طراحی و پایایی‌سنجی دستگاه ارزیاب غیرتهاجمی ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن

امیرحسین طواری[۱]، محمدهادی هنرور[۲]، مصطفی حاج‌لطفعلیان[*۳]

۱. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک/ هسته سامانه‌های پشتیبان در توسعه سلامت، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳. دکتری بیومکانیک ورزش، هسته سامانه‌های پشتیبان در توسعه سلامت، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مقاله فناوری تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۸ شماره صفحات: **۵۵ تا ٦٤**

چکیده

در سالیان اخیر تلاش‌هایی مبنی بر استفاده از روش‌های غیرتهاجمی برای دستیابی به این زوایا صورت پذیرفته است. هدف از این مطالعه بررسی قابلیت‌ها و پایایی‌سنجی سیستمی غیرتهاجمی مبتنی بر داده‌برداری سطحی با استفاده از دوربین‌های عمق سنج مادون‌قرمز است. برای این منظور باید ابتدا با بهره‌گیری از تعدادی رابطهٔ ریاضیاتی، ابرنقاطی از سطح ایجاد کرد و با تحلیل هندسی نقشه توپوگرافی سطح، انحرافات مدنظر را استخراج کرد. در این مطالعه پس از استخراج ابر نقاط، برای شناسایی لندمارک‌های آناتومیکی از روش گوس بر مبنای مشتق دوم سطح استفاده شد. بر این اساس سطح بدن به تعدادی کانوکسیتی، کانکیویتی و سهموی تقسیم شد. در ادامه با تحلیل ریاضیاتی نقشه توپوگرافی سطح، زوایای تعدادی از ناهنجاری‌های پشت برآورد شد. در این روش از ضریب همبستگی درون‌گرا و حداقل تغییر قابل‌تشخیص برای بررسی پایایی نسبی و مطلق استفاده شد. نتایج نشان داد که شناسایی لندمارک‌ها با استفاده از روش مشتق دوم با دقت مناسبی امکان‌پذیر است. همچنین نتایج پایایی‌سنجی، مقادیر قابل‌قبول و بالایی را برای زوایای بررسی‌شده نشان داد. در نهایت می‌توان گفت که روش مطرح‌شده، پایایی مناسبی دارد و می‌تواند در ارزیابی‌های مستمر جایگزینی برای رادیوگرافی باشد.

کلیدواژه‌ها: داده‌برداری سطحی، ابر نقاط، ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن، پایایی‌سنجی.

Design and reliability of non-invasive assessment apparatus for vertebral and pelvic abnormalities

Amir Hossein Tavari[1]., Mohammad Hadi Honarvar[2]., Mostafa Hajlotfalian[3*].

1. Master Student, Mechanic Engineer., Yazd University, Yazd, Iran
2. Assisant Professor., Mechanic Engineer., Center of Excellence for Support Systems in Health Development, Yazd University, Yazd, Iran
3. PhD., Center of Excellence for Support Systems in Health Development, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

In recent years, efforts have been made to use non-invasive methods to achieve these angles. The aim of this study was to investigate the capabilities and reliability of a non-invasive system based on surface data mining using infrared depth cameras. To do this, you must first use a number of mathematical relations to create a cloud of points of the surface and to extract the desired deviations by geometric analysis of the map and surface topography. In this study, after extraction of cloud of points, the gossip method based on the second surface derivative was used to identify anatomical landmarks. Based on this, the body surface area was divided into a number of convexity, convection and parabolic. Then, by mathematical analysis of the surface topography map, the angles of a number of backward anomalies were estimated. To test the repeatability of this method, intra class correlation coefficient and minimum detectable changes were used to evaluate the relative and absolute reliability. The results of this study showed that it is possible to identify landmarks using the second derivative method with appropriate accuracy. The results of the reliability survey also showed acceptable and high values for the studied angles .Thus, it can be said that the use of this method has a good introverted reliability and can be a good alternative to radiography in continuous evaluations.

keywords: Surface Data Mining, Point Cloud, Spinal and Pelvic Abnormalities, Reliability.

*. Mostafa.h.lotfalian@gmail.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]

