بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات وفناوری

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی فناوری های نوین

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکاترونیک

عنوان

طراحی و مدلسازی یک ربات پوششی برای توانبخشی پایین تنه با استفاده از سیگنال‌های مغزی

استاد راهنما

دکتر وحید عظیمی راد

استاد مشاور

دکتر منیژه ذاکری

پژوهشگر

ابراهیم متقی

آبان ۱۳۹۲

تقدیم

به

پدر و مادر

بزرگوارم

سپاس گزاری...

منت خدای را عزوجل...

در ابتدا لازم می دانم از زحمات استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر وحید عظیمی راد، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

از سرکار خانم دکتر منیژه ذاکری که زحمت مشاوره این رساله را تقبل فرمودند کمال امتنان را دارم.

همچنین لازم می دانم از خانواده بزرگوارم که مرا در تمامی لحظات یاری کردند سپاس‌گزاری کنم.

نام خانوادگی: متقی نام: ابراهیم

عنوان پایان نامه: طراحی و مدلسازی یک ربات پوششی برای توانبخشی پایین تنه با استفاده از سیگنال های مغزی

استاد راهنما : دکتر وحید عظیمی راد
استاد مشاور : دکتر منیژه ذاکری

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکاترونیک گرایش: مکاترونیک
دانشگاه: تبریز دانشکده: فن آوری های نوین
تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۲/۸/۱۳ تعداد صفحه: ۱۰۲

کلید واژه ها: اگزواسکلتون – ربات پوششی– ربات توانبخشی پایین تنه – ارتباط مغز با کامپیوتر

چکیده :
در این پایان نامه ابتدا با مفهوم اگزواسکلتون‌ها آشنا شده و پس از آن به بررسی تاریخچه ربات‌های توانبخشی پایین تنه می پردازیم، سپس مبانی عملکردی آن‌ها را مرور خواهیم کرد.
در ادامه طرحی برای ربات پوششی پایین تنه ارائه شده است که دارای ۵ درجه آزادی برای هر پا (مدل RPRPR) و دارای قابلیت تنظیم برای افراد بیمار با یک میزان تغییر در سایز و قد آن‌ها بر اساس میزان اندازه‌های استاندارد را دارد. سپس به بررسی و مدلسازی معادلات دینامیکی ربات با بهره‌گیری از اصل لاگرانژ پرداخته‌ایم. در بخش بعدی به بررسی سیگنال‌های مغزی و ارتباط با ربات می پردازیم. در این بخش ابتدا ویژگی‌های سیگنال مغزی مرتبط با تصور حرکتی برای پا را پس از دریافت سیگنال بدست آورده و سپس آن را توسط یک شبکه عصبی پیشرو طبقه بندی و خروجی را تعیین می‌کنیم. حداقل درصد خطا در این روش برای داده‌های آموزشی ۲۰,۶۳٪ و برای داده‌های آزمون ۳۶,۶۴٪ بدست آمد. در فصل سوم نتیجه گیری کارهای انجام گرفته بررسی می گردد و پیشنهاداتی برای کارهای تحقیقاتی آینده ارائه می گردد.

