Published by: Iranian Society for Biomedical Engineering / www.isbme.ir

Iranian Journal of Biomedical Engineering

www.ijbme.org / P-ISSN: 2008-5869 / E-ISSN: 8006-9685

Volume 15, Issue 2, Summer 2021, 141 - 150

Using Changes in the Center of Mass to Measure the Balance in People with Different Leg Lengths when Climbing Stairs

Ayati Najafabadi, Seyed Mehran [1] / Hashemi Oskooi, Alireza [2*] / Rafiaei, Seyed Masoud [3]

[1] - M.Sc., Department of Biomechanics, Department of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[2] - Assistant Professor, Department of Biomechanics, Department of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[3] - Assistant Professor, Department of Rehabilitation, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/IJBME.2021.529960.1689

Received: 8 May 2021 Revised: 13 June 2021 Accepted: 15 June 2021

KEYWORDS

Leg Length Discrepancy

Compensatory Insoles

Center of Mass

Stair

ABSTRACT

Balance in daily movements like as stair ascending is a challenge for the people with leg lengths discrepancy (LLD). These people change their pattern of movement to compensate the difference between legs' length. Due to the changes in movement pattern, body's center of mass which is one of the important factors in maintaining balance can be varied. Compensatory insoles are used to compensate for short legs. The aim of this study is to investigate changes in the center of mass, with and without using insoles in people with leg length discrepancy when climbing stairs. In this practical cross-sectional study, the movement of 20 participants while climbing stairs in two groups of healthy people and people with LLD was recorded by a three-dimensional movement analysis system. Changes in pelvic, knee and ankle joint angles were calculated with the 7-member Euler method. Then the rotation and transferring matrixes were defined by using the joint angles to determine the torque arm of the limbs. By the total body torque method, the center of mass changes in three directions were obtained. Then, these changes were compared between the experimental and control groups using independent and paired t-test at 95% confidence level. The results showed that the displacement of the center of mass in all three directions was significantly higher for people with different leg length differences when comparing with healthy people ($p<0.05$). The results also showed that range of movement has no significant different in the Vertical axis between normal and LLD people ($p>0.05$) when using insole. Based on the findings of this study, it can be concluded that the use of compensatory insoles alone cannot make changes in the center of mass as one of the indicators to measure the balance in climbing stairs like normal people.

[*]Corresponding Author

Address	Department of Biomechanics, Department of Biomedical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran		
Postal Code	51335-1996	**Tel**	*+98-41-33458418*
E-Mail	*ali.hashemi@sut.ac.ir*	**Fax**	*+98-41-33444309*

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

ناشر: انجمن مهندسی پزشکی ایران / www.isbme.ir

مجله‌ی مهندسی پزشکی زیستی

شاپای چاپی: ۵۸۶۹-۲۰۰۸ / شاپای الکترونیکی: ۹۶۸۵-۸۰۰۶ / www.ijbme.org

دوره: ۱۵، شماره: ۲، تابستان ۱۴۰۰، ۱۴۱ - ۱۵۰

استفاده از تغییرات مرکز جرم جهت بررسی تعادل افراد دارای اختلاف طول پا در هنگام بالا رفتن از پله

آیتی نجف‌آبادی، سید مهران [۱] / هاشمی اسکویی، علیرضا [۲*] / رفیعایی، سید مسعود [۳]

[۱] – کارشناسی ارشد، گروه بیومکانیک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[۲] – استادیار، گروه بیومکانیک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[۳] – استادیار، گروه توان‌بخشی، دانشکده‌ی توان‌بخشی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/IJBME.2021.529960.1689

ثبت در سامانه: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۰ بازنگری: ۲۳ خرداد ۱۴۰۰ پذیرش: ۲۵ خرداد ۱۴۰۰

واژه‌های کلیدی

اختلاف طول پا

کفی جبران کننده

مرکز جرم

پله

چکیده

حفظ تعادل در حرکت‌های روزمره از جمله حرکت روی پله، یکی از مشکلات افراد دارای اختلاف طول پا است. این افراد برای جبران تفاوت طول دو پا، الگوی حرکت خود را از حالت عادی تغییر می‌دهند. در اثر تغییر الگوی حرکت، مختصات مرکز جرم بدن که یکی از عوامل مهم در حفظ تعادل است، تغییر می‌کند. برای تصحیح الگوی حرکت، استفاده از روش‌های اصلاحی مانند به کار بردن کفی جبران کننده تجویز می‌شود. هدف این مطالعه بررسی تغییرات مرکز جرم، با و بدون استفاده از کفی در افراد دارای اختلاف طول پا در بالا رفتن از پله است. در این مطالعه حرکت ۲۰ شرکت کننده در هنگام بالا رفتن از پله در دو گروه افراد سالم و افراد دارای کوتاهی پا توسط سیستم سه‌بعدی آنالیز حرکت ثبت شده است. تغییرات زوایای مفاصل لگن، زانو و مچ پا با مدل ۷ عضوی از روش اویلر محاسبه شده، سپس ماتریس‌های دوران و انتقال اندام‌ها به دست آمده و با استفاده از آن‌ها بازوی ممان‌های عضوها تعیین شده است. تغییرات مرکز جرم در سه جهت از روش مجموع ممان‌های کل بدن به دست آمده است. تغییرات بین گروه آزمون و کنترل با استفاده از آزمون آماری t مستقل و زوجی در سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه شده است. نتایج نشان داده که جابه‌جایی مرکز جرم در هر سه جهت برای افراد دارای اختلاف طول پا از نظر آماری به طور معناداری متفاوت از افراد سالم بوده ($p<۰/۰۵$) و تنها دامنه‌ی حرکتی مرکز جرم افراد دارای عارضه در محور عمودی تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداده است ($p>۰/۰۵$). بر اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که در بالا رفتن از پله، استفاده از کفی جبران کننده توسط افراد دارای اختلاف طول پا به تنهایی نمی‌تواند تغییرات مرکز جرم به عنوان یکی از شاخصه‌های سنجش تعادل را مانند افراد عادی بهبود بخشد.

