

طراحی و ساخت دستگاه پودوگرافومتر و اصول علمی به کار رفته در آن

*کامران آزما^۱، علی مهنما^۲، علی تمدن^۳

تاریخ اعلام قبولی مقاله: ۹۱/۸/۱۰

تاریخ اعلام وصول: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: ساختار هندسی پا اثر مهمی در انتقال نیروهای وارد بر مفاصل و اندام بدن را دارا می‌باشد. برای ارزیابی وضعیت سلامت پا براساس فوت پرینت، شاخص‌های متعددی وجود دارد. برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها نیاز به طراحی دستگاهی است که دارای ویژگی‌هایی نظیر اطمینان‌پذیری، سادگی در استفاده، ارائه نتایج کمی، امکان اندازه‌گیری آسان، ارزان بودن، عدم وجود آثار زیان‌بار باشد.

مواد و روش‌ها: در طراحی و ساخت سخت افزار سیستم، علاوه بر ویژگی‌های ظاهری، قابلیت تحمل مکرر وزن تا ۱۲۰ کیلوگرم و امکان ایستادن نرمال (فاصله طبیعی دو پا از یکدیگر) برخوردار از منبع نوری قوی در اسکن جهت دست یابی به امکان اسکن حتی در روشنایی در نظر گرفته شد. همچنین ملزومات کاربردی و محاسباتی خاصی در طراحی نرم افزار سیستم در نظر گرفته شده از جمله سرعت بالا در پردازش، سادگی کار با نرم افزار، حداکثر اتوماسیون در داده برداری لحاظ گردید.

یافته‌ها: دستگاه طراحی شده قادر است شاخص‌های اصلی سنجش قوس پا شامل شاخص‌های قوس، استاهلی، چپاکس-اسمیراک، زاویه فوت پرینت و پای صاف را بصورت عددی و در قالب پرینت به درمانگر ارائه و در تشخیص اختلالات پا کمک نماید.

بحث و نتیجه‌گیری: دستگاه پودوگرافومتر در مقایسه با نمونه خارجی دارای مزیت‌های مهمی مانند امکان تفکیک هوشمند بخش‌های در تماس با زمین از سایر بخش‌ها، امکان انتخاب شاخص تشخیص مناسب از میان طیف گسترده‌ای از شاخص‌ها توسط کاربر و امکان ارائه تشخیص با استفاده از تصاویر رادیوگرافی می‌باشد.

کلمات کلیدی: پودوگرافومتر، قوس طولی پا، فوت پرینت، شاخص‌های مبتنی بر قوس پا

مقدمه

و محیط اطراف تشکیل می‌دهد و طبیعتاً شکل و ساختار هندسی آن، اثر بسزایی در انتقال مقدار و راستای نیروهای وارده بر سایر مفاصل و اندام بدن ایفا می‌نماید.

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار در عملکرد مکانیکی پا، شکل قوس طولی داخلی پا می‌باشد (۱)؛ این قوس که در طول پا کشیده شده است، از اهمیت بالایی در جذب شوک‌های مکانیکی وارده بر پا در حین انجام فعالیت‌های بدنی

کف پای انسان از ساختار پیچیده‌ای برخوردار است. وجود ۲۶ استخوان، ۳۳ مفصل و بیش از ۱۰۰ لیگامنت و تاندون در فضای نسبتاً کوچک کف پا و رد و بدل شدن نیروهای دینامیکی معادل چند برابر وزن کل بدن، این عضو را به اندامی خاص، حساس و آسیب پذیر تبدیل می‌نماید. کف پا به عنوان فونداسیون بدن، مهم‌ترین رابط مکانیکی سایر اندام حرکتی و اسکلتی بدن را با زمین

۱- دانشیار، ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی آجا جمهوری اسلامی ایران، گروه طب فیزیکی و توان بخشی (*نویسنده مسؤل)

تلفن: ۰۲۱-۸۵۹۵۳۴۷۶ آدرس الکترونیک: kamazema@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۳- فوق لیسانس مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

مبتنی بر فوت پرینت، نگاشت فشار پا، اندازه برداری فیزیکی، استفاده از تصاویر رادیوگرافی و انجام معاینه چشمی تقسیم بندی نمود؛ بنا به روش مورد استفاده جهت انجام تست های تشخیصی، شاخص های گوناگونی نیز پیشنهاد شده و مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفته اند. با توجه به ویژگی های ترسیم شده برای سیستم مورد نیاز جهت ارزیابی پاتوسط انجمن های معتبر علمی و با بررسی روش های مطرح در این زمینه، در نهایت طراحی سیستمی بر مبنای تصویربرداری اپتیک از پا و بهره برداری همزمان از شاخص های مبتنی بر سطح کلی پلنتار پا و فوت پرینت توسط تیم تحقیقاتی انتخاب گردید. در زیر، به بررسی وضعیت این روش در مواجهه با ویژگی های اشاره شده در مقدمه مقاله برای چنین دستگاهی می پردازیم (۷):

- **اطمینان پذیری:** آزمایشات اطمینان پذیری و صحت آزمایی انجام شده بر روی روش های تشخیصی مبتنی بر فوت پرینت نشان می دهد، یکی از دقیق ترین راه های بررسی وضعیت قوس پا، در صورت امکان اندازه برداری مطمئن، استفاده از شاخص های مبتنی بر فوت پرینت می باشد (۸-۱۲).

