

Research Paper

Center of Foot Pressure and Free Moment Changes During Gait in Adolescents With Right and Left Scoliosis



Soha Abbasi¹ , *Nader Farahpour¹ , Bizhan Heidari² , Gabriel Moisan³ , Paul Allard⁴

1. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Department of Orthopedics, School of Medicine, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran.
3. Department of Human Kinetics, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, Canada.
4. Department of Kinesiology, Montreal University, Québec, Canada.



Citation Abbasi S, Farahpour N, Heidari B, Moisan G, Allard P. [Center of Foot Pressure and Free Moment Changes During Gait in Adolescents With Right and Left Scoliosis (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):636-651. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3359>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3359>

ABSTRACT

Background and Aims Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a multifactorial spinal deformity with high prevalence, affecting spinal alignment, postural control, and gait mechanics. This study aims to examine the effect of scoliosis curvature direction on center of pressure (COP) kinematics and free moment (FM) parameters during gait.

Methods In this study, participants included 14 adolescents with AIS categorized into right scoliosis (n=7) and left scoliosis (n=7), and 16 healthy peers as controls. Data related to the COP and FM parameters were collected using two Kistler force plates during the stance phase of gait. Statistical analysis was done using MANOVA for discrete variables and statistical parametric mapping (SPM) for time-series data.

Results The AIS group had significantly higher body height (P=0.021) and trunk length (P=0.052) than the control group. No significant differences were found in the COP and FM parameters for the right leg between the groups. However, the left scoliosis subgroup showed a significantly larger range of anteroposterior COP displacement in the left leg (convex side) compared to the control group (P=0.027), as well as a larger FM mean and impulse compared to the right scoliosis subgroup (P=0.019).

Conclusion Adolescents with right and left scoliosis demonstrate different gait adaptations, particularly in COP and FM dynamics, highlighting the need for curvature direction-specific rehabilitation protocols to enhance gait stability and neuromuscular control in AIS. Future studies should analyze scoliosis directions separately to characterize their biomechanical profiles.

Keywords Adolescent idiopathic scoliosis (AIS), Center of pressure (COP), Free moment (FM), Gait

Received: 24 Apr 2025

Accepted: 03 Jun 2025

Available Online: 23 Sep 2025

* **Corresponding Author:**

Nader Farahpour, Assistant Professor.

Address: Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Tel: +98(918) 1113816

E-Mail: naderfarahpour1@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a multifactorial three-dimensional spinal deformity (Cobb angle $>10^\circ$), affecting 2-4% of adolescents, with a higher prevalence among girls during puberty (10-11 years).

Its exact etiology remains unknown. AIS is associated with neuromuscular and biomechanical abnormalities, including altered muscle activation patterns, impaired proprioception, and reduced postural stability. These deficits can lead to structural changes in the spine, rib cage, and pelvis, resulting in asymmetric posture and altered weight distribution during static and dynamic balance. The biomechanical consequences of AIS are evident during walking. Asymmetric loading patterns may contribute to curve progression by affecting the growing musculoskeletal system, making gait analysis essential for understanding AIS. Key measures include the center of pressure (COP), which refers to the point where the plantar ground reaction force (GRF) is applied, and the free moment (FM), which refers to rotational moments of the knee during gait. The COP changes reveal neuromuscular control strategies, while the FM variations indicate compensatory balance efforts. Studies have shown altered COP in AIS, linking curve severity to COP displacement and FM differences in rotational control [28].

However, inconsistencies may stem from combining lumbar/thoracic curves and left/right convexities, obscuring subgroup differences, which is problematic since distinct curves likely drive unique gait adaptations. This study addresses these gaps by focusing solely on AIS and analyzing right and left scoliosis separately. We assess two COP components: Anteroposterior displacement center of pressure anteroposterior (COPAP), which reflects the progression of the stance phase, and mediolateral sway center of pressure mediolateral (COPML), which indicates balance control in the mediolateral direction. Combined with FM analysis, these measures evaluate gait dynamics in AIS. In this study, we hypothesized that: a) COP displacements and FM patterns are different between people with AIS and healthy controls, and b) COP displacements and FM patterns are different between patients with right and left scoliosis.