[*]نویسنده‌ی مسئول

نشانی گروه بیومکانیک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

کد پستی ۵۱۳۳۵-۱۹۹۶ **تلفن** ۳۳۴۵۸۴۱۸-۴۱-۹۸+

پست الکترونیک *ali.hashemi@sut.ac.ir* **دورنگار** ۳۳۴۴۴۳۰۹-۴۱-۹۸+

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

۱- مقدمه

حفظ تعادل در حرکات روزمره اهمیت زیادی دارد. این موضوع در افراد دارای اختلاف طول پا به دلیل تلاش آن‌ها جهت جبران کوتاهی پا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دو عامل ساختاری ناشی از کوتاه بودن اندازه‌ی استخوان‌ها در اندام تحتانی بین تروکانتر[۱] استخوان ران و مچ پا و عامل عمل‌کردی ناشی از کوتاهی عضلات اندام تحتانی در هنگام حرکت، باعث کوتاهی یک طرف اندام تحتانی می‌شود [۱]. این افراد با به کارگیری مکانیسم‌های جبرانی و تغییر الگوی حرکتی، در صدد کاهش تاثیر کوتاهی پا بوده [۲، ۳] اما این تغییر الگو باعث افزایش نوسانات حرکتی در هنگام پیاده‌روی شده که نهایتا باعث تحت تاثیر قرار گرفتن تعادل و افزایش خطر سقوط می‌شود [۴].

یکی از شاخصه‌های مهم در سنجش تعادل[۲]، بررسی تغییرات مرکز جرم[۳] است [۵-۷]. بررسی موقعیت مرکز فشار[۴] با در نظر گرفتن نیروهای عکس‌العمل زمین، یکی از روش‌های سنجش موقعیت مرکز جرم است [۸]. روش دیگر برای رسیدن به موقعیت مرکز جرم، مدل‌سازی بدن به صورت عضوهای مشخص و محاسبه‌ی ممان جرم اندام است [۹]. در تحقیقات مختلف از هر دوی این روش‌ها برای بررسی تغییرات مکانی مرکز جرم استفاده شده است [۱۰، ۱۱].

حفظ تعادل در استفاده از پله به عنوان یک فعالیت روزمره‌ی معمولی دارای اهمیت فراوانی است چرا که حرکت روی پله خطر بالقوه‌ی زیادی برای سقوط دارد [۱۲] به طوری که سقوط از پله‌ها حدود ۱۰٪ از مرگ و میر ناشی از سقوط را به خود اختصاص می‌دهد [۱۳]. از طرفی افراد دارای اختلاف طول پا دارای تغییرات نوسانی در مرکز جرم خود در هنگام حرکت روی سطح صاف هستند [۱۴]. بنابراین انتظار می‌رود الگوی تغییرات مرکز جرم این افراد در حرکت روی پله با افراد سالم متفاوت باشد. از این رو بررسی تغییرات مرکز جرم افراد دارای اختلاف طول پا در هنگام استفاده از پله دارای اهمیت است.

روش‌های زیادی برای جبران اختلاف طول پا وجود دارد [۱۵-۱۷] که یکی از رایج‌ترین آن‌ها استفاده از کفی جبران کننده است [۱۸، ۱۹]. در این روش از کفی‌های جبران کننده که از نظر شکل و انعطاف‌پذیری تطابق بالایی با کف پا دارند استفاده می‌شود. مطالعات گذشته نشان داده است که استفاده از این کفی‌ها می‌تواند با جبران تقارن از بین رفته و افزایش تعادل، درد مفاصل و عضلات در اندام تحتانی [۲۰] و درد کمر ناشی از تغییر سطح شیب لگن [۲۱] را کاهش دهد. نتایج مطالعه‌ی قبلی نویسندگان این مقاله نشان داده است که استفاده از کفی می‌تواند بسیاری از تغییرات الگوی حرکت مفاصل تحتانی مانند بیشینه‌ی دور شدن[۵] و نزدیک شدن[۶] لگن و مچ پا، بیشینه‌ی چرخش داخلی[۷] و مقدار زاویه در تماس اولیه[۸] و جدا شدن[۹] زانو و مچ پا را به حالت طبیعی باز گرداند [۲۲، ۲۳].

در مطالعات پیشین الگوی بیومکانیکی و تغییرات مرکز جرم در پیاده‌روی معمولی در افراد دارای اختلاف طول پا بررسی شده [۲، ۳، ۲۰] اما تغییرات مرکز جرم در حرکت روی پله و نیز تاثیر استفاده از کفی جبران کننده به عنوان یک روش رایج درمانی مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف این مطالعه بررسی تغییرات مرکز جرم در افراد دارای اختلاف طول پا با و بدون استفاده از کفی جبران کننده در هنگام بالا رفتن از پله است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- افراد شرکت کننده

این مطالعه با حضور ۲۰ نفر شامل ۱۰ نفر افراد دارای اختلاف طول پا در گروه آزمون و ۱۰ نفر افراد سالم در گروه کنترل انجام شده است. کوتاهی پای افراد انتخاب شده توسط معاینات کلینیکی پزشک معتمد و تصویربرداری تایید شده و اختلاف طول پای آن‌ها برابر با ۱۰±۳۰ میلی‌متر از نوع ساختاری است. این افراد با جرم ۹±۷۰ کیلوگرم، سن ۱۰±۳۵ سال و قد ۱۰±۱۷۵ سانتی‌متر به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. این افراد از بین داوطلبانی که نسبت به آگهی شرکت در مطالعه اظهار تمایل کردند به طور تصادفی انتخاب شده و از آن‌ها دعوت به عمل آمده تا برای یک آزمون آنالیز حرکت یک ساعته در محل مرکز تحقیقات دانشکده‌ی توان‌بخشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان حضور یابند. اهداف و روش کار به صورت شفاهی و عملی برای آن‌ها توضیح داده شده و در صورت ادامه‌ی تمایل به شرکت در آزمون، فرم رضایت داوطلبانه توسط شرکت کنندگان تکمیل گردیده و رضایت کتبی از آن‌ها اخذ شده است.

۲-۲- وسایل و تجهیزات

در مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ۷ دوربین Qualisys Motion Capture وجود دارد. پیش از ثبت حرکت،

[۱] Trochanter
[۲] Balance
[۳] Center of Mass
[۴] Center of Pressure
[۵] Abduction
[۶] Adduction
[۷] Internal Rotation
[۸] Heel Strike
[۹] Toe Off

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

تنظیمات لازم روی دوربین‌ها با نرم‌افزار مدیریت تعقیب مسیر انجام شده و با نرم‌افزار Qualisys Track Manager ورژن ۲/۷، سیگنال‌های خروجی از دوربین‌ها در هر دوره‌ی زمانی با فرکانس ۱۰۰ فریم در ثانیه به مقادیر عددی مختصات سه‌بعدی نشان‌گرها در دستگاه مختصات مرجع تبدیل شده است.

