



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی مکانیک
پایان نامه کارشناسی

عنوان

بررسی گشتاور اداکتوری مفصل زانو در حین راه رفتن در

بیماران پاپرانتزی

نگارش

علی اکبر کاوه‌ای

استاد راهنما

دکتر فرزام فرهمند

تیرماه ۱۳۹۶



با تشکر از

استاد دکتر فرزام فرهمند

مرکز تحقیقات فناوری‌های توان‌بخشی عصبی هوشمند جواد موفقیان

جناب آقای امین رضا خندان

سرکار خانم رفیعی

که در مراحل کار مرا حمایت و راهنمایی کردند.

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی اثر بدشکلی اندام تحتانی به صورت پاپرانتزی بر روی دینامیک راه رفتن انجام شده است. برای یک فرد سالم و یک بیمار دچار پاپرانتزی، داده‌های سینماتیک و سینتیک گیت اندازه‌گیری شده و پارامترهای نیروهای عکس‌العمل زمین در راستای عمودی، بازوی گشتاور نیروی عکس‌العمل زمین نسبت به زانو، و ممان ابداکشن ادداکشن مفصل زانو استخراج و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که پیک نیروی عکس‌العمل زمین در فرد سالم نسبت به فرد بیمار اندکی بزرگ‌تر است. از سوی دیگر بازوی گشتاوری این نیرو نسبت به زانو در فرد بیمار در اغلب لحظات فاز استنس به مراتب بزرگ‌تر از فرد سالم است. بر این اساس گشتاور ادداکتوری بزرگ‌تری که در طول فاز استنس در فرد بیمار نسبت به فرد سالم مشاهده می‌شود، عمدتاً از بزرگ‌تر بودن بازوی گشتاوری در فرد بیمار ناشی می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: آنالیز گیت، دینامیک معکوس، بازوی گشتاوری زانو

صفحه	فهرست مطالب
۱.....	۱ مقدمه.....
۱.....	۱.۱ اهمیت پژوهش.....
۳.....	۲.۱ اهداف پژوهش.....
۵.....	۲ مفاهیم پایه.....
۵.....	۱.۲ انحراف پیچشی اندام تحتانی.....
۵.....	۱.۱.۲ آناتومی استخوان‌های فمور و تیبیا.....
۸.....	۲.۱.۲ روش اندازه‌گیری پیچش استخوان فمور.....
۹.....	معاینه کلینیکی.....
۱۰.....	تصویربرداری.....
۱۱.....	۲.۲ آنالیز حرکت.....
۱۱.....	۱.۲.۲ گیت و اختلالات گیت.....
۱۱.....	۲.۲.۲ آنالیز گیت.....
۱۳.....	۳.۲.۲ گیت نرمال.....
۱۵.....	۲.۲.۴ تعاریف و اصطلاحات.....
۱۹.....	۳.۲ معرفی سیستم وایکان [۱۱].....
۲۰.....	۱.۳.۲ تجهیزات و سخت‌افزار.....
۲۲.....	۲.۳.۲ نرم‌افزار نکسوس.....
۲۵.....	۳ مرور ادبیات.....
۲۵.....	۳.۱ آنالیز گیت و توانبخشی و فیزیکیال تراپی.....
۲۶.....	۲.۳ آنالیز گیت بیماران سی‌بی در دانشگاه سالفورد منچستر.....
۳۰.....	۳.۳ کاربرد کلینیکال آنالیز گیت در آرتروپلاستی هیپ.....
۳۰.....	۳.۴ آنالیز گیت بیماران پارکینسون.....
۳۲.....	۳.۵ نتیجه‌گیری.....
۳۳.....	۴ روش تحقیق.....
۳۳.....	۴.۱ انتخاب بیمار.....

۳۴	۲.۴ داده‌برداری تجربی
۳۶	۱.۲.۴ داده‌برداری گیت
۳۶	کالیبراسیون آزمایشگاه
۳۶	نصب مارکرها
۳۷	ثبت داده‌های حرکتی
۳۷	۲.۲.۴ داده‌برداری آنترپومتری
۳۸	۳.۴ تکرارپذیری نتایج
۳۸	۴.۴ بازسازی گیت
۳۹	۵.۴ تحلیل سینماتیک معکوس گیت
۳۹	۶.۴ استخراج داده‌ها و رسم نمودارها
۴۱	۷.۴ یافتن معیار نرمال برای مقایسه
۴۶	۵ نتایج و نمودارها
۴۶	۱.۵ نتایج نمونه نرمال
۴۶	۱.۱.۵ داده‌های سینماتیکی فرد نرمال
۴۹	۲.۱.۵ داده‌های سینتیک فرد نرمال
۵۴	۲.۵ نتایج بیمار
۵۹	۶ بحث و نتیجه‌گیری
۵۹	۱.۶ سینماتیک راه‌رفتن افراد نرمال
۶۰	۲.۶ بحث و نتیجه‌گیری نهایی
۶۱	۳.۶ پیشنهادات برای ادامه کار
۶۲	منابع و مراجع

صفحه	فهرست جداول
۳۷	جدول ۱.۴ داده‌های آنتروپومتری فرد سالم.....
۳۸	جدول ۲.۴ داده‌های آنتروپومتری بیمار.....
۴۰	جدول ۳.۴ تعاریف و اصطلاحات زوایای چرخشی اندامها در خروجیهای نکسوس.....

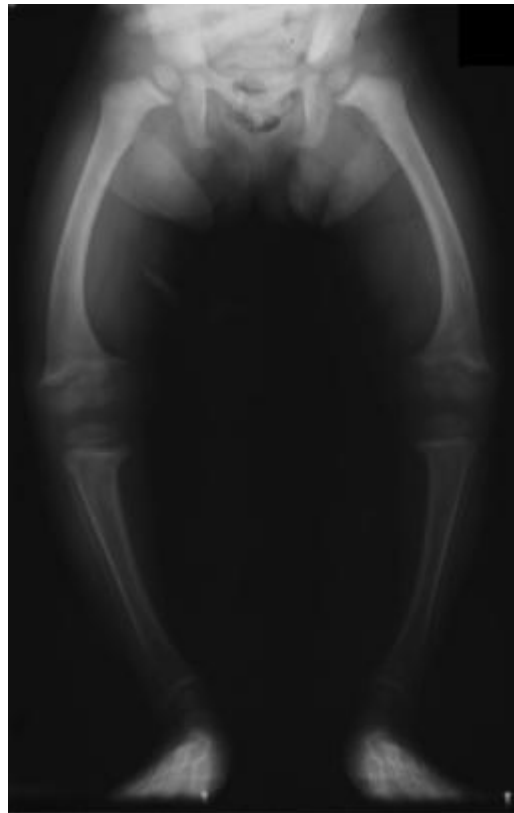
۱ مقدمه

۱.۱ اهمیت پژوهش

پای پرانتزی (Genu Varum) : در حالت طبیعی ایستاده با زانوهای صاف، زمانی که قوزک‌ها کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، نباید فاصله چندانی بین زانوها وجود داشته باشد. اگر به هر دلیلی فاصله بین زانوها افزایش یابد، درحالی که قوزک‌ها به هم چسبیده‌اند پای پرانتزی (ژنوواروم) نامیده می‌شود. به علت کمانی شدن پاها در این بیماری اصطلاح پای پرانتزی به کار می‌رود. در حالت پرانتزی شدن ساق پاها به سمت داخل انحراف می‌یابد.

عواملی که باعث پای پرانتزی یا ژنوواروم می‌گردند عبارتند از:

- عدم هماهنگی در صفحه رشد (در کودکان)
- بیماری‌هایی که باعث کاهش ماده معدنی استخوان می‌شوند (مثلاً بیماری راشیتیزم و استئومالاسی)
- به دنبال ضربات وارده (به‌ویژه به صفحه رشد)
- آرتروز (استئوآرتروز)
- پارگی رباط‌های زانو
- شکستگی‌های انتهایی استخوان ران که منجر به بد جوش خوردن شده‌اند
- شکستگی قسمت فوقانی استخوان درشت‌نی (به علت بد جوش خوردن)
- بیماری پاژه
- آرتروز روماتوئید



شکل ۱.۱ Anteroposterior (AP) view of the legs in a two year old child with rickets

پرانتری شکل شدن پاها در اطفالی که تازه شروع به «راه رفتن» کرده‌اند معمولاً خودبه‌خود اصلاح می‌شود. به این نوع از پرانتری شدن زانوها، اصطلاح فیزیولوژیک بودن به کار می‌رود. این وضعیت معمولاً تا هیجده ماهگی برطرف می‌شود و بنابراین نیاز به درمان خاصی ندارد. عقیده بر این است که چنین وضعیتی (پرانتری شدن فیزیولوژیک) در کودکانی که زودتر از حالت طبیعی راه می‌افتند شایع تر است. درجات خفیف پرانتری شدن در اطفال شایع است. این نوع تغییر به درمان نیازی ندارد. البته اگر تغییر شکل ایجادشده تا پایان دوران کودکی اصلاح نشده باشد نیاز به درمان دارد. برای درمان روش‌های زیر وجود دارد :

- تجویز کفش طبی برای کودکان
- تجویز کفش طبی و بریس برای کودکان (در موارد شدیدتر نسبت به بالا)

- انجام جراحی. در کودکان در موارد شدید و زمانی که روش‌های فوق پاسخ ندهد انجام می‌شود.
 - عمل جراحی. پس از بسته شدن صفحه رشد به‌خصوص در موارد شدید در بزرگسالان معمولاً جراحی انجام می‌شود. پس از بسته شدن صفحه رشد استئوتومی انجام می‌گیرد.
- در صورت عدم درمان پای پیرانتزی با افزایش سن احتمال آسیب مفصل زانو که منجر به آرتروز زانو می‌شود تشدید می‌گردد؛ بنابراین در مواردی که به علت ژنوواروم شدید، آرتروز زانو ایجاد شده است احتمال انجام تعویض مفصل زانو (آرتروپلاستی) مطرح می‌شود.
- از آنجایی که روش درمان مشخص و روتینی برای این بیماری وجود ندارد، پزشکان معالج در درمان معمولاً با سه مشکل روبرو هستند: ۱- شدت مشکل بیمار و روند آن در طی زمان، ۲- انتخاب روش مناسب درمان، ۳- ارزیابی میزان موفقیت درمان. آنالیز گیت و بررسی پارامترهای سینماتیکی حرکت مختص به این بیماری و تشخیص اینکه اثرات این بیماری به‌صورت خاص در کدام پارامترها منعکس می‌شوند، کمک شایانی به حل این مشکل‌ها می‌کند. یافته‌های این پژوهش با ادغام با مدل‌سازی اسکلتی-عضلانی می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر نتیجه‌ی عمل‌های جراحی منجر شود.

۲.۱ اهداف پژوهش

بدشکلی پیرانتزی یکی از ناهنجاری‌های شایع ارتوپدی، بخصوص در ورزشکاران، است که می‌تواند به دلیل بارگذاری نامتقارن زانو و ایجاد تمرکز تنش در درازمدت به بروز آسیب‌های مفصلی و آرتروز منجر گردد. تشخیص شدت این ناهنجاری و روند تغییرات آن در زمان از علایق جراحان ارتوپد برای تصمیم‌گیری صحیح در مورد فرآیند درمان محسوب می‌شود. روش متداول اندازه‌گیری شدت پیرانتزی مبتنی بر رادیوگرافی پزشکی است که تنها برای حالت ایستاده ساکن قابل استفاده است. از سوی دیگر این روش به دلیل تصویربرداری دوبعدی فاقد دقت کافی است و بیمار را در معرض تشعشعات مضر قرار می‌دهد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که می‌توان با تحلیل دینامیک گیت اثرات نیرویی پیرانتزی را به‌صورت ایجاد گشتاورهای Abduction-Adduction اضافی در زانوی بیماران شناسایی کرد.

تجزیه و تحلیل راه رفتن یا آنالیز گیت^۱، مطالعه دقیق جزئیات راه رفتن و مکان دقیق اندامها در طول زمان است. در ارزیابی بیومکانیکی، با استفاده از نقاط شاخص^۲، حرکت اندامها، تنه و نحوه عملکرد عضلات در هنگام راه رفتن ثبت می شود. داده های حاصل از این روش بسیار دقیق هستند و می توانند مبنای اندازه گیری های دقیق و علمی باشند که در عملکرد ورزشکاران و تحقیقات علمی بسیار مهم و پرکاربرد هستند. هدف مطالعه حاضر، بررسی گشتاورهای مفصل زانو در فرد پاپرانتزی و مقایسه آن با فرد نرمال می باشد.

Gait Analysis^۱

Landmarks^۲

۲ مفاهیم پایه

۱.۲ انحراف پیچشی اندام تحتانی

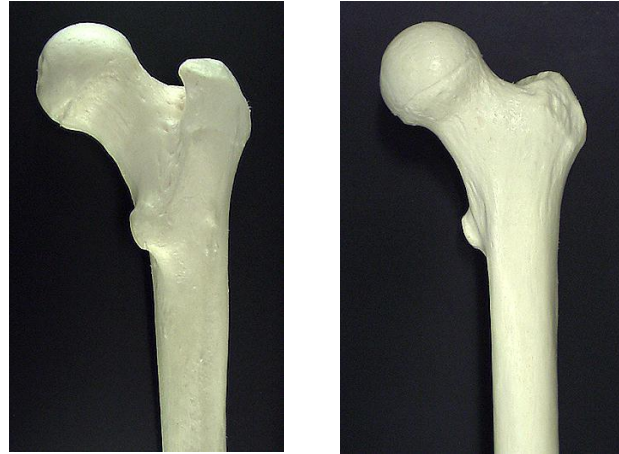
۱.۱.۲ آناتومی استخوان‌های فمور و تیبیا

ران قسمتی از اندام تحتانی است که بین لگن و زانو قرار گرفته است. این قسمت از اندام تحتانی حاوی یک استخوان بلند در مرکز خود است که به آن استخوان ران یا فمور می‌گویند. این استخوان بسیار قوی و محکم بوده و در بالا در تشکیل مفصل ران و در پایین در تشکیل مفصل زانو شرکت می‌کند. استخوان فمور بزرگ‌ترین و بلندترین استخوان بدن است. طول استخوان ران یک انسان بالغ حدوداً نیم متر و قطر آن در وسط حدود یک اینچ است. این استخوان توانایی تحمل ۳۰ برابر وزن انسان را دارد. استخوان ران سه قسمت دارد.



شکل ۱.۲ تصویر سمت راست، نمای پشتی استخوان فمور. تصویر سمت چپ، نمای جلویی استخوان فمور

قسمت بالا یا پروکسیمال^۳ استخوان ران شامل سر استخوان ران، تروکانتر بزرگ^۴ و تروکانتر کوچک^۵ است. سر استخوان ران در تشکیل مفصل ران شرکت می‌کند.



شکل ۲.۲ تصویر سمت راست، نمای جلویی پروکسیمال فمور. تصویر سمت چپ، نمای پشتی پروکسیمال فمور

قسمت وسط یا شفت^۶ استخوان ران به صورت سیلندری و لوله‌ای است. قسمت پایین یا دیستال^۷ استخوان ران که به صورت دو نیمکره داخلی و خارجی به نام‌های کندایلهای ران است و در تشکیل مفصل زانو شرکت می‌کند [۱].

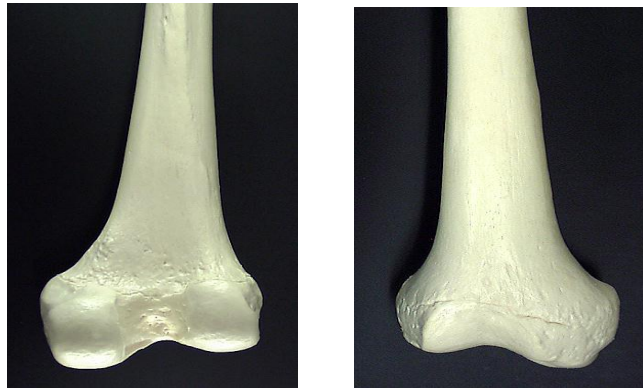
Proximal^۳

Greater Trochanter^۴

Lesser Trochanter^۵

Shaft^۶

Distal^۷



شکل ۳.۲ تصویر سمت راست، نمای جلویی دیستال فمور. تصویر سمت چپ، نمای پشتی دیستال فمور

استخوان درشتنی یا تیبیا بعد از استخوان ران بزرگ‌ترین استخوان بدن است. این استخوان در بالا با ران، در پایین با استخوان تالوس و در خارج با فیبولا مفصل می‌شود. شکل استخوان تیبیا مانند یک ساعت شنی است. در بالا عرض و حجم آن زیاد است. به پایین که می‌آید نازک‌تر می‌شود و دوباره به انتهای پایینی که می‌رسد مجدداً عرض آن زیاد می‌شود، البته نه به اندازه‌ی بالا [۲].



شکل ۴.۲ استخوان تیبیا

۲.۱.۲ روش اندازه‌گیری پیچش استخوان فمور

برای تعیین میزان پیچش استخوان از هندسه‌ی نشان داده‌شده در شکل ۲-۵ استفاده می‌شود، که در این شکل:

H: مرکز سر استخوان فمور

O: مرکز بخش گردنی استخوان فمور

P: محل اتصال لیگامان صلیبی پشتی

MC و LC: پشتی‌ترین نقطه سر استخوان فمور

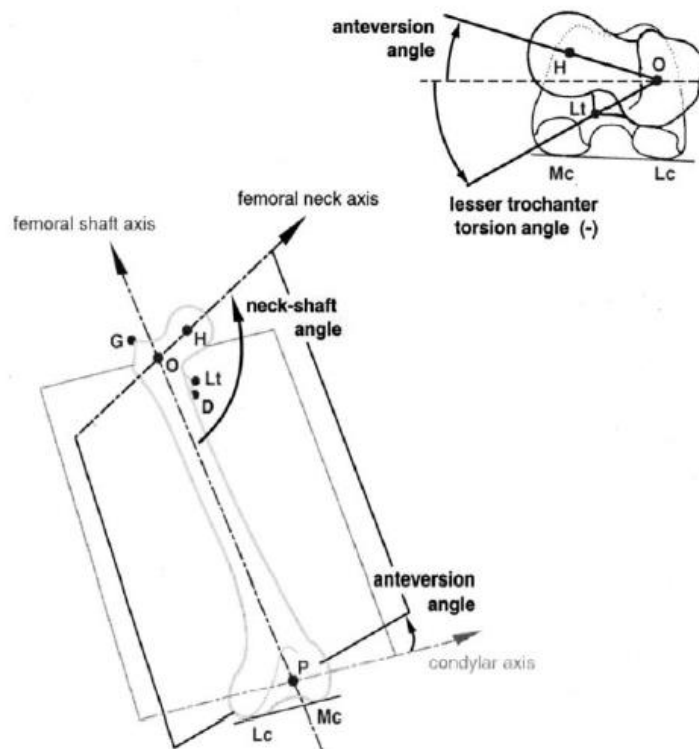
محور کندایلار: محوری به موازات خط واصل LC و MC که از نقطه P عبور می‌کند

محور گردنی فمور: برداری که از نقطه O و H عبور می‌کند

محور شفت فمور: برداری که از نقطه O و P عبور می‌کند

به صفحه‌ی متشکل از بردارهای گردنی فمور و شفت فمور صفحه‌ی گردنی فمور و به صفحه‌ی متشکل از محور کندایلار و نقطه P صفحه‌ی کندایلار گفته می‌شود.

زاویه‌ی بین این دو صفحه را "آنتی ورژن فمور" می‌گویند [۴].



شکل ۵.۲ تعیین میزان پیچش استخوان فمور

برای اندازه‌گیری میزان آنتی‌ورژن استخوان فمور از دو روش استفاده می‌شود.

معاینه کلینیکی

محور جلویی کندایل مرجع قابل‌اعتمادی برای اندازه‌گیری پیچش خالص فمور می‌باشد، اما در معاینات کلینیکی که این نقطه قابل‌دسترسی نیست صفحه‌ی ماهیچه‌ی پیریفورمیس^۱ فوق کندایلا زانو جایگزینی مناسب می‌باشد [۴]. همان‌گونه که در شکل ۲-۶ ملاحظه می‌شود، بیمار در وضعیت معینی قرار گرفته و پاهای خود را در دو حالت مختلف قرار می‌دهد و پزشک میزان آنتی‌ورژن را اندازه‌گیری می‌کند [۵].