Methods

From among 7,000 high school students screened, 45 had a Cobb angle $>10^\circ$ based on X-ray. Of these, 14 with AIS (apex at L2-L3) were included. They were divided

into right scoliosis (Cobb angle $=19.7\pm3.2^\circ$) and left scoliosis (Cobb angle $=19.4\pm2.9^\circ$) subgroups. The control group included 16 healthy adolescents. Participants with neurological issues, recent injuries, or surgeries were excluded. All were right-footed participants.

Two Kistler force plates (2000 Hz) recorded GRF components during walking. After warm-up and capturing in a static state, participants completed five walking trials at self-selected speed. The COP and FM were calculated during the stance phase (GRF $>10\text{N}$), and FM data were normalized to body weight, respectively. Parameters included mean, range, and root mean square (RMS) of COPML and COPAP, and mean, range, RMS, and impulse of FM. MANOVA, followed by post-hoc tests (Tukey's and Bonferroni-corrected), was used for data analysis. The statistical parametric mapping (SPM) was used for time-series data.

Results

The AIS and control groups had similar age, weight, and shoulder/pelvis dimensions. However, AIS participants were significantly taller ($5\pm2\text{ cm}$, $P=0.021$) and had longer trunks ($3\pm6.6\text{ cm}^3$, $P=0.052$). No significant differences in mean, range, and RMS of COPML were found between the AIS and control groups or between left and right scoliosis subgroups. The left foot of the left scoliosis subgroup had a significantly greater COPAP range compared to controls ($P=0.027$).

In the right foot, the FM parameters (mean, range, RMS, impulse) showed no significant differences between the groups. However, the left foot of the left scoliosis subgroup had significantly higher FM mean and impulse than that of the right scoliosis subgroup ($P=0.019$ for both parameters).

The SPM test results revealed no significant differences in COP trajectories in either X or Y direction between groups and between subgroups. However, a slight but significant difference in left foot FM was found between the control group and the right scoliosis subgroup (from 4.71 to 5.13% in the stance phase; ($P=0.005$)).

Conclusion

This study uniquely focused on gait differences between the left and right AIS subjects and healthy controls, with a special reference to COP and FM components. The higher height and trunk length in AIS patients may suggest that taller trunk length is a risk factor during growth spurts. No differences were found in COPML parameters (mean,

range, RMS) between the groups. In the COPAP, only the left scoliosis subgroup showed increased displacement in the left foot. The left scoliosis subgroup had higher FM mean and impulse values, indicating more muscular effort to maintain posture, particularly in the left foot. The SPM test confirmed this with a small but statistically significant FM difference shown between the control group and right scoliosis subgroup. These findings suggest that both curvature type and direction affect gait mechanics. The left scoliosis subgroup was the most affected group, highlighting the need to consider the polarity of scoliosis curvature in designing rehabilitation programs. Though the sample size was small, the data support scoliosis-specific interventions focusing on postural control and gait correction. A tailored rehabilitation program should be designed separately for each group. Additionally, gait pattern correction should be prioritized in the rehabilitation process.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Bu Ali Sina University, Hamedan](#), Iran (Code: IR.BASU.REC.1399.003). All ethical principles were observed in the study, including obtaining informed consent from participants, maintaining the confidentiality of their information, and respecting their right to leave the research.

Funding

This study was extracted from the dissertation of Saha Abbasi at the Department of Sports Sciences, [Bu Ali Sina University, Hamedan](#). This research did not receive any grant from funding agencies in the public, private, government, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

Data collection, data analysis, data interpretation, writing, and editing: Saha Abbasi; design, supervision, methodology, data analysis, data interpretation, initial draft preparation, editing & review: Nader Farahpour; Methodology, clinical examination of the patients, editing & review: Bizhan Heidari; Methodology, data interpretation, editing & review: Gabriel Moisan, Paul Allard;

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Mehr Spine and Sports Health Center, Dr. Mehdi Majlesi (Director of Sports Biomechanics Laboratory of Islamic Azad University, Hamedan Branch), and all participants for their cooperation in this study.