۲-۳- جمع‌آوری داده‌ها

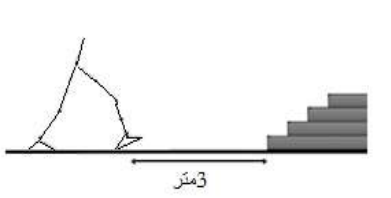
در مجموع ۲۳ نشان‌گر انعکاسی در مکان‌های مشخص آناتومیکی اندام تحتانی برای مشاهده‌ی رفتار اندام مطابق جدول (۱) قرار داده شده است. در این روش مسیر سه‌بعدی حرکت روی چهار پله‌ی چوبی با عرض ۸۰، ارتفاع ۱۷ و عمق ۲۷ سانتی‌متر مشخص شده است [۲۴]. برای داده‌برداری ابتدا از تمام شرکت کنندگان دو گروه آزمون و کنترل خواسته شده است تا با پای برهنه در حالت آناتومیکی متداول بدون حرکت قرار گرفته تا اطلاعات استاتیکی توسط دوربین‌ها به مدت ۵ ثانیه ثبت شود. سپس از تمام شرکت کنندگان (سالم وکوتاه پا) خواسته شده است تا با پای برهنه به صورت معمول و طبق عادت همیشگی خود از پله‌ها بالا رفته و پس از توقف ۵ ثانیه‌ای از پله‌ها پایین آیند. حرکت بالا رفتن و پایین آمدن از پله‌ها سه بار توسط هر فرد با فاصله‌ی استراحت ۱۵ ثانیه‌ای تکرار شده است. داده‌برداری به روش فوق در افراد دارای کوتاهی پا با قرار دادن کفی جبران کننده‌ی مخصوص در زیر پای کوتاه، بار دیگر تکرار شده است. نمایی از مسیر طراحی شده برای حرکت روی پله در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۴- کفی جبران کننده‌ی اختلاف طول پا

برای اصلاح اختلاف طول پا از کفی جبران کننده در زیر پای کوتاه استفاده شده است. کفی جبران کننده در یک کارگاه کفش‌سازی از سه لایه ساخته شده است. پایین‌ترین لایه از یک لاستیک ۳ میلی‌متری که در طول کفی گسترش یافته تشکیل شده است. لایه‌ی میانی که لایه‌ی اصلاحی هم نامیده می‌شود از یک فوم سخت که ضخامت آن در عقب معادل مقدار کوتاهی پا بوده ساخته شده است. این ضخامت به تدریج با شیب ملایمی کاهش یافته تا به ۵۰٪ ضخامت در وسط و ۲۵٪ در ناحیه‌ی جلوی پا برسد [۲۵]. شیب ایجاد شده در ساخت کفی از ایجاد فشار بیش از حد روی سر انگشتان پا جلوگیری می‌کند [۲۵، ۲۶]. بالاترین لایه از چرم طبیعی برای ایجاد ظاهری زیبا و محافظت از پوست در برابر تحریک و تعریق تشکیل شده است. این طرح به بیمار این امکان را می‌دهد تا با راحتی بیش‌تر از یک کفی جبران کننده در کفش خود استفاده کند. تراکم‌پذیری فوم استفاده شده در لایه‌ی میانی در هنگام تحمل وزن ۱۰٪ بوده بنابراین مقدار کوتاهی پا به اضافه‌ی ۱۰٪ از ضخامت فوم در نظر گرفته شده است [۲۷].

جدول (۱)- نام و محل قرارگیری نشان‌گرها

نام	محل قرارگیری نشان‌گرها
N1	اپی‌کندل خارجی قوزک مچ راست
N2	اپی‌کندل داخلی قوزک مچ راست
N2	اپی‌کندل خارجی زانوی راست
N4	اپی‌کندل داخلی زانوی راست
N5	سر استخوان ران راست
N6	قسمت میانی ران راست
N7	قسمت میانی ساق پای راست
N8	پاشنه‌ی راست
N9	انگشت اول پای راست
N10	انگشت پنجم پای راست
N11	قسمت جلویی بالایی راست استخوان لگن
N12	استخوان خاجی
N13	اپی‌کندل خارجی قوزک مچ چپ
N14	اپی‌کندل داخلی قوزک مچ چپ
N15	اپی‌کندل خارجی زانوی چپ
N16	اپی‌کندل داخلی زانوی چپ
N17	سر استخوان ران چپ
N18	قسمت میانی ران چپ
N19	قسمت میانی ساق پای چپ
N20	پاشنه‌ی چپ
N21	انگشت اول پای چپ
N22	انگشت پنجم پای چپ
N23	قسمت جلویی بالایی چپ استخوان لگن



شکل (۱)- نمایی از مسیر حرکت طراحی شده

۲-۵- تحلیل داده‌ها

۲-۵-۱- تعیین چرخه‌ی حرکتی

یک چرخه‌ی حرکتی شامل اولین تماس پای پیشتاز با پله تا تماس دوباره‌ی پای پیشتاز با پله‌ی بعدی در نظر گرفته شده است. دامنه‌ی حرکتی[۱] و بیشینه[۲] و کمینه‌ی[۳] جابه‌جایی مرکز

[۱] Range of Motion
[۲] Maximum
[۳] Minimum

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

جرم در سه محور طولی[۱]، عرضی[۲] و عمودی[۳] در هنگام بالا رفتن از پله در یک چرخه‌ی حرکتی تجزیه و تحلیل شده است. با استفاده از نرم‌افزار متلب R2019B زمان حرکت با تقسیم یک چرخه‌ی حرکتی به ۱۰۰ قسمت نرمال‌سازی شده است.