- **سادگی در استفاده:** در روش های سنتی که همچنان در گوشه و کنار جهان رایج می باشد، جهت بهره برداری از فوت پرینت از چاپ اثر پا استفاده می شود که به علت سختی عملیاتی باعث رکود استفاده کلینیکال از این روش ها می گردد. طراحی سیستم باید به گونه ای صورت گیرد تا سادگی در استفاده را تامین نماید.

- **ارائه نتایج کمی:** با بهره گیری از شاخص های متعدد صحت آزمایی شده، شاخص های مبتنی بر فوت پرینت امکان ارائه نتایج کمی را دارا می باشند.

- **امکان اندازه برداری آسان:** از جمله مشکلات در استفاده روش های مبتنی بر اندازه برداری فیزیکی، صعوبت عملیاتی و عدم امکان اندازه برداری از کف پا در حالت تحمل بار می باشد؛ سادگی در اندازه برداری های خطی، زاویه ای و سطحی از تمام نقاط کف پا در حالت تحمل بار نیز از جمله امکانات روش های مبتنی بر فوت پرینت می باشد.

- **ارزان بودن:** دستگاه های اسکن اپتیک، از مزیت بالای قیمت منطقی در مقایسه با سیستم های بسیار گران قیمت اسکنر فشاری برخوردار هستند. قیمت بالای سیستم های فشاری، عملاً استفاده

برخوردار است (۱)، لذا بروز حالات پاتولوژیک در این قوس به مرور زمان و با افزایش سن منجر به اختلال در عملکرد بیومکانیکال بدن شده و امکان ابتلا به دردهای حاد و مزمن مچ، زانو، لگن، کمر و حتی گردن را در پی خواهد داشت (۲). تحقیقات انجام شده نشان می دهد نسبت مستقیمی بین آمار مبتلایان به آسیب های ناشی از فعالیت های بدنی و ناهنجاری های قوس طولی پا وجود دارد (۱، ۳). به طور کلی، شکل قوس به سه حالت قوس زیاد، طبیعی و قوس کم تقسیم می شود. افراد مبتلا به قوس زیاد پا، عموماً در معرض آسیب های استخوانی در قوزک، دردهای قدامی زانو، شکست تنشی و دردهای نواحی مدیال پا و مبتلایان به قوس کم پا نیز در معرض زانو درد، سندرم تنش مدیال تیبیا و آسیب های درگیر کننده بافت نرم سمت مدیال پا می باشند (۱، ۴-۶).

امکان تشخیص و درمان پیشگیرانه، وجود طیف وسیع ناهنجاری ها، درصد بالای ابتلا و عدم امکان به کارگیری طیف وسیعی از این بیماران در نیروهای مسلح، سبب شده تا سازمان های معتبر علمی نظیر انجمن ارتوپدی و همچنین انجمن طب فیزیکی آمریکا، نیاز به وجود ابزاری جهت اندازه گیری دقیق و تشخیص پاتولوژی کف پا را به عنوان یکی از مهم ترین اولویت های پژوهشی خود قرار دهند (۷). ویژگی های شرح داده شده توسط این انجمن ها برای سیستم ارزیابی پا، شامل اطمینان پذیری، سادگی در استفاده، ارائه نتایج کمی، حداقل دخالت خارجی در دست یابی به نتایج و امکان اندازه برداری بدون نیاز به ابزارهای سخت و پیچیده می گردد (۷)؛ به این ویژگی ها می توان قیمت مناسب و عدم وجود آثار زیان بار جانبی را نیز اضافه کرد.

وجود این نیاز فراگیر در بین نیروهای مسلح و سایر اقشار جامعه، طراحی و ساخت دستگاهی مورد اطمینان جهت آنالیز دقیق و سریع بیومکانیکال پا را در دستور کار مرکز تحقیقات بیومکانیک دانشگاه علوم پزشکی ارتش قرار داد.

مواد و روش ها

انتخاب روش ارزیابی

به طور کلی، مطالعات متعدد و فراگیری بر روی روش های ارزیابی وضعیت قوس پا صورت گرفته و روش های متنوعی پیشنهاد گردیده است؛ در یک دسته بندی عمومی می توان این روش ها را به روش های

بر روی این شاخص، شاخص قوس را به عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های قابل تعریف جهت استاندارد سازی آنالیز قوس طولی پا مطرح ساخته است.

