DOI: 10.22122/jrrs.v15i2.3412 Published by Vesnu Publications

استفاده برخط از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و شبیه‌سازی در ارزیابی عملکرد ربات‌های توان‌بخشی: رویکرد شبیه‌سازی

مریم خمر[۱]، مهدی ادریسی[۲]، سعید فرقانی[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: ربات‌های توان‌بخشی امکان حرکت اندام فلج و یا نیمه فلج را فراهم می‌کنند. این ربات‌ها قابلیت برنامه‌ریزی دارند و می‌توان روش‌های مختلف توان‌بخشی را با کمک آن‌ها تحقق بخشید. از جمله چالش‌های اصلی این وسایل، چگونگی ارزیابی عملکرد درست ربات‌ها و بررسی اثرات آن بر روی افراد است. هدف از انجام پژوهش حاضر، معرفی روش ارزیابی عملکرد یک ربات پوشیدنی، در اصلاح سیکل راه رفتن اندام تحتانی شخص مبتلا به اختلال حرکتی راه رفتن چمباتمه‌ای با استفاده برخط از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و محاسباتی بود.

مواد و روش‌ها: مدل ربات پوشیدنی برای یک پا و مدل بدن انسان با استفاده از نرم‌افزارهای Autodesk Inventor و OpenSim شبیه‌سازی شد. سپس نیروی عضلات با توجه به الگوی راه رفتن فرد دارای اختلال حرکتی چمباتمه‌ای محاسبه گردید. با اعمال نیرو و با استفاده از نرم‌افزار OpenSim، موقعیت، سرعت و شتاب مفاصل ران و زانو به صورت برخط به دست آمد و به عنوان ورودی به سیستم کنترل ربات ارسال شد.

یافته‌ها: با برقراری ارتباط بین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، بیومکانیکی و محاسباتی، تأثیر یک ربات پوشیدنی بر روی مدل انسان و همچنین، اثر آن بر روی عضلات حین راه رفتن بررسی و مؤثر بودن استفاده از این روش تأیید گردید. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که ربات پوشیدنی برای کاربر دارای اختلال حرکتی چمباتمه‌ای، مسیر راه رفتن طبیعی را با خطای کمتر از ۰/۰۶ رادیان دنبال کرد.

نتیجه‌گیری: با استفاده از روش شبیه‌سازی و تحلیل داده‌های حرکتی فرد دارای اختلال، می‌توان مسیر بهینه مناسب با هر فرد را به صورت مجزا برای ربات توان‌بخشی تعریف کرد که سبب کاهش خطر استفاده ار ربات و خطای ردیابی حین استفاده از ربات توان‌بخشی می‌شود. همچنین، امکان تغییر ساختار مکانیکی و کنترلی ربات‌های پوشیدنی بدون صرف هزینه وجود دارد.

کلید واژه‌ها: ربات پوشیدنی، نرم‌افزار OpenSim، آموزش سیکل راه رفتن

ارجاع: خمر مریم، ادریسی مهدی، فرقانی سعید. **استفاده برخط از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و شبیه‌سازی در ارزیابی عملکرد ربات‌های توان‌بخشی: رویکرد شبیه‌سازی.** پژوهش در علوم توانبخشی ۱۳۹۸؛ ۱۵ (۲): ۷۸-۷۲.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۵ تاریخ چاپ: ۱۳۹۸/۳/۱۵

مقدمه

ربات پوشیدنی، به نوعی از ربات‌ها و ابزارهای پوشیدنی اطلاق می‌شود که با پوشیدن آن‌ها توسط کاربر، امکان حرکت، افزایش قدرت و کارایی اندام دارای اختلال حرکتی فراهم می‌شود (۲، ۱). استفاده از ربات‌های توان‌بخشی، امکان داشتن بازخورد مناسب از عملکرد و میزان پیشرفت بیمار را فراهم می‌کند (۳). با وجود پیشرفت تکنولوژی ربات‌های پوشیدنی، پیشرفت این ربات‌ها به دلیل کمبود اطلاعات در مورد تأثیر آن‌ها بر روی کاربر مانند تأثیر روی عضلات و تغییر طول و نیروی هر عضله در حین استفاده ربات، محدود شده است (۴). در این رابطه، اغلب دو رویکرد ارزیابی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی جهت تست و توسعه ربات‌های پوشیدنی به کار گرفته می‌شود. در رویکرد ارزیابی آزمایشگاهی، ربات پوشیدنی توسط کاربر پوشیده می‌شود و با اندازه‌گیری نیرو، گشتاور، موقعیت و سرعت، عملکرد ربات بررسی می‌گردد. در این حالت، امکان اندازه‌گیری تغییر طول عضلات و نیرویی که وارد می‌کنند، به راحتی ممکن نیست. همچنین، احتمال آسیب دیدن کاربر در حالت تست آزمایشگاهی وجود دارد (۵). در این حالت، خطر بالا و قابلیت اطمینان پایین است (۶). به عنوان مثال، اطلاعات به دست آمده از الکترومیوگرافی، فقط زمان فعال شدن عضلات