۲-۵-۲- تحلیل سینماتیکی پایین‌تنه

حرکت انسان را می‌توان به دو قسمت بالا و پایین‌تنه تقسیم کرد [۲۸]. با توجه به نقش اصلی پایین‌تنه در سینماتیک اندام تحتانی و پیچیدگی‌های مربوط به تحلیل، مدلی با ۷ جسم صلب و ۹ درجه‌ی آزادی در هر پا تعریف شده به طوری که در آن ۳ درجه‌ی آزادی برای مچ پا، ۳ درجه برای لگن و ۳ درجه برای زانو در نظر گرفته شده است تا بیش‌ترین نزدیکی را به حرکت طبیعی پاها داشته باشد. نمایی از مدل طراحی شده با ۷ جسم صلب با جرم مشخص در شکل (۲) نشان داده شده است.

۲-۵-۳- محاسبه‌ی موقعیت مرکز جرم در سه محور

برای محاسبه‌ی مرکز جرم، از مجموع ممان‌های جرم عضوها از رابطه‌ی (۱) استفاده شده [۸] که در آن Pcom مختصات نهایی x,y و z مکان مرکز جرم است. هم‌چنین Picom مختصات xi,yi و zi مکان مرکز جرم عضو i-ام نسبت به مرکز مختصات مرجع (مرکز لگن)، mi جرم عضو و M جرم کل بدن است.

$$Pcom = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{Picom} \times \text{mi}}{M} \qquad (۱)$$

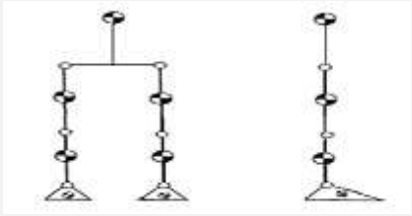
به منظور محاسبه‌ی Picom عضوهای ران، ساق و مچ پا در هر فریم مطابق شکل (۳) نیاز به محاسبه‌ی دو پارامتر R (فاصله‌ی مرکز جرم عضوها تا مرکز مفاصل) و θ (زاویه‌ی دوران) است.
از روش Vaughan برای محاسبه‌ی پارامتر R استفاده شده است [۲۹]. به منظور محاسبه‌ی پارامتر θ زوایای مفاصل لگن، زانو و مچ پا از زوایای اویلر β، α و ɣ به ترتیب دوران حول سه محور y، x و z استفاده شده است [۳۰]. ماتریس‌های دوران حول سه محور از رابطه‌ی (۲) محاسبه شده است.

$$R(\beta)y = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$
$$R(\alpha)x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \qquad (۲)$$
$$R(\gamma)z = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

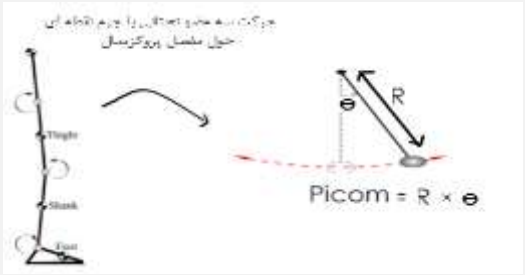
ماتریس دوران دستگاه مختصات آناتومی هر عضو نسبت به دستگاه مختصات مرجع، بر اساس زوایای متوالی اویلر حول محورهای z، x و y با ضرب ماتریس‌های دوران متناظر محورها به صورت رابطه‌ی (۳) قابل محاسبه است.

$$R = RzRxRy = \qquad (۳)$$
$$\begin{bmatrix} C\alpha\, c\beta & s\alpha\, c\beta & s\beta \\ s\alpha\, c\gamma + C\alpha\, s\beta\, s\gamma & C\alpha\, c\gamma + s\alpha\, s\beta\, s\gamma & C\beta\, s\gamma \\ s\alpha\, s\gamma + C\alpha\, s\beta\, c\gamma & C\alpha\, s\gamma + s\alpha\, s\beta\, c\gamma & C\beta\, c\gamma \end{bmatrix}$$

برای تعیین سیستم مختصات عضو ران، ساق و کف پا نیاز به بردارهای یکه بوده که با استفاده از موقعیت سه نقطه‌ی M2، M1 و M3 از یک عضو (جدول ۲) و از طریق رابطه‌ی (۴) محاسبه شده است.



شکل (۲)- مدل ارائه شده با ۷ جسم صلب و جرم مشخص در صفحه‌ی ساجیتال (راست) و فرونتال (چپ)



شکل (۳)- نمایی از صفحه‌ی ساجیتال مدل فرض شده برای محاسبه‌ی مکان مرکز جرم هر سه عضو ران، ساق و مچ پا

جدول (۲)- نام اندام و نقاط مورد نظر جهت محاسبه‌ی بردارهای یکه

نام		نقاط مورد نظر	
اندام	M1	M2	M3
ساق	مرکز مفصل زانو	مرکز مفصل مچ پا	نشان‌گر ساق
ران	مرکز مفصل ران	مرکز مفصل زانو	نشان‌گر ران
کف‌پا	نشان‌گر پاشنه	مرکز مفصل انگشت	مرکز مفصل مچ پا

$$x = \frac{M1 - M2}{|M1 - M2|}$$
$$y = \frac{(M1 - M2) \times (M1 - M3)}{|(M1 - M2) \times (M1 - M3)|} \qquad (۴)$$
$$z = x \times y$$

[۱] Anterior-Posterior
[۲] Medial-Lateral
[۳] Vertical

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

ماتریس‌های دوران اندام نسبت به سیستم مختصات آزمایشگاه (مرجع) در رابطه‌ی (۵) نشان داده شده که در آن x، y و z بردارهای یکه‌ی عضو ران، ساق و کف پا نسبت به مختصات آزمایشگاه است.

$$\begin{aligned} LAB_{SHANK}R &= [X_{SHANK}\ Y_{SHANK}\ Z_{SHANK}] \\ LAB_{THIGH}R &= [X_{THIGH}\ Y_{THIGH}\ Z_{THIGH}] \\ LAB_{FOOT}R &= [X_{FOOT}\ Y_{FOOT}\ Z_{FOOT}] \end{aligned} \quad (۵)$$

از ضرب دو ماتریس دوران ران و ساق پای تصویر شده بر مفصل زانو، ماتریس دوران زانو، از ضرب دو ماتریس دوران ساق و کف پای تصویر شده بر مفصل مچ، ماتریس دوران مچ پا و از ضرب دو ماتریس دوران ران و لگن تصویر شده بر مفصل لگن، ماتریس دوران لگن محاسبه شده است. با استفاده از توالی ضرب ماتریس‌های دوران دو عضو و برابر قرار دادن آن با ماتریس حاصل از سه دوران اویلر، می‌توان به زوایای مفاصل زانو، مچ و لگن نسبت به مختصات آزمایشگاه دست یافت.