[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

مقدمه

ناهنجاری‌های ستون مهره، در بیشتر مواقع مجموعه‌ای از چرخش مهره‌ها در صفحه‌ی هریزنتال و انحنای غیرطبیعی در دو صفحه فرونتال و سجیتال است (۱). این ناهنجاری‌ها علاوه بر ایجاد اختلال در ظاهر و زیبایی قامت که اولین دلیل مراجعهٔ افراد برای درمان است، عملکرد فیزیولوژیکی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل وجود یک مقاومت نسبی (صلبیت نسبی) در حرکت مهره‌ها نسبت به هم مراحل درمان بر اساس بهبود در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی انجام می‌گیرد (۲)؛ بنابراین، اندازه‌گیری دقیق و قابل‌اعتماد ناهنجاری‌های ستون مهره، برای تصمیم‌گیری پزشک ضروری است. تحقیقات انجام‌شده در رابطه با درصد ناهنجاری‌های وضعیتی در نقاط مختلف کشور نشان می‌دهد که به‌طور متوسط ۸۰ درصد افراد جامعه به هنجاریابی‌های دقیق و تحت نظر قرار گرفتن توسط متخصصین مربوطه نیاز دارند (۳). بر این اساس بررسی و شناخت ناهنجاری‌های اسکلتی، می‌تواند تأثیر شایانی در جهت پیشگیری از ناهنجاری‌های جسمانی داشته باشد (٤). استاندارد طلایی برای تشخیص اولیه و نظارت طولانی ناهنجاری‌های اسکلتی، تصویربرداری از دو نمای فرونتال و سجیتال با روش تهاجمیِ رادیوگرافی است (۵). ازآنجاکه ساختار اسکلتی عضلانی بدن در سنین نوجوانی از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است، ناهنجاری‌های مربوط به این ناحیه در این سنین شایع‌تر است. از طرفی تأثیرپذیری بیشتر این گروه از دریافت تشعشع و افزایش خطر ابتلا به سرطان در تصویربرداری‌های پی‌درپی، لزوم توجه به محدودسازی یا عدم استفاده از رادیوگرافی را افزایش می‌دهد (٦ و ۷). در جهت کاهش دوزهای تشعشع حاصل از پرتو ایکس، اقداماتی صورت گرفته که منجر به ارائه روش EOS گردیده است. این روش تأثیرات مخرب لحظه‌ایِ کمتری نسبت به رادیولوژی دارد و قادر است درصد زیادی از تشعشع پرتو ایکس را کاهش و تصاویری با کیفیت رادیوگرافی ارائه دهد (۸ و ۹). قابل‌ذکر است که تأثیرات مخرب تشعشع در درازمدت، هزینه‌ی بالای تجهیزات و خدمات و نیاز به فضای بزرگ برای استقرار دائم، ازجمله معایب روش EOS است (۱۰ و ۱۱).

پیشرفت تکنولوژی و گسترش روش‌های اندازه‌گیری ازیک‌طرف و خطرات ناشی از روش‌های تهاجمی برای اندازه‌گیری ساختار اسکلتی از طرف دیگر، باعث افزایش توجه به روش‌های اندازه‌گیری غیرتهاجمی شده است. روش‌های غیرتهاجمی سنجش ناهنجارهای ستون مهره و لگن به دو دستهٔ روش‌های تماسی مانند کایفومتر، انکلاینومتر، خط‌کش منعطف، اسپاینال پانتوگراف، الکتروگونیامتر و اسپاینال موس و غیرتماسی مانند استریوفتوگرامتری و راستروواسترئوگرافی تقسیم می‌شوند (۱۲). روش‌های تماسی به دلیل هزینه زمانی زیاد، تأثیرپذیری از خطای انسانی و کاربرد برای غربالگری تک عارضه‌ها بجای جامعیت در سنجش طیف وسیعی از اختلالات، حتی باوجود غیرتهاجمی بودن، به‌مرورزمان جای خود را به روش‌های غیر تماسی داده و خواهد داد (۱۲ و ۱۳). از بین روش‌های غیرتماسی، روش استریوفتوگرامتری به مارکرگذاری در محل لندمارک‌ها نیاز دارد و صرف زمان برای یافتن محل دقیق لندمارک، لزوم استفاده از متخصص برای مارکرگذاری و تأثیرپذیری از خطای انسانی ازجمله مشکلات آن است (١٤). راستروواسترئوگرافی مشکلات سایر روش‌ها را ندارد و قادر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

است با آنالیز نقشه توپوگرافی سطح، ناهنجاری‌های اسکلتی را استخراج کند. بااین‌وجود هزینه‌ی تجهیزات، فرایند کالیبراسیون و لزوم تصویربرداری رنگی از پشت بیمار که ممکن است امنیت روانی فرد را دچار مشکل کند، از محدودیت‌های آن است (۱۵). استفاده از دوربین‌های عمق‌سنج مادون‌قرمز برخلاف دو روش غیرتماسی مطرح‌شده، جایگزینی ارزان‌قیمت باقابلیت تصویربرداری سه‌بعدی از سطوح و ایجاد ابرنقاط است. اندازه‌گیری عمق با خطایی کمتر از دو میلی‌متر در حداقل فاصله (۱٦) و عدم نیاز به نور محیط و امکان داده‌برداری در شرایط کاملاً تاریک (حفظ امنیت روانی بیمار) ازجمله مزایای آن است. در این روش با یک‌بار تصویربرداری عمقی از سطح پشت، بدون قرار گرفتن در معرض پرتوهای یونیزان[1]، تجزیه‌وتحلیل ناهنجاری‌های ستون مهره‌ها انجام می‌گیرد (۱۷). در این مطالعه با بهره‌گیری از دوربین‌های عمق‌سنج IR، به‌عنوان روشی غیرتهاجمی، کم‌هزینه و دقیق، چگونگی استخراج ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن از طریق آنالیز نقشه‌ی توپوگرافی سطح بیان شد. در ادامه با توجه به اهمیت تکرارپذیری نتایج در آزمون‌های متوالی به‌منظور پایش درازمدت مبتلایان به ناهنجاری‌های اسکلتی و بررسی تأثیر تراپی‌های ارائه‌شده، پایاییِ خروجی‌های این روش بررسی شد.