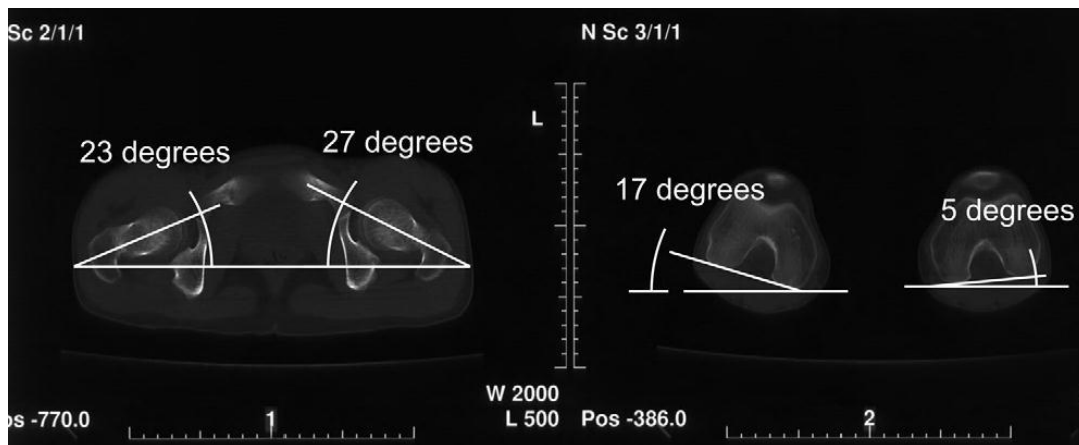
^۱ Piriformis



شکل ۶.۲ اندازه‌گیری آنتی‌ورژن فمور از طریق معاینات کلینیکی

تصویربرداری

در نمونه‌های واقعی برای اندازه‌گیری پیچش فمور از تصاویر CT یا MR استفاده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل ۷-۲ نشان داده شده است [۶].



شکل ۷.۲ تصویر سمت چپ مربوط به صفحه‌ی ترنسورس گذرنده از بخش پروکسیمال فمور و تصویر سمت راست مربوط به صفحه‌ی ترنسورس گذرنده از بخش دیستال فمور

در شکل ۲-۷ برای پای چپ در قسمت دیستال فمور ۲۳ درجه پیچش به خارج و در قسمت پروکسیمال فمور ۱۷ درجه‌ی پیچش به داخل داریم. بنابراین فمور چپ به‌اندازه‌ی ۴۰ درجه دچار پیچش شده است. به همین ترتیب پای راست نیز به میزان ۳۲ درجه دچار پیچش گردیده است [۷].

۲.۲ آنالیز حرکت

۱.۲.۲ گیت و اختلالات گیت

گیت همان الگوی راه رفتن و حرکت اندام موجودات زنده از جمله انسان‌هاست در طی حرکت بر یک سطح و بستر جامد. اختلال در گیت نیز انحراف از راه رفتن نرمال است. تماشای راه رفتن بیمار مهم‌ترین بخش یک معاینه عصبی است. راه رفتن عادی مستلزم آن است که بسیاری از سیستم‌ها، از جمله قدرت، حس و هماهنگی در یک روند یکپارچه عمل کنند. بسیاری از مشکلات شایع در سیستم عصبی و سیستم عضلانی در راه رفتن شخص نمایان می‌شوند. [۸]

۲.۲.۲ آنالیز گیت

تجزیه و تحلیل راه رفتن یا آنالیز گیت^۹، مطالعه دقیق جزئیات راه رفتن و مکان دقیق اندام‌ها در طول زمان است. در ارزیابی بیومکانیکی، با استفاده از نقاط شاخص^{۱۰}، حرکت اندام‌ها، تنه و نحوه عملکرد عضلات در هنگام راه رفتن ثبت می‌شود. داده‌های حاصل از این روش بسیار دقیق هستند و می‌توانند مبنای اندازه‌گیری‌های دقیق و علمی باشند که در عملکرد ورزشکاران و تحقیقات علمی بسیار مهم و پرکاربرد هستند.

ممکن است حرکات و انحرافات بدن آن‌قدر سریع اتفاق بیفتند که با چشم غیرمسلح نتوان آن‌ها را تشخیص داد. از طرف دیگر ممکن است انحرافات آن‌قدر ظریف و جزئی باشند که از دید ناظر پنهان شوند. تجزیه و تحلیل راه رفتن و عملکرد انسان^{۱۱} می‌تواند در زمان معاینه و ارزیابی چنین مواردی را مشخص کند.

^۹ Gait Analysis

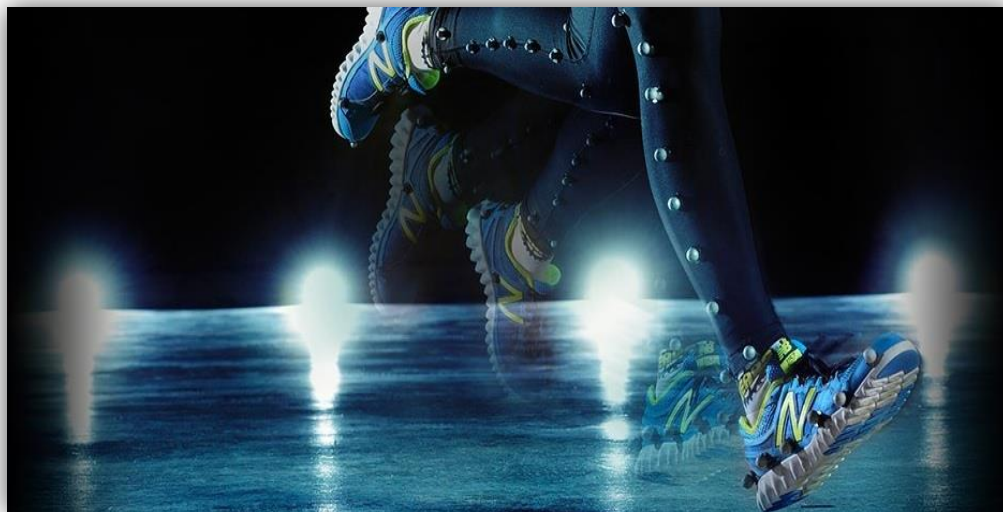
^{۱۰} Landmarks

^{۱۱} Human Performance

با استفاده از این روش می‌توان منشأ مشکلات بیومکانیکی در راه رفتن و انجام حرکتهای مختلف را به دقت شناسایی کرد، زیرا که نقش مهمی در تشخیص و درمان بیماری‌های عصبی و اسکلتی-عضلانی مانند فلج مغزی^{۱۲}، دیستروفی عضلانی، آرتروز و ضایعات مغزی دارد.

با توجه به اینکه سرعت، دقت، مصرف انرژی و پیشگیری از ایجاد آسیب مهم‌ترین فاکتورهای عملکرد در ورزشکاران حرفه‌ای می‌باشد، کاربرد دیگر تجزیه و تحلیل حرکات در ارزیابی عملکرد ورزشکاران و اصلاح الگوهای حرکتی است.

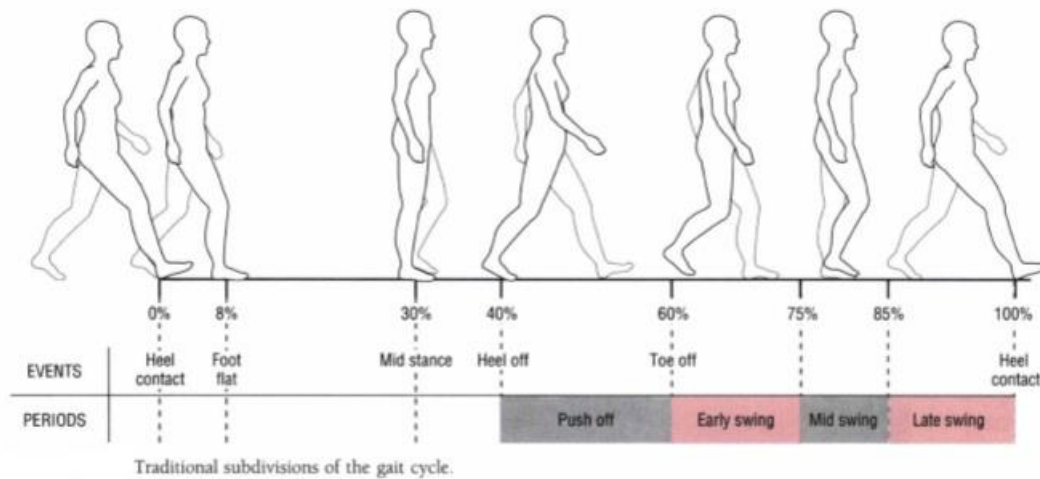
آنالیز راه رفتن و عملکرد، همچنین برای انتخاب بهترین گزینه درمان و بررسی تأثیر درمان به کار گرفته می‌شود. پروتکل‌های خاص برای ارزیابی تخصصی کودکان، بزرگسالان و ورزشکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از تجهیزات ارزیابی حرکات، موجب تشخیص دقیق‌تر، درمان موفق‌تر، و کاهش هزینه‌های رفت‌وآمد به منظور تشخیص مشکل و همچنین اصلاح وسایل طبی و توان بخشی بیمار خواهد شد.



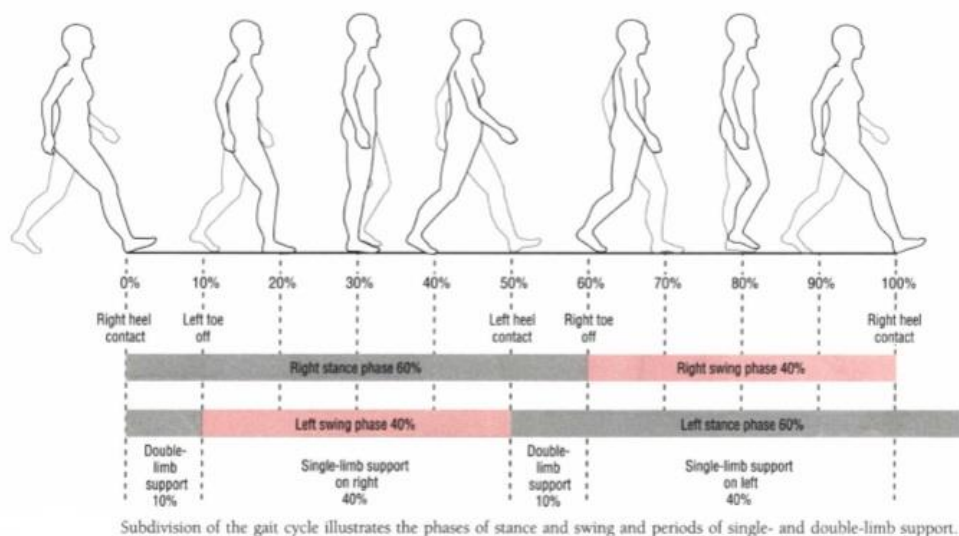
شکل ۸.۲ تصویربرداری از تست گیت و مارکرها در آنالیز عملکرد ورزشکاران [۱۰]

۲.۲.۲ گیت نرمال

مراحل یک الگوی گیت نرمال مطابق شکل‌های زیر است: [۹]

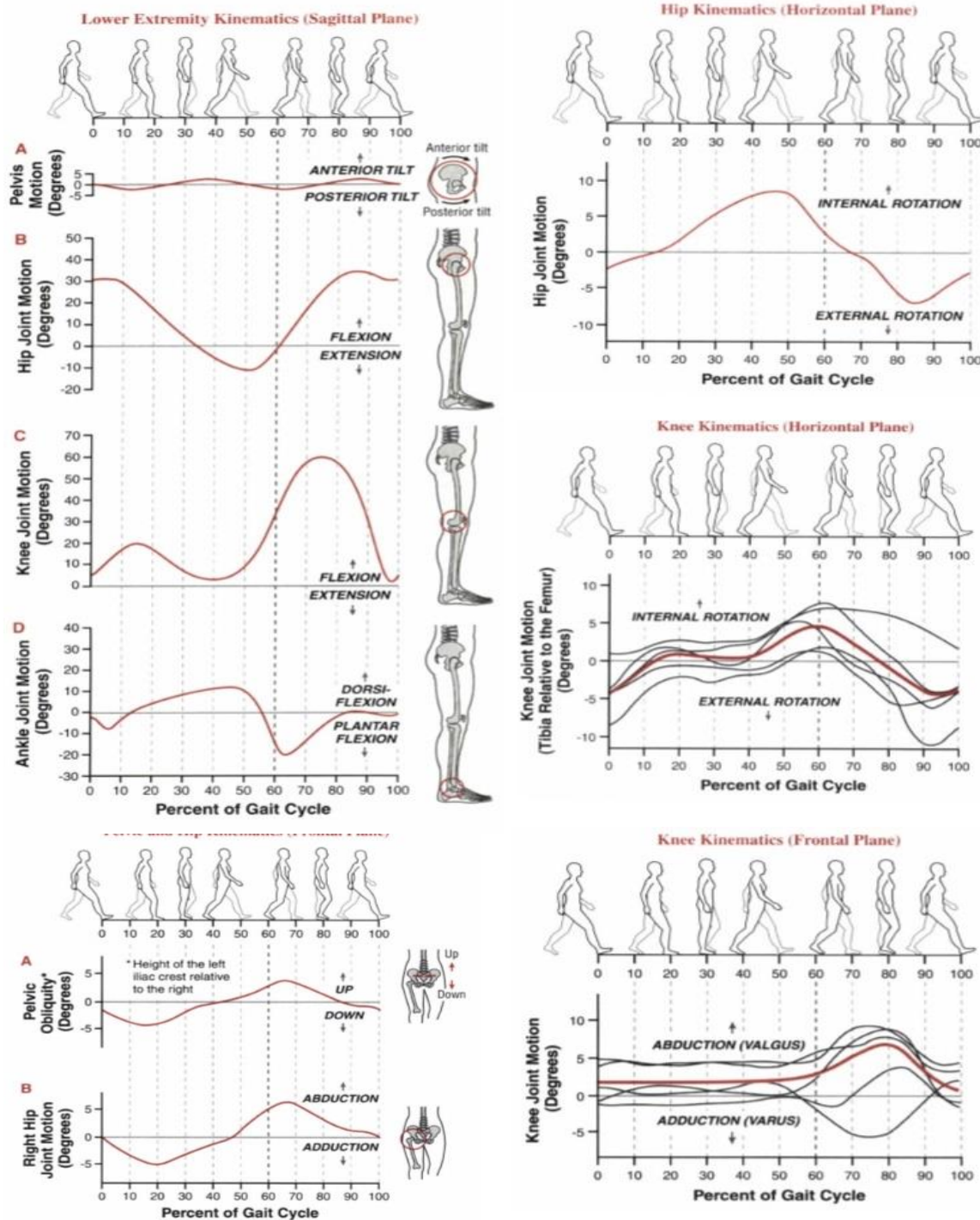


شکل ۹.۲ تصویر شماتیک مراحل سیکل گیت



شکل ۱۰.۲ فازهای مختلف در طی یک سیکل گیت

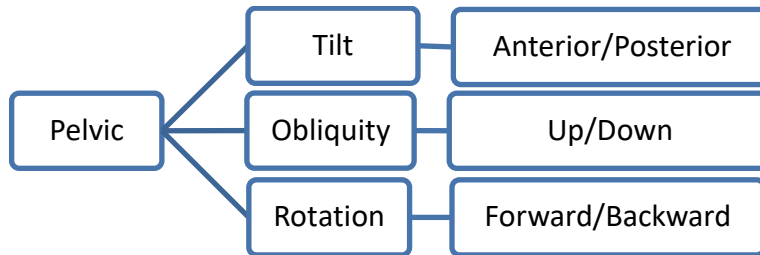
با کمک تست گیت می‌توان داده‌های سینماتیکی راه رفتن فرد از جمله تمامی زاویه‌های حرکتی اندام تحتانی را در صفحات اصلی فرانتال، ساجیتال و ترنسورس به دست آورد و مطابق زیر با رسم نمودارهای این زوایا در یک سیکل گیت انحراف آن‌ها را از حالت نرمال مشاهده کرد:



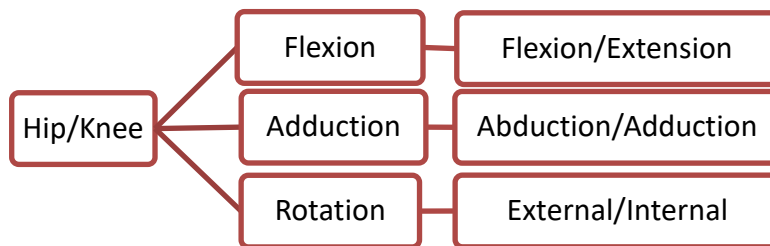
شکل ۱۱.۲ نمودارهای موقعیت‌ها و زوایای حرکتی مختلف در طی یک سیکل گیت

۴.۲.۲ تعاریف و اصطلاحات

در آنالیز گیت بیمار، نمودارهای زوایای چرخش هر عضو بررسی می‌شود که به‌طور کلی زوایای دوران اندام‌های تحتانی در راه رفتن مطابق زیر تعریف می‌شوند:



شکل ۱۲.۲ اصطلاحات کاربردی برای زوایای حرکتی لگن



شکل ۱۳.۲ اصطلاحات کاربردی برای زوایای حرکتی هیپ/زانو

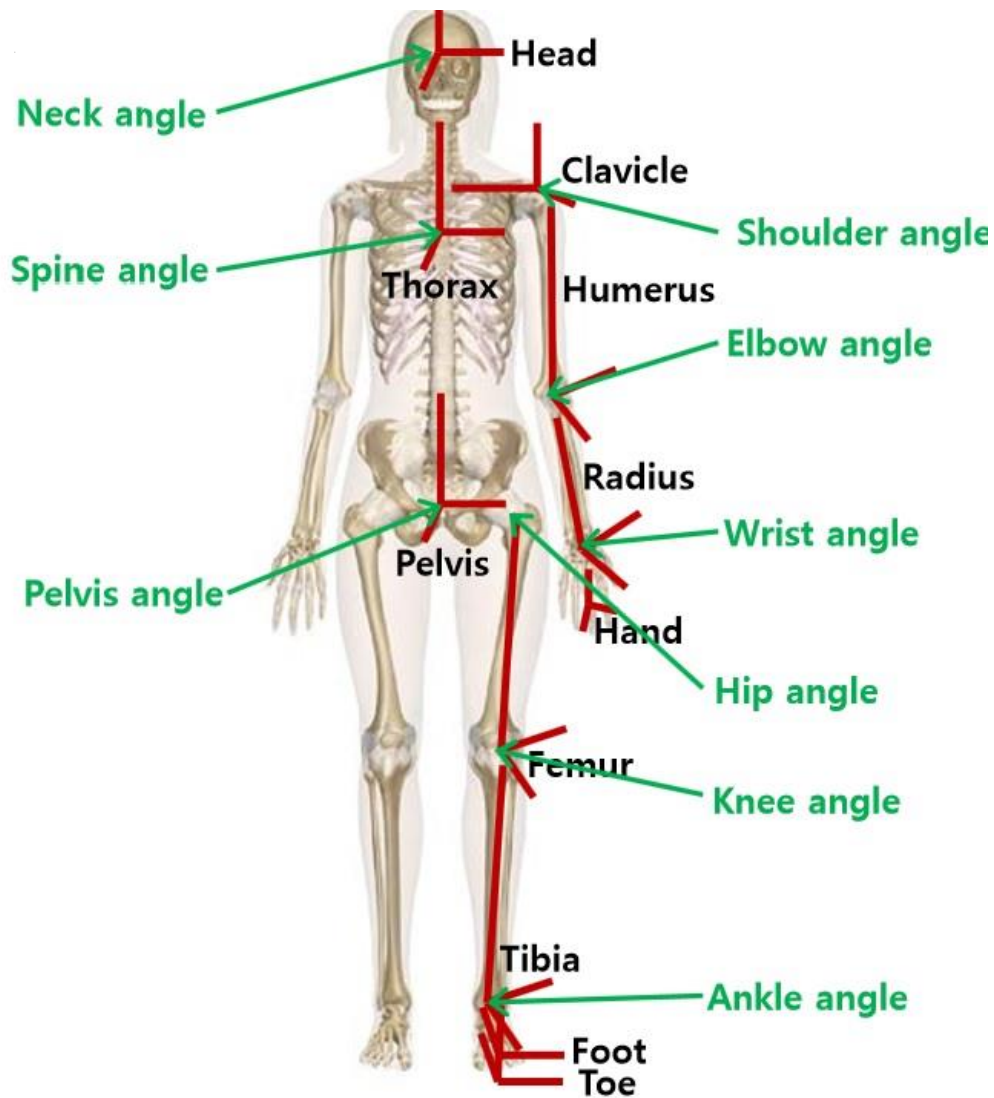


شکل ۱۴.۲ اصطلاحات کاربردی برای زاویه حرکتی پا



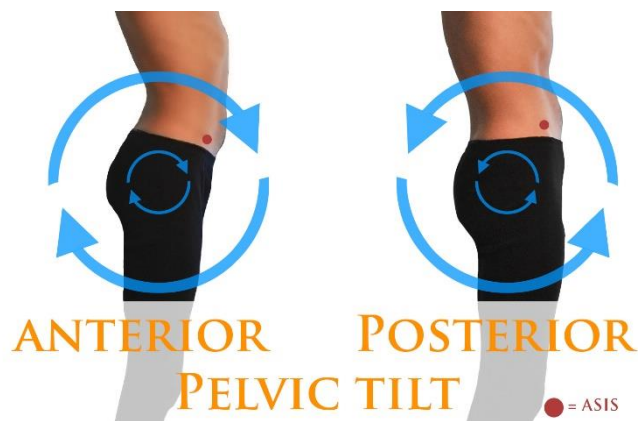
شکل ۱۵.۲ اصطلاحات کاربردی برای زاویه حرکتی مچ پا