چنانکه در شکل (۱-الف) نشان داده شده است، در این روش، فوت پرینت پس از جداکردن اثر انگشتان به سه بخش S_A ، S_B و S_C تقسیم می‌شود. بدین منظور لازم است تا خط AB از خلفی‌ترین نقطه فوت پرینت (نقطه A) تا قله فوت پرینت، در نزدیک‌ترین نقطه فوت پرینت به مفصل متاتارسوفالانژیال دوم (نقطه B) رسم گردد؛ سپس خطی از نقطه C ، نزدیکترین نقطه فوت پرینت به مفصل متاتارسوفالانژیال سوم، عمود بر پاره خط AB رسم شده تا AB را در D قطع نماید. با تقسیم خط AD به سه قسمت مساوی، سطوح S_A ، S_B و S_C به دست می‌آیند. شاخص قوس از تقسیم مساحت بخش میانی S_B بر مجموع مساحت‌های فوق به دست می‌آید (۱۴).
بر این اساس، مقادیر AI کمتر از $0/21$ نشان دهنده قوس زیاد، بین $0/21$ و $0/26$ به عنوان قوس نرمال و مقادیر بیشتر به عنوان قوس کم قابل شناسایی می‌باشند (۱۵).

شاخص استاهلی

یکی دیگر از شاخص‌های مطرح مبتنی بر فوت پرینت، شاخص استاهلی (Staheli) می‌باشد (۱۶، ۱۷). این روش که مطابق بررسی‌های

از آن‌ها را بسیار محدود می‌کند.

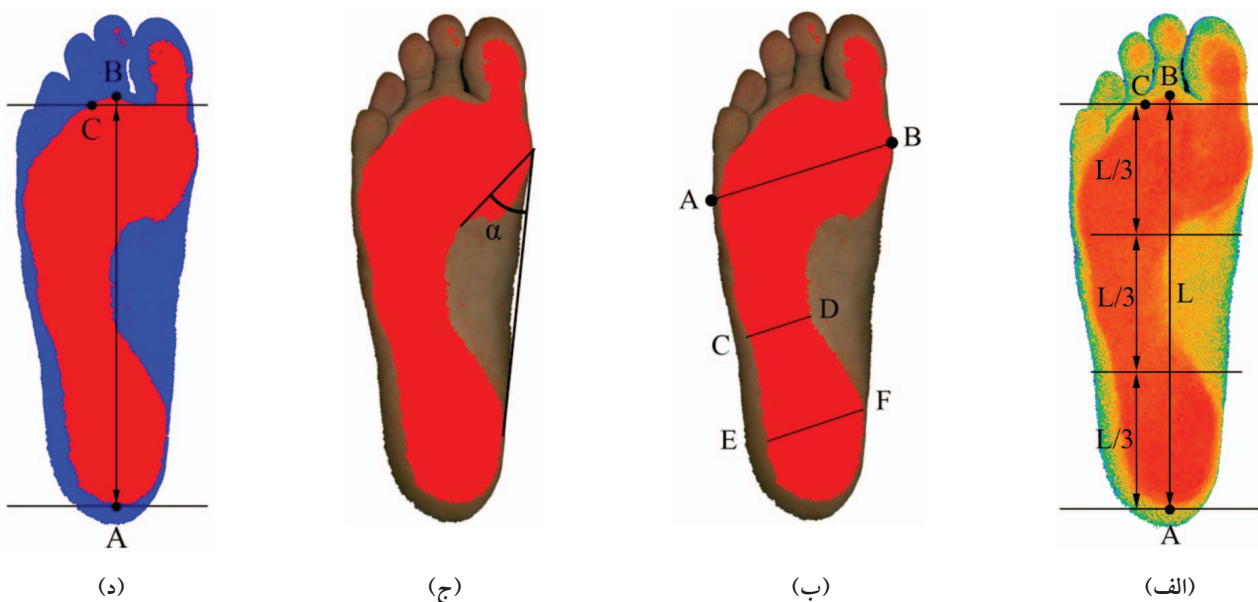
– **عدم وجود آثار زیان بار:** سیستم‌های اسکن اپتیک، هیچ‌گونه آثار زیان بار شناخته شده‌ای ندارند. این نکته، برتری قابل ملاحظه‌ای است که این سیستم در مقایسه با روش‌های مبتنی بر رادیوگرافی از آن برخوردار می‌باشد.

شاخص‌های قوس پا مبتنی بر فوت پرینت

مطرح‌ترین شاخص‌های ارزیابی قوس طولی پا مبتنی بر فوت پرینت، شامل شاخص قوس، شاخص استاهلی، شاخص چپیاکس-اسمیراک، زاویه کلارک و شاخص پای صاف می‌باشند.