روش‌شناسی

دوربین‌های عمق‌سنج IR، مجهز به سنسور عمق‌سنج و یک دوربین ویدئویی هستند و قادرند با ترکیب اطلاعات دو سنسور، سطح اسکن شده را به‌صورت ابر نقاطی سه‌بعدی ارائه دهند. خروجی دیگر این سیستم که صرفاً از سنسور IR استفاده می‌کند، ماتریسی از اطلاعات فاصله است که ابعاد آن مستقیماً به‌وضوح سنسور وابسته است. با توجه به شرایط فرهنگی جامعه‌ی ما و به‌منظور افزایش اطمینان و امنیت روانی بیمار، دوربین ویدئویی از مدار خارج و تنها از اطلاعات سنسور IR برای داده‌برداری از بیمار استفاده شد. با توجه به‌وضوح ٤٢٤ در ۵۱۲ پیکسلیِ سنسور عمق‌سنج و میدان دیدِ به ترتیب ٦۰ و ۷۰/۳ درجه‌ای در دو راستای بالایی-پایینی و چپی-راستی، از روابط شماره‌ی یک و دو برای ایجاد ابرنقاط در فضای سه‌بعدی استفاده شد (۱۸).

$$[X]_{m,n} = \left[\frac{\left(m - \frac{M}{2}\right) \times Z_{m,n}}{\cos(35.3) \times \frac{M}{2}} \right] \quad (۱)$$

$$[Y]_{m,n} = \left[\frac{\left(n - \frac{N}{2}\right) \times Z_{m,n}}{\cos(30) \times \frac{N}{2}} \right] \quad (۲)$$

در روابط شماره‌ی یک و دو، m و n به ترتیب شماره پیکسل در راستای چپی-راستی و بالایی-پایینی؛ M و N بیانگر حداکثر تعداد پیکسل در دو راستا و Z میزان فاصله از سنسور است که با X و Y مؤلفه‌های سه‌بعدی ابرنقاط برحسب میلی‌متر را تشکیل می‌دهند. با توجه به موقعیت نشانه‌های آناتومیکی (۱۹) که الگوی خاصی را به خود اختصاص می‌دهند، می‌توان اهمیت علمی روش بررسی انحنای سطوح را نشان داد. ازجمله روش‌های

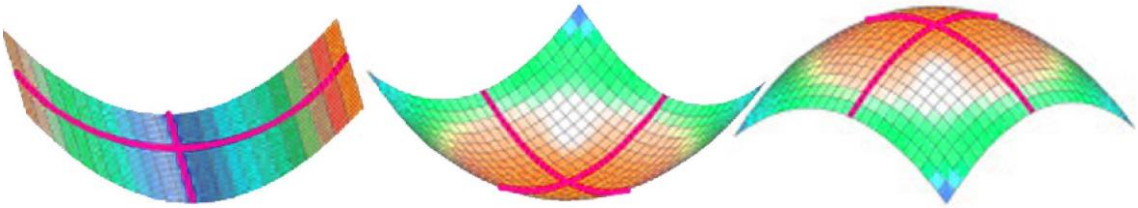
1. Ionizing radiation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

مطرح در بررسی انحنای سطوح، روش گوس بر مبنای مشتق دوم (جهت تقعر نمودار) در دو راستای X و Y است که در فرمول شماره سه نشان داده‌شده است. بر اساس این تئوری (۲۰) هرگاه از وجود مشتق دوم در تمام نقاط اطمینان حاصل شود، به کمک قضیه مقدار میانگین[1] (۲۱) رابطه سه قابل‌اثبات است.

$$f''(x) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x+h) - 2f(x) + f(x-h)}{h^2} \qquad (۳)$$

در رابطه شماره سه، f(x) مقدار Z هر نقطه؛ x مکان افقی؛ h فاصله افقی بین نقاط و $f''(x)$ مشتق مرتبه دوم برای هر نقطه هست. در این روش بعد از محاسبه اندازه تقعر نمودار، اگر در دو راستا هم علامت باشند و برآیندشان مثبت باشد، یک نقطه‌ی مقعر یا کانکیو را نشان می‌دهند. درصورتی‌که برآیند دو راستا منفی باشد، نقطه‌ی موردنظر محدب یا کانوکس است و در صورت صفر بودن مقدار تقعر حداقل در یک راستا، به آن نقطه سهموی گفته می‌شود.



شکل ۱. انواع انحناهای سطح (به ترتیب از راست به چپ: کانوکس، کانکیو و سهموی)

به‌طورمعمول، ناهنجاری‌های شایع ستون مهره مانند اسکولیوز، کایفوز و لوردوز در محدوده‌ی مهره‌های پشتی و کمری رخ می‌دهد. شناسایی لند مارک‌هایی مانند مهره‌ی هفتم گردنی (C7) و خار خاصره فوقانی خلفی (PSIS) برای این مسئله ضرورت دارد. مهره هفتم گردنی باوجود داشتن کانوکسیتی، ممکن است با نقاطی مثل برآمدگی انتهای استخوان کتف اشتباه گرفته شود. برای شناسایی این لندمارک می‌توان از راه‌های جایگزینی همچون استفاده از مارکر یا لمس کردن بهره برد (۲۲ و ۲۳). از طرفی لندمارک‌های PSIS، در نقشه‌ی گوسی سطح قابل‌تفکیک‌اند و به‌راحتی شناسایی می‌شوند. با در اختیار داشتن دو نقشه گوسی بر مبنای مشتق مرتبه دوم، نقشه‌ی عمق از طریق ابر نقاط سطح پشت بیمار و موقعیت تعدادی از لندمارک‌های آناتومیکی، می‌توان برای شناسایی ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن اقدام نمود. اختلالاتی مانند، اسکولیوز، کایفوز، لوردوز، انحراف جانبی تنه[2]، ناپایداری تنه[3]، خمیدگی تنه[4]، شانه نابرابر[5]، انحراف جانبی لگن[6]، چرخش لگن[7] و چرخش قدامی لگن[8] ازجمله مواردی هستند که از این طریق و تنها با یک فریم داده‌برداری استخراج می‌شوند.