۱- دکتری تخصصی برق، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۳- دانشیار، گروه اعضای مصنوعی و وسایل کمکی، دانشکده علوم توان‌بخشی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: مهدی ادریسی
Email: edrisi@eng.ui.ac.ir

را مشخص می‌کند و ارتباط بین این تحریک و حرکت اعضای بدن، میزان تأثیر این تحریک روی هر عضو و ارتباط کمی بین تحریک و سایر متغیرها قابل اندازه‌گیری نیست (۸، ۷). در حالی که استفاده از رویکرد شبیه‌سازی، سبب کاهش هزینه، زمان و خطرات ناشی از آزمایش عملی می‌شود و همچنین، امکان اصلاح ساختار کلی ربات و یا کنترل‌کننده طراحی شده برای آن بدون صرف هزینه وجود خواهد داشت (۱۰، ۹، ۱). مزیت دیگر شبیه‌سازی، اندازه‌گیری دقیق شاخص‌ها و متغیرهایی همچون نیروی عضلات، میزان تغییرات طول هر کدام، سرعت و موقعیت مفاصل و سایر شاخص‌هایی است که در حالت عملی قابل اندازه‌گیری نیست و یا نیازمند صرف هزینه زیاد می‌باشد (۱۲، ۱۱). با استفاده از شبیه‌سازی، می‌توان مقدار نیروی بهینه را که باید توسط ربات به کاربر اعمال شود، محاسبه و بر اساس آن موتور الکتریکی مناسب را انتخاب نمود که این امر سبب افزایش راندمان و انتخاب هوشمندانه و مناسب قطعات مورد نیاز ربات می‌شود (۱۳).

نرم‌افزار OpenSim که نوعی نرم‌افزار متن‌باز می‌باشد، توسط دانشگاه استنفورد معرفی شده است (۱۴). این نرم‌افزار به دلیل قابلیت دسترسی به کدهای مرجع، امکان توسعه و ایجاد ارتباط با سایر نرم‌افزارها را دارد (۱۵، ۹)، اما توانایی شبیه‌سازی و تحلیل برخط کنترل‌کننده‌های استفاده شده برای سیستم‌های بیومکانیکی را ندارد. در مقابل، نرم‌افزار MATLAB یک ابزار محاسباتی قدرتمند است که می‌تواند کنترل‌کننده‌های مورد نظر را شبیه‌سازی نماید، اما در آن امکان مدل‌سازی سیستم‌های بیومکانیکی به راحتی وجود ندارد. در پژوهش Afschrift و همکاران، ارتباط بین نرم‌افزارهای MATLAB و OpenSim برقرار شد و آنالیز به صورت برخط برای ربات پوشیدنی دست صورت گرفت (۸). در مطالعه Mansouri و Reinbolt، از نرم‌افزار OpenSim جهت محاسبه حالت‌های سیستم شامل موقعیت و سرعت مفصل شانه استفاده گردید. محدودیت تحقیق آن‌ها در استفاده از کنترل‌کننده‌های موجود در نرم‌افزار OpenSim بود که کنترل‌کننده ساده تناسبی انتگرالی است و امکان طراحی کنترل‌کننده‌های پیشرفته دیگر را ندارد (۱۶). در پژوهش دیگری، این مشکل برطرف شد و امکان اضافه کردن کنترل‌کننده مورد نظر به وجود آمد. در مطالعه مذکور، نیروهای خارجی مدل نشد و فرض برآن بود که بدن بدون کمک این نیروها فعالیت مورد نظر را انجام می‌دهد (۱۷). در تحقیق حاضر، نیروی اعمال شده با استفاده از موتورهای ربات پوشیدنی به مدل انسانی دارای اختلال حرکتی (که به وسیله نرم‌افزار OpenSim شبیه‌سازی شده بود) اضافه گردید و امکان ارتباط برخط دو نرم‌افزار با در نظر گرفتن اثر نیروی موتور بر کینماتیک حرکت مفاصل برقرار شد.