شاخص قوس

یکی از مطرح‌ترین شاخص‌های ارزیابی قوس مبتنی بر فوت پرینت، شاخص قوس (Arch Index) می‌باشد. این شاخص که بر اساس مطالعات انجام شده صحت‌آزمایی (۸، ۱۲، ۱۳) و اطمینان‌پذیری (۲، ۹)، از درجه بالای انطباق با نتایج رادیوگرافیک تشخیصی برخوردار است، به دلیل عدم امکان اندازه برداری دقیق مساحت نواحی مورد استفاده در شاخص از کف پا، علیرغم فراگیری در بعد تحقیقاتی، در بعد کلینیکال چندان توسعه نیافته است. تعدد بالای آزمایش‌های صحت‌آزمایی و اطمینان‌پذیری صورت گرفته



شکل ۱- الف) محاسبه شاخص قوس پا ب) خطوط مورد نیاز جهت محاسبه شاخص‌های استاهلی و چپیاکس اسمیراک (ج) زاویه قوس (د) تفکیک سطوح پا جهت محاسبه شاخص صافی پا

(۲۱). مطابق تحقیقات انجام شده روی افراد زیر ۱۷ سال جهت طبقه بندی وضعیت قوس بر مبنای زاویه FPA، زوایای ۲۹/۹-۰ به عنوان پای صاف، ۳۴/۶-۳۰ به عنوان قوس کم پا، ۳۵-۴۱ به عنوان قوس نسبتاً کم و زوایای بیشتر از ۴۲ درجه به عنوان مقادیر نشان دهنده قوس نرمال پا معرفی گردیده‌اند (۲۲).

شاخص پای صاف

یکی از شاخص‌های ساده که به علت سختی در اندازه گیری کمتر مورد استفاده قرار گرفته است، شاخص پای صاف (FFI: Flatfoot Index) می‌باشد. همانطور که در شکل (۱-د) نشان داده شده است، برای محاسبه این شاخص لازم است تا تصویر سطح پا به دو بخش در تماس و غیر تماس با زمین تقسیم شود. در نهایت، نسبت سطح قرمز رنگ به مجموع سطوح قرمز و آبی رنگ محصور بین خطوط گذرنده از نقاط A و C در شکل (۱-د) مبین این شاخص می‌باشد. این شاخص در عین سادگی در تعریف، با توجه به دشواری‌های موجود در دست یابی به اندازه تفکیکی این سطوح کمتر مورد استفاده قرار گرفته و مانند سایر شاخص‌ها دارای حدود تشخیصی صحت آزمایی شده نمی‌باشد.

طراحی نرم افزار و سخت افزار

با توجه به ویژگی‌های شرح داده شده برای دستگاه و با دقت در تعاریف شاخص‌های مورد استفاده، می‌بایست تاملزومات کاربردی و محاسباتی خاصی در طراحی نرم افزار سیستم در نظر گرفته شوند.

ملزومات کاربردی در طراحی نرم افزار و سخت افزار

برخی از ملزومات کاربردی در طراحی در نرم افزار و سخت افزار سیستم به قرار زیر می‌باشند.

- سرعت بالا؛ یکی از جلوه‌های اصلی سادگی در کاربرد، سرعت بالای سیستم می‌باشد. بدین منظور می‌بایست ترتیبی اتخاذ گردد تا در کنار بهره گیری از الگوریتم‌های برنامه نویسی مناسب و بهینه، جمع آوری اطلاعات نیز حتی الامکان به طور هوشمند صورت گرفته و حداقل اطلاعات لازم از کاربر اخذ گردد.
- نرم افزار ساده (User friend software)؛ سادگی در بهره برداری، از جذابیت‌های کاربردی هر نرم افزاری می‌باشد؛ بدین منظور

صورت گرفته، یکی از مطمئن‌ترین شیوه‌های آنالیز قوس پامی باشد، به لحاظ اجرایی از مزیت سادگی اندازه برداری در مقایسه با شاخص قوس برخوردار می‌باشد. چنانکه در شکل (۱-ب) نشان داده شده است، برای محاسبه مقدار این شاخص، می‌بایست ابتدا با وصل نمودن خارجی‌ترین و داخلی‌ترین نقاط فوت پرینت در ناحیه متاتارسال پا، راستای خط عرضی پا به دست آید؛ با به دست آمدن این راستا، خطوطی به موازات خط AB در ناحیه میانی و پاشنه پا رسم می‌شود که به ترتیب نشان دهنده حداقل عرض فوت پرینت در ناحیه میانی (CD) و حداکثر عرض فوت پرینت در ناحیه پاشنه (EF) باشند (۱۴). شاخص استاهلی از تقسیم طول CD بر EF محاسبه می‌گردد. مطابق طبقه بندی انجام شده، حد بین ۰/۰۳ و ۰/۱ به عنوان حد نرمال شاخص استاهلی در نظر گرفته می‌شود و مقادیر بیشتر به عنوان قوس کم و مقادیر کمتر به عنوان قوس زیاد پا معرفی گردیدند (۱۶، ۱۷).