مقاله پژوهشی

تغییرات مرکز فشار پا و گشتاور آزاد هنگام راه رفتن در نوجوانان مبتلا به اسکولیوز ایدیوپاتیک کمری چپ و راست

سها عباسی^۱، نادر فرهپور^۲، بیژن حیدری^۳، گبریل مويسان^۴، پاول الارد^۵

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲. گروه ارتوپدی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۳. گروه حرکت‌شناسی انسانی، دانشگاه کبک تروا ریور، کبک، کانادا.

۴. گروه حرکت‌شناسی، دانشگاه مونترال، کبک، کانادا.

Use your device to scan and read the article online.



Citation Abbasi S, Farahpour N, Heidari B, Moisan G, Allard P. [Center of Foot Pressure and Free Moment Changes During Gait in Adolescents With Right and Left Scoliosis (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):636-651. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3359>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3359>

چیکید

مقدمه و اهداف: اسکولیوز ناشناخته نوجوانی یک ناهنجاری پیچیده و با شیوع بالاست که راستای ستون فقرات، اختلال در کنترل پاسچر و مکانیک راه رفتن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مطالعه تأثیرات بیومکانیکی سمت انحنای اسکولیوز کمری بر پارامترهای کینماتیک مرکز فشار پا و گشتاور آزاد را ارزیابی کرد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۱۴ نوجوان مبتلا به اسکولیوز ناشناخته نوجوانی کمری (۷ نفر با انحنای راست و ۷ نفر با انحنای چپ) و ۱۶ نفر دیگر که گروه کنترل سالم را تشکیل می‌دادند شرکت کردند. داده‌های مربوط به کینماتیک مرکز فشار پاها و گشتاور آزاد راه رفتن مبتنی بر خروجی ۲ صفحه نیروی کیستلر در طول فاز استقرار راه رفتن جمع‌آوری شدند. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از تکنیک‌های مانووا برای داده‌های گسسته و نقشه‌برداری پارامتری آماری (SPM) برای داده‌های سری زمانی انجام شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد گروه اسکولیوز اصلی طول قد ($P=0/021$) و طول تنه ($P=0/052$) بلندتری در مقایسه با گروه کنترل داشتند. همچنین تفاوت معنی‌داری در تغییرات مرکز فشار و گشتاور آزاد در پای راست بین گروه‌ها مشاهده نشد. باین حال زیرگروه اسکولیوز کمری چپ در پای چپ (سمت تحدب) دامنه (COPAP) بزرگ‌تری در مقایسه با گروه کنترل ($P=0/027$) و همچنین گشتاور آزاد و ضربه گشتاور آزاد بزرگ‌تری را در مقایسه با زیرگروه اسکولیوز کمری راست ($P=0/019$) نشان دادند.

نتیجه‌گیری: زیرگروه‌های اسکولیوز کمری راست و چپ سازگاری‌های راه رفتن مشخصی، به‌ویژه در مرکز فشار و پویایی گشتاور آزاد را نشان دادند. ادغام زیرگروه‌ها تفاوت‌های بیومکانیکی قابل توجهی را پنهان کرد و نیاز به استراتژی‌های توان‌بخشی ویژه برای هر سمت انحنا را برای افزایش ثبات راه رفتن و کنترل عصبی-عضلانی در اسکولیوز ناشناخته نوجوانی برجسته کرد. مطالعات آینده باید زیرگروه‌های اسکولیوز را به‌طور جداگانه تجزیه و تحلیل کنند تا پروفایل‌های بیومکانیکی آن‌ها را مشخص کنند.

کلیدواژه‌ها: اسکولیوز کمری، مرکز فشار پا، گشتاور آزاد، راه رفتن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴ اردیبهشت

تاریخ پذیرش: ۱۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ مهر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر نادر فرهپور

نشانی: همدان، دانشگاه بو علی سینا، دانشکده علوم ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی.

تلفن: ۹۸ (۹۱۸) ۱۱۱۳۸۱۶

رایانامه: naderfarahpour1@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

نقطه میانگین وزنی سطح کف پاست که تحت فشار وزن بدن قرار دارد. کینماتیک COP می‌تواند درکی از عملکرد سیستم عصبی عضلانی برای کنترل پاسچر به ما ارائه دهد [۲۲-۲۵].