محورهای چرخش هر عضو مطابق استاندارد مانند زیر است:

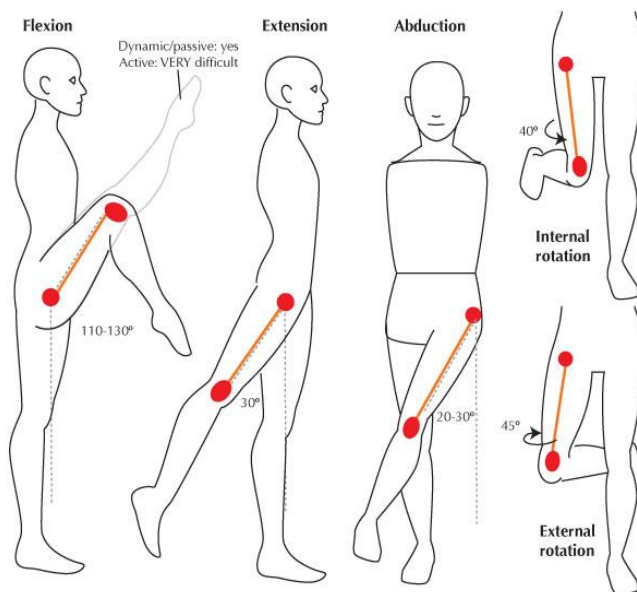


شکل ۱۶.۲ دستگاه‌های استاندارد تعریف شده برای زوایای حرکتی اندام‌ها

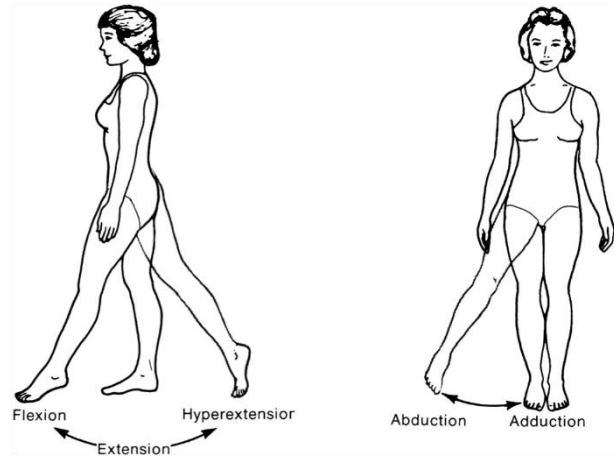
نمونه‌هایی از اصطلاحاتی که در رسم نمودارها و آنالیز آن‌ها استفاده شده است به اختصار در تصاویر زیر آورده شده است:



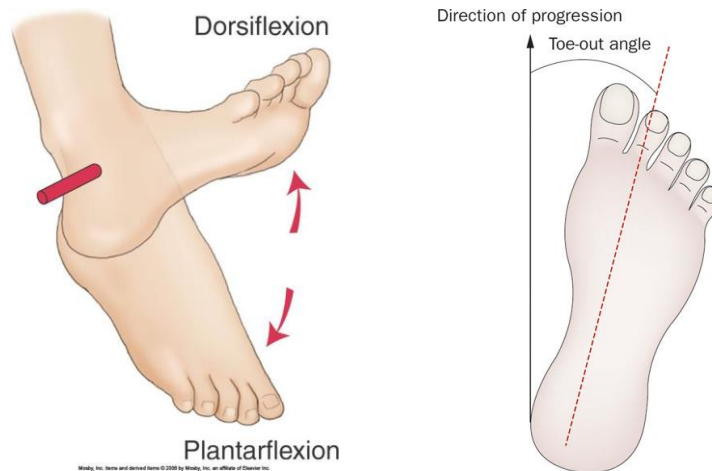
شکل ۱۷.۲ چرخش لگن به سمت جلو و عقب



شکل ۱۸.۲ درجات آزادی و زوایای حرکتی هیپ



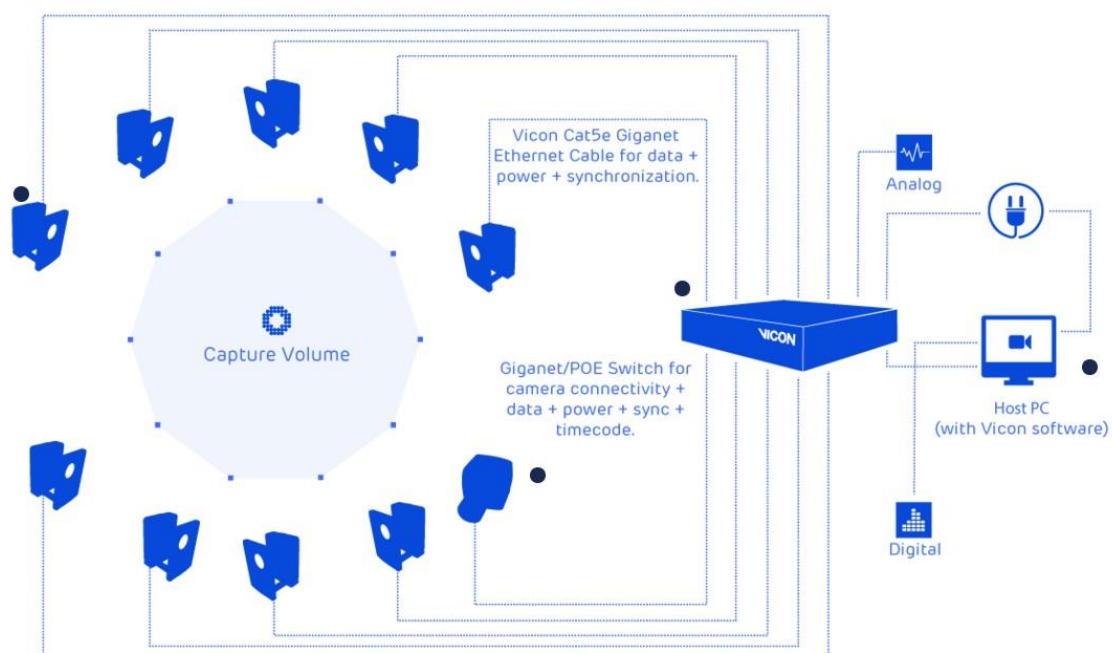
شکل ۱۹.۲ درجات آزادی و زوایای حرکتی هیپ



شکل ۲۰.۲ درجات آزادی و زوایای حرکتی پا

۳.۲ معرفی سیستم وایکان^{۱۳} [۱۱]

یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های ضبط حرکت^{۱۴} موجود در بازار سیستم وایکان است که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم آنالیز حرکت مورد استفاده این پژوهش در مرکز تحقیقات فناوری‌های توان‌بخشی عصبی هوشمند جواد موفقیان شامل شش دوربین از سیستم وایکان، دو صفحه نیروی Kistler و سیستم الکترومایوگرافی Myon با شش الکتروود بدون سیم است. این سیستم برای جمع‌آوری و آنالیز داده‌های دقیق و مورد اطمینان هر نوع حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجزای این سیستم به صورت شماتیک در زیر آورده شده است:



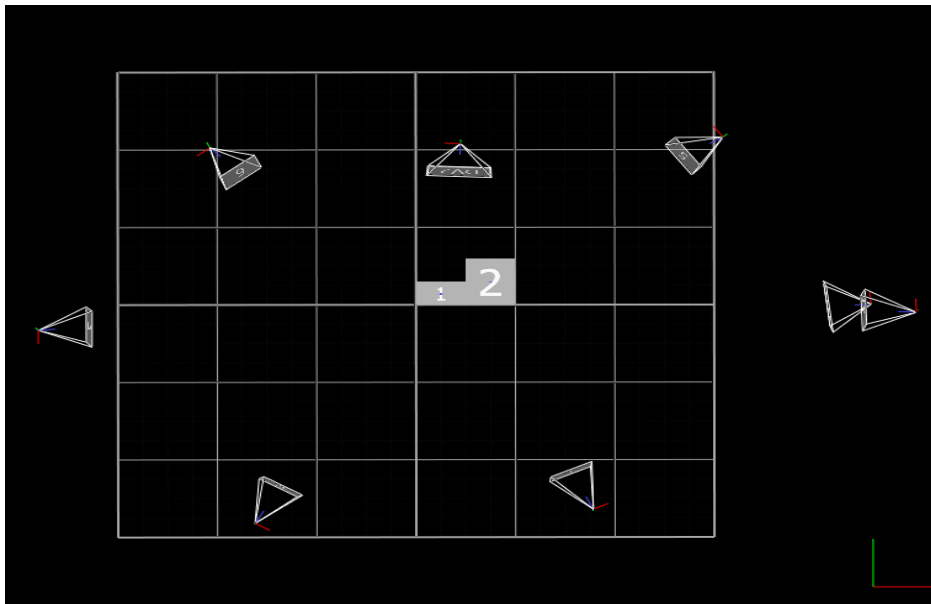
شکل ۲۱.۲ اجزای سیستم آنالیز حرکت وایکان

^{۱۳} Vicon

^{۱۴} Motion Capture

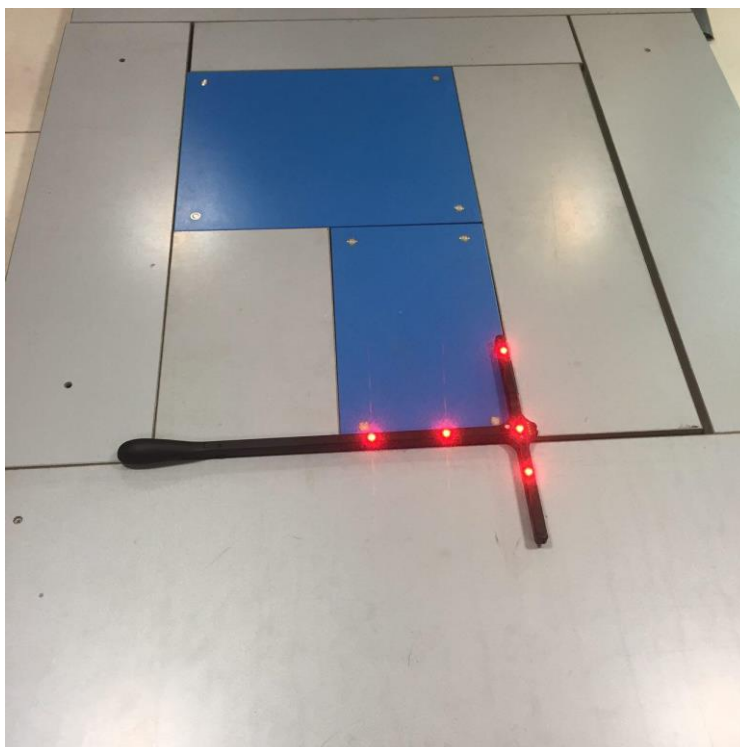
۱.۳.۲ تجهیزات و سخت‌افزار

این سیستم شامل شش دوربین در محیط برای ردیابی و ضبط مکان مارکرهای نصب‌شده بر روی بدن بیمار است. هر چه تعداد دوربین‌ها بیشتر باشد دقت سیستم بالاتر رفته و احتمال میس شدن مکان هر یک از مارکرها در طول حرکت و گام برداشتن فرد کاهش می‌یابد. همچنین دو صفحه نیرو^{۱۵} برای اندازه‌گیری میزان نیروی وارده در حین گام برداشتن و حالت استاتیک و یک سیستم الکترومایوگرافی Myon با شش الکتروود بدون سیم برای ثبت فعالیت عضلات نیز در آزمایشگاه آنالیز گیت



شکل ۲۲.۲ نمای آزمایشگاه گیت مرکز موفقیان از بالا

Force plate^{۱۵}



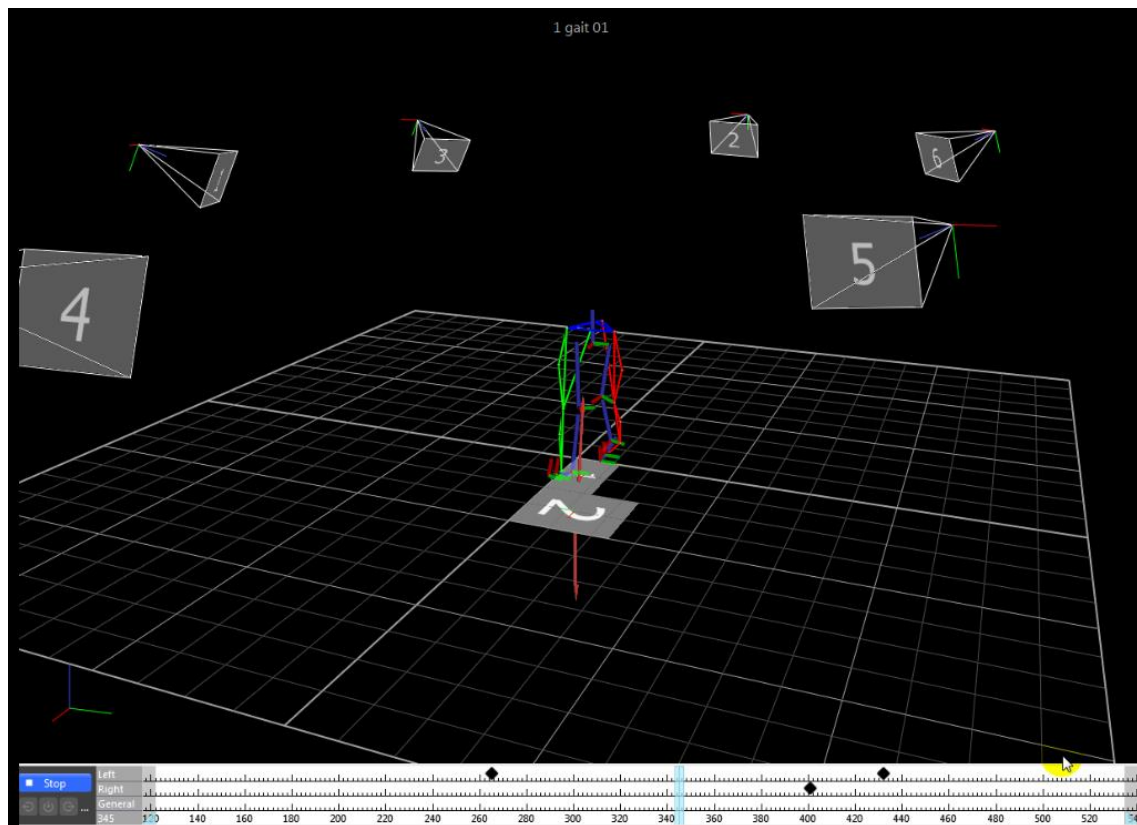
شکل ۲۳.۲ تصویر صفحه‌های نیرو و چوبه‌ی کالیبراسیون در آزمایشگاه گیت مرکز موفقیان



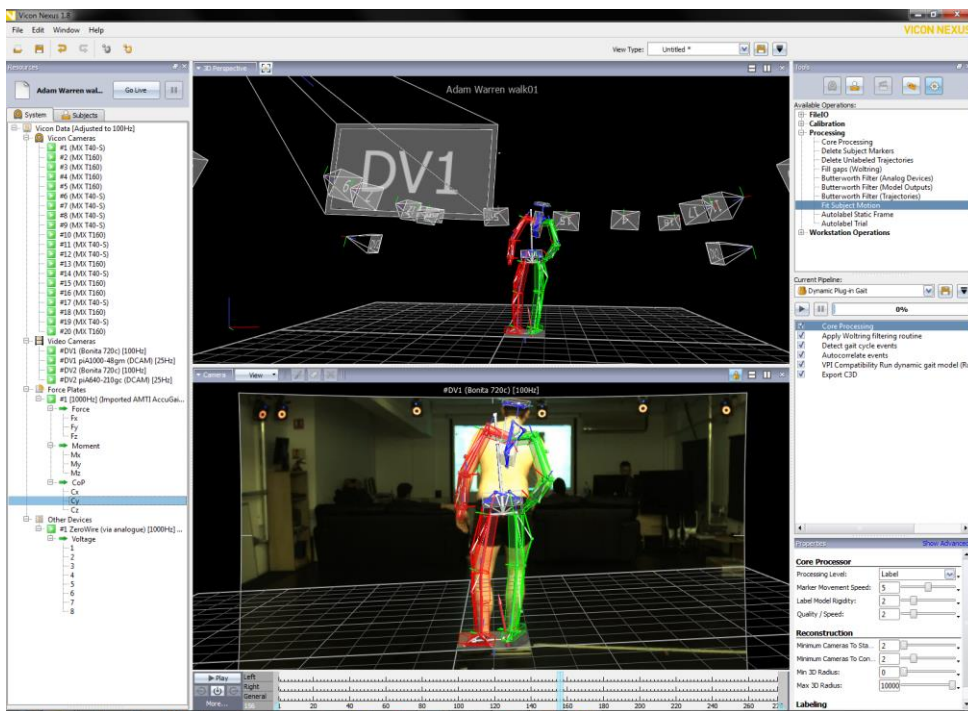
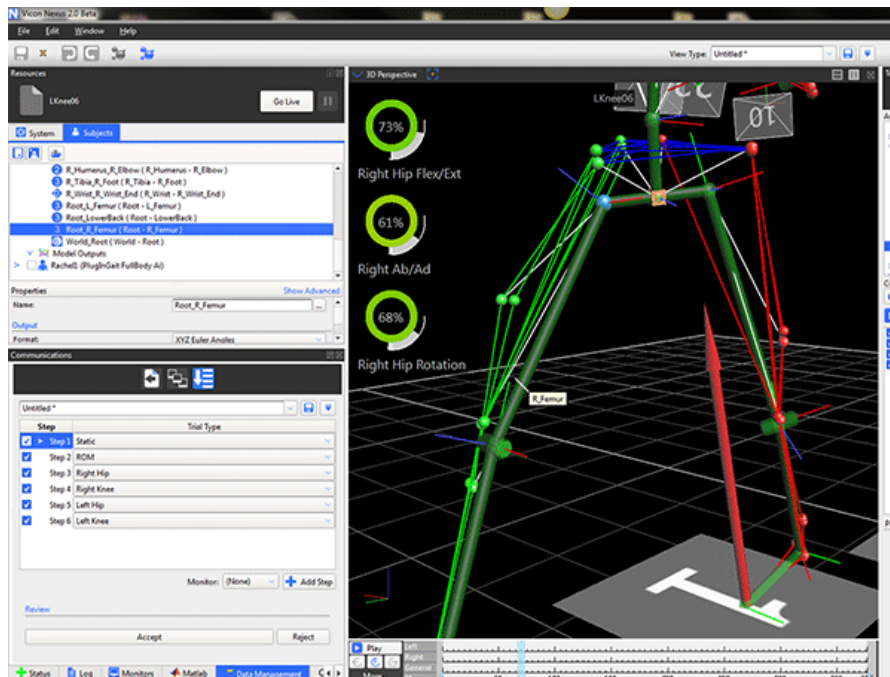
شکل ۲۴.۲ تصویر یکی از دوربین‌های مادون قرمز آزمایشگاه گیت مرکز موفقیان

۲.۳.۲ نرم‌افزار نکسوس^{۱۶}

نرم‌افزار مورد استفاده‌ی سیستم وایکان که داده‌های گرفته‌شده از مارکرها و دوربین‌ها از طریق آن به کامپیوتر منتقل و پردازش می‌شوند، نرم‌افزار نکسوس است که تصاویری از محیط آن در زیر آورده شده است. این نرم‌افزار قابلیت نام‌گذاری مارکرها و مدل‌سازی حرکت بیمار و گرفتن خروجی از داده‌ها به صورت فایل‌های MVC, C3d و ... را دارد که قابل تبدیل به فرمت‌های مختلف برای شبیه‌سازی و آنالیز و استفاده برای تحلیل سینماتیک است.