1. Mean value theorem
2. Lateral Deviation
3. Trunk Imbalance
4. Trunk Inclination
5. Shoulder Tilt
6. Pelvic Tilt
7. Pelvic Torsion
8. Pelvic Inclination

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]

[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

آزمودنی و روش اجرا

در این مطالعه پایایی‌سنجی، ۳۰ کارمند مرکز فناوری دانشگاه یزد به‌صورت نمونه‌ی در دسترس برای شرکت در پژوهش دعوت شد. میانگین و انحراف معیار اطلاعات دموگرافیک این افراد شامل (سن ۵/۸±۲۶ سال، وزن ۱۱/۳۹±۷۰/۲ کیلوگرم و قد ۶/۶۸±۱۷۵/۶۳ سانتی‌متر) بود. هیچ‌یک از آزمودنی‌ها سابقه‌ی مشکلات اسکلتی عضلانی در ناحیه‌ی لگن و تنه را نداشتند و همگی از این نظر سالم بودند. برای بررسی پایایی سیستم آنالیز پاسچر با استفاده از دوربین‌های عمق‌سنج IR، ابتدا از آزمودنی‌ها رضایت‌نامه گرفته شد. برای داده‌برداری سه‌بعدی از سطح پشت آزمودنی‌ها، از آن‌ها خواسته شد تا پشت به سنسور، بدون پوشش در بالاتنه و در پاسچری مطابق با پروتکل تصویربرداری EOS قرار گیرند. داده‌برداری برای دومرتبه با فاصلهٔ زمانی پنج دقیقه صورت گرفت. در هر مرحله داده‌برداری، آزمودنی از محل آزمون خارج و سیستم باز تنظیم می‌شد. درنهایت پس از داده‌برداری، به‌منظور بررسی تکرارپذیری نسبی سیستم از ضریب همبستگی درون طبقه‌ای درون‌گروهی (ICC) استفاده شد. برای توصیف میزان تکرارپذیری داده‌ها از تقسیم‌بندی منرو[1] که ۰/۲۵ همبستگی جزئی یا خیلی کم، ۰/۴۹-۰/۲۶ همبستگی کم، ۰/۶۹- ۰/۵۰ همبستگی متوسط، ۰/۸۹- ۰/۷۰ همبستگی بالا و ۱- ۰/۹ به‌عنوان همبستگی خیلی بالا طبقه‌بندی‌شده است، استفاده شد. قبل از محاسبه‌ی تکرارپذیری مطلق، به‌منظور بررسی وجود و یا عدم وجود خطای سیستمی، آزمون تی زوجی در مورد داده‌های دو آزمون انجام گرفت. برای محاسبه‌ی تکرارپذیری مطلق، از انحراف معیار اندازه‌گیری (SEM) و حداقل اختلاف قابل‌تشخیص (MDC) استفاده شد. در این مطالعه از رابطه‌ی شماره چهار برای محاسبه‌ی انحراف معیار اندازه‌گیری استفاده شد.

$$SEM = SD\sqrt{1 - ICC} \qquad (٤)$$

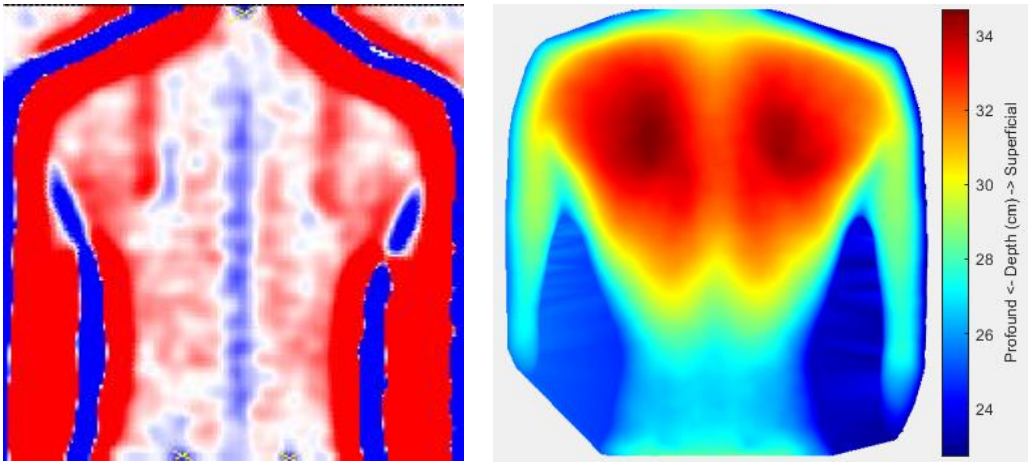
در این رابطه SD، انحراف معیار مجموع مقادیر آزمون اولیه و آزمون مجدد و ICC هم ضریب تکرارپذیری است. محاسبه‌ی انحراف معیار اندازه‌گیری برای دستیابی به حداقل تغییر قابل‌تشخیص سودمند است. در این مطالعه از رابطه شماره پنج برای محاسبه‌ی حداقل تغییر قابل‌تشخیص استفاده شد.