هنگام ایستادن، COP در محدوده سطح اتکا، در جهت‌های مختلف در نوسان است [۲۶]. تحقیقات زیادی نشان داده‌اند نوسانات COP در افراد مبتلا به اسکولیوز متفاوت با افراد سالم است [۲۶-۲۸]. هنگام راه رفتن، الگوهای پیشروی COP در سطح اتکای پا می‌تواند تحت تأثیر دفورمیتی اسکولیوز قرار گیرد که این تغییر منجر به بارگذاری غیرطبیعی در افراد می‌شود [۲۷]. چرن و همکاران در سال ۲۰۱۴ گزارش کردند شدت انحنا در بیماران اسکولیوز می‌تواند بر نوسانات COP تأثیر بگذارد و موجب شود این افراد از عملکرد سیستم اسکلتی عضلانی خود ناراضی باشند [۲۹]. مؤلفان دیگر همچنین گزارش کرده‌اند مسیر حرکت COP در بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی متفاوت با افراد سالم است [۳۰-۳۳].

گشتاور آزاد^۲ نیز یکی از مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین است که در پیشروی بدن هنگام راه رفتن مؤثر است [۳۴، ۳۵]. هنگام ایستادن، گشتاور آزاد نیز همراه با جابه‌جایی COP در حال نوسان است [۳۶]. این نوسان چرخشی بدن پیرامون محور عمودی، تحت تأثیر فعالیت عضلانی برای حفظ تعادل ایستارخ می‌دهد [۳۷].

علی‌رغم این همه تحقیقات که صرفاً بیان می‌کنند اسکولیوز با بی‌ثباتی پاسچر همراه است، اما تفاوت بین انواع اسکولیوز با هم در عملکرد تعادلی مشخص نیست. هنوز مشخص نشده است که اسکولیوز کم‌ری تنها، چه تفاوتی با اسکولیوز دوپل و یا اسکولیوز سینه‌ای تنها در عملکرد تعادلی دارد و یا تفاوت اسکولیوز راست کم‌ری با اسکولیوز چپ کم‌ری از نظر تعادل چیست؟ این در حالی است که بر مبنای عملکرد تعادلی و نارسایی‌های آن و یا بر مبنای نحوه توزیع نامتقارن نیرو و یا گشتاور آزاد می‌توان تمرینات توان‌بخشی را تنظیم کرد. در حال حاضر این پارامترها در طراحی تمرینات توان‌بخشی مد نظر قرار نمی‌گیرند و این یک نقطه ضعف اساسی است. تغییرات یا جابه‌جایی موقعیت مکانی COP منعکس‌کننده کنترل پاسچر برای تنظیم موقعیت مرکز جرم بدن (COM) است [۳۶].

مقادیر مرکز فشار قدامی-خلفی^۳ (COPAP) در طول بازه استقرار نشان‌دهنده مسیر انتقال مکان COP در راستای پیشروی به جلو از لحظه تماس اولیه پاشنه^۴ - میانه استقرار^۵ - اعمال نیروی پیش‌رونده^۶ و نهایتاً بلند شدن پا از زمین^۷ است. درحالی‌که

اسکولیوز ناشناخته نوجوانی که به‌عنوان یک ناهنجاری سه‌بعدی با انحنای ستون فقرات بزرگ‌تر از ۱۰ درجه تعریف شده است [۲، ۱]، رایج‌ترین اختلال ستون فقرات (با شیوع ۲-۴ درصد) در کودکی و نوجوانی است [۳-۶] و معمولاً در سنین ۱۰ و ۱۱ سالگی شروع می‌شود و طی دوران رشد سریع به‌طور ناگهانی پیشرفت می‌کند [۷]. به‌ویژه آنکه تقریباً ۹۰ درصد از بیماران اسکولیوز دختر هستند و دوران رشد سریع آن‌ها کوتاه‌تر است [۸].

دلیل این بیماری ناشناخته مانده است، اما درخصوص نارسایی‌هایی که همراه این بیماری ظاهر می‌شوند تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است [۹]. این تحقیقات نشان می‌دهند تغییرات فیزیولوژیکی و بیومکانیکی، از جمله به‌هم خوردن نسبت فیبرهای نوع I به نوع II در سمت محدب در مقایسه با سمت مقعر، کاهش سرعت پیام‌های عصبی، ضعف تعادل ایستا و نارسایی در کنترل پاسچر در شرایط دینامیکی با بیماری اسکولیوز همراه هستند [۱۰-۱۳].