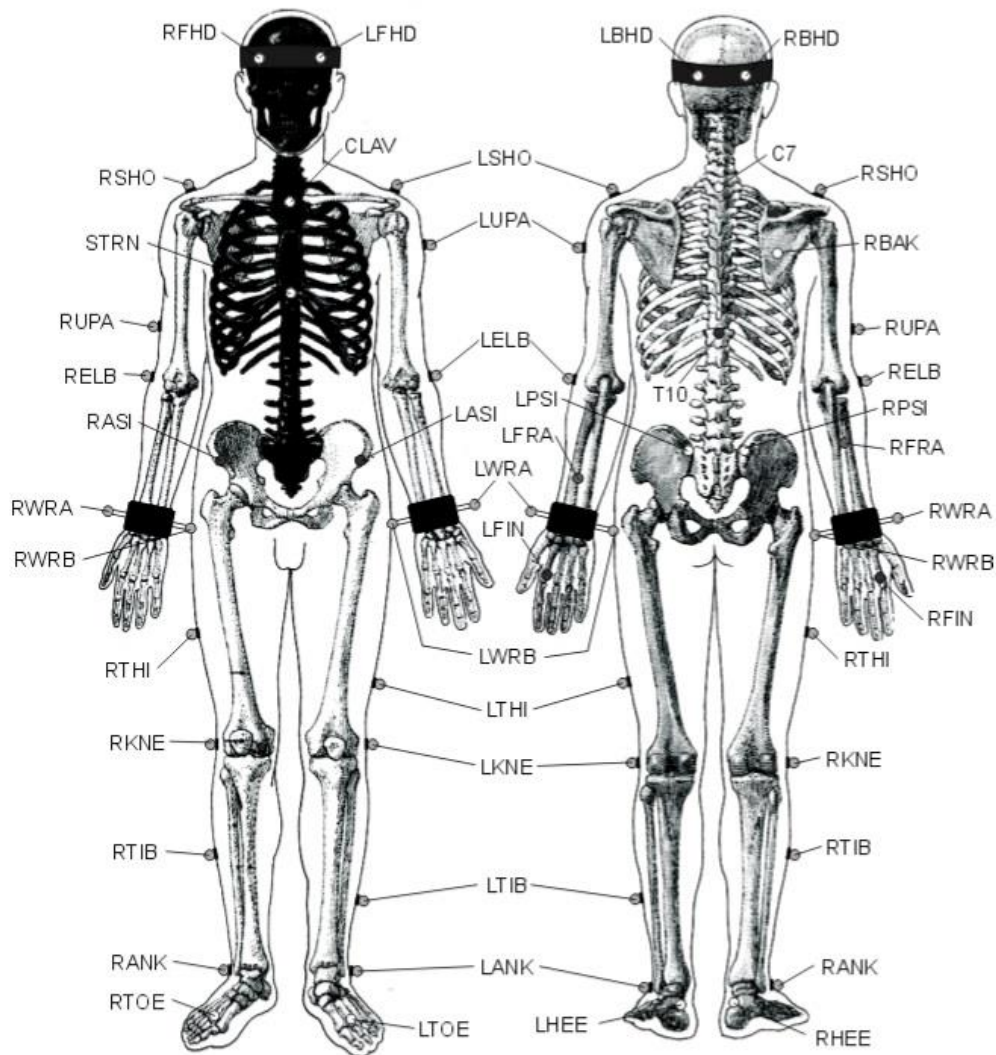


شکل ۲۵.۲ نمایی از محیط نرم‌افزار نکسوس



شکل ۲۶.۲ تصاویری از مدل‌سازی حرکت در نرم‌افزار نکسوس

مارکرگذاری‌ها نیز مطابق استاندارد سیستم وایکان برای اندام تحتانی مانند زیر انجام می‌شود.



شکل ۲۷.۲ استاندارد مارکرگذاری‌ها در نرم‌افزار نکسوس

۳ مرور ادبیات

تاریخچه آنالیز گیت و حرکت حدوداً به قرن ۱۷ میلادی بازمی‌گردد، اما به‌طور خاص، از آن زمان که استفاده از سیستم‌های مدرن کامپیوتری، دوربین‌های پیشرفته و آنالیز و مدل‌سازی‌های سه‌بعدی حرکت در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بالأخص در بیمارستان‌ها رواج پیدا کرد، فعالیت‌های چشم‌گیری در زمینه آنالیز گزارش‌های استاندارد آنالیز گیت انجام شده است. این مطالعات در زمینه بررسی پارامترهای ناهنجاری‌های حرکتی مختلف از جمله فلج مغزی کودکان، واروس و ولگوس^{۱۷}، بیماری پارکینسون^{۱۸} و بسیاری از بیماری‌های عصبی-عضلانی صورت گرفته است. برخی مطالعات و تلاش‌های قبلی در زمینه آنالیز گیت و بررسی سایر بیماری‌ها و ناهنجاری‌های حرکتی در زیر آورده شده‌اند که زیربنای پژوهش در دست و یا به‌نوعی در ارتباط با آن هستند.

۱.۳ آنالیز گیت و توان‌بخشی و فیزیکی‌تراپی^{۱۹}

آنالیز گیت امروزه به‌صورت متداول برای کاربردهای کلینیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد و نقش آن از یک مطالعه و آنالیز حرکتی صرف به کمک برای تصمیم‌گیری در کلینیک‌ها برای توان‌بخشی، جراحی، وسایل و تجهیزات کمکی، ارگونومی و اهداف ورزشی توسعه‌یافته است. دکتر سیستو، مدیر آزمایشگاه آنالیز حرکت و عملکرد انسان در مرکز تحقیقاتی و آموزشی توان‌بخشی پزشکی کسلر^{۲۰}، در طی مقاله‌ای به اهمیت و نحوه استفاده از نتایج آزمایشگاه‌های آنالیز گیت و سیستم‌های ضبط حرکت در توان‌بخشی و فیزیکی‌تراپی می‌پردازد. [۱] وی در مقاله اشاره می‌کند که متخصصان توان‌بخشی و فیزیوتراپ‌ها، علاوه بر دانش شهودی و بصری راه رفتن بیمار، باید به جزییات به‌دست‌آمده از تست‌های گیت که شامل

^{۱۷} Varus/Valgus

^{۱۸} Parkinson's disease

^{۱۹} Physical Therapy

^{۲۰} Dr.Sisto, Director of Human Performance and Motion Analysis Laboratory at the Kessler Medical Rehabilitation Research and Education Corporation

زوایای مفاصل و اندام‌ها، نیروهای عکس‌العملی وارده از طرف زمین به بیمار و الگوهای فعالیت عضلانی می‌شود تسلط داشته باشند و بتوانند نتایج این تکنولوژی را به‌کارگیرند. این مقاله به‌طور خاص در مورد "آنالیز گیت مقداری"^{۲۱} که در فیزیکیال تراپی کاربرد دارد می‌پردازد و در طی آن چگونگی تفسیر و ارزیابی نتایج آنالیز گیت برای توان‌بخشی و فیزیکیال تراپی و همچنین محدودیت‌ها و ظرفیت‌های استفاده آن برای بیماران سکته مغزی، پارکینسون^{۲۲}، تصلب بافت^{۲۳}، ضایعات نخاعی و ارتوپدیک^{۲۴}، قطع عضو و ... را شرح می‌دهد.

۲.۳ آنالیز گیت بیماران سی‌پی در دانشگاه سالفورد منچستر



شکل ۱.۳ آزمایشگاه آنالیز گیت دانشگاه سالفورد منچستر

مدرسه علوم بهداشتی دانشگاه سالفورد منچستر دارای یکی از مجهزترین کلینیک‌های آنالیز گیت است که در راستای ارائه گزارش‌های گیت شامل و جامع گام‌های مهمی برداشته است. [۱۳] این مرکز به سرپرستی پرفسور ریچارد بیکر سعی در ارائه گزارش‌های قابل‌درک از مدل‌های گیت بیماران دارد که البته این گزارش‌ها بیشتر برای کیس‌های کودکان مبتلابه فلج مغزی^{۲۵} انجام می‌گیرد. این گزارشات به‌طور خاص برای بیماران دیگر قابل استناد نیستند، چراکه بیماران سی‌پی از مجموعه‌ای توامان از

^{۲۱} QGA (Quantitative Gait Analysis)

^{۲۲} PD (Parkinson's Disease)

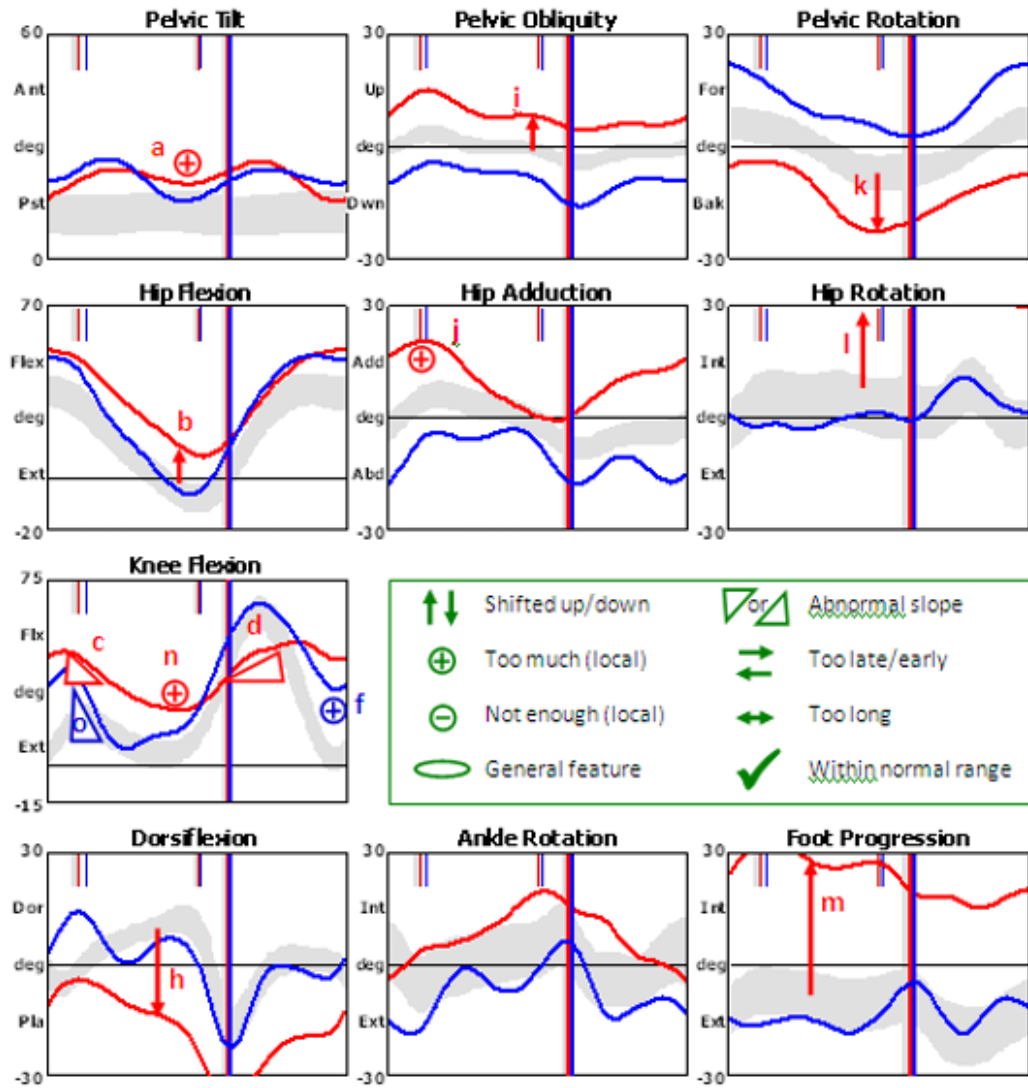
^{۲۳} Multiple Sclerosis

^{۲۴} Spinal and Orthopedic Injuries

^{۲۵} CP (Cerebral Palsy)

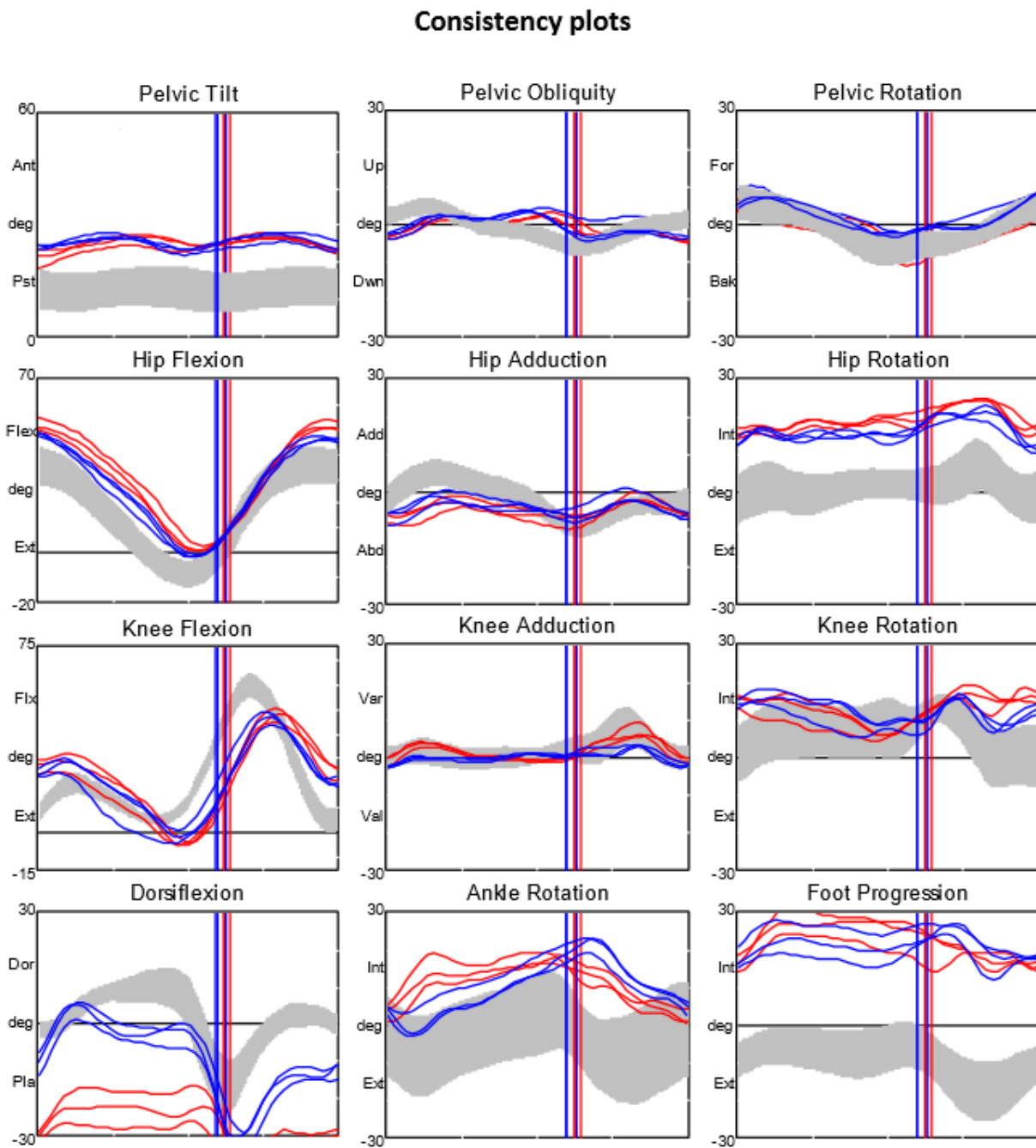
اختلالات عضلانی حرکتی و گاه پیچش اندام‌های تحتانی رنج می‌برند؛ به همین دلیل برای بررسی اختصاصی اثر پیچش و آنتی‌ورژن بر راه رفتن به کار نمی‌آیند. از نمونه نمودارهای حاصل از آزمایشگاه این مرکز در ادامه آورده شده است:

An example of 'marked-up' clinical data



(NOTE: This figure has only some of the features marked to show the symbols. It is not completely marked-up).

شکل ۲.۳ نمونه نمودارهای زوایای حرکتی و آنالیز گیت یک بیمار سی بی



شکل ۳.۳ نمودارهای تکرارپذیری نتایج آنالیز گیت یک بیمار سی پی

۳.۳ کاربرد کلینیکال آنالیز گیت در آرتروپلاستی هیپ^{۲۶}

عمل هیپ آرتروپلاستی یا بازسازی و تعویض مفصل هیپ یکی از موفق‌ترین عمل‌های ارتوپدی به شمار می‌رود که سبب کاهش درد، بازیابی عملکرد مفصل و پیشرفت و بهبود کیفیت زندگی بیماران می‌شود. مانند سایر عمل‌های جراحی، روش‌های متعددی برای ارزیابی درمان پس‌ازاین عمل جراحی وجود دارد که بهینه‌ترین آن‌ها آنالیز گیت است. آنالیز گیت که در دو دهه اخیر با پیشرفت سریع تکنولوژی کامپیوترها رواج پیدا کرده است، بهترین روش برای سنجش سودمندی جایگزینی مفصل هیپ^{۲۷} است. [۱۴] در سال ۲۰۱۰ مقاله‌ای توسط محققان چینی منتشر شد که در آن به بررسی راه‌رفتن، سینماتیک و دینامیک حرکت بیماران و همچنین فعالیت عضله‌هایشان از طریق سیستم‌های آنالیز گیت پرداخته شد تا به صورت کمی عملکرد و پیشرفت بیماران سنجیده شود. در این پژوهش به صورت خاص، انواع مختلف جایگزینی مفصل هیپ، روش‌های جراحی و سایر عوامل تأثیرگذار بر درمان توسط سیستم‌های آنالیز گیت به صورت اختصاصی برای این بیماران مورد مطالعه قرار گرفت.

۴.۳ آنالیز گیت بیماران پارکینسون

در سال ۲۰۱۰ نیز از آنجایی که در زمینه مقایسه سینماتیک حرکت بیماران دچار پارکینسون با بیماران مسن نرمال کمبود احساس می‌شد، عده‌ای از محققان به بررسی داده‌های حاصل از نتایج تست‌های سیستم‌های گیت پرداختند چراکه دقت و اطلاعات کمی لازم از طریق مشاهده و بررسی کلینیکی ممکن نبود. [۱۵] در این بررسی ۱۲ بیمار پارکینسونی و ۱۵ فرد نرمال با شرایط سنی مشابه مورد مطالعه قرار گرفتند. هدف اصلی این پژوهش مقایسه پارامترهای زمانی-مکانی و همچنین سینماتیکی راه‌رفتن این موارد بود. نتایج آنالیز گیت پژوهش نشان‌دهنده تفاوت فاحش میان دو گروه در سرعت و طول گام و زوایای حرکتی مفصل هیپ در فازهای متفاوت حرکت بود که سابقاً در معاینه‌های کلینیکی قابل تشخیص نبودند.

^{۲۶} Hip Arthroplasty

^{۲۷} Hip Replacement



شکل ۴.۳ تصویری از نحوه مارگذاری بیماران پارکینسون

Table 2. Spatiotemporal variables.

Variables	PG	CG
Velocity (m/s)	0.77±0.14	0.59±0.20 ^a
Stride length (m)	1.03±0.13	0.79±0.22 ^a
Cadence (stride/min)	89.87±6.86	87.97±16.75
Cycle time (s)	1.34±0.10	1.41±0.30
Stance time – R (%)	70.48±1.74	71.19±6.18
Stance time – L (%)	65.51±2.76	67.75±5.73

mean±standard deviation; PG: patient group; CG: control group; R: right; L: left; ^aPG ≠ CG; Significance level $p < 0.01$.

شکل ۵.۳ جدولی از نتایج مقایسه پارامترهای زمانی-مکانی حرکت یک گروه کنترل و بیماران پارکینسون

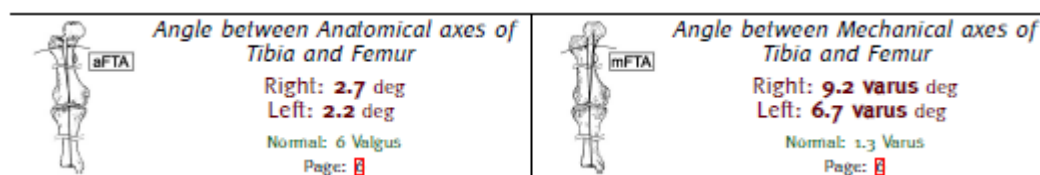
۵.۳ نتیجه‌گیری

آزمایشگاه‌ها و کلینیک‌های گیت فعالیت‌های چشم‌گیری در زمینه^۱ ارائه گزارش‌های آنالیز گیت انجام داده‌اند. همچنین مطالعات گسترده‌ای در زمینه^۲ تشخیص میزان موفقیت درمان‌های بیماری‌ها و ناهنجاری‌های حرکتی مختلف خصوصاً بیماران سی پی صورت گرفته است، اما هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی گشتاورهای مفصل زانو در فرد پاپرانتزی و مقایسه آن با فرد نرمال می‌باشد، که در خصوص آن اطلاعات کمی در ادبیات بیومکانیکی و کلینیکی موجود است. تمامی گزارش‌های گیت به ارائه مشخصات و مؤلفه‌های مختلف راه رفتن بیمار پرداخته‌اند که در عین حال که بسیار مفید هستند، نیاز اصلی پزشک معالج و در مرحله‌های بعد کلینیسین را برای درمان بیمار مبتلا به پاپرانتزی که اطلاع از مشخصه‌هایی از گزارش گیت منحصر به این نوع ناهنجاری است را برطرف نمی‌کنند؛ چراکه بیماری‌هایی نظیر سی پی به جز انحراف پیچشی اندام تحتانی، معمولاً ناشی از سایر عوامل نظیر مشکلات عضلانی نیز هستند. بنابراین در این پژوهش درصدد برآمدیم تا با بررسی اختصاصی گزارش‌ها و نمودارهای گیت بیماران "پاپرانتزی" و گاه به کمک اعمال تغییرات در داده‌برداری‌های تجربی، نمودارهای ممان ابداکتوری مفصل زانو بیمار را بررسی کرده و مواردی را که به‌طور خاص برای این اختلال حرکتی معنا شده و به کمک پزشک معالج برای تشخیص و انتخاب نوع درمان می‌آیند را مشخص کرده و تحلیل و تفسیر مناسبی از نتایج این آنالیز به دست دهیم.