۲-۶- تحلیل آماری

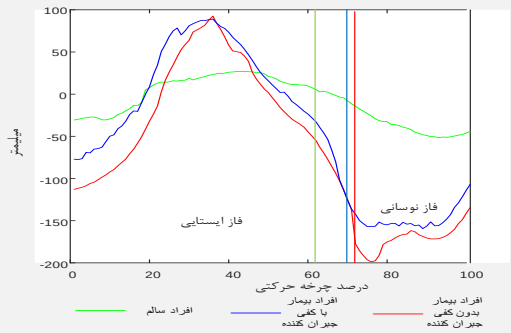
برای مقایسه‌ی تغییرات مرکز جرم بین افراد سالم و بیمار بدون کفی جبران کننده از آزمون آماری t مستقل و برای مقایسه بین افراد با کفی جبران کننده و افراد بدون کفی جبران کننده از آزمون آماری نمونه‌های جفت شده استفاده شده است. بازه‌ی حرکتی و بیشینه و کمینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم در هر سه محور عرضی، طولی و عمودی در بین گروه‌ها در یک چرخه‌ی حرکتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تمام آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار spss ویرایش ۲۳ و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده است.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- یافته‌ها

۳-۱-۱- جابه‌جایی مرکز جرم در محور عرضی

مقایسه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم در محور عرضی در طول یک چرخه‌ی حرکتی روی پله در جدول (۳) ارائه شده است. مطابق شکل (۴) و بر اساس نتایج آزمون‌های آماری، دامنه‌ی حرکتی مرکز جرم برای افراد سالم کم‌تر از افراد دارای اختلاف طول پا بدون کفی جبران کننده بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵). دامنه‌ی حرکتی پس از استفاده از کفی برای افراد دارای اختلاف طول پا کاهش یافته اما در مقایسه با افراد سالم و افراد دارای عارضه بدون کفی تفاوت، معنادار است (p<۰/۰۵). بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت پای شروع کننده‌ی حرکت در فاز ایستایی برای افراد سالم کم‌تر از افراد دارای کوتاهی پا بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این جابه‌جایی پس از استفاده از کفی نسبت به افراد سالم کاهش یافته که از نظر آماری این تفاوت هم‌چنان معنی‌دار بوده (p<۰/۰۵) اما در مقایسه با حالت بدون کفی و با کفی جبران کننده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است (p>۰/۰۵). بیشینه‌ی انحراف مرکز جرم به سمت پای مخالف (برای افراد دارای اختلاف طول پا منظور پای کوتاه است) برای افراد سالم کم‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این جابه‌جایی پس از استفاده از کفی نسبت به افراد بدون کفی کاهش یافته در حالی که هم‌چنان تفاوت معنی‌داری از نظر آماری در مقایسه با افراد سالم وجود دارد (p<۰/۰۵) اما در مقایسه با حالت بدون کفی و با کفی جبران کننده تفاوت معنی-داری مشاهده نشده است (p>۰/۰۵).



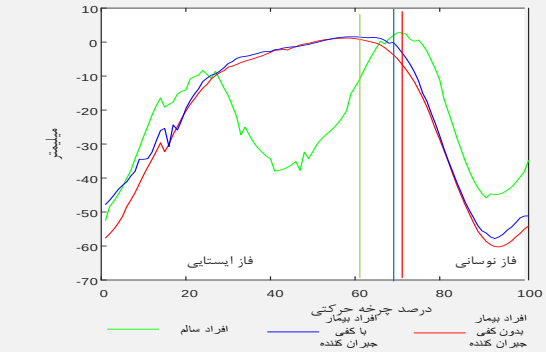
شکل (۴)- جابه‌جایی مرکز جرم در محور عرضی، نزدیک (+) / دور (-) شدن مرکز جرم به سمت پای پیشتاز

۳-۱-۲- جابه‌جایی مرکز جرم در محور طولی

مقایسه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم در محور طولی در شکل (۵) و جدول (۳) نشان می‌دهد که دامنه‌ی حرکتی مرکز جرم برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای اختلاف طول پا بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵). دامنه‌ی حرکتی پس از استفاده از کفی جبران کننده برای افراد دارای عارضه افزایش یافته اما با افراد سالم و افراد دارای عارضه بدون کفی هم‌چنان دارای تفاوت معنی‌دار است (p<۰/۰۵). بیشینه‌ی افزایش جابه‌جایی اولیه‌ی مرکز جرم به سمت جلو برای افراد سالم کم‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری در مقایسه با افراد دارای عارضه با و بدون کفی معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی در مقایسه با افراد بدون کفی تفاوت معناداری نداشته است (p>۰/۰۵). بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت عقب برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

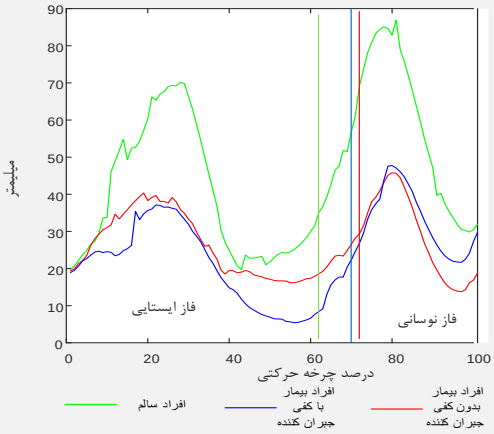
تفاوت از نظر آماری در مقایسه با افراد دارای عارضه با و بدون کفی معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی در مقایسه با افراد بدون کفی تفاوت معناداری نداشته است (p>۰/۰۵). بیشینه‌ی جابه‌جایی ثانویه‌ی مرکز جرم به سمت جلو برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری در مقایسه با افراد دارای عارضه با و بدون کفی معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی در مقایسه با افراد بدون کفی تفاوت معناداری نداشته است (p>۰/۰۵).