در اسکولیوز، غالباً وضعیت و ساختار طبیعی قفسه سینه و لگن دچار تغییراتی می‌شوند. به‌طوری‌که مهره‌های سمت محدب انحنا به همان سمت چرخیده و خمیده شدن دنده‌ها در سمت محدب ضمن ایجاد یک برآمدگی استخوانی در پشت قفسه سینه (هامپ) موجب کاهش حجم تنفسی در آن سمت می‌شود. در همین حال، تنه اندکی به سمت محدب و گاهی لگن به سمت مخالف شیفت پیدا می‌کند. این تغییرات، راستای سگمان‌های بدن را به هم ریخته و موجب جابه‌جایی مرکز جرم تنه و بدن می‌شود. متعاقباً نیروی وزن بدن بین ۲ مفصل هیپ و در اندام تحتانی به‌طور نامتقارن تقسیم می‌شود. به‌علاوه اسکولیوز با ضعف عملکرد سیستم‌های تعادلی و ناپایداری پاسچر همراه است [۱۴-۱۹]. این ناپایداری قدامتی به نوبه خود ممکن است با پیشرفت انحنا مرتبط باشد [۲۰]. شناخت دقیق از کم و کیف ضعف در پایداری پاسچر در افراد مبتلا به اسکولیوز ناشناخته نوجوانی، به‌ویژه هنگام اجرای یک تکلیف حرکتی روزانه پرتکراری مثل راه رفتن، برای طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه و ورزش‌های درمانی از اهمیت کلینیکی فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در راه رفتن، تعامل بین راستای اندام‌های بدن با یکدیگر تحت کنترل سیستم عصبی عضلانی اجتناب‌ناپذیر است [۲۱]. باتوجه‌به تغییر راستای اندام‌های تنه و لگن در بیماران اسکولیوز، آگاهی از تأثیر متقابل بین این ناهنجاری و پارامترهای راه رفتن ما را در توان‌بخشی این بیماری یاری می‌کند.

یکی از بهترین روش‌ها برای اندازه‌گیری پایداری پاسچری تحلیل کینماتیک مرکز فشار پا (COP)^۱ است. COP اشاره به

1. Center of Pressure (COP)

2. Free Moment (FM)

3. Center of Pressure Anteroposterior (COPAP)

4. Heel contact

5. Midstance

6. Push off

7. Toe off

مواد و روش‌ها

آزمودنی‌ها

در این مطالعه بعد از غربالگری ۷۰۰۰ نفر از دانش‌آموزان مقطع متوسطه، آن عده از افرادی که علائم اسکولیوز را داشتند (هامپ در تست آدامز، عدم تقارن در ارتفاع شانه، داشتن کتف بالدار انحراف لگن از خط شاقول [۳۸])، برای معاینه دقیق و تهیه رادیوگرافی به پزشک متخصص ارتوپد ارجاع داده شدند. سپس براساس مشاهده رادیوگرافی خلفی‌قدامی، ۴۵ نفر با زاویه کاب بزرگ‌تر از ۱۰ درجه شناسایی شدند که افراد داوطلب دارای انحنای کمری، به‌عنوان عضو گروه اسکولیوز پذیرفته شدند. به این طریق، جمعاً ۱۴ بیمار اسکولیوز کمری به‌عنوان «گروه اصلی اسکولیوز» در مطالعه جای گرفتند که به ۲ زیرگروه تقسیم شدند: الف) گروه اسکولیوز راست کمری؛ ب) گروه اسکولیوز چپ کمری. همچنین در جریان غربالگری از بین افراد سالم داوطلب، ۱۶ نفر در گروه کنترل جای گرفتند. در **جدول شماره ۱** اطلاعات پیکرسنجی^{۱۱} تمامی گروه‌ها و زیرگروه‌ها ارائه شده است. میانگین زاویه کاب برای زیرگروه کمری راست $19/7 \pm 6/4$ و برای کمری چپ $19/4 \pm 5/9$ بود.