۴ روش تحقیق

۱.۴ انتخاب بیمار

در این مطالعه از یک فرد سالم با مشخصات (Bodymass : ۵۴,۷ kg – Height : ۱۸۲۰ mm) و یک بیمار دچار پاپرانتزی با مشخصات (Angle Bodymass : ۴۹ kg – Height : ۱۷۶۰ mm) between Anatomical axes of Tibia and Femur : Right = ۲,۷ deg , Left = ۲,۲ deg - Angle between Mechanical axes of Tibia and Femur : Right = ۹,۲ deg , Left = ۶,۷ deg) آنالیز گیت به عمل آمد.



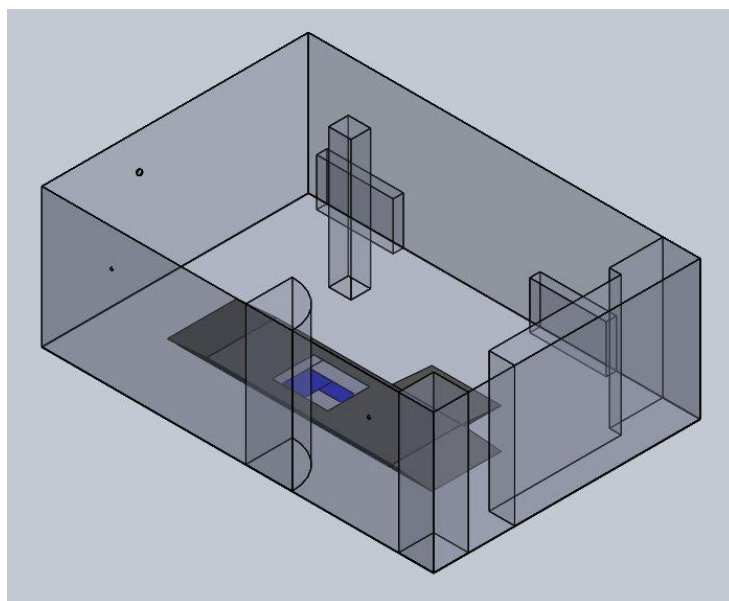
شکل ۱.۴ ۳D Anatomical & Mechanical Alignment Report

پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه شامل نیروهای عکس العمل زمین در راستای عمودی، بازوی گشتاور نیروی عکس العمل زمین نسبت به زانو، و ممان ابداکشن اداکشن مفصل زانو بودند که برای دو فرد مورد آزمایش محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه شدند. نیروهای عکس العمل زمین در راستای عمودی مستقیماً با استفاده از داده‌های صفحه نیرو به دست آمده و نسبت به دوره زمانی سیکل راه رفتن نرمالایز شدند. بازوی گشتاور در مفصل زانو با محاسبه فاصله مدیال-لترال نقطه اثر نیروی عکس العمل زمین و

موقعیت مارکر نصب شده روی مفصل زانو محاسبه گردید. همچنین، ممان ابداکش-ادداکش بر اساس آنالیز دینامیک معکوس توسط نرم افزار نکسوس محاسبه شد.

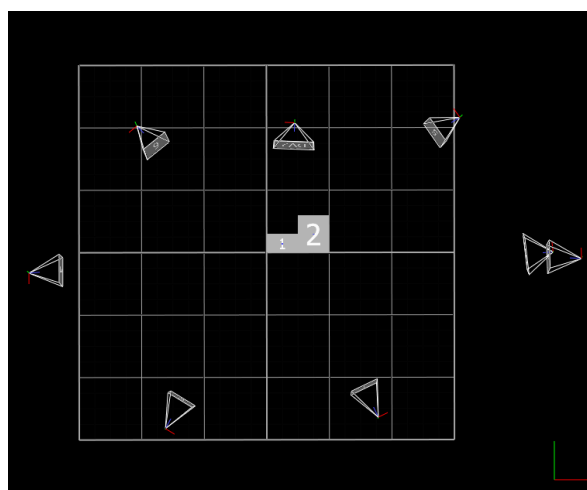
۲.۴ داده برداری تجربی

داده‌های تجربی این پژوهش شامل داده‌های حاصل از آنالیز حرکت و داده‌های آنترپومتریک بیمار می‌باشد. تمام داده‌برداری‌های آنالیز گیت در آزمایشگاه آنالیز حرکت مرکز فناوری‌های توانبخشی عصبی هوشمند جواد موفقیان انجام گرفت. دوربین‌های تصویربرداری و مادون قرمز این مرکز محصول شرکت Vicon و صفحات نیرو محصول شرکت Kistler می‌باشند. تجهیزات این آزمایشگاه شامل شش عدد دوربین مادون قرمز جهت ضبط مسیر مارکرها، دو عدد دوربین تصویربرداری Bonita و دو عدد صفحه‌ی نیرو به ابعاد 50×30 و 60×50 است که تمامی دوربین‌ها و صفحات نیرو با یکدیگر سنکرون^{۲۸} هستند. یک صفحه‌ی مسیر حرکت به طول $2/6$ و عرض $1/5$ متر نیز در آزمایشگاه موجود می‌باشد که صفحات نیرو در میانه‌ی آن قرار گرفته‌اند. موقعیت نصب دوربین‌ها به نحوی است که به صورت کامل مسیر حرکت را تحت پوشش قرار می‌دهند. شکل ۲-۴ نقشه‌ی کلی آزمایشگاه و موقعیت صفحه‌ی مسیر حرکت و صفحات نیرو را نشان می‌دهد.



شکل ۲.۴ نقشه‌ی آزمایشگاه آنالیز حرکت و موقعیت نصب دوربین‌ها و صفحات نیرو

وضعیت قرارگیری دوربین‌ها و صفحات نیرو نسبت به یکدیگر نیز در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳.۴ موقعیت قرارگیری دوربین‌ها و صفحات نیرو در آزمایشگاه

۱.۲.۴ داده‌برداری گیت

به‌منظور داده‌برداری گیت، ابتدا بایستی آزمایشگاه کالیبره و ابزارهای داده‌برداری با یکدیگر هم‌زمان شوند. سپس مارکرها در موقعیت‌های آناتومیکیال بدن نصب‌شده و بیمار در مسیر مشخص حرکت کند تا داده‌های گیت وی ضبط شوند.

کالیبراسیون آزمایشگاه

قبل از داده‌برداری گیت بایستی فضای آزمایشگاه برای دوربین‌ها کالیبره شود. بدین منظور یک تیر T شکل^{۲۹} که چراغ‌های روی هریک از بازوهای آن توسط دوربین‌ها قابل‌رؤیت است، به مدت سه دقیقه در فضا حرکت داده شد، به‌گونه‌ای که مسیر حرکت بیمار تا حد خوبی پوشش شد و دوربین‌ها با حداکثر خطای هفت درصد کالیبره شدند. در این روش فاصله‌ی بین مارک‌های روی تیر محاسبه و با مقدار واقعی مقایسه می‌شود و میزان خطا محاسبه می‌گردد.

نصب مارکرها

اولین مرحله در داده‌برداری گیت نصب مارکر بر روی بدن بیمار می‌باشد. محل نصب مارکرها بایستی به‌درستی انتخاب شود. روش‌های مختلفی برای مارکرگذاری تاکنون ارائه‌شده است که Helen Hays از جمله معروف‌ترین آن‌ها می‌باشد. در این روش مارکرها مستقیماً روی سطح پوست در نواحی آناتومیکیال خاصی نصب می‌شوند. از محدودیت‌های این روش، خطا در تعیین موقعیت دقیق لگن می‌باشد. به‌علاوه در صورت محو شدن یکی از مارکرها خطای زیادی در تعیین موقعیت و راستای لینک موردنظر ایجاد می‌شود. کاپازو و همکارانش پیشنهاد می‌کنند روی هر قطعه از بدن حداقل سه مارکر غیر هم‌راستا قرار داده شود تا حرکت ۶ درجه آزادی هر قطعه (سه حرکت انتقالی و سه حرکت چرخشی) قابل دنبال کردن باشد. همچنین مارکرها بر روی موقعیت‌های آناتومیکیال استخوانی قرار داده شود تا حتی‌الامکان اثر لغزش پوست و ماهیچه حذف گردد. بهتر است فاصله‌ی بین مارک‌های یک قطعه به‌اندازه‌ی کافی زیاد باشد که تا در تعیین مسیر مارکرها در مراحل بعدی مشکلی ایجاد نشود [۳].

پروتکل پیشنهادی سیستم وایکان و نرم‌افزار نکسوس نیز برای تحلیل گیت منطبق بر این قواعد می‌باشد. از این‌رو در این پژوهش نیز در نصب مارکرها از همین پروتکل استفاده شده است و با توجه به شرایط تعدادی مارکر نیز به آن‌ها اضافه و برخی مارکرها را جابه‌جا نمودیم.

Wand^{۲۹}

ثبت داده‌های حرکتی

پس از آماده‌سازی بیمار، وی شروع به حرکت در مسیر مشخص شده نمود و دوربین‌های مادون قرمز مسیر حرکت مارکرهای نصب‌شده بر بدن او را ضبط نمودند. همچنین نیروی عکس‌العمل وارد از زمین بر کف هر یک از دو پا توسط دو صفحه‌ی نیرو به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. هنگام داده‌برداری‌ها شش تست دینامیک و سه تست استاتیک انجام شد که زمان انجام هر تست دینامیک حدود پنج ثانیه و شامل پنج گام و هر تست استاتیک حدود ده ثانیه بود.

۲.۲.۴ داده‌برداری آنتروپومتری

به هنگام مدل‌سازی گیت و ایجاد مدل اختصاصی بیمار در نرم‌افزار نکسوس و تعریف هر مارکر برخی از داده‌های آنتروپومتری وی موردنیاز خواهد بود. از این رو در هنگام حضور بیمار در آزمایشگاه این اطلاعات جمع‌آوری و در جدول‌های ۴-۱ و ۴-۲ آورده شده است.

جدول ۱.۴ داده‌های آنتروپومتری فرد سالم

وزن	۵۴۷ نیوتن
قد	۱۸۲ سانتی‌متر
طول پا (هیپ تا مچ)	۹۶ سانتی‌متر
عرض زانو راست/چپ	۹,۵/۹,۲ سانتی‌متر
عرض مچ راست/چپ	۶,۷/۶,۷ سانتی‌متر
فاصله‌ی جلویی‌ترین نقاط استخوان لگن ^{۳۰} از یکدیگر	۲۳,۷ سانتی‌متر

جدول ۲.۴ داده‌های آنترپومتری بیمار

وزن	۴۹۰ نیوتن
قد	۱۷۶ سانتی‌متر
طول پا (هیپ تا مچ)	۸۷,۵ سانتی‌متر
عرض زانو راست/چپ	۹,۳/۹,۴ سانتی‌متر
عرض مچ راست/چپ	۶,۶/۶,۸ سانتی‌متر
فاصله‌ی جلویی‌ترین نقاط استخوان لگن از یکدیگر	۲۳ سانتی‌متر

۳.۴ تکرارپذیری نتایج

برای اطمینان داشتن از صحت داده‌های سیکل گیت هر فرد و تکرارپذیری آن‌ها، آزمایش گیت برای هر کدام چندین بار تکرار شدند.

۴.۴ بازسازی گیت

پس از انجام تست‌های دینامیک و استاتیک و وارد کردن داده‌های آنترپومتری در نرم‌افزار نکسوس، نام مارکرها مطابق با نام مارکرهای موجود در گاید سیستم وایکان و نرم‌افزار نکسوس انتخاب گردید و بدین ترتیب اندام‌های بدن تعریف می‌شوند. این اندام‌ها شامل بالای پا از مفصل ران تا زانو^{۳۱}، قسمت پایینی از زانو تا مچ پا^{۳۲} و بخش انتهایی از مچ پا تا سر انگشتان^{۳۳} می‌باشد که هر قطعه به‌صورت یک جسم صلب در نظر گرفته می‌شود.

پس از اتمام مرحله‌ی نام‌گذاری و تعیین قطعات، مشاهده می‌شود که در برخی از فریم‌ها قطعات ایجادشده ناقص می‌گردد. علت این امر ناپدید شدن یک یا چند مارکر متعلق به آن قطعه می‌باشد. بنابراین لازم است که موقعیت مارکرهای از دست‌رفته در چنین فریم‌هایی تعیین و بازسازی شود که این مرحله گپ فیل^{۳۴} نام دارد. بدین منظور باید کلیه‌ی فریم‌های ناپدیدشده مشخص شود و مارکر دیگری

^{۳۱} Thigh^{۳۲} Shank^{۳۳} Foot^{۳۴} Gap fill

در همان قطعه انتخاب شود تا الگوی حرکتی آن با یک بردار انتقال به مارکر موردنظر اعمال گردد. مساله‌ی مهم در این بخش انتخاب مارکر دوم است. این مارکر باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که الگوی حرکتی آن به‌صورت کلی و به‌خصوص در بازه‌ی ناپدید شدن مشابه مارکر اول باشد.

۵.۴ تحلیل سینماتیک معکوس گیت

پس از آماده شدن مدل اختصاصی برای بیمار با اعمال ابزار سینماتیک معکوس به مدل، الگوی گیت وی شبیه‌سازی شده و سیستم نکسوس با توجه به موقعیت مارکرها و اندام‌های تعریف‌شده، زوایای حرکتی اعضا را استخراج می‌کند. بدین ترتیب که ابتدا با توجه به موقعیت‌های مارکرها طبق استاندارد صفحات و محورهای مختصات چرخش هر عضو تعریف می‌شوند. در آغاز زوایای چرخشی لگن با توجه به سیستم مختصات آزمایشگاه تعیین می‌شود. سپس با توجه به موقعیت مارکرها و استانداردهای نرم‌افزار سایر اندامها و صفحات و محورهای چرخش آنها تعیین شده و زوایای چرخشی از روش اویلر هیپ تا مچ پا استخراج می‌شوند. این روند برای سینتیک نیز تکرار شد.

۶.۴ استخراج داده‌ها و رسم نمودارها

پس از انجام تست و بازسازی گیت همان‌طور که ذکر شد، زوایای حرکتی اندام‌های هر کیس قابل استخراج از نرم‌افزار نکسوس است. در اینجا برای رسم و بررسی نتایج و آنالیز حرکت و داده‌های موقعیت مارکرها و زوایای اندام پایین‌تنه به‌صورت فایل C3d خروجی گرفته شد که در نرم‌افزار اکسل قابل استفاده است.

در ابتدا لازم است برای هر تست بیمار، یک سیکل گیت از کل فرآیند راه رفتن فرد استخراج شود تا بتوان زوایا را که به‌صورت خام در قالب فریم‌های متفاوت وجود دارند به‌صورت نرمالیزه و قابل مقایسه درآورد. بدین منظور برای هر بار تست گیت، موقعیت عمودی مارکر پاشنه پای راست و چپ بیمار که به نام‌های LHEE^{۳۵} و RHEE^{۳۶} در فایل داده‌ها وجود دارند بررسی شد. سپس شماره فریم‌های یک سیگل گیت که از یک فریم موقعیت مینیمم پاشنه پا تا فریم مینیمم بعدی است استخراج

Left heel contact ^{۳۵}

Right heel contact ^{۳۶}

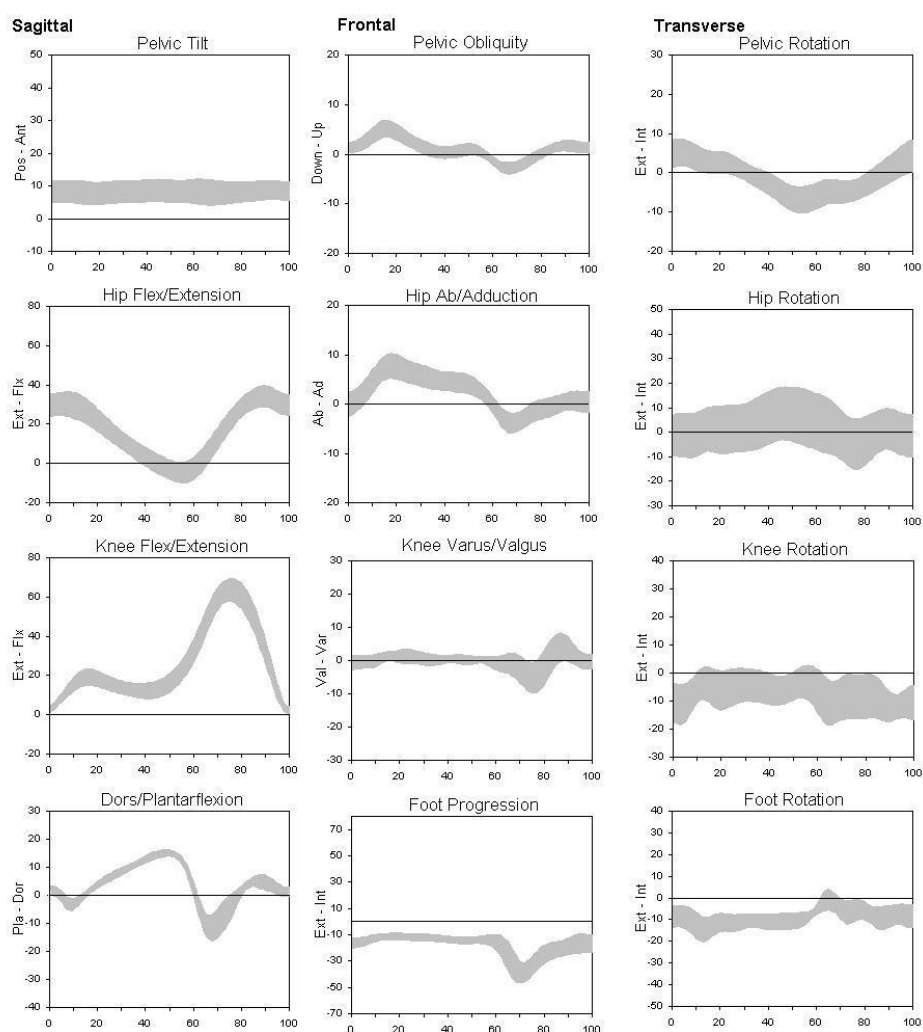
می‌شود. در اصل یک سیکل گیت برای هر پا، با توجه به زمان برخورد پاشنه پا با زمین تا برخورد بعدی در نظر گرفته می‌شود. حال با توجه شماره فریم‌های به‌دست‌آمده، زوایای حرکتی نظیر همان سیکل گیت را استخراج کرده و نمودارهای مختص زوایای چرخشی هر عضو را برحسب درصد گیت رسم می‌کنیم. بر اساس تعاریف پایه بیومکانیکی، در جدول زیر اصطلاحات استفاده شده برای هر زاویه چرخشی اعضا و نظیر آن در فایل‌های خروجی نرم‌افزار نکسوس آورده شده است.