$$MDC = SEM \times z \times \sqrt{2} \qquad (٥)$$

یافته‌ها

شکل ۲- الف، نقشه توپوگرافی سطح پشت آزمودنی را پس از انتقال به دستگاه مختصات مرجع نشان می‌دهد. شناسایی لندمارک‌های آناتومیکی برای تشخیص اختلالات پاسچرال ضرورت دارد که از طریق یافتن بردارهای نرمال سطح (نقشه گوسی) و تشخیص کانوکسیتی و کانکیویتی‌ها به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۲- ب مشاهده می‌شود، موقعیت مهره C7 و دو لندمارک Psis در نقشه‌ی گوسی سطح قابل‌تشخیص است. ضمن اینکه مسیر و راستای مهره‌ها را نیز می‌توان در تصویر مشاهده کرد.

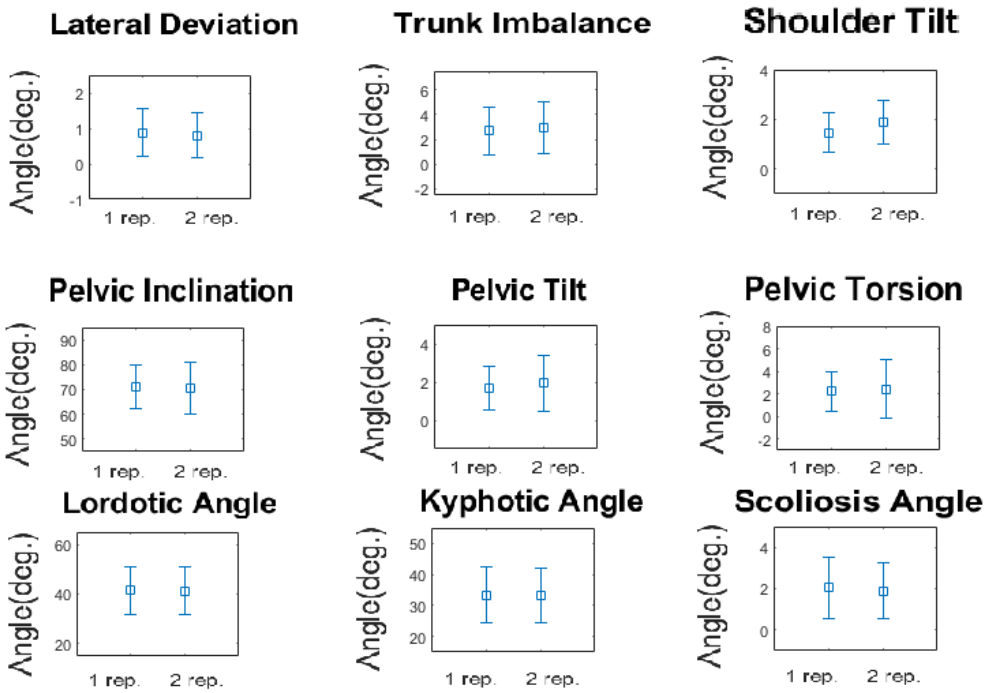
1. Munro



(ب) (الف)

شکل ۲. الف. نقشه عمق سطح پشت آزمودنی‌ها. ب. نقشه گوسی سطح پشت آزمودنی‌ها

شکل سه، مقادیر ناهنجاری‌های وضعیتی آزمودنی‌ها را طی دو مرتبه داده‌برداری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تفاوت موجود بین تکرارها در هر نه عارضهٔ بررسی‌شده، کمتر از یک درجه است. علاوه بر این شکل سه نشان می‌دهد که وضعیت آزمودنی‌های حاضر در این مطالعه تنها در عارضه‌ی کایفوز در وضعیت هشدار است و در سایر موارد وضعیت نسبتاً مناسب است.



شکل ۳. مقادیر ناهنجارهای وضعیتی، طی دو مرتبه داده‌برداری از سطح پشت آزمودنی‌ها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

نتایج آزمون تی زوج بین متغیرهای موردبررسی (جدول یک) بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بین میانگین مقادیر آزمون اولیه و باز آزمون در متغیرهای مختلف بود که این امر دلالت بر عدم وجود خطای سیستمی در نتایج ثبت‌شده دارد. ضمن اینکه در جدول یک، نتایج بررسی ضریب ICC به‌منظور بررسی تکرارپذیری نسبی، نیز ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در زوایای کایفوز، لوردوز و تیلت قدامی لگن، همبستگی بسیار بالا و مطلوب بود و همبستگی کم در دو متغیر تیلت جانبی و چرخش لگن مشاهده شد. طبق نتایج این مطالعه، ضریب پایایی نسبی برای عارضه‌ی اسکولیوز در محدوده‌ی متوسط قرار داشت. انحراف معیار اندازه‌گیری و حداقل تغییر قابل‌تشخیص دو معیار برای ارزیابی پایایی مطلق بودند که مقادیر آن در جدول یک برای متغیرهای مختلف آمده است.