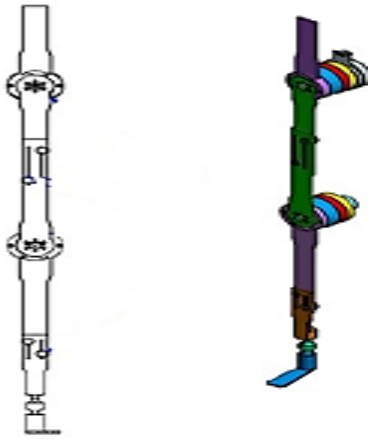
هدف از انجام پژوهش حاضر، معرفی یک روش ارزیابی عملکرد ربات پوشیدنی در اصلاح سیکل راه رفتن اندام تحتانی فرد مبتلا به اختلال حرکتی راه رفتن چمباتمه‌ای با استفاده برخط از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و محاسباتی بود. ابتدا مدل‌سازی ربات و کاربر با استفاده از دو نرم‌افزار OpenSim و Autodesk Inventor انجام شد. جهت بررسی عملکرد ربات در اصلاح سیکل راه رفتن، کنترل‌کننده مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی و ارتباط بین دو نرم‌افزار OpenSim و MATLAB به صورت برخط برقرار گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع شبیه‌سازی و مدل‌سازی بود و در انجام آن از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و محاسباتی استفاده شد. در این تحقیق، داده‌های حرکتی یک فرد دارای اختلال حرکتی راه رفتن چمباتمه‌ای با افزودن ربات توان‌بخشی، شبیه‌سازی گردید. استفاده از ربات‌های توان‌بخشی به منظور اصلاح الگوی حرکتی برای افراد دارای اختلال حرکتی، توجه محققان را جلب کرده است. در سال‌های اخیر، ربات‌هایی جهت این امر توسعه یافته‌اند (۱۸، ۲)، اما آنچه در توسعه و ساخت این ربات‌ها اهمیت دارد، توجه به الگوی حرکت هر کاربر و بررسی عملکرد دقیق ربات با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی قبل از تست بالینی است (۷). بدین وسیله، علاوه بر کاهش خطر استفاده از ربات، می‌توان به نوعی تأثیر ربات بر روی کاربر را پیش‌بینی نمود و بر اساس آن، کاردرمانگر می‌تواند پروتکل درمان را با کیفیت بهتری تعیین نماید.

جهت مدل‌سازی آناتومی کاربر، از نرم‌افزار OpenSim (OpenSim SimTK 3.3, Stanford, USA) استفاده شد. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی آناتومی بدن با ویژگی‌هایی همچون قد، وزن و سایر شاخص‌های یک کاربر واقعی را دارد. همچنین، قابلیت مدل‌سازی ربات و کاربر و امکان تحلیل نیروها و ارتباط با نرم‌افزار MATLAB در آن وجود دارد. در نرم‌افزار OpenSim می‌توان الگوی راه رفتن کاربر را که با استفاده از دوربین‌های تحلیل حرکتی ضبط شده است، وارد کرد و از لحاظ دینامیک و کینماتیک بررسی و تحلیل نمود (۱۹).

با توجه به قابلیت‌های دو نرم‌افزار OpenSim و MATLAB در مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های بیومکانیکی، در پژوهش حاضر از این دو نرم‌افزار استفاده گردید. مدل‌سازی ربات و کاربر با به کار گرفتن روش ارایه شده، پیش‌تر در مطالعه خمر و همکاران (۲۰) انجام شده بود. ربات توان‌بخشی در عمل برای هر دو پا استفاده می‌شود، اما به منظور کاهش پیچیدگی و حجم محاسبات، فقط برای شبیه‌سازی یک پا مدل شد و می‌توان با اعمال الگوی حرکت پای چپ و پای راست به صورت جداگانه، تحلیل را برای هر دو پا انجام داد. بدین منظور، مدل ربات با استفاده از نرم‌افزار Autodesk Inventor برای یک پا ایجاد گردید (شکل).



شکل ۱. مدل سه بعدی و واقعی ربات پوشیدنی

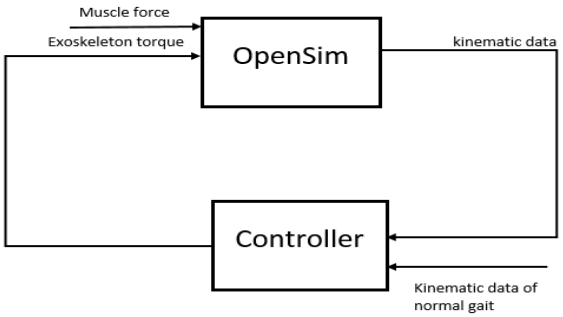
پس از اضافه کردن ربات، نیروی اعمال شده توسط آن با استفاده از مرجع

مدل ربات- کاربر ایجاد شد. جهت وارد کردن اطلاعات کاربر و الگوی حرکتی او، اطلاعات حرکتی مربوط به یک فرد دارای اختلال حرکتی که توسط دوربین‌های ثبت سه بعدی حرکت ضبط شده بود، استفاده گردید. مدل کاربر ایجاد شده در نرم‌افزار OpenSim دارای ۳ مفصل (ران، زانو و مچ) می‌باشد که قابلیت حرکت در صفحه ساجیتال دارند. این مدل شامل ۱۶ عضله «سولئوس، سر رانی بلند، گاستروکنمیوس میانی، واستوس مدیالیس، رکتوس فموریس، عضله رانی کوتاه، عضله دو درشت‌نئی پیشین و عضله سرینی بزرگ» است که اطلاعات مربوط به آن‌ها در جدول ۱ آمده است. دو موتور در مفاصل ران و زانو به مدل مورد نظر اضافه شد. مفصل مچ دارای موتور نیست و فرض شده است که ربات نقشی در حرکت این مفصل ندارد. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به راه رفتن طبیعی در کتابخانه OpenSim موجود است.