جدول ۳.۴ تعاریف و اصطلاحات زوایای چرخشی اندام‌ها در خروجی‌های نکسوس

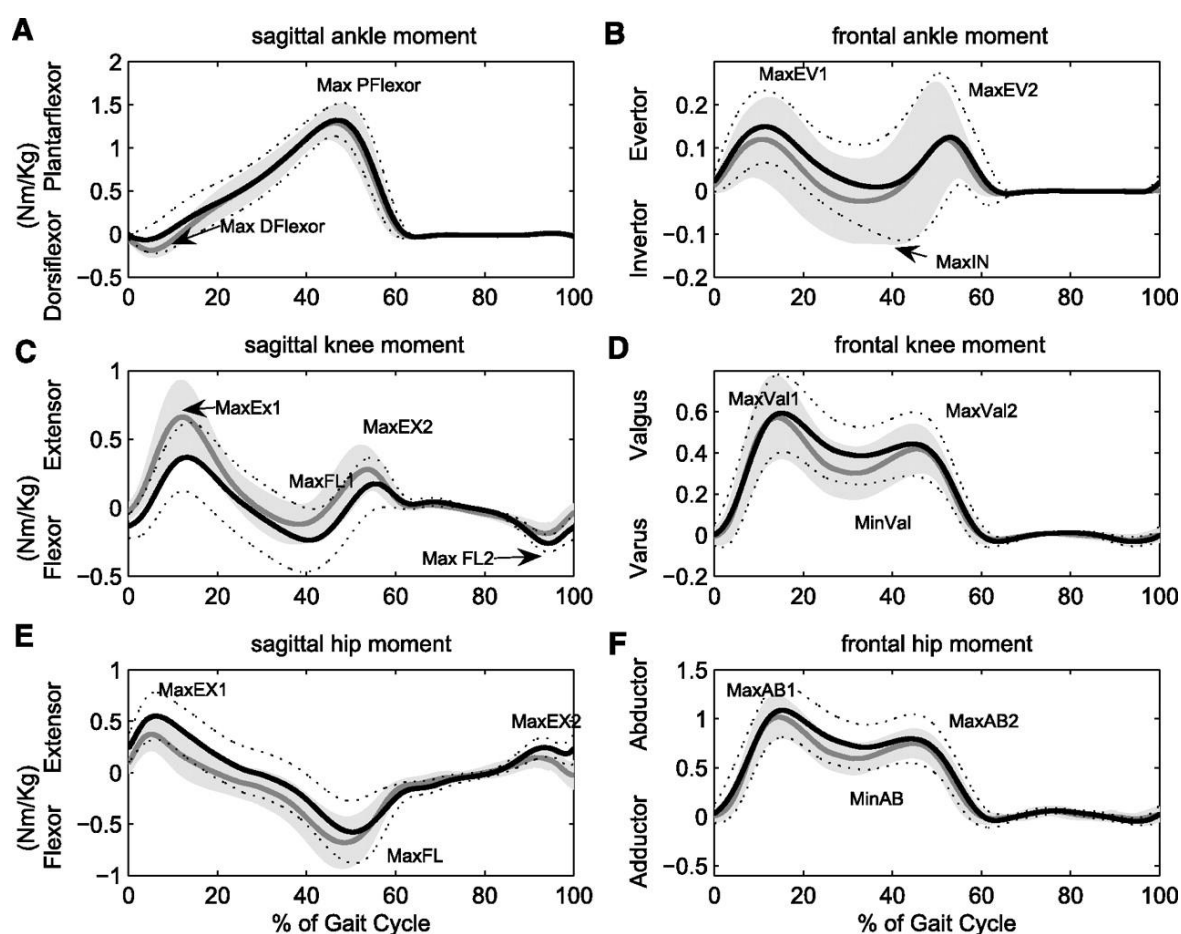
زاویه حرکتی	Label زاویه در جداول داده‌های خروجی	محور چرخش
Dorsiflexion	L/R Ankle Angles	X
Foot Roation	L/R Ankle Angles	Z
Foot Progression	L/R Foot Progression Angles	Z
Flexion/Extension	L/R Hip/knee Angles	X
Adduction/Abduction	L/R Hip/knee Angles	Y
Rotation	L/R Hip/knee Angles	Z
Plevic Tilt	L/R Pelvis Angles	X
Pelvic Obliquity	L/R Pelvis Angles	Y
Pelvic Rotation	L/R Pelvis Angles	Z

۷.۴ یافتن معیار نرمال برای مقایسه

برای بررسی مشخصه‌های حرکتی و دینامیکی بیمار پاپرانتزی و میزان گشتاور اضافی اداکتوری از حدود نرمال، نیاز به اطلاعات گیت و راه رفتن نمونه‌های نرمال داریم. کیس‌های نرمال و طبیعی و داده‌های آنالیز گیت نرمال آن‌ها در ادبیات بیومکانیک به کرات یافت می‌شوند، اما نکته حائز اهمیت این است که نمی‌توان تنها از روی تعداد محدودی از کیس‌های نرمال تحلیل و تفسیر انجام داد. همچنین نمی‌توان با در نظر گرفتن یک یا چند نمونه نرمال، محدوده بالایی و پایینی انحراف آن‌ها را معیار محدوده نرمال دانست، چراکه محدوده نرمال بالا و پایین همان‌طور که در زیر دیده می‌شود، در نمودارهای آنالیز گیت مشابه هم نیستند.

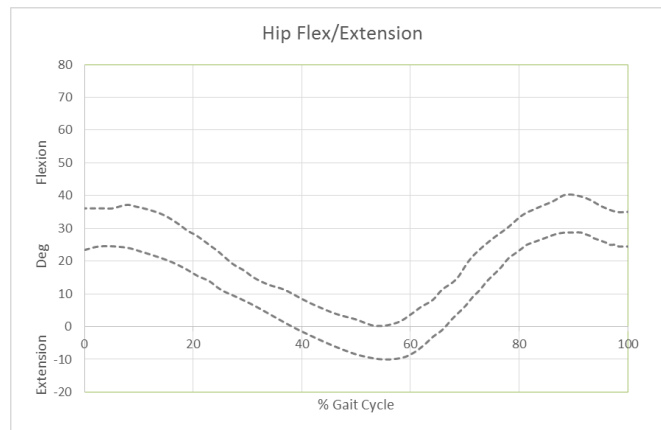


شکل ۱.۴ نمودارهای استاندارد زوایای چرخشی در یک سیکل گیت نرمال



شکل ۸.۴ نمودارهای استاندارد ممان‌های مفصلی در یک سیکل گیت نرمال

برای حل این مشکل با استفاده از نرم‌افزار نقطه‌یابی Get data از نمودارهای معتبر موجود در استانداردهای نرمال آنالیز گیت استفاده کرده و نقاط حدی بالا و پایین را برای حالت نرمال و به‌عنوان معیاری برای مقایسه و تعیین میزان انحراف زوایای چرخشی و ممان‌های مفصلی در یک سیکل گیت از حالت طبیعی استخراج کردیم که نمونه‌هایی به‌عنوان مثال در زیر آمده است:



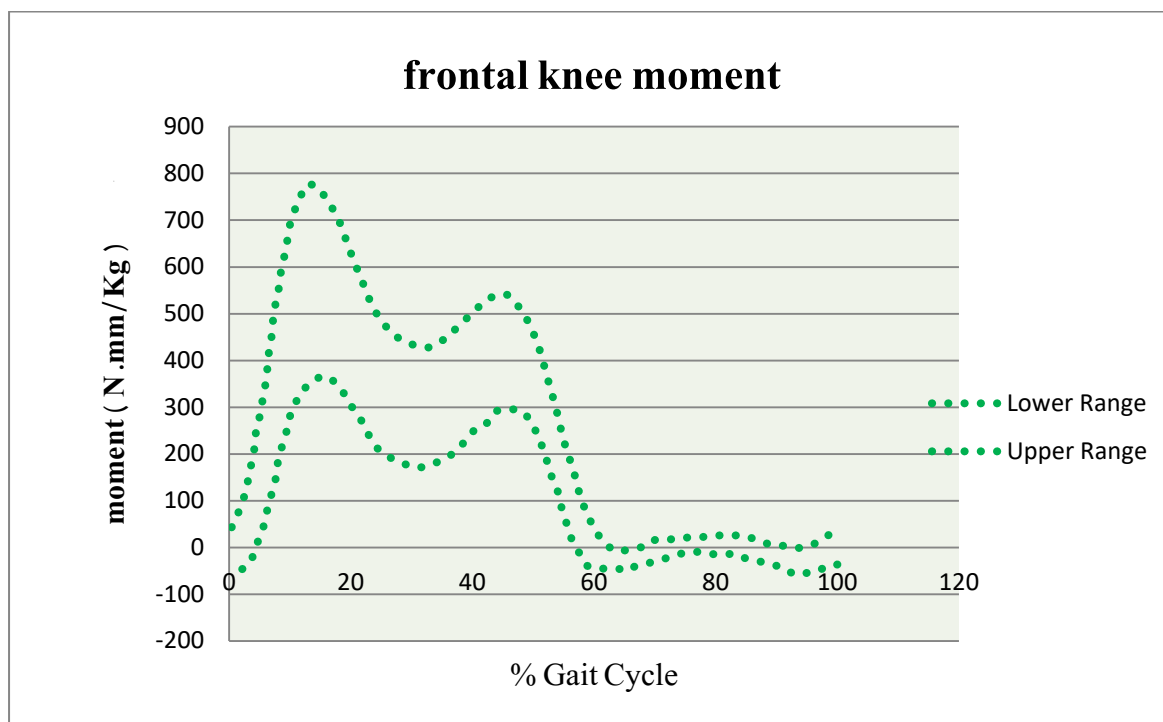
شکل ۹.۴ محدوده نرمال فلکشن/اکستنشن هیپ



شکل ۱۰.۴ محدوده نرمال ادداکشن/ابداکشن هیپ



شکل ۱۱.۴ محدوده نرمال فلکشن/اکستنشن زانو



شکل ۱۲.۴ محدوده نرمال ممان ادداکشن/ابداکشن زانو

۵ نتایج و نمودارها

پس از استخراج و پردازش داده‌ها، نتایج در قالب نمودار تدوین شدند که به تفکیک برای نمونه نرمال و بیمار، به همراه تکرارپذیری‌شان آورده شده‌اند. در هر نمودار خطوط آبی نشان‌دهنده پای راست و خطوط قرمز نشان‌دهنده پای چپ هستند و خطوط خاکستری سبز محدوده نرمال را مشخص می‌کنند.

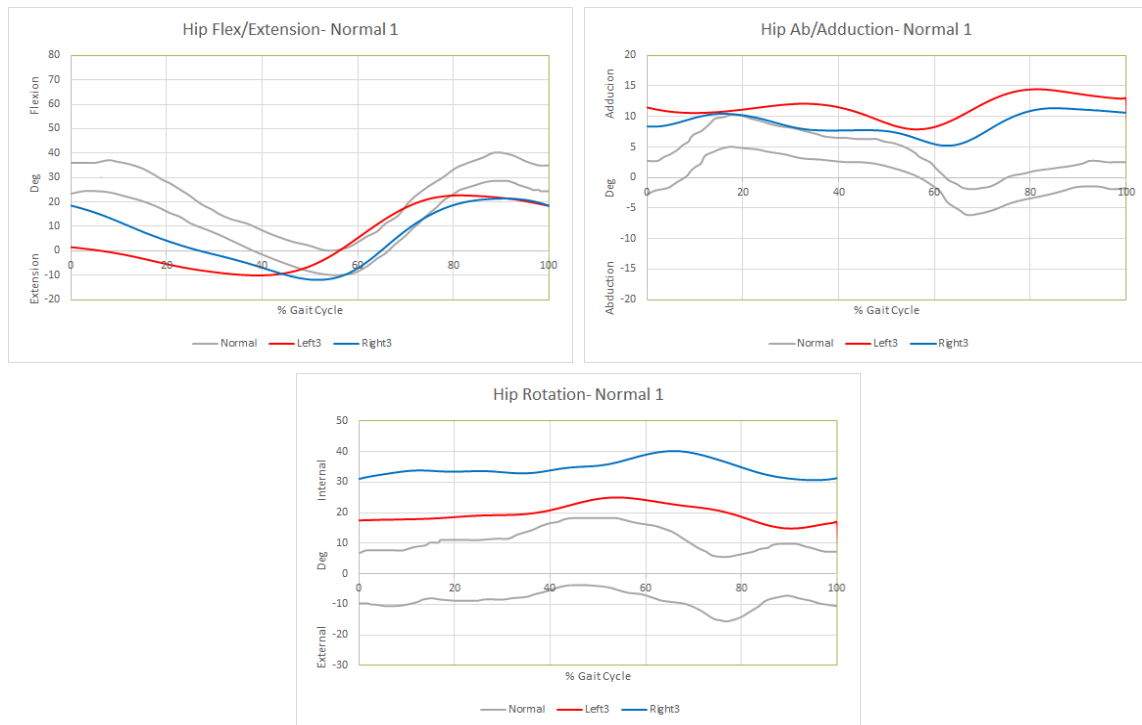
۱.۵ نتایج نمونه نرمال

از افراد نرمال چندین آزمایش به عمل آمد که به دلیل تشابه تنها یکی از آن‌ها در اینجا آورده شده است.