شاخص چپاکس - اسمیراک

از جمله شاخص‌های مطرح آنالیز فوت پرینت، شاخص چپاکس - اسمیراک (CSI: Chippaux-Smirak Index) می‌باشد (۱۸). چنانکه در شکل (۱-ب) نشان داده شده است، این شاخص از تقسیم نسبت طول CD به AB به دست می‌آید که در آن CD کم‌ترین عرض در ناحیه قوس فوت پرینت و AB بیشترین عرض در ناحیه متاتارسال فوت پرینت را شامل می‌شود. مطابق تحقیق انجام شده توسط یاورسکی و پاچ بر روی کودکان دارای اضافه وزن، وضعیت پا با استفاده از شاخص فوق به پنج حالت زیر تقسیم بندی شده است؛ قوس زیاد (۰٪)، قوس نرمال (۲۹/۹٪-۰/۱٪)، قوس نسبتاً کم (۳۹/۹٪-۳۰٪)، قوس کم (۴۴/۹٪-۴۰٪) و پای صاف (بیش از ۴۵٪) (۱۵).

زاویه کلارک یا زاویه فوت پرینت

یکی دیگر از زوایای پر کاربرد در آنالیز فوت پرینت (FPA: Footprint Angle) (۱۵، ۱۹، ۲۰)، سنجش زاویه قوس یا همان زاویه کلارک (Clarke's Angle) می‌باشد (۲۱). چنانکه در شکل (۱-ج) نشان داده شده است، زاویه کلارک از اندازه گیری زاویه میان خط مماس مدیال فوت پرینت و خط متصل کننده برجستگی مدیال ناحیه متاتارسال پا و نقطه شروع قوس طولی مدیال پا ایجاد شده است

یکدیگر تمییز داده شده و محاسبات طولی، زاویه‌ای و سطحی بر روی آن‌ها صورت گیرد. انتظار انجام این کار به صورت دستی توسط کاربر، به معنای دست یابی به نتایج غیر همسان بین هر دو کاربر و همچنین زمان بالای انجام این عملیات می‌باشد؛ لذا لازم است تا این پروسه به صورت اتوماتیک و توسط دستگاه صورت پذیرد.

- ارائه کانتورهای توزیع رنگ پا؛ از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفی وضعیت سلامت بیومکانیکال پا، کانتورهای توزیع رنگ می‌باشند. محاسبه دقیق این کانتورها، نیازمند بهره‌گیری از برنامه پردازش تصویر با دقت بالا می‌باشد. یکی از جلوه‌های پیچیدگی این بخش از نرم افزار، وجود ناهمگونی در ضخامت و شکل پوست پا و امکان اثر گذاری آن روی نتایج می‌باشد. همچنین نرم افزار می‌باید در مواجهه با افراد مشابه به لحاظ بیومکانیک پا، اما متفاوت به لحاظ رنگ پوست، نتایج یکسانی را ارائه نماید.

کد نویسی پردازش تصاویر ابتدا در نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی و آزمایش شده و سپس در محیط ویژوال استودیو بازنویسی شده است.

یافته‌ها

طراحی نرم افزار و سخت افزار دستگاه پودوگرافومتر بر اساس ملزومات استخراج شده از ویژگی‌های ترسیم شده برای دستگاه و تعاریف شاخص‌ها صورت گرفت. به طور کلی، نتایج طراحی و ساخت به دو بخش نرم افزار و سخت افزار تقسیم می‌گردند.

نرم افزار پودوگرافومتر

نرم افزار طراحی شده، دارای ۶ بخش مجزای ورود اطلاعات شخصی فرد، ورود تصاویر اسکن اپتیک و یا رادیوگرافی، پردازش تصاویر، اندازه برداری دستی، محاسبه شاخص‌ها و گزارش نهایی می‌باشد؛ در ادامه به اجمال به بحث راجع به هر یک از این بخش‌ها می‌پردازیم.

- **ورود اطلاعات:** در این مرحله پرونده بیمار تشکیل شده و اطلاعات شخصی وی وارد می‌گردد.

- **ورود تصاویر:** در این بخش، نرم افزار دستور اخذ اسکن جدید از پای بیمار را صادر کرده و یا می‌تواند اسکن‌های پیشین را

بایستی طراحی نرم افزار در ساده‌ترین فرم ممکن صورت گرفته و مراحل انجام عملیات به طور گام به گام و با هدایت نرم افزار صورت پذیرد.

- تشکیل بانک اطلاعاتی؛ به منظور دسترسی به اطلاعات شخصی و پزشکی بیمار، می‌بایست تا بانک اطلاعاتی شخصی و پزشکی بیمار در نرم افزار تعبیه گردد.

- همسانی داده برداری: همسانی داده‌ها از مهم‌ترین فاکتورهای اثر گذار در اطمینان پذیری نتایج دستگاه می‌باشد. لذا در طراحی نرم افزار باید گونه‌ای عمل شود تا اندازه برداری‌های چالشی توسط اپراتور صورت نگرفته و در این موارد نرم افزار به صورت اتوماتیک عمل نماید.