جدول ۱. مشخصات عضلات مدل شده در نرم‌افزار OpenSim (۸)

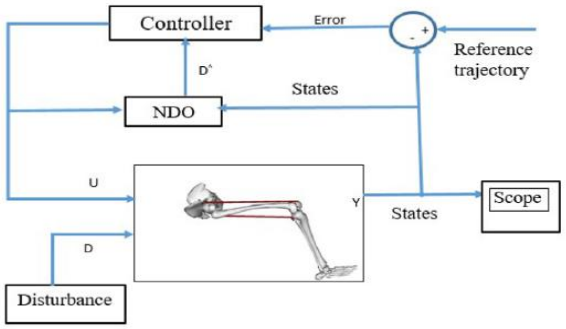
نام عضله	طول بهینه یک واحد عضله (متر)	طول شلی تاندون (متر)	بیشینه نیروی ایزومتریک (نیوتن)
سر رانی بلند	۰/۱۱۹	۰/۳۲۶	۲۷۰۰
سر رانی کوتاه	۰/۱۷۳	۰/۰۸۸۹	۸۰۴
سرینی بزرگ	۰/۱۴۷	۰/۱۲۷	۱۸۱۹
رکتوس فموریس	۰/۱۱۴	۰/۳۱۰	۱۱۶۹
واستوس مدیالیس	۰/۱۰۷	۰/۱۱۶	۵۰۰۰
عضله درشت‌نئی پیشین	۰/۰۹۸	۰/۲۲۳	۳۰۰۰
سولئوس	۰/۰۸۰	۰/۲۲۰	۴۰۰۰
گاستروکنمیوس میانی	۰/۰۹۰	۰/۳۶۰	۲۵۰۰

با استفاده از داده‌های حرکتی یک فرد دارای اختلال و نیروی عکس‌العمل زمین، تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار انجام شد. نتیجه این تحلیل، محاسبه نیروی عضلات و الگوی حرکت مربوط به هر مفصل می‌باشد. سپس با تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط کاردرمانگر، مسیر مرجع ربات برای هر مفصل تعیین گردید. نقش ربات در این مرحله، طی کردن مسیر مرجع خواهد بود. بنابراین، کنترل‌کننده ربات به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند این مسیر را با در نظر گرفتن نیروی عضلات فرد طی نماید. بلوک دیاگرام کنترل‌کننده طراحی شده برای ربات که مطابق با پژوهش خمر و ادریسی (۲۱) می‌باشد، در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. بلوک دیاگرام کلی شبیه‌سازی ربات- کاربر

نیروی اعمال شده توسط ربات با در نظر گرفتن نیروی وارد شده توسط کاربر و با هدف ردیابی مسیر مرجع خواهد بود. نحوه عملکرد سیستم به این صورت است که داده‌های مربوط به مسیر توصیه شده توسط کاردرمانگر به عنوان داده‌های مرجع برای کنترل‌کننده به کار گرفته می‌شود. سپس کنترل‌کننده در نرم‌افزار MATLAB با داشتن مسیر مرجع برای هر مفصل و مسیر مفاصل در هر لحظه، مقدار گشتاور موتور را تعیین و به مدل ایجاد شده در نرم‌افزار OpenSim اعمال می‌کند. جهت ردیابی مسیر مورد نظر توسط ربات در مطالعه حاضر، از کنترل‌کننده معرفی شده در تحقیق خمر و ادریسی (۲۱) استفاده گردید. بلوک دیاگرام این کنترل‌کننده با جزییات بیشتر در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در پژوهش خمر و ادریسی بیان شده است، این کنترل‌کننده قابلیت ردیابی مسیر با در نظر گرفتن عدم قطعیت شاخص‌ها و نیروی اعمال شده توسط کاربر را دارد و به خوبی می‌تواند مسیر مرجع را دنبال نماید (۲۱). به همین دلیل، برای شبیه‌سازی از این کنترل‌کننده استفاده گردید.