فهرست مطالب

فصل اول: پیشینه تحقیقات ۱

مقدمه ۲

۱-۱پیشینه تحقیقات ۳

۱-۱-۱مقدمه ۳

۱-۱-۲ انگیزه‌ها ۴

۱-۱-۳ کاربردها ۵

۱-۱-۴ تاریخچه بحث ۵

۱-۱-۵ معماری‌های مختلف طراحی ۷

۱-۱-۵-۱معرفی ۷

۱-۱-۵-۲ ربات توانبخشی غیرفعال ۷

۱-۱-۵-۳ ربات توانبخشی فعال ۸

۱-۱-۵-۴ ربات پروتز ۹

۱-۱-۵-۵ ربات ارتز ۱۰

۱-۱-۵-۶ ربات توانبخشی پایین تنه ۱۱

۱-۱-۵-۷ انواع سیستم‌های رباتیک توانبخشی پایین تنه ۱۱

۱-۱-۵-۷-۱ آموزش دهنده راه رفتن بر مبنای تردمیل ۱۲

۱-۱-۵-۷-۲ آموزش دهنده راه رفتن بر مبنای صفحه پا ۱۹

۱-۱-۵-۷-۳ آموزش دهنده راه رفتن بر روی زمین ۲۳

۱-۱-۵-۷-۴ آموزش دهنده راه رفتن ایستا ۲۶

۱-۱-۵-۷-۵ سیستم توانبخشی مچ و زانو..... ۲۸

۱-۱-۵-۷-۵-۱ سیستم ایستا ۲۹

۱-۱-۵-۷-۵-۲ ارتز فعال پا ۳۲

۱-۲ تعهدات ۳۴

فصل دوم: مواد و روش‌ها..... ۳۵

مقدمه..... ۳۶

۲-۱ طراحی ربات پوششی پایین تنه ۳۶
۲-۲ مدلسازی دینامیکی ۴۰
۲-۳ انطباق با داده‌های آزمایشگاهی ۴۵
۲-۴ سیگنال‌های مغزی و ارتباط آن با کامپیوتر ۴۶
۲-۴-۱ ارتباط بین مغز با کامپیوتر ۴۶
۲-۴-۲ انتخاب و استخراج ویژگی‌ها ۴۷
۲-۴-۳ طبقه‌بندی ۵۰
فصل سوم: جمع بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۵۸
۳-۱ جمع‌بندی و نتیجه گیری ۵۹
۳-۲ پیشنهادات ۶۰
مراجع ۶۱
پیوست‌ها ۷۱
پیوست الف: بیومکانیک بدن انسان ۷۲
پیوست ب: کدهای نوشته شده ۱۰۲
پیوست ج: نقشه‌های ترسیم شده ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ تصویر ربات هاردیمن ۷
شکل ۱-۲ اگزواسکلتون پایین تنه دانشگاه برکلی، بلیکس..... ۸
شکل ۱-۳ ربات‌های توانبخشی غیرفعال..... ۹
شکل ۱-۴ ربات‌های توانبخشی فعال..... ۱۰
شکل ۱-۵ انواع سیستم‌های رباتیک برای توانبخشی پایین تنه a. آموزش دهنده راه رفتن بر مبنای تردمیل b. آموزش دهنده راه رفتن بر مبنای صفحه - پا c. آموزش دهنده راه رفتن روزمینی d. آموزش دهنده راه رفتن و مچ ایستا e.ارتز اکتیو پا..... ۱۲
شکل ۱-۶ سیستم لوکومت..... ۱۴
شکل ۱-۷ آموزش دهنده راه رفتن لوکوهلپ(پداگوو)..... ۱۵
شکل ۱-۸ سیستم رباتیک ریوآمبولاتور..... ۱۶
شکل ۱-۹ اگزواسکلتون فعال پا آلکس..... ۱۷
شکل ۱-۱۰ ربات توانبخشی راه رفتن لوپز..... ۱۸
شکل ۱-۱۱ ربات توانبخشی راه رفتن آلتراکو..... ۱۹
شکل ۱-۱۲ آموزش دهنده توانبخش گام برداشتن آر جی آر..... ۲۰
شکل ۱-۱۳ آموزش دهنده قدم زدن گنگ ترینر ۱..... ۲۱
شکل ۱-۱۴ هپتیک واکر..... ۲۲
شکل ۱-۱۵ سیستم توانبخشی راه رفتن گیت مستر۵..... ۲۳
شکل ۱-۱۶ دستگاه رباتیک کاین اسیست..... ۲۴
شکل ۱-۱۷ واک ترینر..... ۲۵
شکل ۱-۱۸ سیستم پوشیدنی ری واک..... ۲۶
شکل ۱-۱۹ نمونه ی تک پای ربات هال..... ۲۷
شکل ۱-۲۰ سیستم توانبخشی موشن می کر..... ۲۸
شکل ۱-۲۱ ربات پیشرفته توانبخشی مچ پا در موسسه فناوری ایتالیا..... ۳۱