- سخت افزار متناسب: سخت افزار سیستم، علاوه بر ویژگی‌های ظاهری، می‌بایست واجد شرایط ساختاری مورد نیاز جهت تحمل مکرر وزن تا ۱۲۰ کیلوگرم بوده و امکان ایستادن نرمال (فاصله طبیعی دو پا از یکدیگر) را در اختیار بیمار قرار دهد. از دیگر ملزومات سخت افزاری، برخورداری از منبع نوری قوی در اسکن جهت دست یابی به امکان اسکن حتی در روشنایی می‌باشد. همچنین لازم است به منظور حفظ تشابه هندسی تصویر با پا و همچنین به منظور دست یابی به تصویر شفاف و بدون سایه، میزان خیز ناشی از وزن بیمار در سطح روئین دستگاه حداقل گردد.

ملزومات پردازشی در طراحی نرم افزار

با توجه به ویژگی‌های ترسیم شده برای نرم افزار و همچنین با توجه به نوع و ماهیت شاخص‌های مبتنی بر فوت پرینت، لازم است تا ملزومات پردازشی خاصی در طراحی نرم افزار دستگاه لحاظ گردد. اهم این ملزومات شامل موارد زیر می‌گردند.

- امکان اندازه برداری‌های خطی، زاویه‌ای و سطحی؛ امکان اندازه برداری دقیق طولی، زاویه‌ای و به خصوص اندازه برداری سطحی، بر روی تصاویر کاملاً متشابه با نمونه اصلی و به صورت کالیبره شده، از ملزومات اندازه‌گیری شاخص‌ها می‌باشد.

- تفکیک هوشمند بخش‌های در تماس و غیر تماس با زمین؛ چنانکه در تعاریف شاخص‌های مبتنی بر فوت پرینت اشاره گردید، در محاسبه تمام شاخص‌ها لازم است تا این دو سطح از

را در اختیار نرم افزار گذاشته و در نهایت نرم افزار با محاسبه شاخص‌ها، نتایج را در قالب یک گزارش ارائه می‌نماید. در شکل (۲-الف) و (۲-ب) این امکان نرم‌افزار دستگاه مشاهده می‌شود.

سخت افزار

سخت افزار دستگاه پودوگرافومتر در شکل ۳ نشان داده شده است. انجام بیش از ۵۰۰ تست عملیاتی بر روی سخت افزار، موید برآورد کردن ملزومات مندرج در بخش مواد و روش‌ها، شامل استحکام لازم، فراهم نمودن منبع نوری بالا جهت اسکن در روشنایی محیط و همچنین رعایت خیز مجاز جهت دست یابی به تصاویر شفاف و بدون سایه می‌باشد.



شکل ۳- نمایی از تست دستگاه در مرکز تحقیقاتی درمانی شهید فلاحی نزاجا

بارگذاری کرد. همچنین امکان بارگذاری تصاویر رادیوگرافی پای بیمار از نماهای خلفی-قدامی و یا جانبی نیز وجود دارد.

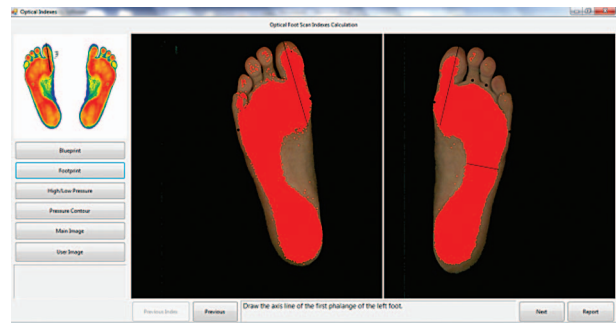
- **پردازش تصاویر:** یکی از مهم‌ترین و پیشرفته‌ترین بخش‌های نرم افزار، بخش پردازشی آن می‌باشد. در این بخش امکان دست یابی سریع به تصاویر کانتورهای توزیع رنگ پا که دارای ارتباط معنادار با توزیع فشار پا می‌باشند در اختیار پزشک قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های برجسته این تصاویر امکان شناسایی بالای تغییرات رنگی پوست (ناشی از عوارض پوستی) و تمییز آن از تغییرات رنگی ناشی از ورود فشار می‌باشند. در این بخش می‌توان به تصاویر تفکیک شده از بخش‌های در تماس با زمین و سایر بخش‌های پا دست یافت. این ویژگی که از قابلیت‌های منحصر به فرد دستگاه پودوگرافومتر به حساب می‌آید، تاثیر مهمی بر افزایش سرعت کار اپراتور و اطمینان پذیری نتایج دستگاه داشته و امکان محاسبه سریع بسیاری از شاخص‌های مبتنی بر فوت پرنیت را فراهم می‌نماید.

- **اندازه برداری دستی:** در این بخش، امکان اندازه برداری‌های طولی، زاویه‌ای و سطحی بر روی تصاویر اسکن کالیبره شده با تصاویر واقعی فراهم می‌گردد.