شکل ۳. بلوک دیاگرام کنترل‌کننده پیشنهاد شده در مطالعه خمر و ادریسی (۲۱)

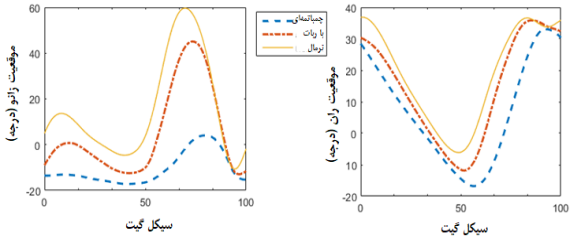
یافته‌ها

کنترل‌کننده با داشتن مسیر مرجع و نیروی عضلات، میزان نیرویی را که باید توسط موتورها در مفصل ران و زانو اعمال شود، محاسبه و به مدل اعمال می‌کند. سپس با استفاده از نرم‌افزار OpenSim، موقعیت مفاصل به صورت برخط محاسبه و به عنوان بازخورد به کنترل‌کننده ارسال می‌گردد تا مقدار گشتاور موتورها بر اساس خطای ردیابی و نیروی عظلات تعیین شود. شبیه‌سازی در دو حالت بدون کمک ربات و با کمک ربات انجام و نتایج با حالت طبیعی مقایسه شد. در حالت اول، مسیر راه رفتن طبیعی به ربات اعمال گردید و در حالت دوم با استفاده از نتایج تحلیل داده‌های حرکتی و با نظر کاردرمانگر، مسیر مناسب فرد بیمار برای هر مفصل مشخص شد. در شکل ۴ نحوه ردیابی مسیر با کمک کنترل‌کننده نشان داده شده است.

جهت بررسی دقت ردیابی، میزان خطای ردیابی حالت اول در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین، نیروی اعمال شده توسط ربات در این حالت در شکل ۶ آمده است.

در حالت دوم، مسیر مورد نظر برای هر مفصل با توجه به نظر کاردرمانگر تعیین و به ربات اعمال شد. نتایج ردیابی موقعیت مفاصل زانو و ران به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

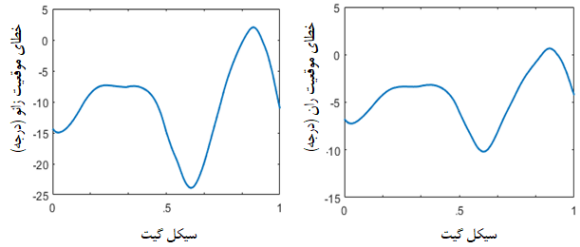
http://jrrs.mui.ac.ir



شکل ۴. مسیر مرجع و مسیر ردیابی شده مفاصل ران و زانو در حالت اول

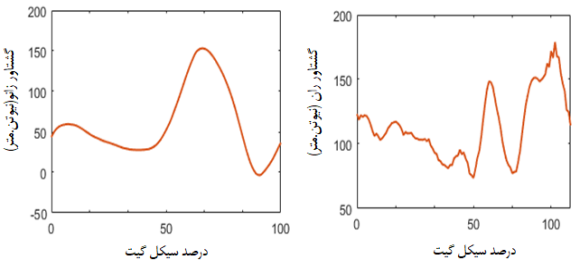
بحث

امروزه نرم‌افزار OpenSim به دلیل متن باز بودن، امکان توسعه و ایجاد ارتباط با سایر نرم‌افزارها را فراهم کرده است. در عین حال، توانایی شبیه‌سازی و تحلیل برخط کنترل‌کننده‌های استفاده شده برای سیستم‌های بیومکانیکی را ندارد. در مقابل، نرم‌افزار MATLAB نوعی ابزار محاسباتی قدرتمند است که می‌تواند کنترل‌کننده‌های مورد نظر را شبیه‌سازی نماید، اما امکان مدل‌سازی سیستم‌های بیومکانیکی در آن وجود ندارد.



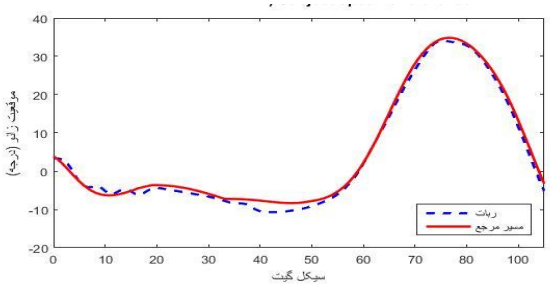
شکل ۵. خطای ردیابی مسیر مرجع مفاصل ران و زانو در حالت اول

Mansouri و Reinbolt در پژوهش خود از نرم‌افزار OpenSim به منظور آنالیز ربات پوشیدنی با یک درجه آزادی حرکت استفاده نمودند، اما مدل آن‌ها به صورت برخط عمل نمی‌کرد و نیروهای خارجی اعمال شده به فرمت XML ذخیره می‌شد. همچنین، آن‌ها از ابزار دینامیک معکوس جهت تحلیل استفاده کردند (۱۶).