شرط ورود به مطالعه برای بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی شامل داشتن فقط انحنای کمری بزرگ‌تر از ۱۰ درجه بود [۳۹]. رأس انحنای برای همه بیماران در هر دو زیرگروه در سطوح مهرهای دوم و سوم کمری قرار گرفته بود [۴۰]. شرایط ورود به مطالعه برای افراد سالم داشتن سیستم اسکلتی عضلانی سالم بود. تمامی افراد به‌صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند [۴۰]. شرایط حذف افراد از مطالعه: داشتن سابقه بیماری عصبی عضلانی، سابقه آسیب جدی در ۶ ماه گذشته، داشتن سابقه جراحی جدی [۱]، داشتن انحنای دوم و یا ثانویه و طول پای نامتقارن بیش از ۱ سانتی‌متر [۱۰]. همه افراد شرکت‌کننده در این تحقیق راست‌دست بودند و پای غالب و برتر آن‌ها پای راست بود. پروتکل تحقیق توسط کمیته اخلاق دانشگاه تصویب شد. تمامی شرکت‌کنندگان و والدینشان فرم‌های رضایت‌نامه برای شرکت در این پروژه را آگاهانه امضا کردند.

ابزار و تکلیف حرکتی

اندازه‌گیری میزان انحنای اسکولیوز با استفاده از روش کاب^{۱۲} انجام شد [۴۱]. برای این منظور خطی مماس بر صفحه انتهایی و یک خط عمود بر آن در ۲ مهره بالایی و پایینی انحنای اسکولیوز رسم شد و میزان درجه زاویه بین ۲ خط متقاطع به‌عنوان زاویه کاب ثبت شد (**تصویر شماره ۱**).

مقادیر مرکز فشار داخلی خارجی^۸ COPML نشان‌دهنده نحوه انتقال وزن بدن در راستای چپ و راست (داخلی خارجی) طی این مراحل است [۳۶]. درحقیقت نوسانات COPML به نوعی میزان تعادل و کنترل پاسچر دینامیکی در راه رفتن را نشان می‌دهد. از طرفی COPAP هنگام راه رفتن کاملاً به طول پا وابسته است و باید در تفسیر این متغیر هنگام راه رفتن دقت فراوان کرد. دامنه COP محدوده نوسان مرکز فشار را منعکس می‌کند. جذر میانگین مربعات مرکز فشار^۹ RMSCOP به نوعی شدت یا قدرت نوسان را بیان می‌کند. هرچه مقدار عددی RMSCOP بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده سرعت بیشتر نوسان و یا تغییرات بیشتر و جابه‌جایی بیشتر COP است. ریشه میانگین مربعات^{۱۰} و دامنه مربوط به گشتاور آزاد نیز به نوعی تغییرات و محدوده تغییر گشتاور آزاد را ثبت می‌کنند [۳۶]. RMS بزرگ‌تر برای گشتاور آزاد به معنی تلاش بیشتر عضلانی برای کنترل پاسچر دینامیکی و قرار دادن بدن در یک وضعیت مناسب برای پیشروی در راه رفتن است. هرچه بدن متعادل‌تر و تعادل بهتر باشد باید مقدار دامنه و RMS گشتاور آزاد کوچک‌تر باشد. ضربه گشتاور آزاد در طول راه رفتن به نیرویی اشاره دارد که باید به بدن وارد شود تا مرکز جرم بدن در مرحله نوسان راه رفتن را تسریع بخشد یا کاهش دهد. اساساً نیروی موردنیاز برای شروع یا توقف حرکت نوسانی پا است. این ضربه جزء مهمی از راه رفتن طبیعی است، زیرا به حفظ تعادل و ثبات در حین راه رفتن کمک می‌کند.