شکل ۱-۲۲ ربات آموزش دهنده راه رفتن، ساخته شده در آزمایشگاه یکپارچه ماشین و انسان دانشگاه ایالتی آریزونا ۳۴
شکل ۲-۱ درصد اندازه‌های بدن ۳۷
شکل ۲-۲ ربات پوششی برای پایین تنه ۳۸
شکل ۲-۳ بلوک دیاگرام مدل دینامیکی در سیمولینک ۳۹
شکل ۲-۴ موتور DC گیربکس حلزونی۱۰۰nm ۴۰
شکل ۲-۵ مدل ارائه شده برای پایین تنه ۴۱
شکل ۲-۶ گشتاور بدست آمده حاصل از شبیه‌سازی ۴۵
شکل ۲-۷ سیستم ارتباط با مغز ۴۷
شکل ۲-۸ تصویری از نواحی مختلف مغز ۴۸
شکل ۲-۹ اتورگرسیو برای داده کانال C3 در پایگاه داده فیزیونت الف: با مرتبه ۵ ب: با مرتبه ۲۱ ..... ۴۹
شکل ۲-۱۰ اتورگرسیو برای داده کانال C4 در پایگاه داده فیزیونت الف: با مرتبه ۵ ب: با مرتبه ۲۱ ..... ۴۹
شکل ۲-۱۱ الکترودگذاری و کانال‌ها ۵۰
شکل ۲-۱۲ طبقه بندی داده‌ها ۵۱
شکل ۲-۱۳ شبکه عصبی با دو لایه مخفی ۵۱
شکل ۲-۱۴ فلوچارت استخراج ویژگی ۵۲
شکل ۲-۱۵ فلوچارت طبقه‌بندی ۵۳
شکل ۲-۱۶ مرحله اول آموزش با دو لایه مخفی ۵۴
شکل ۲-۱۷ مرحله دوم آموزش با دو لایه مخفی ۵۵
شکل ۲-۱۸ مرحله سوم آموزش با دو لایه مخفی ۵۵
شکل ۲-۱۹ مرحله اول آموزش با یک لایه مخفی ۵۶
شکل ۲-۲۰ مرحله دوم آموزش با یک لایه مخفی ۵۷
شکل ۲-۲۱ مرحله سوم آموزش با یک لایه مخفی ۵۷
شکل الف-۱ توصیف صفحات آناتومیک بدن ۷۳
شکل الف-۲ معرفی محورها ۷۴
شکل الف-۳ محورهای آناتومیکی ۷۵
شکل الف-۴ صفحات آناتومیکی ۷۶

شکل الف-۵ خم شدن و راست شدن..... ۷۷
شکل الف-۶ دور شدن و نزدیک شدن ۷۸
شکل الف-۷ رباط‌ها..... ۷۹
شکل الف-۸ استخوان‌های پایین تنه..... ۸۰
شکل الف-۹ مفصل زانو..... ۸۲
شکل الف-۱۰ مفصل مچ پا..... ۸۳
شکل الف-۱۱ صفحات آناتومیک پا..... ۸۴
شکل الف-۱۲ دورسی فلکشن-پلنتارفلکشن..... ۸۵
شکل الف-۱۳ اینورژن-اورژن..... ۸۵
شکل الف-۱۴ ابداکشن پا..... ۸۶
شکل الف-۱۵ اداکشن پا..... ۸۶
شکل الف-۱۶ پا..... ۸۷
شکل الف-۱۷ تقسیم بندی سیکل راه رفتن..... ۹۰
شکل الف-۱۸ مراحل مختلف فاز های گام برداشتن..... ۹۲
شکل الف-۱۹ تغییرات زاویه ای مفصل ران در یک چرخه ی کامل گام زدن..... ۹۵
شکل الف-۲۰ تغییرات زاویه ای مفصل زانو در یک چرخه ی گام زدن..... ۹۶
شکل الف-۲۱ تغییرات زاویه ای مفصل مچ پا در یک چرخه ی گام زدن..... ۹۷
شکل الف-۲۲ گشتاور مفصل ران حین راه رفتن..... ۹۹
شکل الف-۲۳ گشتاور مفصل زانو در یک چرخه ی گام زدن..... ۱۰۰
شکل الف -۲۴ گشتاور مفصل مچ حین گام زدن..... ۱۰۱