- **محاسبه شاخص‌ها:** در این بخش، سه گونه شاخص‌های مبتنی بر تصاویر فوت پرنیت، تصاویر رادیوگرافی از نمای جانبی و تصاویر رادیوگرافی از نمای خلفی-قدامی در اختیار کاربر خواهد بود. کاربر پس از انتخاب گونه مورد نظر، منویی از شاخص‌های مرتبط با گونه انتخابی را در مقابل خواهد داشت. پس از انتخاب شاخص یا شاخص‌های مورد نظر، کاربر با هدایت مصور نرم افزار، حداقل اطلاعات لازم برای محاسبه شاخص‌ها



(ب)



(الف)

شکل ۲-الف) اندازه برداری هدایت شده جهت محاسبه شاخص‌های مبتنی بر فوت پرنیت (ب) اندازه برداری هدایت شده جهت محاسبه شاخص‌های مبتنی بر نمای خلفی-قدامی رادیوگرافی پا

تست عملکردی

در یک حالت خاص قرار داده شود و تصویربرداری از هر پا به صورت جداگانه صورت می‌گیرد. در این حالت پا از فرم طبیعی خود خارج شده و پزشک از دست یابی به بخشی از اطلاعات مفید تشخیصی محروم خواهد بود.

از دیگر قابلیت‌های شاخص نرم افزار دستگاه پودوگرافومتر، امکان تشخیص هوشمند بخش‌های ضخیم شده پوست پا می‌باشد. چنانکه می‌دانیم، در اثر تناوب در ورود نیروهای استاتیک و دینامیک، به تدریج ممکن است پوست پا دچار تغییر ضخامت و رنگ گردد؛ این تغییر باعث می‌گردد تا دستگاه‌هایی که توزیع نیرو را با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر به دست می‌آورند دچار اشتباه شوند. دستگاه پودوگرافومتر بر خلاف نمونه آمریکایی خود، از قابلیت تشخیص هوشمند این بخش از پا برخوردار بوده و لذا کانتورهای فشاری دقیق تری را ارائه می‌نماید.

برخی از دیگر مزیت‌های مهم دستگاه پودوگرافومتر شامل امکان تفکیک هوشمند بخش‌های در تماس با زمین از سایر بخش‌ها بدون نیاز به دخالت کاربر، امکان انتخاب شاخص تشخیصی مناسب از میان طیف متنوعی از شاخص‌ها توسط کاربر، امکان ارائه تشخیص با استفاده از تصاویر رادیوگرافی و... می‌باشند.

دستگاه پودوگرافومتر، علیرغم انجام تست‌های متعدد عملکردی در مراکز تحقیقاتی و درمانی داخل کشور و برخورداری از بسیاری از فاکتورهای مورد نیاز جهت طراحی و ساخت یک سیستم مطمئن در ارزیابی سلامت بیومکانیکال پا، همانند هر سیستم نوپای دیگری همچنان نیازمند انجام تست‌های اطمینان پذیری و صحت آزمایی بیشتر جهت دست یابی به بازار تولید انبوه می‌باشد.

دستگاه پودوگرافومتر، طی چندین مرحله در مراکز معتبر علمی، نظیر دانشگاه علوم پزشکی ارتش و دانشگاه علوم توانبخشی و بهزیستی مورد تست قرار گرفته و موفق به اخذ تاییدیه عملکردی از دانشگاه علوم پزشکی ارتش، مرکز تحقیقاتی درمانی شهید فلاحی نزاجا، گروه ارگونومی دانشگاه علوم بهزیستی و توان بخشی و برخی از متخصصین و اساتید دانشگاه گردیده است.

بحث و نتیجه گیری

مجموعه نرم افزار و سخت افزار دستگاه پودوگرافومتر، حاصل بررسی چند مرحله‌ای شامل انتخاب روش ارزیابی از میان روش‌های ارزیابی بیومکانیک پا، انتخاب معتبرترین شاخص‌های آنالیز جهت بهره برداری در دستگاه و فراهم نمودن امکان دست یابی به این شاخص‌ها در مطمئن‌ترین راه ممکن می‌باشد. طی کردن مجموعه این مراحل انتخابی در کنار بهره برداری از امکانات خاص نرم افزاری سبب گردیده تا دستگاه پودوگرافومتر از قابلیت‌ها و توان مندی‌های قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سیستم‌های خارجی برخوردار گردد. مقایسه میان قابلیت‌های دستگاه پودوگرافومتر و دستگاه آمریکایی Associate Platinum، می‌تواند محک مناسبی جهت سنجیدن قابلیت‌های دستگاه پودوگرافومتر باشد.