باتوجه به اینکه میزان و نوع تغییرات بیومکانیکی، ازجمله تعادل دقیقاً به نوع اسکولیوز (کمری، سینه‌ای و غیره) و شدت انحنای بستگی دارد، نباید ۲ نوع متفاوت اسکولیوز در یک گروه تجمیع شوند؛ زیرا ممکن است نتایج یکدیگر را تحت تأثیر قرار دهند. یکی از محدودیت‌های مهم تحقیقات پیشین که منجر به وجود اختلاف‌نظرها و یافته‌های متفاوت و متناقض درخصوص عملکرد تعادلی بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی شده است این است که غالب مطالعات پیشین، بیماران اسکولیوز با انحنای مختلف (سینه‌ای، سینه‌ای کمری و کمری) و شدت انحنای وسیع (از ملایم تا شدید) را در یک گروه قرار داده‌اند. در این صورت نمی‌توان الگوی واقعی عملکرد تعادلی برای انواع اسکولیوز را به دست آورد. بنابراین این مقاله در نظر دارد تا کینماتیک مرکز فشار و میزان گشتاور آزاد را در افراد با اسکولیوز ناشناخته نوجوانی که فقط انحنای کمری دارند در مقایسه با افراد سالم مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار دهد. در این مطالعه ۲ فرض مطرح شده است: ۱. جابه‌جایی مرکز فشار و میزان گشتاور آزاد در بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی با انحنای کمری متفاوت با افراد سالم است. ۲. گردش مرکز فشار و گشتاور آزاد همچنین بین افراد با انحنای راست کمری و افراد با انحنای چپ کمری متفاوت است.

8. Center of Pressure Mediolatera (COPML)

9. Root Mean Square Center of Pressure (RMSCOP)

10. Root Mean Square (RMS)

11. Anthropometry

12. Cobb

در این فرمول MZ اشاره به گشتاور در سطح عمودی دارد، FY و FX به ترتیب نیروهای عکس العمل زمین در محور قدامی خلفی و داخلی خارجی هستند و در نهایت COPML و COPAP موقعیت مکانی مرکز فشار در محورهای حرکتی داخلی ارجی و قدامی خلفی هستند. پس از محاسبه گشتاور آزاد، با تقسیم این متغیر بر وزن بدن آزمودنی‌ها نرمالایز شد. سپس مقادیر میانگین، دامنه و ریشه مجذور میانگین برای هر کدام از متغیرهای COPML و COPAP و گشتاور آزاد محاسبه شد [۴۳].

برای پارامتر گشتاور آزاد همچنین متغیر ضربه گشتاور آزاد (منظور از این متغیر سطح زیر منحنی گشتاور آزاد در بازه استقرار است) مطابق فرمول شماره ۲ اندازه‌گیری شد [۴۴، ۴۵]. این متغیر نیز به وزن بدن آزمودنی‌ها نرمالایز شد.

$$2. \text{Impulse} = \Delta t \left(\frac{FM1 + FMn}{2} \right) + \sum_{n=1}^{i=2} Fi$$

در این فرمول FM1 و FMn اشاره به ثبت اولین و آخرین گشتاور آزاد در یک سیکل کامل راه رفتن دارد. Fi مربوط به باقی‌مانده گشتاورهای آزاد است و در نهایت t مدت زمان نمونه‌برداری را بیان می‌کند.

داده‌های مرکز فشار و گشتاور آزاد در بازه زمانی تعیین‌شده (استقرار) که نسبت به وزن بدن آزمودنی‌ها نرمالایز شده بودند، با استفاده از کد MATLAB به ۱۰۱ نقطه (۱۰۰-۰) تبدیل شدند.