فهرست جدول‌ها

جدول ۱ سیستم‌های رباتیک برای آموزش گام برداشتن بر مبنای تردمیل..... ۱۲
جدول ۲ سیستم‌های رباتیک برای آموزش راه رفتن با صفحه پا..... ۱۹
جدول ۳ سیستم‌های رباتیک برای آموزش راه رفتن بر روی زمین..... ۲۵
جدول ۴ سیستم‌های رباتیک برای آموزش راه رفتن ایستا..... ۲۷
جدول ۵ سیستم‌های رباتیک ایستا..... ۲۹
جدول ۶ ارتز فعال پا..... ۳۲
جدول ۷ اندازه لینک‌های بدن بر حسب درصد ۳۸
جدول ۸ نتایج آموزش با دولایه مخفی ۵۵
جدول ۸ نتایج آموزش با یک لایه مخفی ۵۷

فهرست نمادها

θ_1 زاویه لینک اول

θ_3 زاویه لینک دوم

θ_5 زاویه لینک سوم

T_{0i} ماتریس انتقال

v سرعت مرکز جرم

I ممان اینرسی

m جرم لینک

l طول لینک

T انرژی جنبشی

V انرژی پتانسیل

g شتاب گرانش

L لاگرانژین

فصل اول

پیشینه تحقیقات

مقدمه

امروزه استفاده از ربات‌های دستیار و یا پوششی در زمینه‌ی بازتوانی و فیزیوتراپی به شدت در حال توسعه است. رباتیک در حوزه‌ی توانبخشی شامل توسعه درمان‌های رباتیکی و استفاده از ربات‌های کمک درمانگر به جای منحصراً استفاده از دستگاه‌های توانبخشی است. توانبخشی با استفاده از رباتیک عموماً مورد توجه بیماران قرار گرفته است و کمکی موثر به درمان در افراد مبتلا به اختلالات حرکتی به خصوص به دلیل سکته مغزی حساب می شود. اساس عملکرد این ربات‌ها موازی کار کردن آن‌ها با عضلات و سیستم حرکتی بدن است. این ربات می تواند در مطب های تخصصی فیزیوتراپی و بازتوانی حرکتی مورد استفاده قرار گیرد. طراحی و انتخاب بهینه جنس بدنه می تواند در وزن و مقاومت ربات موثر باشد.

طراحی و مدلسازی بهینه ربات از نظر ابعاد ، نوع عملگرها ، منبع تغذیه و راحتی نصب بر روی بیمار ، می تواند زمینه ی مستحکم و خوبی را برای پیاده سازی عملی ربات فراهم کند. هدف این پروژه طراحی و مدلسازی یک ربات پوششی با استفاده از سیگنال‌های پردازش شده مغز است که در زمینه توانبخشی برای بیماران ناتوان حرکتی کاربرد دارد.

۱-۱ پیشینه تحقیقات

۱-۱-۱ مقدمه

سکته مغزی سومین عامل شناخته شده مرگ و میر در سراسر جهان و یکی از مهمترین دلایل معلولیت دائمی در اروپا و امریکا شناخته شده است[۱]. سالانه بیش از ۵/۵ میلیون نفر در سطح جهان، جان خود را در اثر سکته مغزی از دست می دهند که دو سوم این آمار در کشورهای در حال توسعه است. همچنین سکته مغزی، یکی از علل مهم معلولیت طولانی مدت محسوب می شود و علاوه بر این، موجب بروز مشکلات روحی و روانی قابل توجهی برای بیمار و خانواده وی می گردد. پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۲۰، سکته‌ی مغزی و بیماری‌های عروق کرونواری قلب، مهمترین عوامل تهدید سلامت جوامع باشند. با توجه به این نکته که سکته مغزی بیماری سنین میان سالی و سالمندی می باشد و بالا رفتن امید به زندگی، موجب افزایش قابل توجه مبتلایان به سکته مغزی در ایران و سایر کشورهای جهان شده است. تحقیقات آماری در سال های اخیر نشان می دهد که با بهتر شدن مراقبت های اولیه پزشکی و روش‌های احیا، درصد مرگ و میر بیماران مبتلا به سکته مغزی در دهه‌های اخیر بطور کلی رو به کاهش است و این کاهش، به خصوص در کشورهایی چون ژاپن، آمریکای شمالی و اروپای غربی قابل توجه بوده است. به عبارت دیگر تعداد بیمارانی که به دنبال سکته مغزی زنده می مانند بیشتر شده است. این واقعیت، نشان دهنده‌ی لزوم توجه و تحقیق بیشتر در مورد جنبه‌های مختلف سکته‌های مغزی، عوارض و روش های درمانی آن است تا کیفیت زندگی بیماران یاد شده نیز همچون کمیت آن افزایش یابد. در کشور ما نیز به دلایل ذکر شده، تعداد مبتلایان در حال افزایش است و این مساله ضرورت بهبود سیستم‌های توان بخشی و تحقیقی را جهت بهبود کیفیت زندگی بیماران دو چندان می کند[۲].