شکل (۵)- جابه‌جایی مرکز جرم در محور طولی، نزدیک (+) / دور (-) شدن مرکز جرم به سمت جلو

۳-۱-۳- جابه‌جایی مرکز جرم در محور عمودی

مقایسه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم در محور عمودی در شکل (۶) و جدول (۳) نشان می‌دهد که دامنه‌ی حرکتی مرکز جرم برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای اختلاف طول پا بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵). دامنه‌ی حرکتی پس از استفاده از کفی جبران کننده برای افراد دارای عارضه کاهش یافته و با افراد سالم تفاوت معنی‌داری ندارد (p>۰/۰۵). بیشینه‌ی جابه‌جایی اولیه‌ی مرکز جرم به سمت بالا برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری در مقایسه با افراد دارای عارضه با و بدون کفی معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی در مقایسه با افراد بدون کفی تفاوت معناداری نداشته است (p>۰/۰۵). بیشینه‌ی انحراف مرکز جرم به سمت پایین برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نیست (p>۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی نسبت به افراد بدون کفی کاهش یافته و تفاوت معنی‌داری از نظر آماری در مقایسه با افراد سالم و افراد دارای عارضه بدون کفی مشاهده شده است (p<۰/۰۵). بیشینه‌ی جابه‌جایی ثانویه‌ی مرکز جرم به سمت بالا برای افراد سالم بیش‌تر از افراد دارای عارضه بدون کفی بوده و این تفاوت از نظر آماری در مقایسه با افراد دارای عارضه با و بدون کفی معنی‌دار است (p<۰/۰۵). این انحراف پس از استفاده از کفی در مقایسه با افراد بدون کفی تفاوت معناداری نداشته است (p>۰/۰۵).



شکل (۶)- جابه‌جایی مرکز جرم در محور عمودی، نزدیک (+) / دور (-) شدن مرکز جرم به سمت بالا

۳-۱-۴- مقایسه‌ی درصد فاز ایستایی و فاز نوسانی

مطابق شکل‌های (۴) تا (۶) لحظه‌ی جدا شدن پا از پله در افراد دارای اختلاف طول پا (در دو حالت با و بدون استفاده از کفی) دیرتر از افراد سالم اتفاق افتاده است. به عبارت دقیق‌تر در افراد سالم جدا شدن پا از پله در درصد ۱±۶۲ از چرخه‌ی حرکتی اتفاق افتاده در حالی که در افراد بیمار در هنگام عدم استفاده از کفی جبران کننده در درصد ۰/۵±۷۲ و در هنگام استفاده از کفی در درصد ۰/۵±۷۱ از چرخه‌ی حرکتی رخ داده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فاز ایستایی در افراد دارای اختلاف طول پا طولانی‌تر از افراد سالم است.

۳-۲- بحث

این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مرکز جرم در سه محور حرکتی در افراد دارای عارضه‌ی اختلاف طول پا در هنگام بالا رفتن از پله با و بدون استفاده از کفی جبران کننده به عنوان یکی از روش‌های جبران اختلاف طول پا انجام شده است. افراد دارای اختلاف طول پا الگوی حرکت متفاوتی نسبت به افراد سالم (الگوی استاندارد) [۳۱] دارند. نزدیک شدن به الگوی حرکت استاندارد می‌تواند نتایج مثبتی از جمله کاهش خطر زمین خوردن را به همراه داشته باشد.

نتایج این مطالعه نشان داده که تغییرات عمودی و طولی مرکز جرم در افراد دارای اختلاف طول پا به طور معناداری کم‌تر از افراد سالم است. کاهش تغییرات مرکز جرم باعث کاهش

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

تغییرات طول بازوی ممان‌های جرم شده که این امر می‌تواند تمایل به چرخش مرکز جرم و خطر سقوط را کاهش دهد [۴، ۱۸، ۳۲]. این نتایج با نتایج مطالعه‌ای که روی افراد دارای اختلاف طول پا در حرکت روی سطح صاف انجام شده و افزایش نوسانات عمودی مرکز جرم را نشان داده [۳۳] در تضاد است. این تفاوت در نتایج می‌تواند به این دلیل باشد که در هنگام حرکت روی پله فرد با احتیاط و آرامش بیش‌تری رو به بالا و رو به جلو حرکت می‌کند.

جدول (۳)- مقایسه‌ی مرکز جرم در سه محور عرضی، طولی و عمودی در بین گروه‌های افراد سالم، افراد دارای اختلاف طول پا بدون کفی جبران کننده و افراد دارای اختلاف طول پا با کفی جبران کننده در موقعیت‌های کلیدی چرخه‌ی حرکتی

	نام جابه‌جایی و محور عمل‌کردی	میانگین افراد سالم (mm)	میانگین افراد دارای عارضه بدون کفی (mm)	میانگین افراد دارای عارضه با کفی (mm)	مقایسه‌ی آماری افراد دارای عارضه بی کفی با افراد سالم	مقایسه‌ی آماری افراد دارای عارضه با کفی با افراد سالم	مقایسه‌ی آماری افراد دارای عارضه با و بدون کفی
					Sig	Sig	Sig
محور عرضی	بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت پای پیشتاز	۲۶/۹۴	۹۲/۵۵	۸۹/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۳
	بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت پای مخالف	-۵۱/۶۳	-۱۹۸/۷۰	-۱۵۹/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷
	دامنه‌ی حرکتی	۴۶/۲۵	۲۲۰/۴۱	۱۷۸/۴۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
محور طولی	بیشینه‌ی اولیه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت جلو	-۸/۳۲	-۲۹/۶۰	-۲۵/۳۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۷
	بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت عقب	-۳۷/۹۶	-۳۲/۲۴	-۳۰/۷۱	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۷۹
	بیشینه‌ی ثانویه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت جلو	۲/۷۶	۱/۱۵	۱/۴۸	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۷۲
	دامنه‌ی حرکتی	۴۱/۳۵	۱۵/۳۷	۱۸/۴۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
محور عمودی	بیشینه‌ی اولیه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت بالا	۷۰/۱۸	۳۹/۲۳	۳۷/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۶
	بیشینه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت پایین	۱۹/۶۹	۱۶/۱۶	۵/۳۷	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۰۱
	بیشینه‌ی ثانویه‌ی جابه‌جایی مرکز جرم به سمت بالا	۸۶/۹۱	۴۵/۷۹	۴۷/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۱
	دامنه‌ی حرکتی	۶۵/۹۸	۳۴/۴۵	۳۳/۶۲	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰

بر خلاف جهت‌های طولی و عمودی، نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان دهنده‌ی افزایش تغییرات عرضی مرکز جرم در افراد دارای اختلاف طول پا نسبت به افراد سالم و انحراف معنادار مرکز جرم به سمت پای بلند در بالا رفتن از پله است. این نتایج با نتایج مطالعه‌ی قبلی که عدم تقارن در راه رفتن معمولی این افراد را ناشی از انحراف مرکز جرم در سمت پای بلند عنوان کرده، هم‌سو است [۳۴]. این تشابه نتایج می‌تواند به این دلیل باشد که فرد دارای اختلال برای کنترل حرکت رو به بالا و رو به جلو (محورهای عمودی و طولی) مجبور به افزایش نوسان در محور عرضی است.