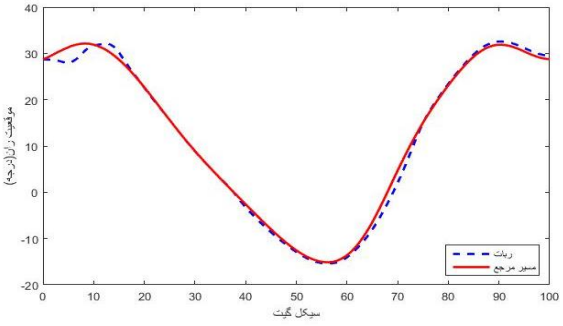
شکل ۶. نیروی اعمال شده توسط ربات برای مفاصل ران و زانو در حالت اول

در مطالعه Stanev، ارتباط بین نرم‌افزارهای MATLAB و OpenSim برقرار شد و تحلیل به صورت برخط برای ربات پوشیدنی پا انجام گرفت. در تحقیق آن‌ها از کنترل‌کننده موجود در نرم‌افزار OpenSim استفاده گردید و فقط یک ورودی اغتشاش با کمک نرم‌افزار MATLAB تولید شد و ارتباط بین دو نرم‌افزار از طریق تابع S-function برقرار گردید (۱۷).



شکل ۷. مسیر مرجع و مسیر ردیابی شده مفصل زانو در حالت دوم

محدودیت پژوهش مذکور، استفاده از کنترل‌کننده‌های موجود در نرم‌افزار OpenSim بود که کنترل‌کننده ساده تناسبی انتگرالی است و امکان طراحی کنترل‌کننده‌های پیشرفته دیگر وجود ندارد. علاوه بر این، نیروهای خارجی مدل نشد و فرض بر آن بود که بدن بدون کمک این نیروها فعالیت مورد نظر را انجام می‌دهد (۱۷)، اما در بررسی حاضر نیروی اعمال شده با استفاده از موتورهای ربات پوشیدنی به مدل انسانی دارای اختلال حرکتی اضافه شد و امکان ارتباط برخط دو نرم‌افزار با در نظر گرفتن اثر نیروی موتور بر کینماتیک حرکت مفاصل برقرار گردید. نتایج نشان داد که این ارتباط به خوبی برقرار شده است و بدون تأخیر، کینماتیک حرکت با استفاده از نرم‌افزار OpenSim محاسبه و به نرم‌افزار MATLAB داده می‌شود تا نیروی موتور را محاسبه و به مدل ربات پوشیدنی–کاربر اعمال نماید.



شکل ۸. مسیر مرجع و مسیر ردیابی شده مفصل ران در حالت دوم

پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی ربات و کاربر با استفاده برخط از نرم‌افزارهای بیومکانیکی و محاسباتی، اثر ربات بر کاربر مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، استفاده از ربات باعث نزدیک شدن الگوی راه رفتن کاربر به حالت طبیعی شد. حین اجرای شبیه‌سازی، نیروی عضلات کاربر به عنوان یک نیروی اضافی در نظر گرفته شد و ربات با در نظر گرفتن این نیرو، مسیر مورد نظر را دنبال کرد که نشان دهنده مقاوم بودن ربات نسبت به نیروهای خارجی می‌باشد. علت خطای به وجود آمده، محدود بودن نیروی اعمال شده توسط ربات و در نظر گرفتن حداکثر نیروی قابل تحمل توسط کاربر

http://jrrs.mui.ac.ir

می‌باشد. جهت کاهش این خطا، پیشنهاد می‌شود مسیر مرجع متناسب با داده‌های حرکتی هر کاربر تعریف شود و طبق نظر درمانگر، به مرور زمان به مسیر مرجع نزدیک شود. بدین منظور، شبیه‌سازی برای دو حالت انجام گرفت. آنچه در ربات‌های توان‌بخشی اهمیت دارد، در نظر گرفتن الگوی حرکتی هر فرد و تنظیم ربات متناسب با داده‌های خود فرد است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با تعریف مسیر مرجع طبق نظر کاردرمانگر، می‌توان خطای ردیابی را کاهش داد و از طرف دیگر، از اعمال فشار و نیروی غیر قابل تحمل توسط کاربر جلوگیری نمود و خطر استفاده از ربات را کاهش داد.

محدودیت‌ها

از محدودیت‌های مطالعه حاضر این بود که جهت ساده‌سازی، مدل مفصل مچ ربات آزاد در نظر گرفته شد و در تحقیقات آینده توصیه می‌گردد که کنترل حرکات مفصل مچ پا نیز مد نظر قرار گیرد. یکی دیگر از محدودیت‌های پژوهش، استفاده از مدل نرمال جهت مدل‌سازی آناتومی بدن کاربر می‌باشد.

پیشنهادها

در پژوهش حاضر، ربات پوشیدنی فقط بر روی یک فرد بررسی گردید و در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود در اختلالات حرکتی دیگر و بر روی تعداد افراد بیشتری صورت گیرد. همچنین، بهتر است مدل آناتومی کاربر با استفاده از عکس‌های رادیوگرافی ایجاد شود تا ساختار مدل به حالت واقعی نزدیک‌تر باشد.