جدول ۱. نتایج آزمون تی زوجی، خطای بین تکرارها و تکرارپذیری نسبی و مطلق در برخی از ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن

ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن	آزمون t	خطا بین تکرارها	ضریب ICC	SEM	MDC
انحراف جانبی تنه	۰/۴۰۷	۰/۳۷ (۰/۳۵)	۰/۶۹۱	۰/۶۶	۱/۸۴
ناپایداری تنه	۰/۲۳۵	۰/۷۴ (۰/۷۹)	۰/۸۶	۱/۴۶	۴/۰۵
شانه نابرابر	۰/۰۶	۰/۷۳ (۰/۴۶)	۰/۵۲۵	۱/۰۱	۲/۸۲
تیلت قدامی لگن	۰/۶۴۷	۳/۰۹ (۲/۱۶)	۰/۹۲۷	۵/۱۶	۱۴/۳۱
تیلت جانبی لگن	۰/۲۹۹	۰/۷۸ (۱/۱۳)	۰/۴۷۴	۱/۶۴	۴/۵۷
چرخش لگن	۰/۶۹	۱/۴۸ (۱/۸۴)	۰/۴۳۷	۲/۸	۷/۷۷
کایفوز	۰/۹۰۷	۲/۴۸ (۳/۲۶)	۰/۹۱	۵/۵۷	۱۵/۴۶
لوردوز	۰/۶۳۵	۲/۳۱ (۲/۸)	۰/۹۱۷	۴/۹۵	۱۳/۷۴
اسکولیوز	۰/۴۸۲	۰/۸۴ (۰/۸۳)	۰/۶۶	۱/۵۰	۴/۱۶

بحث

هدف از انجام این مطالعه، طراحی و پایایی‌سنجی سیستم سنجش ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن بود. اندازه‌گیری دقیق انحناهای ستون مهره، جایگاه مهمی در تشخیص ناهنجاری‌های این ناحیه دارد. تصویربرداری X-ray به‌عنوان استاندارد طلایی برای سنجش و اندازه‌گیری ساختار اسکلتی بدن مطرح است. اصلاح مشکلات این ناحیه، به نظارت مستمر جهت بررسی تغییرات وضعیت ستون مهره نیاز دارد و استفاده از رادیوگرافی به‌ویژه در دوره‌ی نوجوانی که حساسیت به تشعشع بالاتر است، احتمال ابتلا به آنکوژن[1] را افزایش می‌دهد. استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی سطح پشت همواره به‌عنوان یکی از تکنیک‌های اندازه‌گیری و مدیریت ناهنجاری‌های ستون مهره مطرح بوده است. این روش‌ها به‌واسطه‌ی ماهیت غیرتهاجمی که دارند می‌توانند در مواردی به‌عنوان جایگزین رادیوگرافی مطرح شوند. ازآنجاکه در اکثر مطالعات، از روش غیرتهاجمی و غیرتماسی رستروواستروگرافی برای ثبت نقشه توپوگرافی سطح استفاده‌شده، روایی و پایایی این روش در جمعیت‌های مختلف بررسی‌شده است. معروف‌ترین این ابزارها، فورمتریک چهاربعدی است که با استفاده از

1. Oncogene

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

آنالیز سطح، انحناهای ستون مهره و تعدادی دیگر از ناهنجاری‌های این ناحیه را تخمین می‌زند. البته در بیشتر مطالعات انجام‌شده، روایی و پایایی این ابزار در اختلالات اسکولیوز، کایفوز و لوردوز بررسی‌شده است. بر این اساس اِلوبیدی و ویس (۲۰۰۹) و گلپایگانی و همکاران (۱۳۹۱) با مقایسه نتایج رستروواستروگرافی با رادیوگرافی، روایی این ابزار را در زاویه کایفوز مطلوب ارزیابی کردند (۲٤). در مطالعه‌ای دیگر موهوکام و همکاران (۲۰۱۰)، پایایی بالایی برای سیستم آنالیز سطح در تخمین زوایای کایفوز و لوردوز به دست آوردند (۲٤). در رابطه با اسکولیوز نیز تابارد فیگر و همکاران (۲۰۱٦)، روایی و پایایی سیستم فورمتریک ٤ بعدی را در تخمین زاویه‌ی کوب در افراد دارای اسکولیوز ۱۰ تا ٤۰ درجه مناسب ارزیابی کردند (۲۵). البته قابل پیش‌بینی است که تخمین انحناهای ستون مهره به‌خصوص زاویه‌ی کوب در اسکولیوز از طریق آنالیز سطح پشت، ممکن است با خطا همراه باشد و پزشک و بیمار را از تصویربرداری X-ray بی‌نیاز نکند. بااین‌وجود تغییرات انحناهای ستون مهره به‌وضوح در نقشه توپوگرافی سطح پشت قابل‌مشاهده و تعقیب است. به عبارتی در اختلالاتی که به پیگیری مستمر فرایند درمان نیاز دارد، می‌توان تنها با یک‌مرتبه رادیوگرافی و بررسی همبستگی آن با توپوگرافی سطح پشت، ادامه نظارت را با روش‌های غیرتهاجمی پیگیری کرد (۲۲). لازمه‌ی این امر، پایا بودن نتایج حاصل از پردازش سطح است. در این مطالعه از دوربین‌های عمق‌سنج مادون‌قرمز به‌عنوان جایگزینی مناسب و ارزان‌قیمت برای رستروواستروگرافی بهره‌برداری شد. مهم‌ترین تفاوت این روش با رستروواستروگرافی به‌کاررفته در سیستم فورمتریک ٤ بعدی، نحوه‌ی محاسبه‌ی ابر نقاط سطح بود. بر این اساس ابتدا با استفاده از نقشه‌ی گوسی سطح، لندمارک‌های آناتومیکی شناسایی و سپس نه زاویه‌ی اسکلتی مرتبط با ستون مهره و لگن محاسبه و بررسی شد.