نتایج این مطالعه نشان دهنده‌ی افزایش فاز ایستایی برای پای بلند در افراد دارای اختلاف طول پا است. این نتایج با نتایج مطالعات قبلی در مورد راه رفتن روی سطح صاف هم‌خوانی دارد [۳۵]. این تغییر می‌تواند در اثر تغییر الگوی حرکتی مرکز جرم در افراد دارای اختلاف طول پا به عنوان یک مکانیسم جبرانی به وجود آید اما افزایش طول فاز ایستایی باعث افزایش زمان زیر بار قرار گرفتن پای بلند و در نتیجه ایجاد عوارضی هم‌چون درد، ریزشکستگی‌های استخوانی، عوارض مفصلی و خستگی عضلات در پای بلند می‌شود [۳۶-۳۹].

یکی از روش‌های جبرانی برای افراد دارای اختلاف طول پا استفاده از کفی جبران کننده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بر خلاف تصور اولیه، کفی جبران کننده نمی‌تواند الگوی حرکتی مرکز جرم افراد دارای اختلاف طول پا را مانند افراد سالم تغییر دهد. بنابراین بر اساس نتایج مطالعه‌ی حاضر استفاده از کفی جبران کننده برای افزایش تعادل نمی‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد. با این وجود این نتیجه تنها ارزیابی اثر استفاده از کفی جبران کننده در تعادل ناشی از تغییرات مرکز جرم را گزارش می‌کند. از این رو اثر استفاده از کفی جبران کننده در تغییرات سایر پارامترهای مربوط به الگوی حرکت مانند تغییرات سینماتیکی و سینتیکی حرکت نیز باید بررسی شود تا نتیجه‌گیری کلی در خصوص اثر استفاده از کفی جبران کننده به دست آید.

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

۳-۳- اهمیت نتایج و محدودیت‌ها

محدودیت اول این مطالعه، وجود افراد با بیماری اختلاف طول پا با بازه‌های زمانی متفاوت آسیب است. این عامل ممکن است باعث تغییر مکانیسم‌های جبرانی افراد با گذشت زمان پس از آسیب شده و در نهایت به گستردگی نتایج منجر شود. هم‌چنین عدم تجربه و استفاده‌ی کافی از کفی جبران کننده در طولانی مدت در این افراد می‌تواند فقدان راحتی در استفاده از کفی جبران کننده را در پی داشته و در نتیجه دو مبحث یادگیری و کنترل حرکت برای این افراد و نیز نتایج را تحت تاثیر قرار دهد. محدودیت دیگر، استفاده از نشان‌گرهای سطحی انعکاس دهنده برای تحلیل‌های سینماتیکی است. حرکات ثبت شده از نشان‌گرها توسط دوربین‌ها ممکن است به جای حرکت واقعی استخوان ناشی از حرکت نشان‌گر نسبت به پوست زیرین آن باشد. ساختار پله با پنج گام از دیگر محدودیت‌های این مطالعه است. با افزایش تعداد گام‌های موجود و ضبط داده‌ها در گام‌های میانی، داده‌های آزمایشگاهی مطمئن‌تری از تغییرات سینماتیکی افراد با اختلاف طول پا در بالا رفتن از پله به دست آمده که به افزایش دقت نتایج منجر خواهد شد. نتایج این مطالعه می‌تواند در بهبود تمرین‌های توان‌بخشی و نیز تدابیر اتخاذی در اصلاح رویکردهای جبرانی برای جلوگیری از عوارض ناشی از کوتاهی پا در این گروه افراد موثر باشد. این مطالعه افراد را به نگاهی دقیق به تاثیر کفی جبران کننده در طولانی مدت و تاثیر آن بر تعادل افراد دارای کوتاهی پا در هنگام پایین آمدن از پله تشویق می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

از نتایج این مطالعه می‌توان دریافت که افراد دارای اختلاف طول پا، تغییر الگوی جابه‌جایی مرکز جرم را به عنوان یک مکانیسم جبرانی به کار می‌برند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از کفی جبران‌کننده به تنهایی نمی‌تواند تغییرات مرکز جرم به عنوان یکی از شاخصه‌های سنجش تعادل در بالا رفتن از پله را مانند افراد عادی بهبود بخشد.

۵- تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات اسکلتی-عضلانی دانشکده‌ی توان‌بخشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به خاطر هم‌کاری جهت جمع‌آوری داده سپاس‌گذاری به عمل می‌آید.