نتیجه‌گیری

ربات‌های پوشیدنی قابلیت کنترل دقیق مفاصل چندگانه به طور هم‌زمان را دارند که آن‌ها را قادر به ایجاد تمرینات مبتنی بر فعالیت واقعی بیشتر برای بیمار می‌کند. در تحقیق حاضر، تأثیر ربات بر روی کاربر با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از رویکرد توان‌بخشی سبب تعیین مسیر مرجع برای ربات متناسب با اطلاعات خود کاربر می‌شود که این امر منجر به افزایش کیفیت توان‌بخشی خواهد شد. همچنین، استفاده از رویکرد شبیه‌سازی سبب کاهش هزینه، زمان و خطرات ناشی از ارزیابی آزمایشگاهی می‌گردد و خطر ناشی از خطاهای احتمالی ناشی از عملکرد نامناسب ربات را کاهش می‌دهد. مزیت دیگر شبیه‌سازی، اندازه‌گیری دقیق شاخص‌ها و متغیرهایی همچون نیروی عضلات، میزان تغییرات طول هر عضله، سرعت و موقعیت مفاصل و سایر شاخص‌هایی است که در حالت عملی قابل اندازه‌گیری نیست و یا نیازمند صرف هزینه زیاد می‌باشد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از رسالهٔ مقطع دکتری تخصصی با کد اخلاق IR.UI.REC.1398.027، مصوب دانشگاه اصفهان می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان از شرکت دکتر گیربکس (به مدیریت جناب آقای بهنام تقی‌زادان) و آقای مهندس محسن زهیری که در مدل‌سازی سه بعدی ربات توان‌بخشی همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

نقش نویسندگان

مریم خمر، طراحی و ایده‌پردازی مطالعه، جذب منابع مالی برای انجام مطالعه، خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی مطالعه، فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج، خدمات تخصصی آمار، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران، مهدی ادریسی، طراحی و ایده‌پردازی مطالعه، جذب منابع مالی برای انجام مطالعه، خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی مطالعه، فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج، خدمات تخصصی آمار، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران، سعید فرقانی، طراحی و ایده‌پردازی مطالعه، جذب منابع مالی برای انجام مطالعه، خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی مطالعه، فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج، خدمات تخصصی آمار، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران را بر عهده داشتند.

منابع مالی

مطالعه حاضر بر اساس تحلیل بخشی از اطلاعات مستخرج از رساله مقطع دکتری تخصصی با کد اخلاق IR.UI.REC.1398.027، مصوب دانشگاه اصفهان تنظیم گردید.

تعارض منافع

هیچ کدام از نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند. دکتر سعید فرقانی عضو هیأت علمی گروه ارتوپدی فنی دانشکده علوم توان‌بخشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و دکتر مهدی ادریسی عضو هیأت علمی گروه مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان می‌باشند. سرکار خانم مریم خمر دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان می‌باشد.

References

1. Sokhangouei Y, Abdollahi I, Kazem-Dokht M, Karimlou M, Khanlari Z. Measuring the quadriceps angle by a new method and comparison with goniometer and radiography. J Rehab 2012; 13(2):64-73. [In Persian].
2. Meuleman J, van Asseldonk E, van Oort G, Rietman H, van der Kooij H. LOPES II--Design and evaluation of an admittance controlled gait training robot with shadow-leg approach. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2016; 24(3): 352-63.
3. Gams A, Petric T, Debevec T, Babic J. Effects of robotic knee exoskeleton on human energy expenditure. IEEE Trans Biomed Eng 2013; 60(6): 1636-44.