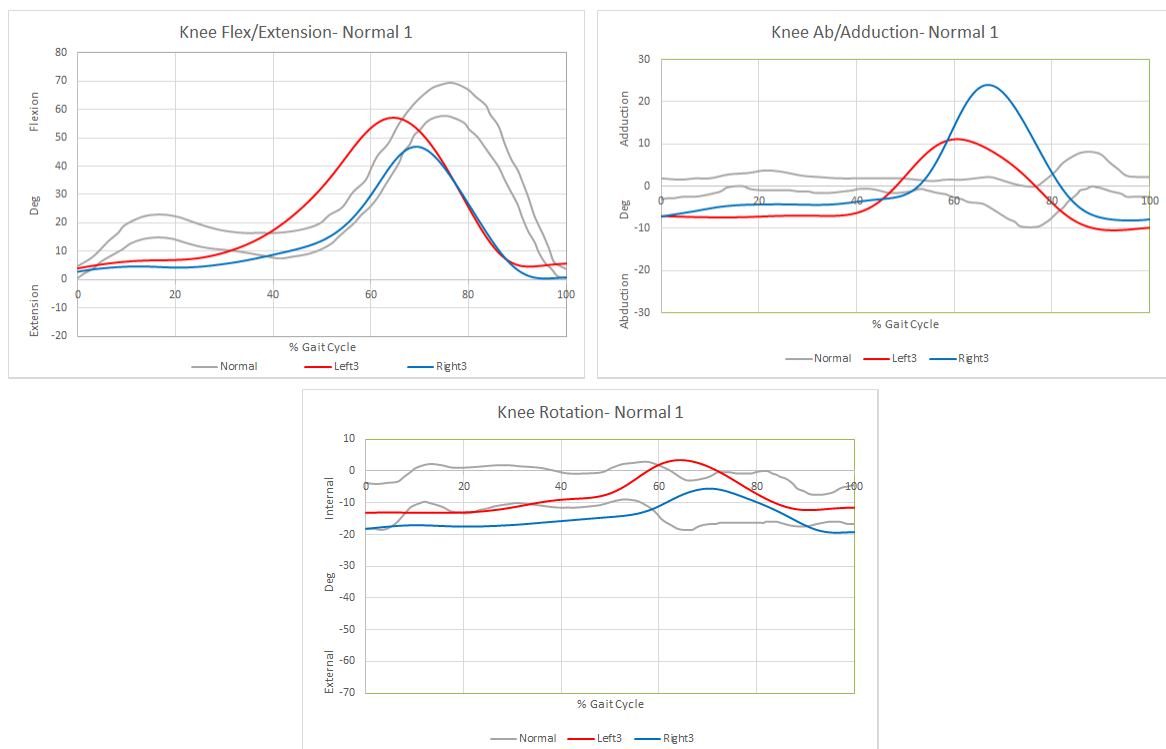
۱.۱.۵ داده‌های سینماتیکی فرد نرمال



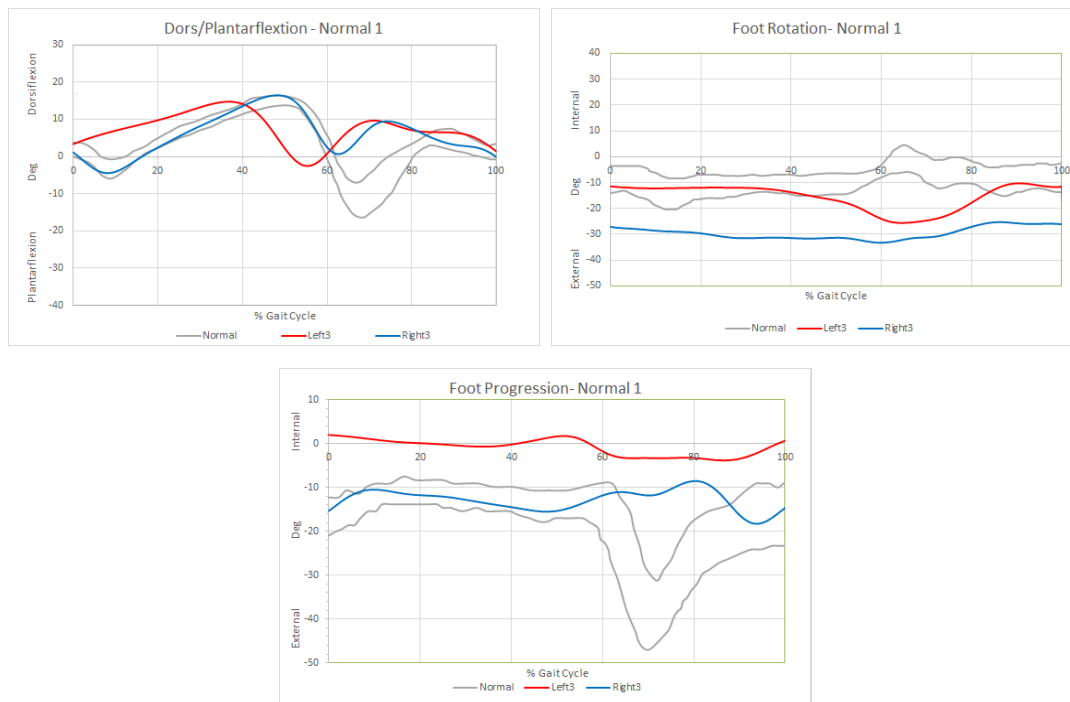
شکل ۱.۵ زوایای حرکتی لگن - نمونه نرمال



شکل ۲.۵ زوایای حرکتی هیپ - نمونه نرمال

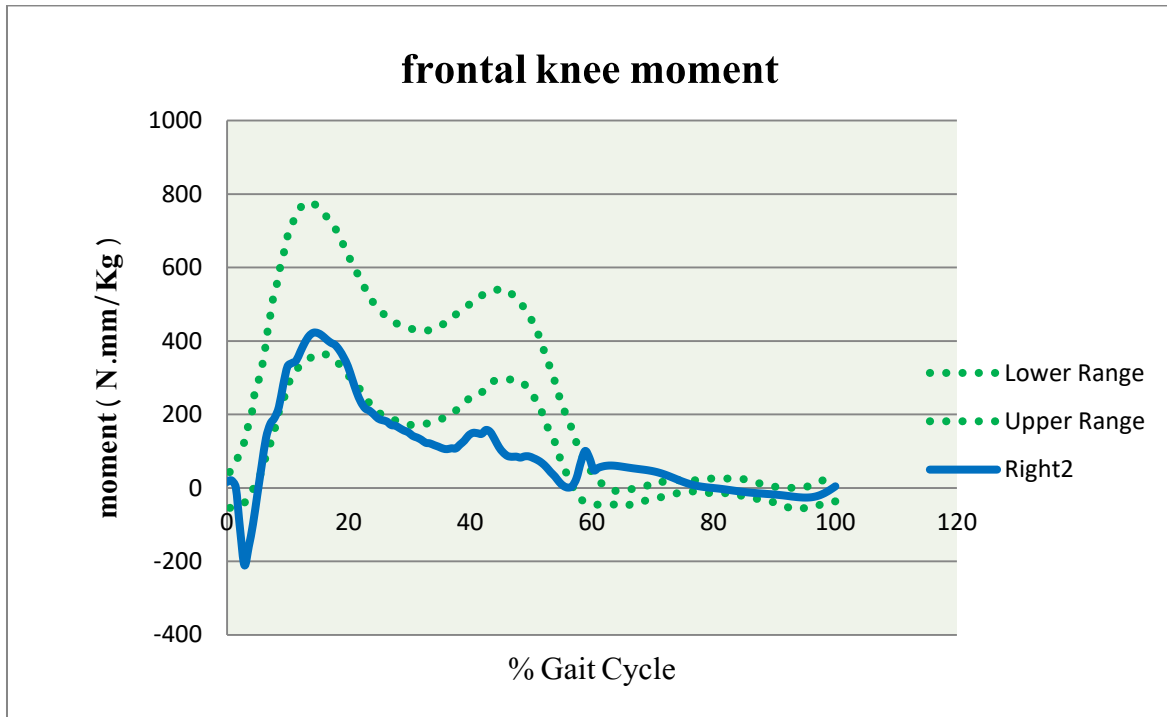


شکل ۳.۵ زوایای حرکتی زانو - نمونه نرمال

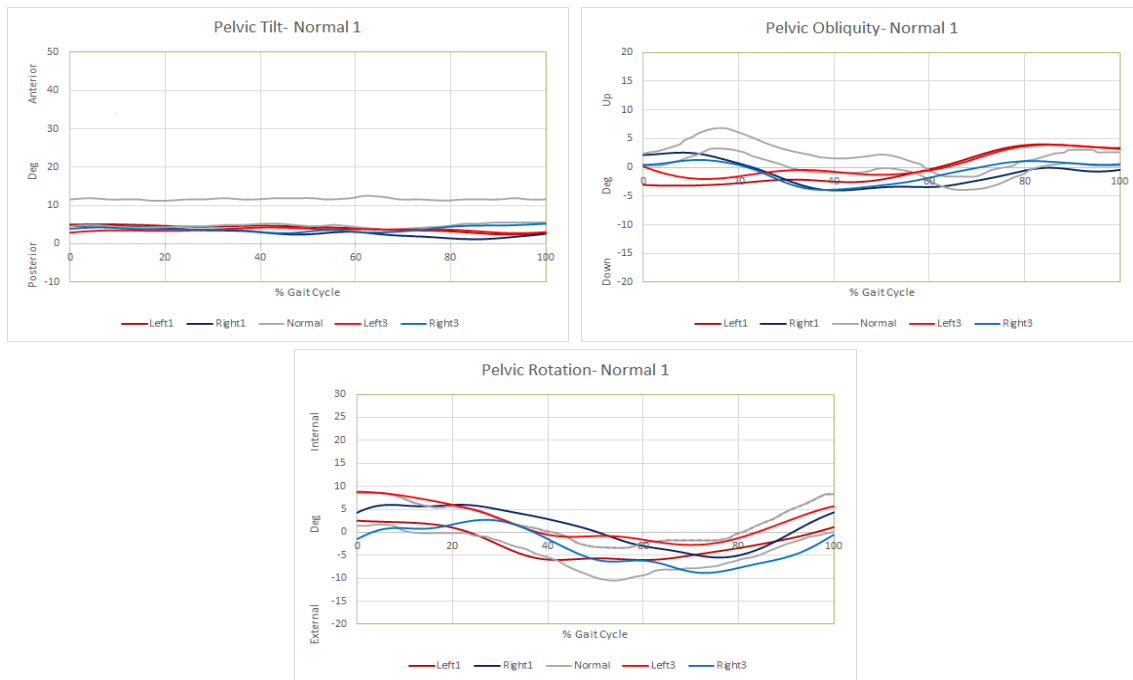


شکل ۴.۵ زوایای حرکتی پا و مچ پا - نمونه نرمال

۲.۱.۵ داده‌های سینتیک فرد نرمال

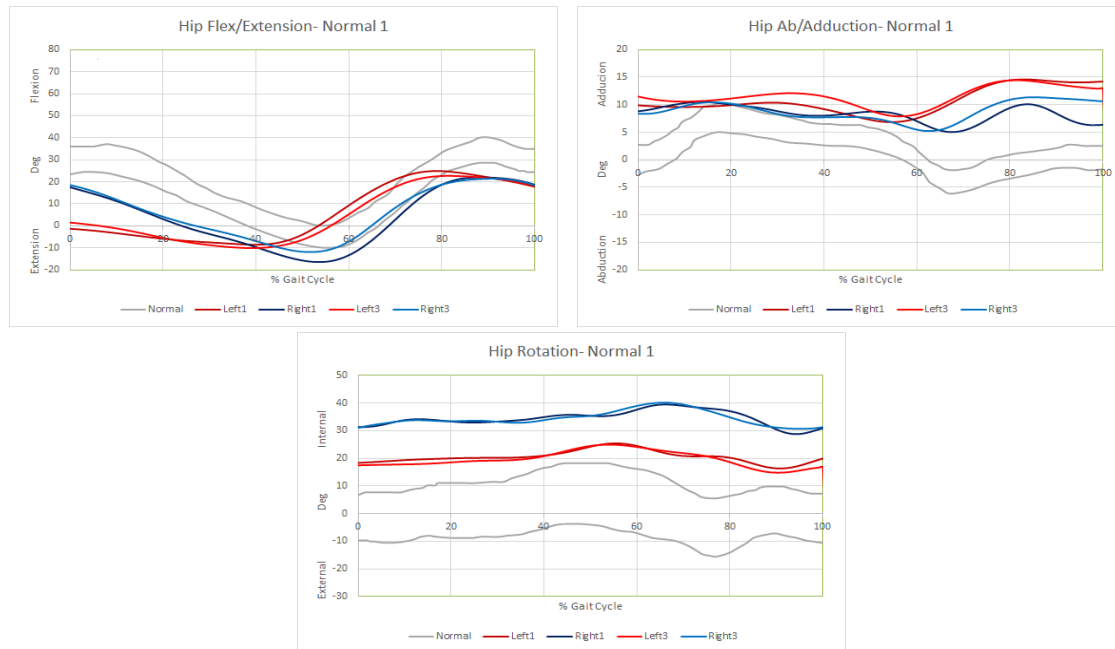


شکل ۵.۵ ممان اداکشن/ابداکشن زانو- نمونه نرمال

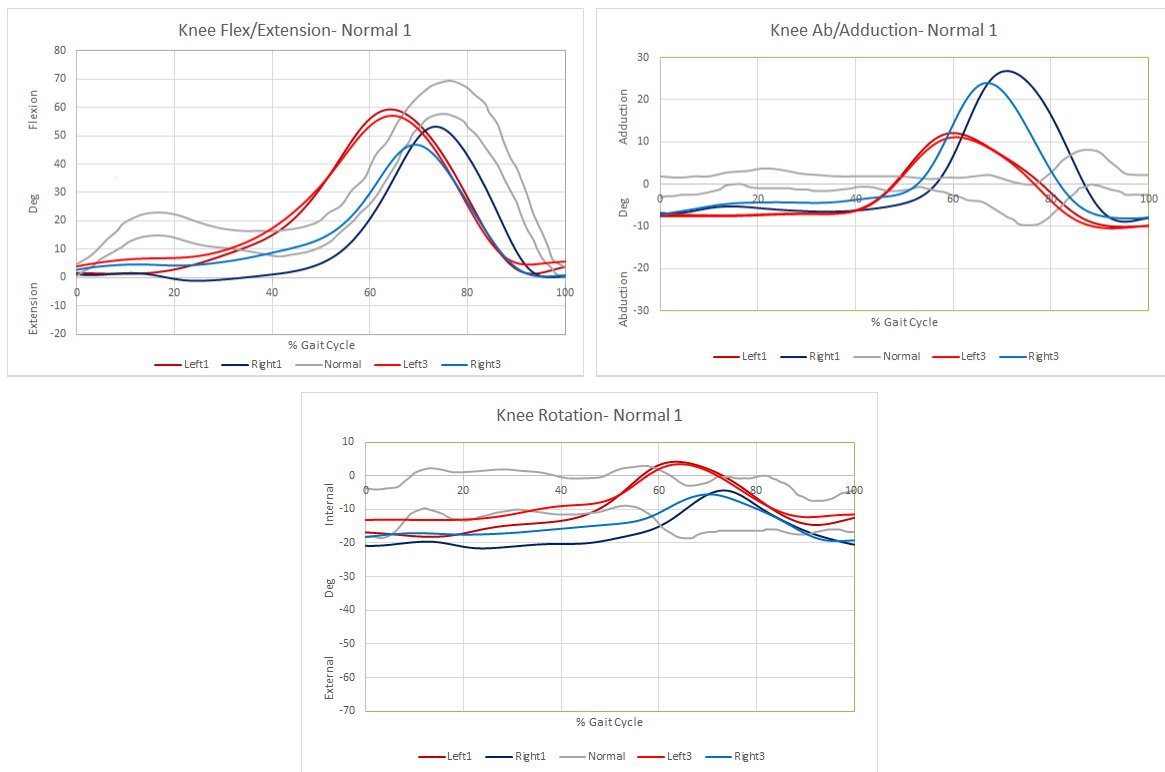


شکل ۶.۵ تکرارپذیری زوایای حرکتی لگن - نمونه نرمال

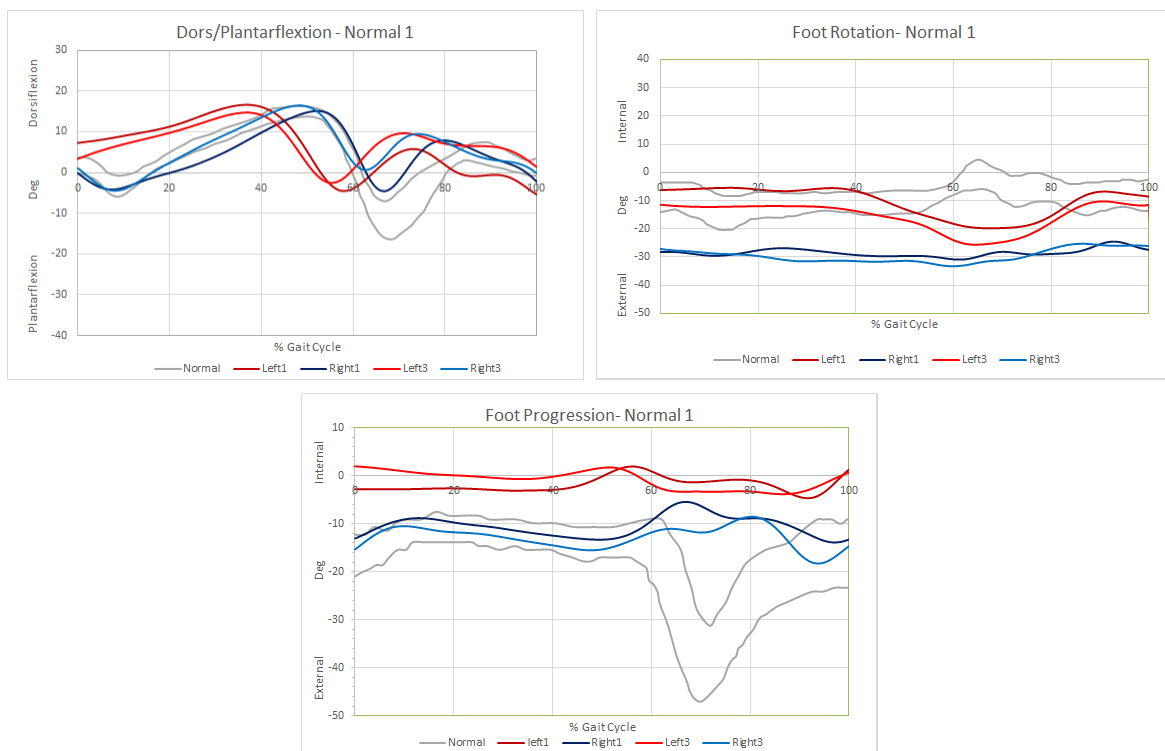
۳.۱.۵ تکرارپذیری نتایج فرد نرمال



شکل ۷.۵ تکرارپذیری زوایای حرکتی هیپ - نمونه نرمال



شکل ۸.۵ تکرارپذیری زوایای حرکتی زانو – نمونه نرمال

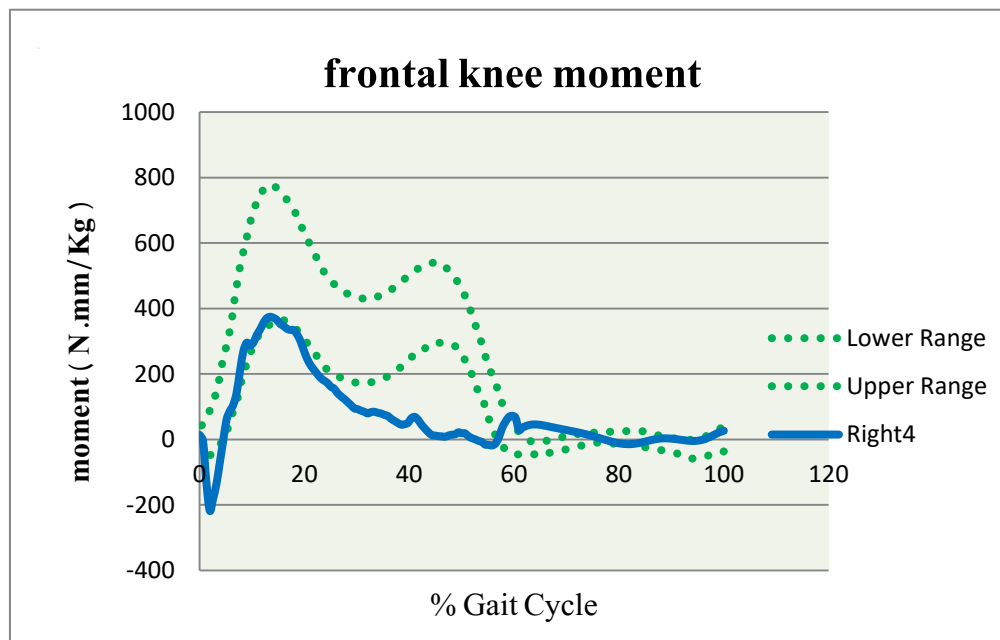


شکل ۹.۵ تکرارپذیری زوایای حرکتی پا و مچ پا – نمونه نرمال

۱

علی اکبر کاوه‌ای، « بررسی گشتاور اداکتوری مفصل زانو در حین راه رفتن در بیماران پاپرانتری »، پایان‌نامه کارشناسی،

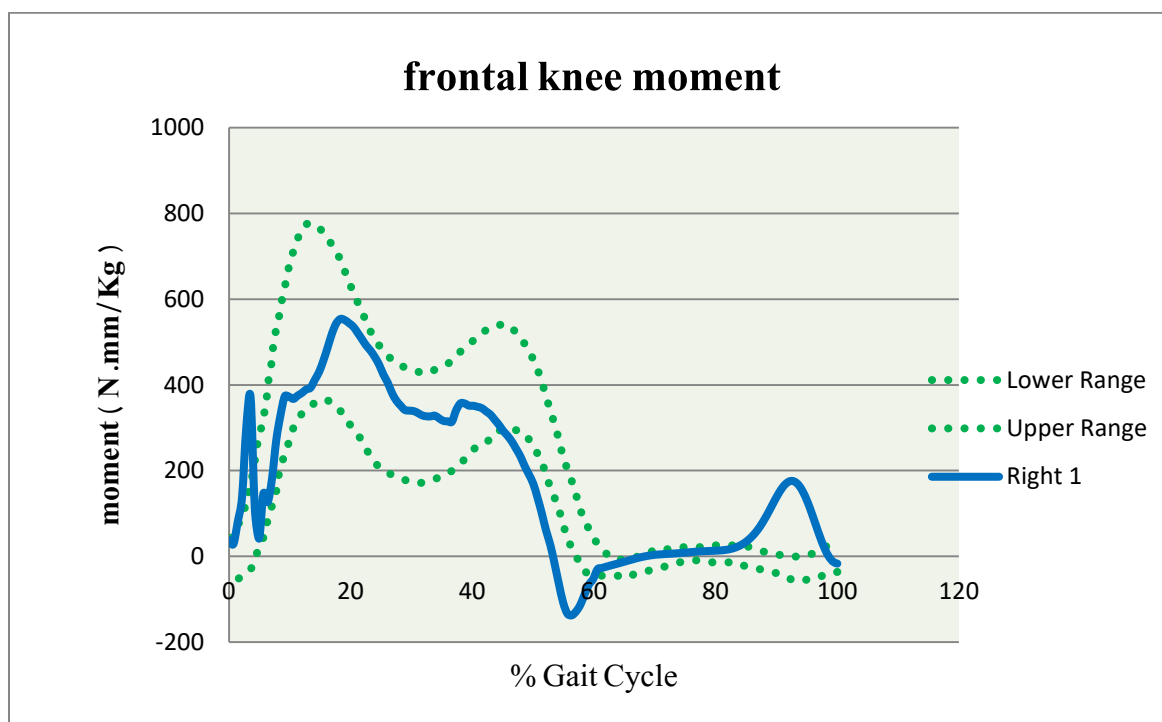
استاد راهنما: جناب آقای دکتر فرهمند، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مکانیک، تیرماه ۱۳۹۶.



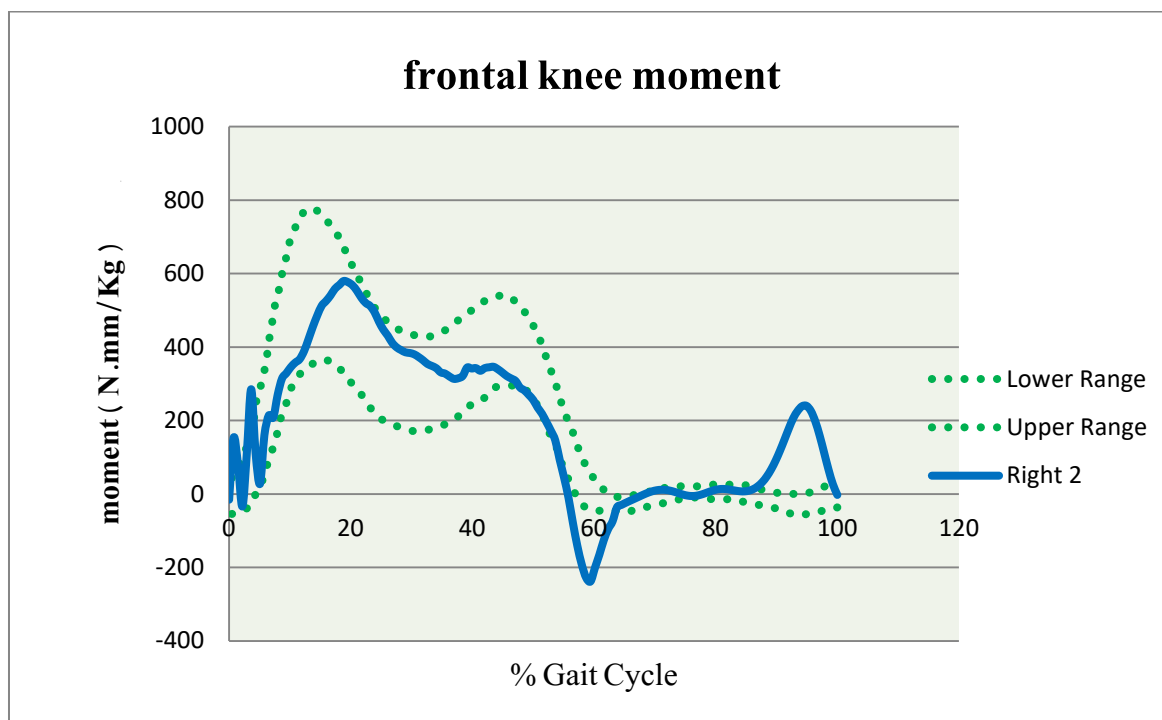
شکل ۱۰.۵ تکرارپذیری ممان ادداکشن/ابداکشن زانو- نمونه نرمال

۲.۵ نتایج بیمار

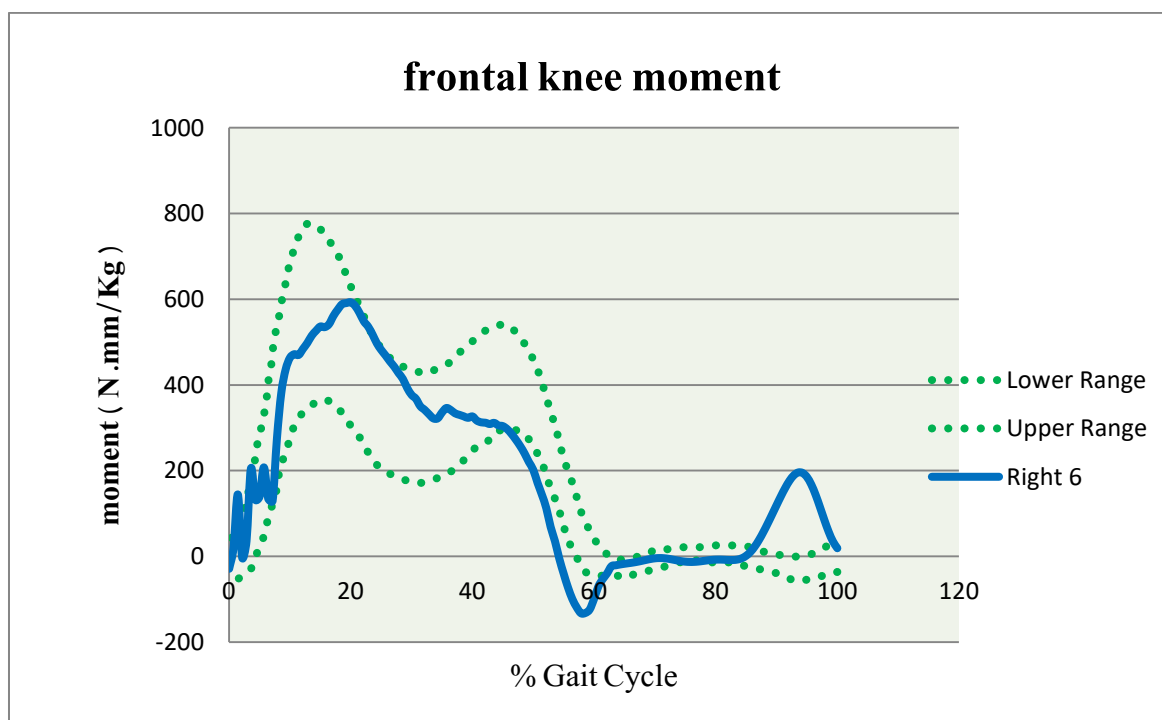
در زیر نمونه‌هایی از نتایج و نمودارهای ممان ابداعشن-ادداکشن در طول یک سیکل گیت بیمار آمده است:



