmektedir
 - Yürümenin itme fazını kolaylaştırmak amacıyla botun tabanı yuvarlaklaştırılmıştır (roker taban)
 - Kafa travması geçiren dolayısıyla yürüyebilen fakat denge ve koordinasyon sorunu olan hastaların yürüme eğitimi için geliştirilmiştir



LokoHelp

- ReoAmbulator (Motorika Ltd. AutoAmbulator)
- Vücut ağırlığını destekleyen ve robotik kolları bacaklara band ile sabitlenen bu cihazda ayak bileği, diz ve kalçanın sagital düzlemdeki hareketleri ile yürüme paterni oluşturulmaktadır



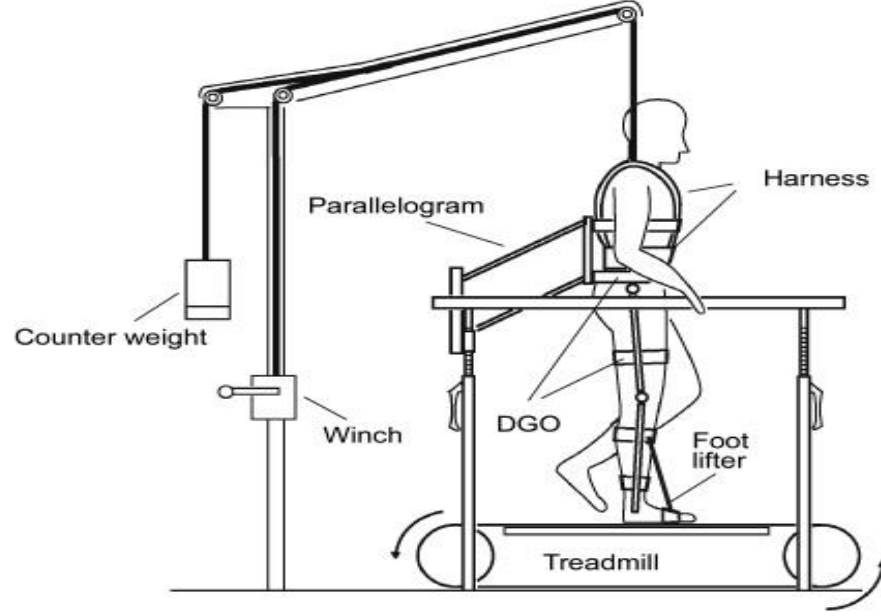
Lokomat-robogait

- Bir yürüme bandı üzerinde lokomasyon tedavisini otomatikleştirir
- Bireye uygun ve yoğun bir eğitimle motivasyon sağlayan bir ortam sunarak sürekli geribildirimle terapinin etkinliğini artırır
- Sistem iki ana bölümden oluşmaktadır
 - Birinci bölümde hasta askılarla yukarıya kaldırılır ve böylece vücut ağırlığı eksiltilir
 - İkinci bölümde ise hastanın her iki diz ve kalça eklemlerine robot kısımlar monte edilir

- Cihazın üstündeki rijit çerçeve pelvisi içine alan sabit kısım ve askı sistemi ile vücut ağırlığını desteklemektedir
- Yürüme anında pelvis sabit tutulurken, ortez bir paralelogram yapı sayesinde vertikal olarak yer değiştirmektedir
- Hasta belinden, diz üstü ve altından güçlü bantlar ile desteklenmektedir
- Bacakların her birinin açısal hareketleri diz ve kalça eklemlerinin lateral kısımlarına yerleştirilmiş potansiyometreler ile ölçülmektedir

- Cihazın diz ve kalça eklemlerindeki tork, bacakları destekleyen yan barlara entegre edilmiş kuvvet sensörleri tarafından ölçülmektedir
- Teleskopik yan barları cihazın kişinin vücuduna göre ayarlanabilmesini sağlamaktadır





- Cihazın ağırlığı yaylı sistemler aracılığı ile alınmakta ve hasta normal yürüyüşte var olan vertikal harekete izin veren düzenek sayesinde tümüyle fizyolojik normal yürümeye uygun bir salınım hissetmektedir

- Sagittal düzlemde her yürüme devri boyunca diz ve kalça eklemlerinde lineer hareket ile fleksiyon ve ekstansiyon yaptırırken, back drivable özellikteki düzenek sayesinde önceden planlanmış olan bu hareketler sürekli tekrar edilebilmektedir
- Sallanma fazı boyunca ayak bileği pasif olarak dorsifleksiyona çekilerek ayaaın sürtünmesi engellenmektedir

- Hastanın robot ile ekrandan ve aynadan yürüdüğünü görmesi ve hissetmesi, bunu görsel hafızasına kaydederek motivasyonlarının olumlu şekilde artmasını sağlamaktadır
- Normal yürümede beyine giden uyarılar, robotik yürümede de benzer şekilde gidip beyindeki hareket merkezini fizyolojik şekle en uygun şekilde uyarmaktadır