4. Young AJ, Hargrove LJ. A Classification method for user-independent intent recognition for transfemoral amputees using powered lower limb prostheses. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2016; 24(2): 217-25.
5. Herr H. Exoskeletons and orthoses: Classification, design challenges and future directions. J Neuroeng Rehabil 2009; 6: 21.
6. Cao J, Xie SQ, Das R, Zhu GL. Control strategies for effective robot assisted gait rehabilitation: the state of art and future prospects. Med Eng Phys 2014; 36(12): 1555-66.
7. Ong CF, Hicks JL, Delp SL. Simulation-based design for wearable robotic systems: an optimization framework for enhancing a standing long jump. IEEE Trans Biomed Eng 2016; 63(5): 894-903.
8. Afschrift M, De GF, De SJ, Jonkers I. The effect of muscle weakness on the capability gap during gross motor function: A simulation study supporting design criteria for exoskeletons of the lower limb. Biomed Eng Online 2014; 13: 111.
9. Chao EY, Armiger RS, Yoshida H, Lim J, Haraguchi N. Virtual Interactive Musculoskeletal System (VIMS) in orthopaedic research, education and clinical patient care. J Orthop Surg Res 2007; 2: 2.
10. Agarwal P, Kuo PH, Neptune RR, Deshpande AD. A novel framework for virtual prototyping of rehabilitation exoskeletons. IEEE Int Conf Rehabil Robot 2013; 2013: 6650382.
11. Ferrati F, Bortoletto R, Pagello E. Virtual modelling of a real exoskeleton constrained to a human musculoskeletal model. Proceedings of the Biomimetic and Biohybrid Systems- 2nd International Conference, Living Machines; 2013 29 Jul-2 Aug; London, UK.
12. Agarwal P, Sathia narayanan M, Lee L, Mendel F, Krovi V. Simulation-based design of exoskeletons using musculoskeletal analysis. Proceedings of the IDETC 2010: ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference; 2010 15-18 Aug; Montreal, Quebec, Canada.
13. Viteckova S, Kutilek P, Jirina M. Wearable lower limb robotics: A review. Biocybern Biomed Eng 2013; 33(2): 96-105.
14. Delp SL, Anderson FC, Arnold AS, Loan P, Habib A, John CT, et al. OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE Trans Biomed Eng 2007; 54(11): 1940-50.
15. Karimi MT, Kaviani Boroojeni MT. The analysis of the length and produced force by some trunk muscles of a scoliotic patient using Open-SIMM software during walking with Milwaukee orthosis-A case report. J Res Rehabil Sci 2013; 9(7): 1344-1352. [In Persian].
16. Mansouri M, Reinbolt JA. A platform for dynamic simulation and control of movement based on OpenSim and MATLAB. J Biomech 2012; 45(8): 1517-21.
17. Stanev D. Extendable OpenSim-Matlab Infrastructure using class oriented C++ Mex Interface. Bethesda, MD: The National Institutes of Health (NIH); 2016.
18. Chen B, Ma H, Qin LY, Gao F, Chan KM, Law SW, et al. Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. J Orthop Translat 2016; 5: 26-37.
19. Sharifmoradi K, Karimi M T, Rezaeeyan Z. The effects of negative heel rocker shoes on the moment and the contact forces applied on lower limb joints of diabetic patients during walking. Physical Treatment 2016; 6(3): 129-36.
20. Khamar M, Edrisi M, Zahiri M. Human-exoskeleton control simulation, kinetic and kinematic modeling and parameters extraction. MethodsX 2019; 6: 1838-46.
21. Khamar M, Edrisi M. Designing a backstepping sliding mode controller for an assistant human knee exoskeleton based on nonlinear disturbance observer. Mechatronics 2018; 54: 121-32.

http://jrrs.mui.ac.ir

DOI: 10.22122/jrrs.v15i2.3412 Published by Vesnu Publications

Online Usage of Biomechanical and Simulation Software in Analysis of Rehabilitation Robots Performances by Applying Simulation Technique

Maryam Khamar[1], Mehdi Edrisi[2], Saeed Forghany[3]

Original Article

Abstract

Introduction: Rehabilitation robots have the ability to assist the patients with paralysis and semi-paralysis. Besides, these robots are capable of being programmed to perform various rehabilitation methods. However, evaluating their functions and their effects on human's body are still two of the main challenges of theses robots. The purpose of the present study was to introduce a method for assessing the function of a rehabilitation robot in modifying the crouch gait to normal gait, by using online biomechanics and computational software.

Materials and Methods: Rehabilitation robot and human leg were simulated using Inventor (Autodesk, Inc.) and OpenSim (Stanford University) software. User's muscle strength was calculated according to a crouch gait. The system got the position of each joint and muscle strength as input, and determined the torque required for each hip and knee joints.

Results: The performance of rehabilitation robot on human body was evaluated by relating the simulation in biomechanical and computational software. The kinematic and kinetic effects of robots on model of human model with crouch gait pattern was confirmed. In addition, the error of tracking normal gait with wearable robot was less than 0.06 rad for user with crouch gait.

Conclusion: By using a simulation method and analyzing the motion data of a person gait pattern, an optimal path can be defined individually for each person, which reduces the risk and error of tracking while using the rehabilitation robot. It is also possible to change the mechanical and control structure of wearable robots in simulation without the cost and risk of laboratory evaluation.

Keywords: Wearable Robot, OpenSim Software, Teaching in walk cycle

Citation: Khamar M, Edrisi M, Forghany S. **Online Usage of Biomechanical and Simulation Software in Analysis of Rehabilitation Robots Performances by Applying Simulation Technique.** J Res Rehabil Sci 2019; 15(2): 72-8.

Received: 05.04.2019 Accepted: 15.05.2019 Published: 05.06.2019

1- PhD in Control Field, Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Orthoses and prostheses, School of Rehabilitation Sciences, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Mehdi Edrisi, Email: edrisi@eng.ui.ac.ir