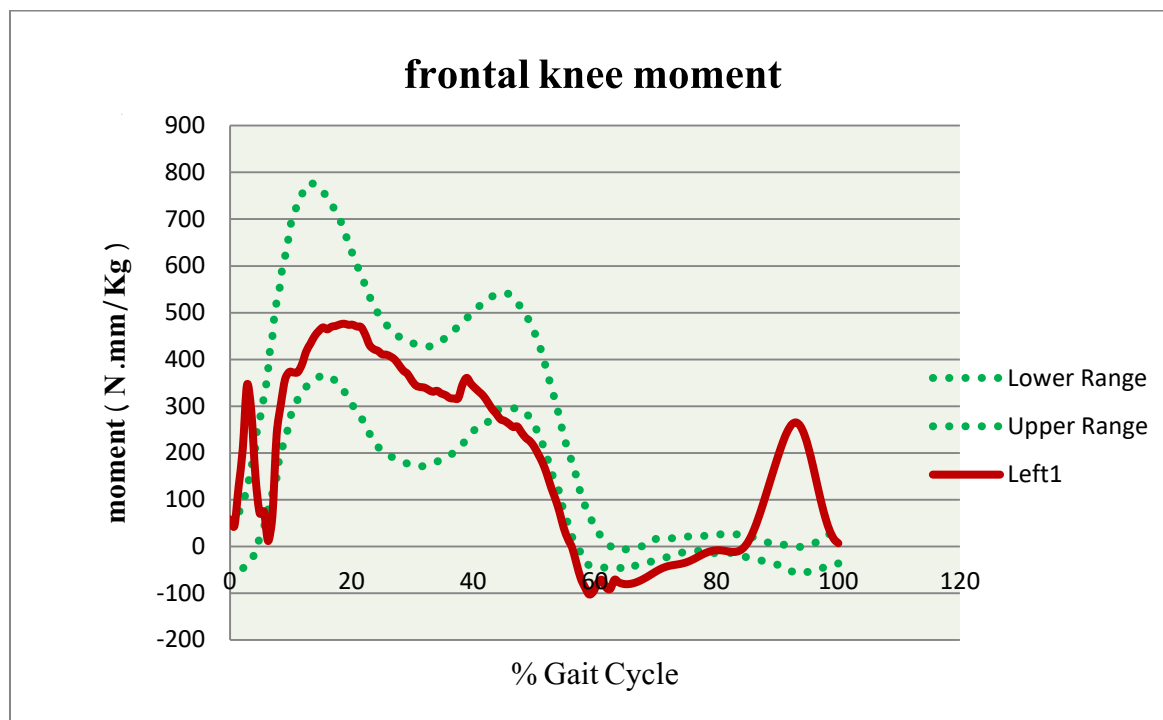
شکل ۱۱.۵ ممان ابداعشن/ابداکشن زانو راست- نمونه بیمار (آزمایش ۱)



شکل ۱۲.۵ ممان ادداکشن/ابداکشن زانو راست- نمونه بیمار (آزمایش ۲)



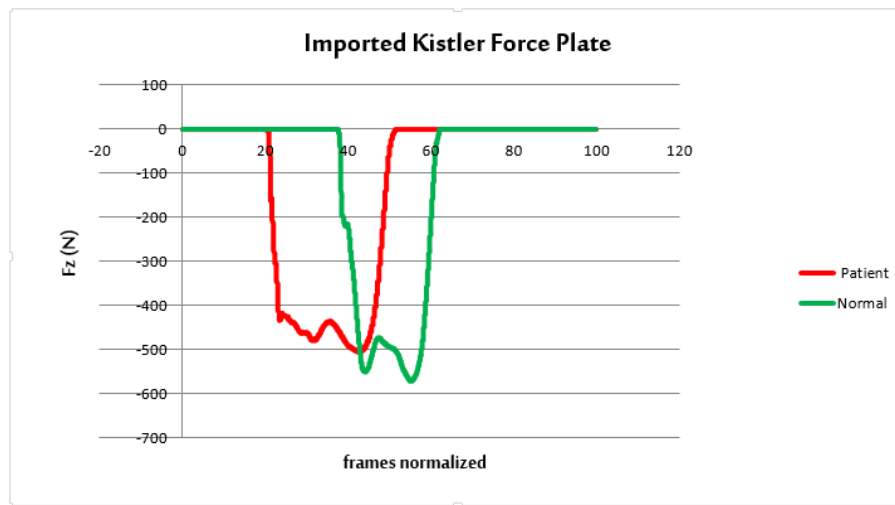
شکل ۱۳.۵ ممان ادداکشن/ابداکشن زانو راست- نمونه بیمار (آزمایش ۳)



شکل ۱۴.۵ ممان ادداکشن/ابداکشن زانو چپ- نمونه بیمار (آزمایش ۴)

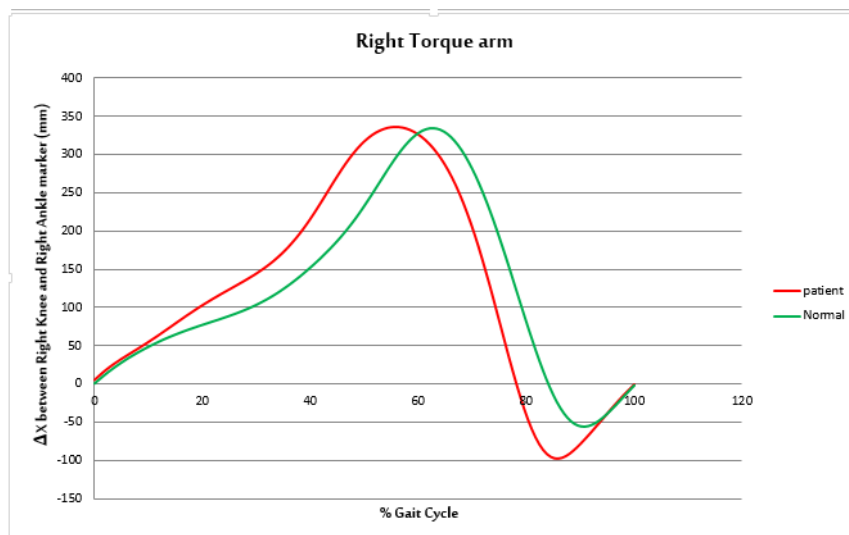
۳.۵ نتایج کلی

تغییرات نیروی عکس‌العمل زمین در راستای عمودی در طی سیکل گیت برای فرد سالم و فرد دچار پاپرانتزی در شکل ۱ مشاهده می‌شود. به‌صورت کلی نیروی عکس‌العمل زمین در فرد سالم بزرگ‌تر از فرد بیمار بود که این امر عمدتاً از تفاوت وزن دو نمونه ناشی می‌شود. پیک نیروی عکس‌العمل زمین در فرد سالم حدود ۵۸۰ نیوتن و در فرد بیمار حدود ۵۰۰ نیوتن بود.



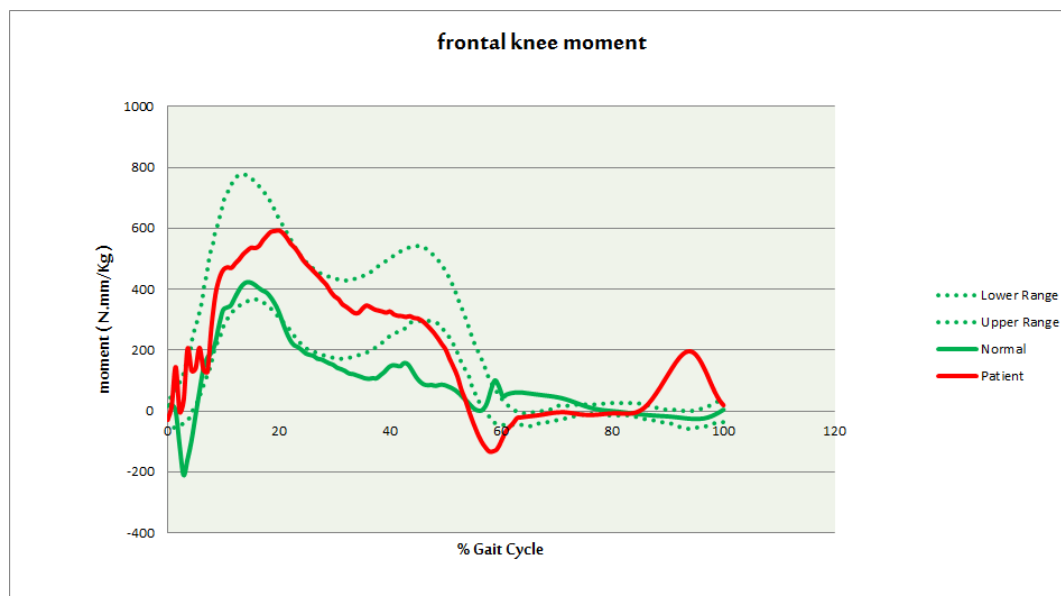
شکل ۱۵.۵ نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در طول یک سیکل گیت

تغییرات بازوی گشتاور نیروی عکس‌العمل زمین نسبت به زانو برای دو فرد سالم و بیمار در شکل ۲ نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌گردد، هرچند حداکثر بازوی گشتاوری (در انتهای فاز استنس) در دو فرد تقریباً یکسان و معادل ۳۳۰ میلی‌متر بود، اما بازوی گشتاوری زانوی فرد بیمار در اغلب لحظات فاز استنس بزرگ‌تر از فرد سالم بود. بطوریکه در فاصله حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد سیکل گیت، تفاوت بیش از ۵۰ میلی‌متری در بازوهای گشتاور زانوی دو فرد در صفحه فرونتال وجود داشت. ضمن اینکه در انتهای فاز سوپینگ یک بازوی گشتاور اداکتوری در فرد بیمار مشاهده شد که در فرد نرمال وجود نداشت.



شکل ۱۶.۵ بازوی گشتاور نیروی عکس‌العمل سطح روی مفصل زانو در طول یک سیکل گیت

تغییرات گشتاور ابداکتوری-ادداکتوری زانوی فرد سالم و فرد پاپرانتزی در شکل ۳ با یکدیگر و نیز با دامنه نرمال گزارش شده در منابع مقایسه شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود به‌جز برخی انحرافات جزئی (برای مثال یک پیک گشتاوری نسبتاً کوچک در انتهای فاز سوینگ فرد بیمار) گشتاور محاسبه‌شده برای هر دو فرد تقریباً در محدوده نرمال قرار داشت. اما در مقایسه گشتاور دو فرد، مشاهده می‌شود که این گشتاور در اغلب لحظات فاز استنس در فرد بیمار به‌مراتب بزرگ‌تر از فرد سالم بود. بطوریکه در فاصله حدود ۱۵ درصد تا ۵۰ درصد سیکل راه رفتن، تفاوت بیش از ۲۰۰ نیوتن میلی‌متر بر کیلوگرم در گشتاورهای اداکتوری دو فرد وجود داشت.



شکل ۱۷.۵ ممانهای ابداکشن-ادداکشن در طول یک سیکل گیت

۶ بحث و نتیجه‌گیری

۱.۶ سینماتیک راه‌رفتن افراد نرمال

بررسی نتایج و نمودارهای آنالیز گیت افراد نرمال و مقایسه آن‌ها با استانداردهای موجود در ادبیات بیومکانیکی به ما کمک می‌کند مشخصه‌هایی از نمودارهای گیت که معنادار بوده و انحراف آن‌ها از محدوده نرمال نشان‌دهنده اختلالی در حرکت است را شناسایی کنیم. از تحلیل این نمودارها می‌توان موارد زیر را استنباط کرد:

- ❖ اگر تأخیر یا تقدم زمانی در طول تمام نمودار نمایان باشد و این مورد در تمامی نمودارها و پارامترهای سینماتیکی صادق باشد، این تأخیر یا تقدم معنادار نیست و می‌تواند صرفاً ناشی از انتخاب داده باشد. همان‌طور که ذکر شد در این مطالعه، هر سیکل گیت برای پای چپ یا راست از موقعیت عمودی مینیمم پاشنه پا تا مینیمم بعدی آن، یعنی در طی یک دوره که پا به زمین برخورد کرده، برداشته می‌شود و دوباره زمین را لمس می‌کند، انتخاب شده است. حال آنکه ما در انتخاب داده‌ها هیچ‌گاه دو نقطه مینیمم منطبق بر هم در خروجی‌های نکسوس نیافتیم. از همین رو تقریب‌هایی در انتخاب هر سیکل گیت و نرمالیزه کردن آن وجود دارد که منجر به جابه‌جایی و شیفت نمودار به راست یا چپ می‌شود.
- ❖ وجود آفست‌ها یا همان بالا یا پایین‌تر بودن نمودارها نسبت به محدوده نرمال الزاماً مفهوم خاصی در راستای اختلال حرکتی ناشی از آنتی‌ورژن فمور انتقال نمی‌دهد؛ چراکه همان‌طور که در نتایج مشخص است، در نمودارهای افراد نرمال نیز آفست‌ها نمایان هستند. بنابراین وجود آفست در یک نمودار باید با توجه به نوع اختلال حرکتی منحصرأ برای پارامترهای خاصی بررسی شود. در سایر پارامترها می‌تواند صرفاً ناشی از خطاهای مارکرگذاری باشد.
- ❖ همان‌طور که قبلاً ذکر شد در هر جلسه تست پروسه راه‌رفتن شش بار تکرار و ضبط شد، بنابراین چندین سیکل گیت برای بررسی در اختیار ماست. با بررسی تکرارپذیری و رسم چندین سیکل گیت در کنار هم در یک نمودار باید از صحت و قابل استناد بودن داده‌ها اطمینان حاصل کرد. تجربه نشان داد که آخرین تست‌هایی که از هر فرد گرفته می‌شود، قابل اطمینان‌ترین داده‌ها را به دست می‌دهند؛ چراکه سرعت و نوع گام برداشتن فرد بعد از چند بار تکرار به حالت

کاملاً عادی بازمی‌گردد. درحالی‌که در تست‌های اول، عادت نداشتن به محیط آزمایشگاه و سعی فرد برای قدم برداشتن در مسیر مشخص‌شده، ممکن است بر روند عادی گیت تأثیرگذار باشد. ❖ همان‌طور که مشاهده می‌شود در آنالیز گیت نمونه‌های نرمال نیز خطا و انحراف از محدوده استاندارد موجود در ادبیات وجود دارد. این انحرافات باید به‌طور ویژه در هر آزمایشگاه گیت بررسی شده و با جابه‌جایی مارکرها یا سایر روندهای اصلاحی موجود مورد مطالعه قرار گیرند. در حالت ایده‌آل هر آزمایشگاه باید از تعداد زیادی از نمونه‌های نرمال تست به عمل آورد و محدوده نرمال خاص خود را برای بررسی و مقایسه در دست داشته باشد.

۲.۶ بحث و نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه برای نخستین بار در آزمایشگاه آنالیز حرکت مرکز تحقیقات موفقیان تحلیل دینامیکی گشتاورهای مفصلی به‌منظور ارزیابی وضعیت بیماران انجام پذیرفت. نتایج مطالعه نشان داد که همان‌گونه که انتظار می‌رفت (شکل ۳)، گشتاورهای ابداکشن-ادداکشن در فرد بیمار به‌طور محسوسی بیشتر از فرد نرمال است و لذا می‌توان از آنالیز گیت دینامیکی برای ارزیابی وضعیت بیمار استفاده نمود. با توجه به نتایج ارائه‌شده در شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان مشاهده کرد که مهم‌ترین عامل در پیدایش گشتاور ابداکتور-ادداکتوری بزرگ‌تر در فرد بیمار بازوی گشتاوری بزرگ‌تر در زانوی فرد بوده است. در شکل ۱ شاهد نیروی کمتری در فرد بیمار هستیم ولی به علت بازوی بزرگ‌تری که این نیرو در فرد بیمار به علت انحراف زاویه‌ای پاپرانتزی دارد (شکل ۲) شاهد گشتاور بزرگ‌تری در فرد بیمار خواهیم بود. البته در مقایسه گشتاورهای فرد سالم و بیمار با یکدیگر و نیز دامنه نرمال گزارش‌شده در منابع (شکل ۳) تفاوت‌های دیگری نظیر یک پیک گشتاوری نسبتاً کوچک در انتهای فاز سوپینگ فرد بیمار نیز به چشم می‌خورد که نیازمند مطالعات بیشتری است.

شایان‌ذکر است که تعداد نمونه‌های موردبررسی در مطالعه حاضر بسیار محدود بوده است که این امر نتیجه‌گیری کلی از نتایج مطالعه را دشوار می‌سازد. درواقع، این مطالعه، اولین مطالعه بالینی با استفاده از داده‌های دینامیکی آزمایشگاه آنالیز گیت مرکز جواد موفقیان بوده است و هدف اصلی آن را آماده‌سازی بسترهای آزمایش، تدوین پروتکل‌های آزمون و ارزیابی صحت آن‌ها تشکیل می‌داده است.

۳.۶ پیشنهادات برای ادامه کار

با توجه به محدودیت‌ها و مشکلاتی که در روند تفسیر گزارش‌های گیت بیماران پاپرانتزی وجود دارد و در بالا ذکر شدند، پیشنهاداتی که برای ادامه این کار وجود دارد، شامل موارد زیر است:

- ❖ به‌عنوان گام اول لازم است که فراتر از یک پروژه کارشناسی به بحث آماری داده‌های نرمال آزمایشگاه پرداخته شود و با مطالعه تعداد بیشتری از نمونه‌های نرمال با شرایط یکسان انحرافات پارامترها از محدوده‌های نرمال استاندارد موجود در ادبیات موضوع یافته و خطاهای مارکرگذاری برطرف شوند. در حالت ایده آل هر آزمایشگاه باید از تعداد کافی نمونه نرمال آزمایش گیت در شرایط کاملاً یکسان و توسط یک تکنسین واحد به عمل آورد تا در تفسیرها و گزارش‌ها از داده‌های نرمال خود آزمایشگاه برای مقایسه استفاده شود.
- ❖ برای برطرف کردن خطاهای مارکرگذاری می‌توان با جابه‌جا کردن محل مارکرها و گرفتن تست‌های مختلف، تأثیر آن را بر روند و آفست پارامترهای مختلف بررسی کرد و با میزان واقعی مقایسه کرد.

منابع و مراجع

- [۱] D. R. C. S. U. a. V. R. R. C. SANDRA J. SHEFELBINE , Palo Alto, CA "mechanobiological prediction femoral anteversion of cerebral palsy," ۲۰۰۴.
- [۲] M. D. Olav Reiker~s, "Is there a relationship between femoral anteversion and leg torsion."
- [۳] A. V. K. Allison S Arnold, Scott L Delp, "Internal rotation gait: a compensatory mechanism to restore abduction capacity decreased by bone deformity?."
- [۴] S. M. Y. A. GLEN A. TURLEY^۱, MARK A. WILLIAMS^۱, & and D. R. GRIFFIN, "Validation of the femoral anteversion measurement method used in imageless navigation," *Computer Aided Surgery*, ۲۰۱۲.
- [۵] S. Parikh and F. R. Noyes, "Patellofemoral disorders: role of computed tomography and magnetic resonance imaging in defining abnormal rotational lower limb alignment," *Sports Health*, vol. ۳, pp. ۱۵۸-۶۹, Mar ۲۰۱۱.
- [۶] M. P. Guy, FRCS(C)I; C. Krettek, MD; J. Mannss, Mech. Eng; K.P. Whittall, PhD; P. Schandelmaier, MD; and M. H. Tscherne, "CT-based analysis of the geometry of the distal femur," *injury*, vol. ۲۹, ۱۹۹۸.
- [۷] I. Jonkers, "Understanding musculoskeletal deformity and pathological gait: What can musculoskeletal modelling and dynamic gait simulations contribute?."
- [۸] Gait Analysis & HP Lab _ Behgam Clinic;
<http://www.behgamclinic.com>.
- [۹] Kinesiology of the Musculoskeletal System- Foundations for Physical Rehabilitation – Donald A Neumann
- [۱۰] <http://runninginjuryclinic.com>
- [۱۱] Vicon Guide- Sumin Park ۲۰۱۵
- [۱۲] Sue Ann Sisto, PhD, PT; Gait analysis in the science of rehabilitation;

Diane Pub Co, ۱۹۹۸.

[۱۳] www.salford.ac.uk/health-sciences/research/research-programmes/gait-biomechanics.

[۱۴] Song Zhao MSc, Yun-su Chen MD, Xian-long Zhang MD; Clinical application of gait analysis in hip arthroplasty, April ۲۰۱۰.

[۱۵] Roberta de Melo Roiz, Enio Walker Azevedo Cacho, Manoela Macedo Pazinato, Julia Guimarães Reis, Alberto Cliquet Jr, Elizabeth M.A. Barasnevicus-Quagliato; Gait analysis comparing Parkinson's disease with healthy elderly subjects; ۲۰۱۰.

[۱۶] بررسی تأثیر انحراف پیچشی اندام تحتانی بر پارامترهای سینماتیکی راه رفتن بیمار/ مریم اسمعیلی

[۱۳] <http://jap.physiology.org/content/>