- *Kullanıcı odaklı kolay kullanım özelliği*
- Kolay kullanım özellikli bilgisayar arayüzü fizyoterapist hastanın ihtiyacı olan ilgili parametreleri kolaylıkla ayarlayabilme imkanı sağlar
- Tekerlekli sandalye kullanan kişiler rampa ve kenar barları sayesinde kolaylıkla cihazın içine girip sisteme bağlanabilir

- *Gerçek zamanlı fizyolojik ve normal yürüme paterni*
- Yürümede rol alan eklemlerin her biri robot yazılımları tarafından sürekli kontrol edilmektedir
- Bu sürekli kontrol sayesinde her eklemin önceden belirlenmiş normal yürüme paternine uygun şekilde hareket etmesi ve hastanın yürüme bandı üzerinde doğal şekilde yürümesi sağlanır



- Hastaların yürüme paternine uyum yapabilmeleri ve yürümeyi kontrol edebilmeleri için yeterli kas kuvvetine sahip olmaları gerekmektedir
- Hastanın kendi kas kuvvetini hissederek Lokomat üzerinde yürüme eğitimi alması;
 - Motivasyonlarını arttırır
 - Başarı hissi duymalarını sağlar

Endikasyonları

- İnme / SVO
- Travmatik beyin yaralanması
- Serebral palsi
- Spinal kord yaralanması
- Multiple Skleroz
- Parkinson hastalığı

Kontrendikasyonlar

- Kontrolsüz hipertansiyon / hipotansiyon
- Şiddetli osteoporoz
- Taşikardi, kalp yetmezliği, bradikardi varlığı
- Quadripleji (boyun hareketi olmayan, solunum ve yutma problemi olan hastalar)
- İç basınç artışının riskli olacağı hasta grupları
- Alt ekstremitte ya da gövdede orteze temas edecek yerde açık yara bulunması
- Koopere olunamayan psikotik hastalar ya da ciddi kognitif bozukluğu olan hastalar

Kontrendikasyonlar

- Kalça, diz, ayak bileği artrodezi
- Şiddetli spastisite veya kontraktür varlığı
- İnstabil kırıklar
- Dolaşım problemleri
- Osteomyelit ve diğer inflamatuvar / enfeksiyöz hastalıklar gibi istirahat ya da immobilizasyon gerektiren durumlar
- Kemik kıkırdak displazisi gibi hastalığından dolayı orantısız ekstremiteye ya da omurgaya sahip hastalar
- Ortezin hastanın vücuduna uymaması

- Maksimum hasta ağırlığı : 135 kg



- Maksimum boy uzunluğu: 200 cm



- İlk geliştirildiklerinde normal yetişkin bir bireyin 35-47 cm arasındaki femur boyuna göre ayarlanabilen cihazlar günümüzde femur boyu 21-35 cm olan pediatrik hastalara ve boyu 1- 1,5 m olan kişilere de ayarlanabilmektedir



- Subakut inmeli hastalarında geleneksel fizyoterapist tedavisi ve robot yardımlı ekzoskeleton tip cihaz ile yürüme analizi karşılaştırması amacıyla yapılan çalışmalarda geleneksel tedavi daha üstün bulunmuştur
- Sonuç olarak subakut dönemde yürüme üzerinde kombine tedavinin faydalı olduğu görülmüştür.

SUT

- Robotik rehabilitasyon sistemi uygulaması için gereken sağlık kurulu raporu, üçüncü basamak sağlık kurumlarında fiziksel tıp ve rehabilitasyon uzman hekiminin katıldığı sağlık kurulu tarafından düzenlenir
- Robotik rehabilitasyon sistemi uygulaması işlemi diğer fizik tedavi ve rehabilitasyon işlemleri ile birlikte faturalandırılmaz
- .
- Bir hasta için bir yılda en fazla 30 seans uygulanabilecek. Her bir robotik rehabilitasyon sistemi için günlük en fazla 15 hasta faturalandırılabilir

FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON TANI LİSTESİ		
A GRUBU		Açıklama
C71	Beyin malign neoplazmı	(*)
D33	Beynin ve merkezi sinir sistemi diğer kısımlarının benign neoplazmı	(*)
G11	Hereditör ataksi	(*)
G12.2	Motor nöron hastalığı	(*)
G20	Parkinson hastalığı	(*)
G24.8	Distoni, diğer	(*)
G35	Multipl skleroz	(*)(**)
G80	Serebral palsy	(**)
G81	Hemipleji	(*)(**)
G82	Parapleji ve tetrapleji	(*)(**)
G83.4	Kauda equina sendromu	(*)
G93.1	Anoksik beyin hasarı, başka yerde sınıflanmamış	(*)(**)
Q05	Meningomyelosel	(*)

**** Robotik rehabilitasyon sistemi uygulamaları yapılabilecek tanılar**

TEŞEKKÜR EDERİM...