دستگاه پودوگرافومتر، از قابلیت تصویربرداری همزمان و یا جداگانه از هر دو پا برخوردار می‌باشد، بدین ترتیب امکان بررسی روابط هندسی میان دو پا و بررسی پاتولوژیکی آن‌ها برای این دستگاه فراهم می‌باشد؛ در حالیکه در دستگاه آمریکایی می‌بایست تا پا

References

- Xiong S, Goonetilleke RS, Witana CP, Weerasinghe TW, Au EY. Foot arch characterization: a review, a new metric, and a comparison. *J Am Podiatr Med Assoc* 2010; 100(1): 14-24.
- Papuga MO, Burke JR. The reliability of the Associate Platinum digital foot scanner in measuring previously developed footprint characteristics: a technical note. *J Manipulative Physiol Ther* 2011; 34(2): 114-8.
- Cowan DN, Jones BH, Robinson JR. Foot morphologic characteristics and risk of exercise-related injury. *Arch Fam Med* 1993; 2(7): 773-7.
- Teyhen DS, Stoltenberg BE, Collinsworth KM, Giesel CL, Williams DG, Kardouni CH, et al. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2009; 24(4): 391-6.
- Burns J, Crosbie J, Hunt A, Ouvrier R. The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 2005; 20(9): 877-82.
- Williams Iii DS, McClay IS, Hamill J. Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 2001; 16(4): 341-7.
- Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2006; 21(1): 89-98.

- 8- Menz HB, Munteanu SE. Validity of 3 clinical techniques for the measurement of static foot posture in older people. *J Orthop Sports Phys Ther* 2005; 35(8): 479-86.
- 9- Queen RM, Mall NA, Hardaker WM, Nunley 2nd J. Describing the medial longitudinal arch using footprint indices and a clinical grading system. *Foot & ankle international/American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society* 2007; 28(4): 456-62.
- 10- Cobb SC, James CR, Hjertstedt M, Kruk J. A digital photographic measurement method for quantifying foot posture: validity, reliability, and descriptive data. *Journal of athletic training* 2011; 46(1): 20-30.
- 11- Chen CH, Huang MH, Chen TW, Weng MC, Lee CL, Wang GJ. The correlation between selected measurements from footprint and radiograph of flatfoot. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 2006; 87(2): 235-40.
- 12- Kanatli U, Yetkin H, Cila E. Footprint and radiographic analysis of the feet. *J Pediatr Orthop* 2001; 21(2): 225-8.
- 13- Chu WC, Lee SH, Chu W, Wang TJ, Lee MC. The use of arch index to characterize arch height: a digital image processing approach. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on* 1995; 42(11): 1088-93.
- 14- Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *Journal of biomechanics* 1987; 20(5): 547-51.
- 15- Nikolaidou M, Boudolos K. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *The Foot* 2006; 16(2): 82-90.
- 16- Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am* 1987; 69(3): 426-8.
- 17- Hogan MT, Staheli LT. Arch height and lower limb pain: an adult civilian study. *Foot Ankle Int* 2002; 23(1): 43-7.
- 18- Chippaux C. *Éléments d'anthropologie*; 1948.
- 19- Mathieson I, Upton D, Birchenough A. Comparison of footprint parameters calculated from static and dynamic footprints. *The Foot* 1999; 9(3): 145-9.
- 20- Nikolaidou M, Boudolos K. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *The Foot* 2006; 16(2): 82-90.
- 21- Clarke HH. An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. *Res Q* 1933; 4: 99-107.
- 22- Forriol F, Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot & ankle* 1990; 11(2): 101-4.

Design and Manufacturing Podographometer Device and Scientific Principles Used in It

Kamran Azma¹, Ali Mahnama², Ali Tamaddon³

Received: 6 Aug 2012

Accepted: 31 Oct 2012

Abstract

Background: Foot's morphological structure has an important role in load transition to the joints and body's organs. There are several footprint based indexes evaluating the foot's situation. The features recommended for a new device for foot assessment include reliability, simplicity in use, quantitative output, simplicity in measuring, low cost and being non-invasive.

Materials and Methods: In design and manufacturing of the device's hardware, in addition to the visual parameters, its capability in bearing repeating forces up to 120 (kg), providing a natural standing situation for the patient and a strong light source to be able to scan even in the day light was considered. Also special application and computational requirements, like high speed data analysis, user friend software, automated data gathering etc. were considered in software design.

Results: This device is capable of evaluating the main footprint based indexes including Arch Index (AI), Staheli Index (SI), Chippaux-Smirak (CSI), Footprint Angle (FPA) and Flatfoot Index (FFI) and documents the results.

Conclusion: Podographometer has important advantages over similar foreign devices such as intelligent separation of contact parts of with ground from other parts of foot, selection of suitable index from extensive spectrum of indexes by user and diagnosing by using radiographic images.

Keywords: Podographometer, Longitudinal Arch of the Foot, Footprint, Footprint Based Indexes

1- (*Corresponding Author) Associate professor of Physical medicine & rehabilitation. AJA medical University

Tel: +98 21 85953476 E-mail: kamazema@yahoo.com

2- PhD Candidate, Department of Mechanical Engineering, University of Tehran

3- MSc in Mechanical Engineering, Sharif University of Technology