در دو آزمون متوالی، مقادیر میانگین و انحراف استاندارد عملکرد آزمودنی‌ها در هر نه زاویه‌ی بررسی‌شده (شکل سه)، بسیار به هم نزدیک بود. جدول یک مقادیر پایایی نسبی و مطلق را در هر نه عارضه نشان می‌دهد. گوبتا و همکاران (۲۰۰۷)، پایایی نسبی روش رادیولوژی را در محاسبه‌ی برخی از زوایای ستون مهره و لگن محاسبه کردند و میزان تکرارپذیری این روش را طبق تقسیم‌بندی منرو بسیار بالا گزارش کردند (۲٦). نتایج پایایی نسبی برای دو عارضه‌ی متداول کایفوز و لوردوز در روش حاضر بسیار مناسب بود و همخوانی بالایی با نتایج رادیوگرافی و رستروواستروگرافی داشت (۲٦ – ۲٤). مقادیر تکرارپذیری نسبی عارضه‌ی اسکولیوز در این مطالعه متوسط به بالا بود و با نتایج مطالعات رستروواستروگرافی مطابقت داشت (۲٤ و ۲۵).

اگرچه میانگین تغییرات زوایا در سه تکرار کمتر از یک درجه است اما در برخی از زوایا مانند شانه‌ی نابرابر، تیلت جانبی لگن و چرخش لگن، مقادیر پایایی چندان بالا نیست که دلیل احتمالی آن، همگنی موجود بین آزمودنی‌ها است. طبق نتایج شکل سه و جدول یک، زمانی فاکتور حداقل تغییر قابل‌تشخیص می‌تواند نشان‌دهنده‌ی یک تغییر واقعی در ارزیابی باشد که مقدار آن مساوی یا کمتر از مقادیر متغیرها در اندازه‌گیری مجدد باشد (۲۷). طبق خطاهای ناشی از تکرار در متغیرهای مختلف، می‌توان گفت که خطای واقعی در هیچ‌یک از متغیرهای بررسی‌شده رخ نداده است. این بدان معنی است که احتمالاً تفاوت در مقادیر متغیرها در تکرارهای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

مختلف ناشی از خطاهای تصادفی بوده نه خطای واقعی و این مسئله پایایی مطلق سیستم حاضر را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از سیستم‌های عمق‌سنج مادون‌قرمز برای تولید ابر نقاط و تحلیل ریاضیاتی سطح بدن برای شناسایی ناهنجاری‌های اسکلتی ستون مهره و لگن قابلیت تکرارپذیری بالایی دارد و می‌تواند در پایش‌های مستمر جایگزین مناسبی برای روش‌های تهاجمی و گران‌قیمت مانند رادیوگرافی و رستروواستروگرافی باشد. البته نیاز است در مطالعات آینده روایی و پایایی این سیستم در بیماران دچار انحرافات تشدید یافته‌ی ستون مهره و لگن و میزان خطای حاصل از اضافه‌وزن و چربی زیرپوستی بر نتایج این سیستم، ارزیابی شود.