۶- مراجع

[1] Blake R, Ferguson H. Limb length discrepancies. Journal of the American Podiatric Medical Association. 1992;82(1):33.
[2] Resende RA, Kirkwood RN, Deluzio KJ, Cabral S, Fonseca ST. Biomechanical strategies implemented to compensate for mild leg length discrepancy during gait. Gait & posture. 2016;46:147-53.
[3] Song KM, Halliday SE, Little DG. The effect of limb-length discrepancy on gait. JBJS. 1997;79(11):1690-8.
[4] Murrell P, Cornwall MW, Doucet SK. Leg-length discrepancy: effect on the amplitude of postural sway. Archives of physical medicine and rehabilitation. 1991;72(9):646-8.
[5] Reeves ND, Spanjaard M, Mohagheghi AA, Baltzopoulos V, Maganaris CN. Older adults employ alternative strategies to operate within their maximum capabilities when ascending stairs. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2009;19(2):e57-e68.
[6] Jurčević Lulić T, Sušić A, Kodvanj J. Biomechanical analysis of walking: Effects of gait velocity and arm swing amplitude. Periodicum biologorum. 2010;112(1):13-7.
[7] Chou L-S, Kaufman KR, Hahn ME, Brey RH. Medio-lateral motion of the center of mass during obstacle crossing distinguishes elderly individuals with imbalance. Gait & posture. 2003;18(3):125-33.
[8] Lee H-J, Chou L-S. Detection of gait instability using the center of mass and center of pressure inclination angles. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2006;87(4):569-75.
[9] Naga S. An Efficient Algorithm for Clinical Mass Center Location of Human Body: University of Cincinnati; 2005.
[10] Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. Journal of biomechanics. 2004;37(9):1421-6.
[11] Eames M, Cosgrove A, Baker R. Comparing methods of estimating the total body centre of mass in three-dimensions in normal and pathological gaits. Human movement science. 1999;18(5):637-46.
[12] Stel VS, Smit JH, Pluijm SM, Lips P. Consequences of falling in older men and women and risk factors for health service use and functional decline. Age and ageing. 2004;33(1):58-65.
[13] Startzell JK, Owens DA, Mulfinger LM, Cavanagh PR. Stair negotiation in older people: a review. Journal of the American Geriatrics Society. 2000;48(5):567-80.
[14] Vrhovski Z, Benkek G, Mutka A, Obrovac K, Bogdan S, editors. System for Compensating for Leg Length Discrepancy Based on the Estimation of the Centre of Mass of a Human Body. 2018 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED); 2018: IEEE.
[15] Nagi O, Dhillon M, Goni V. Does the piriformis compress the sciatic nerve during limb length equalization? Singapore medical journal. 1999;40(12):749-51.

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

[16] Price CT, Carantzas AC. Severe growth retardation following limb lengthening: a case report. The Iowa Orthopaedic Journal. 1996;16:139.
[17] Moseley C. Leg length discrepancy and angular deformity of the lower limbs. Lovell and Winter's pediatric orthopedics 4th ed Philadelphia: Lippincott-Raven. 1996:849-901.
[18] Ashour R, Abdelraouf O, Abdallah A, Sweif R. Effect of footwear modification on postural symmetry and body balance in leg length Discrepancy: A randomized controlled study. International Journal of Osteopathic Medicine. 2019;32:13-20.
[19] Palmanovich E, Ayalon M, Sira DB, Nyska M, Hetsroni I. The effect of eliminating leg length difference on plantar foot pressure distribution in patients wearing forefoot offloading shoe. The Foot. 2017;33:39-43.
[20] Wang K, Lu C, Ye R, He W, Wei X, Li Y, et al. Research and development of 3D printing orthotic insoles and preliminary treatment of leg length discrepancy patients. Technology and Health Care. 2020(Preprint):1-10.
[21] Menez C, Coquart J, Dodelin D, Tourny C, Lhermette M. Effects of Orthotic Insoles on Gait Kinematics and Low Back Pain in Subjects with Mild Leg Length Discrepancy. Journal of the American Podiatric Medical Association. 2020.
[22] Ayati Najafabadi SM, Hashemi Oskouei AR, Rafiaei SM. Assessment of three-dimensional changes in lower limb joint angles people with leg length discrepancy during stair climbing with and without using insoles. accepted by Iranian Journal of Biomedical Engineering. 2021;15(1):51-60.
[23] Eek MN, Zügner R, Stefansdottir I, Tranberg R. Kinematic gait pattern in children with cerebral palsy and leg length discrepancy: effects of an extra sole. Gait & posture. 2017;55:150-6.
[24] Zietz D, Johannsen L, Hollands M. Stepping characteristics and Centre of Mass control during stair descent: Effects of age, fall risk and visual factors. Gait & posture. 2011;34(2):279-84.
[25] Subotnick SI. Limb length discrepancies of the lower extremity (the short leg syndrome). Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 1981;3(1):11-6.
[26] Basford JR, Smith MA. Shoe insoles in the workplace. Orthopedics. 1988;11(2):285-8.
[27] Defrin R, Benyamin SB, Aldubi RD, Pick CG. Conservative correction of leg-length discrepancies of 10mm or less for the relief of chronic low back pain. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2005;86(11):2075-80.
[28] Frederic HM. Fundamentals of anatomy & physiology: Pearson; 2015.
[29] Vaughan CLK. The biomechanics of human locomotion: University of Cape Town; 2009.
[30] Mokhtarian A, Fattah A, Agrawal S. Design of a novel passive pelvic orthosis for gait rehabilitation using 3D dynamic model. Modares Mechanical Engineering. 2013;13(9):111-25.
[31] Park S-E, Ho Y-J, Chun MH, Choi J, Moon Y. Measurement and Analysis of Gait Pattern during Stair Walk for Improvement of Robotic Locomotion Rehabilitation System. Applied bionics and biomechanics. 2019;2019.
[32] Muratagic H, Ramakrishnan T, Reed KB. Combined effects of leg length discrepancy and the addition of distal mass on gait asymmetry. Gait & posture. 2017;58:487-92.
[33] Bhave A, Paley D, Herzenberg JE. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb-length discrepancy. JBJS. 1999;81(4):529-34.
[34] Mahar R, Kirby R, MacLeod D. Simulated leg-length discrepancy: its effect on mean center-of-pressure position and postural sway. Archives of physical medicine and rehabilitation. 1985;66(12):822-4.
[35] Perttunen J, Anttila E, Södergård J, Merikanto J , Komi PJSjom, sports si. Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy. 2004;14(1):49-56.
[36] Brunet ME, Cook SD, Brinker M, Dickinson J. A survey of running injuries in 1505 competitive and recreational runners. The Journal of sports medicine and physical fitness. 1990;30(3):307-15.
[37] Friberg O. Clinical symptoms and biomechanics of lumbar spine and hip joint in leg length inequality. Spine. 1983;8(6):643-51.
[38] Brand RA, Yack HJ. Effects of leg length discrepancies on the forces at the hip joint. Clinical orthopaedics and related research. 1996(333):172-80.
[39] Harvey WF, Yang M, Cooke TD, Segal NA, Lane N, Lewis CE, et al. Association of leg-length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study. Annals of internal medicine. 2010;152(5):287-295.

Copyright © 2021 by ISBME, http://www.ijbme.org - All rights reserved
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License