۱-۱-۲ انگیزه‌ها

اختلالات عصبی پس از سکته، باعث ایجاد فلج خفیف یکسویه یا فلج قسمتی از بدن بیمار که بر روی فعالیت‌های روزانه مانند راه رفتن و خوردن تاثیرگذار است، می شود. درمان فیزیکی، شامل توانبخشی به بهبود توابع از دست رفته کمک می کند[۳و۴]. هدف تمرینات توانبخشی فراهم آوردن حرکات خاصی است که سبب بهبود نرمینگی حرکت بیمار و در نتیجه اصلاح بازیابی حرکتی و کاهش توابع نقصان است. توانبخشی حرکتی وابسته به عضو است، بنابراین عضو تاثیرپذیر تمرین داده می شود. این مبحث روی توانبخشی پایین تنه متمرکز شده است[۵] حدوداً یک سوم از بیماران زنده مانده از سکته مغزی، توانایی بازیابی مستقل راه رفتن و سر پا بودن را ندارند و به طور معمول شیوه‌ای نامتقارن در قدم زدن خواهند داشت[۱]. درمان‌های توانبخشی نقشی حساس و بحرانی برای بازیابی دارند، بنابراین بسیاری از تحقیقات در حال رفتن به این سمت است. پروسه‌ی توانبخشی در جهت تحقق قابلیت حرکت کردن به سه مرحله تقسیم می گردد[۵و۷] :

۱- توانایی حرکت با صندلی بیمار بستری شده

۲- تجدید راه رفتن

۳- بهبود و اصلاح راه رفتن (آموزش آزادانه گام برداشتن در صورت امکان)

۱-۱-۳ کاربردها

روش‌های درمانی توانبخشی سنتی، خیلی متمرکز بر نیروی انسانی است خصوصاً برای توانبخشی راه رفتن، اغلب به بیش از سه درمانگر همراه هم برای کمک دستی برای پاها و تنه‌ی بیمار برای آموزش دادن نیاز است. این واقعیت هزینه‌ی هنگفتی را علاوه بر هزینه‌های سیستم مراقبت و سلامت هر کشور و همچنین محدودیت‌های پذیرش بالینی اعمال می کند. علاوه بر آن تغییرات جمعیتی، کمبودهای پیش رو، مراقبت‌های سلامت فردی و نیاز به کیفیت بالای مراقبت و پیش بینی افزایش هزینه‌ی متوسط از اولین آسیب تا زمان فوت فرد را می طلبد.
تمامی این فاکتورها، محرک نوآوری در حوزه توانبخشی، که در اغلب موارد و برای یک دوره زمانی طولانی مقرون به صرفه و قابل دسترسی برای بیشتر بیماران است، می باشد[۸]. رباتیک برای درمان‌های توانبخشی، یکی از حوزه‌های مورد توجهی است که انتظار رشد آن به عنوان راه حلی برای اتوماتیک سازی آموزش می‌رود. توانبخشی رباتیک می تواند جایگزینی برای تلاش آموزشی درمانگر، امکان انجام حرکات تکراری، فشرده، ارائه درمان با هزینه معقول‌تر، ارزیابی کمی سطح بازیابی حرکتی توسط اندازه‌گیری نیرو و الگوهای حرکتی را موجب شود. در بررسی منابع جدید، بیشتر کارها با توانبخشی پایین تنه سروکار داشته اند. در این پژوهش به بررسی روابط موجود و همچنین اشاره به پیشرفت کار فعلی و نقشه راه پژوهشگران در این حوزه می پردازیم.