منابع

1. Hattori, T., Sakaura, H., Iwasaki, M., Nagamoto, Y., Yoshikawa, H., Sugamoto, K. (2011). In vivo three-dimensional segmental analysis of adolescent idiopathic scoliosis. European Spine Journal. 20(10):1745-50.
2. Lonstein, J.E., Carlson, J.M. (1984). The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis. Journal of Bone Surgery. 3(2):1061-71.
3. Daneshmandi, H., Hemmatinejad, M.A., Sagheb, M. (2002). The investigation of spinal abnormality in woman athletes and track and field former athletes. Research in Sport Science. 1:51-63. (Persian)
4. Manek, N.J., MacGregor, A.J. (2005). Epidemiology of back disorders: prevalence, risk factors, and prognosis. Current Opinion in Rheumatology. 17(2):134-40.
5. Raso, V.J., Lou, E., Hill, D.L., Mahood, J.K., Moreau, M.J., Durdle, N.G. (1998). Trunk distortion in adolescent idiopathic scoliosis. Journal of Pediatric Orthopaedics. 18(2):222-6.
6. Council, N. (1990). Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committeeon the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V). 22-45.
7. Brenner, D.J., Elliston, C.D., Hall, E.J., Berdon, W.E. (2001). Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. American Journal of Roentgenology. 176(2):289-96.
8. Geijer, H., Beckman, K.W., Jonsson, B., Andersson, T., Persliden, J. (2001). Digital radiography of scoliosis with a scanning method: initial evaluation. Radiology. 218(2):402-10.
9. Deschênes, S., Charron, G., Beaudoin, G., Labelle, H., Dubois, J., Miron, M.C., Parent, S. (2010). Diagnostic imaging of spinal deformities: reducing patients radiation dose with a new slot-scanning X-ray imager. Spine. 35(9):989-94.
10. Al-Aubaidi, Z., Lebel, D., Oudjhane, K., Zeller, R. (2013). Three-dimensional imaging of the spine using the EOS system: is it reliable? A comparative study using computed tomography imaging. Journal of Pediatric Orthopaedics B. 22(5):409-12.
11. Zheng, Y.P., Lee, T.T.Y., Lai, K.K.L., Yip, B.H.K., Zhou, G.Q., Jiang, W.W., ... Lam, T.P. (2016). A reliability and validity study for Scolioscan: a radiation-free scoliosis assessment system using 3D ultrasound imaging. Scoliosis and Spinal Disorders. 11(1):13.
12. Amendt, L.E., Ause-Ellias, K.L., Eybers, J.L., Wadsworth, C.T., Nielsen, D.H., Weinstein, S.SL. (1990). Validity and reliability testing of the Scoliometer®. Physical Therapy. 70(2):108-17.
13. Seidi, F., Rajabi, R., Ebrahimi, T.I., Tavanai, A.R., Moussavi, S.J. (2009). The Iranian flexible ruler reliability and validity in lumbar lordosis measurements. World Journal Sport Sciences. 2(2):95-9.
14. Knott, P., Mardjetko, S., Nance, D., Dunn, M. (2006). Electromagnetic topographical technique of curve evaluation for adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 31(24):911-15.
15. Drerup, B., Hierholzer, E. (1985). Objective determination of anatomical landmarks on the body surface: measurement of the vertebra prominens from surface curvature. Journal of Biomechanics. 18(6):467-74.
16. Yang, L., Zhang, L., Dong, H., Alelaiwi, A., El Saddik, A. (2015). Evaluating and improving the depth accuracy of Kinect for Windows v2. IEEE Sensors Journal. 15(8):4275-85.
17. Khoshelham, K. (2011). Accuracy analysis of kinect depth data. In ISPRS workshop laser scanning. 38(1):133-8.
18. Jiao, J., Yuan, L., Tang, W., Deng, Z., Wu, Q. (2017). A post-rectification approach of depth images of Kinect v2 for 3D reconstruction of indoor scenes. ISPRS International Journal of Geo-Information. 6(11):349.
19. Patias, P., Grivas, T.B., Kaspiris, A., Aggouris, C., Drakoutos, E. (2010). A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices. Scoliosis. 5(1):12.
20. Bruckner, A.M., Bruckner, J.B., Thomson, B.S. (1997). Real analysis. First Edition. 713.
21. Drerup, B. (2014). Rasterstereographic measurement of scoliotic deformity. Scoliosis. 9(1):22.
22. Hierholzer, E. (1999). Accuracy Rating of Anatomical Landmarks. Research Into Spinal Deformities 2. 2:25.
23. Golpayegani, M., Mahtabi, S., Shahrjerdi, Sh., Heidarpoor, R. (2013). Determining the validity and reliability of spinal assessor in measuring kyphosis and lordosis abnormalities in women. Journal of Sharekord University of Medical Sciences. 15(3):74-81. (Persian)
24. Tabard-Fougère, A., Bonnefoy-Mazure, A., Hanquinet, S., Lascombes, P., Armand, S., Dayer, R. (2017). Validity and reliability of spine rasterstereography in patients with adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 42(2):98-105.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]

25. Gupta, M.C., Wijesekera, S., Sossan, A., Martin, L., Vogel, L.C., Boakes, J.L., ... Betz, R.R. (2007). Reliability of radiographic parameters in neuromuscular scoliosis. *Spine*. *32*(6):691-5.
26. Salavati, M., Hadian, M.R., Mazaheri, M., Negahban, H., Ebrahimi, I., Talebian, S., ... Parnianpour, M. (2009). Test–retest reliabty of center of pressure measures of postural stability during quiet standing in a group with musculoskeletal disorders consisting of low back pain, anterior cruciate ligament injury and functional ankle instability. *Gait & posture*. *29*(3):460-4.

نحوه درج مقاله: امیرحسین طواری، محمدهادی هنرور، مصطفی حاج‌لطفعلیان ، (۱٤۰۰). طراحی و پایایی‌سنجی دستگاه ارزیاب غیرتهاجمی ناهنجاری‌های ستون مهره و لگن. پژوهش در طب ورزشی و فناوری. ۱۹(۱):٦٤-٥٥. دی او آی ۱۰.۲۹۲۵۲/jsmt.۱۹.۱.۵۵

How to cite this article: Amir Hossein Tavari., Mohammad Hadi Honarvar., Mostafa Hajlotfalian. (2021). Design and reliability of non-invasive assessment apparatus for vertebral and pelvic abnormalities. 19(1):55-64. (In Persian). DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1400.19.1.8.0]
[DOI: 10.29252/jsmt.19.1.55]