۱-۱-۴ تاریخچه بحث

از بین ربات‌های مختلف پوششی، اگزواسکلتون‌ها یکی از انواعی هستند که به لحاظ فیزیکی و شناختی به انسان مرتبط هستند. اگزواسکلتون در لغت به معنای پوشش بیرونی بدن حشرات است که موجب می شود تا این موجودات از آسیب‌های احتمالی محیط در امان بمانند و از فشارهای وارد شده بیرونی بر روی عضلات آن‌ها می کاهد.

کارهای علمی و صنعتی بر روی اگزواسکلتون‌ها در اوایل سال ۱۹۶۰ آغاز شد. وزارت دفاع امریکا کار روی زره-های قدرتی برای نظامیان را آغاز کرد. در همان زمان آزمایشگاه صنایع هوایی، پروژه مربوط به ربات‌های تقویت کننده انسان برای ارتقای قدرت عملکرد انسانی را شروع کرد. محدودیت‌های تکنولوژیکی برای توسعه‌ی این ربات-ها که در سال ۱۹۶۲ وجود داشت عبارت بود از: سروها، سنسورها، طراحی و ساختارهای مکانیکی. جنرال الکتریک، پروژه تقویت نیروی انسانی توسط ربات‌ها را در پروژه هاردیمن بین سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۷۱ توسعه داد (شکل ۱-۱).

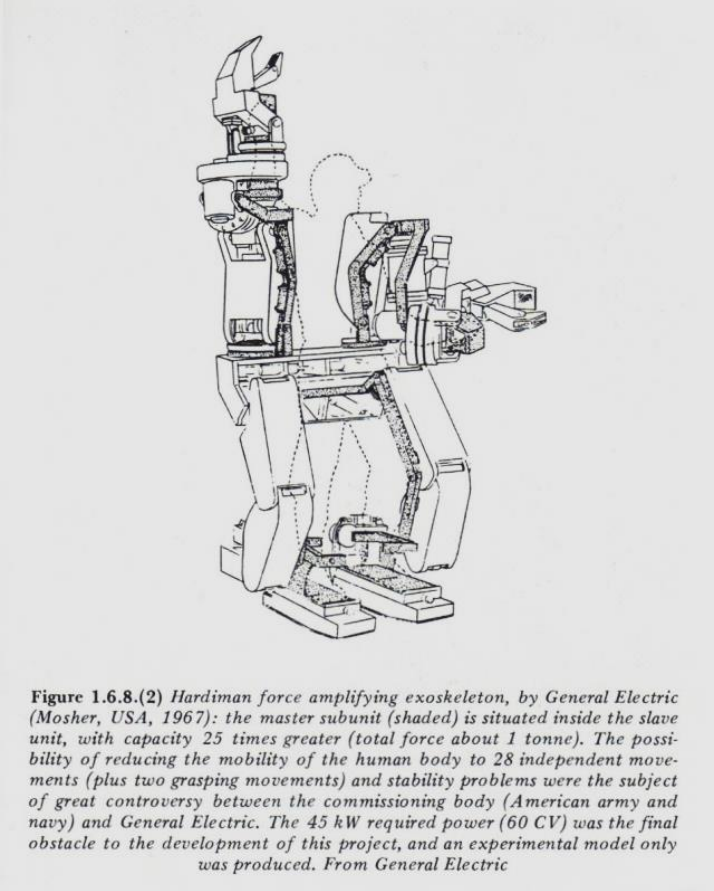


Figure 1.6.8.(2) *Hardiman force amplifying exoskeleton, by General Electric (Mosher, USA, 1967): the master subunit (shaded) is situated inside the slave unit, with capacity 25 times greater (total force about 1 tonne). The possibility of reducing the mobility of the human body to 28 independent movements (plus two grasping movements) and stability problems were the subject of great controversy between the commissioning body (American army and navy) and General Electric. The 45 kW required power (60 CV) was the final obstacle to the development of this project, and an experimental model only was produced. From General Electric*

شکل ۱-۱: ربات هاردیمن [۹].

هاردیمن[1] رباتی ماهر- پیرو[2] است که از ۲ اگزواسکلتون متداخل در هم ساخته شده است، حرکت پوشش بیرونی که توسط عملگرهای هیدرولیک کار می کند، ناشی از به حرکت در آمدن پوشش درونی است که حرکت‌های انسان را پیروی می کند[۱۰].

اگزواسکلتون‌ها در ۲ حوزه نظامی و توانبخشی در حال ساخت و گسترش هستند. تلاش برای ارتقای این سیستم-ها در حوزه نظامی تا امروز عمدتاً توسط دارپا[3] ادامه داشته است (شکل ۱-۲). همچنین در زمینه توانبخشی و ترمیم توابع حرکتی، کارهای زیادی انجام شده است که در ادامه به آن‌ها می پردازیم.

[1] Hardiman
[2] Master-Slave
[3] DARPA

شکل ۱-۲: اگزواسکلتون پایین تنه دانشگاه برکلی، بلیکس [۱۱].

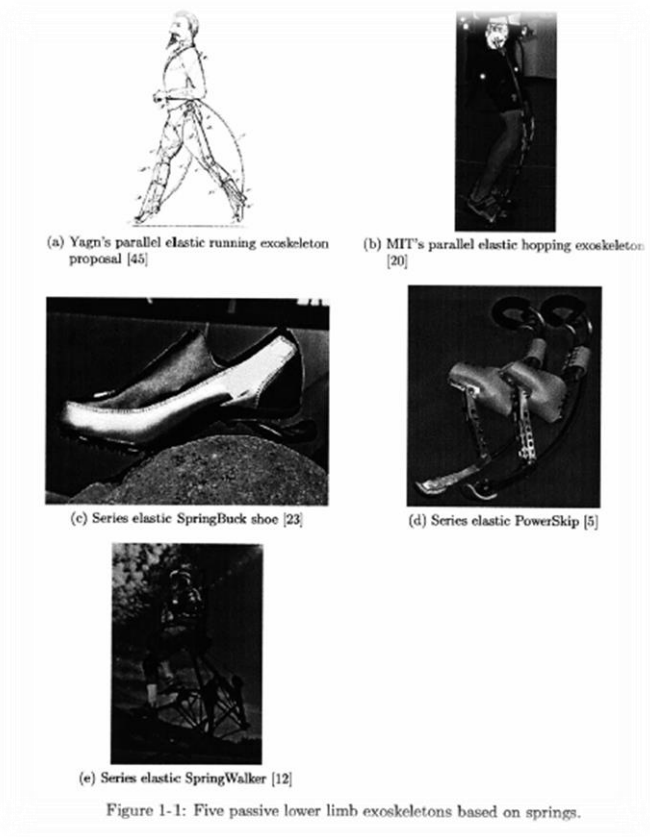
۱-۱-۵ معماری‌های مختلف طراحی

۱-۱-۵-۱ معرفی

ربات‌ها آغاز کننده نقش مهمی در فعالیت‌های درمانی در زمینه توانبخشی هستند. طی دهه گذشته، این زمینه به دلیل موفقیت‌های بدست آمده در سیستم‌های اولیه و تقاضای رو به رشد با توجه به افزایش بیماران سکته مغزی و هزینه‌های مرتبط با توانبخشی، مورد توجه روز افزون است. بنابراین سیستم‌های درمانی و توانبخشی رباتیک در سراسر جهان برای هر دو قسمت بالا تنه و پایین تنه در حال توسعه است.

۱-۱-۵-۲ ربات توانبخشی غیرفعال

ربات توانبخشی غیر فعال ابتدایی ترین سیستم موجود رباتیک در توانبخشی به حساب می آیند. این سیستم ها شامل عناصر غیرفعال مانند فنر و دمپر هستند و عملگر الکتریکی در آن‌ها به کار نرفته است[۱۲]. وسایل رباتیک توانبخشی غیرفعال، با وجود ارزانی و پیچیدگی کم، نمی توانند انرژی عضو آسیب دیده را تامین کنند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: ربات‌های توانبخشی غیرفعال [۱۲].

۱-۱-۵-۳ ربات توانبخشی فعال

امروزه استفاده از ربات‌های توانبخشی فعال رو به افزایش است. ربات توانبخشی فعال شامل واحد تغذیه، کنترل و محرکه‌ها می باشد. این ربات‌ها به صورت پنوماتیک، هیدرولیک، الکتریکی و امروزه به صورت ترکیبی ساخته می شوند. از مهم‌ترین مزایای این سیستم‌ها نسبت به ربات‌های غیر فعال، تامین انرژی عضو آسیب دیده بیمار به صورت خارجی می باشد (شکل ۱-۴).