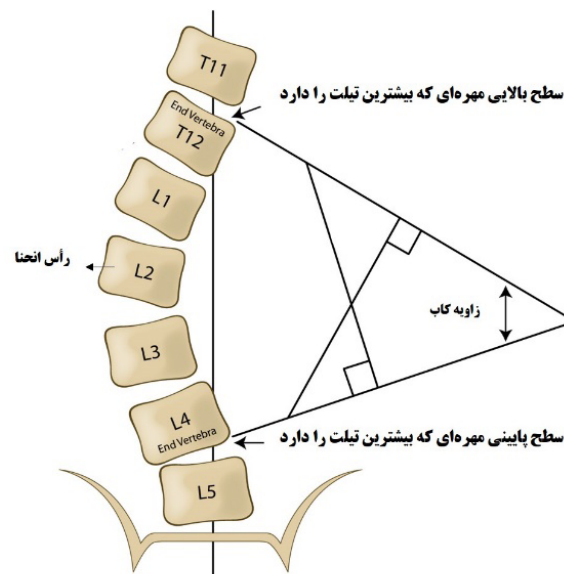
تجزیه و تحلیل آماری

برای مقادیر گسسته از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. ابتدا آزمون شاپیرو ویلکز برای بررسی نرمال بودن توزیع‌ها انجام شد. پس از آن، آزمون مانووا برای مقایسه اطلاعات آنترپومتریکی و مقادیر میانگین، دامنه و ریشه مجذور میانگین مرکز فشار و گشتاور آزاد بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها با تنظیم فاصله اطمینان بونفرونی و آزمون توکی برای آزمون پیگیری استفاده شد. سطح معنی‌داری برای همه مقایسه‌ها $P < 0.05$ تعیین شد.

برای مقایسه داده‌های سری زمانی مرکز فشار و گشتاور آزاد بین گروه‌ها از روش آماری نقشه‌برداری پارامتری آماری (SPM) [۱۴] استفاده شد. مقدار معنی‌داری برای مقایسه SPM روی $P < 0.05$ تنظیم شد.

یافته‌ها

نتایج نشان داد همه داده‌ها به‌طور نرمال توزیع شده بودند. همچنین نتایج نشان داد اگرچه گروه کنترل با گروه اسکولیوز اصلی و زیرگروه‌های آن از نظر میانگین سن، جرم، پهنای شانه، لگن، زانو و مچ پا هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P > 0.05$)، اما گروه اسکولیوز اصلی قد بلندتری به اندازه 5 ± 2



طوبتوانبخش

تصویر ۱. نحوه اندازه‌گیری زاویه کاب

برای ثبت نیروهای عکس العمل زمین، ۲ عدد صفحه نیروی کیستلر^{۱۳} (۲۰۰۰ هرتز) به ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی‌متر که در زمین مجاور همدیگر تعبیه شده بودند، مورد استفاده قرار گرفتند. دوربین‌ها و صفحه نیروها با نرم‌افزار Qualisys Track Man-ager (QTM) به‌طور هم‌زمان راه اندازی شدند و داده‌ها را ثبت می‌کردند. پس از رهگیری وضعیت فضایی و پردازش داده‌ها، به شکل فایل‌های C3D از آن‌ها خروجی گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Mokka فایل‌های C3D به فایل با فرمت ascii و متعاقباً به Excel تبدیل شدند و مرکز فشار و گشتاور آزاد استخراج شد.

پردازش داده‌ها

داده‌های خام پیش از پردازش و تحلیل با استفاده از فیلتر پایین‌گذر باترورت درجه ۴ با فرکانس برش ۶ هرتز برای داده‌های کینماتیک و ۵۰ هرتز برای داده‌های نیرو، فیلتر شدند. سپس برای هر پا یک استقرار از لحظه تماس پاشنه پا با زمین تا لحظه جدا شدن پا از زمین که ۱۰ GRFZ ≤ نیوتن بود به‌عنوان بازه استقرار برش داده شد.

در این بازه با داشتن مقادیر گشتاور عمودی MZ برحسب نیوتن‌متر، فاصله مرکز فشار از مرکز صفحه نیرو در جهت‌های جلویی عقبی (COPAP) و داخلی خارجی (COPML) برحسب متر و با استفاده از فرمول شماره ۱ مقدار گشتاور آزاد محاسبه شد [۴۲].

$$1. FM = Mz - Fy(COPML) + Fx(CoPAP)$$

14. Statistical Parametric Mapping (SPM) {t-test}

13. Kistler

جدول ۱. اطلاعات پیکرسنجی آزمودنی‌ها در تمامی گروه‌ها

Sig	میانگین $\pm$ انحراف معیار				گروه	متغیر
	اسکلیوز چپ کم‌ری	اسکلیوز راست کم‌ری	اسکلیوز اصلی	کنترل		
NS	۱۵/۳۴ $\pm$ ۱/۶۱	۱۶/۰۳ $\pm$ ۱/۵۳	۱۵/۶۹ $\pm$ ۱/۵۵	۱۵/۲۶ $\pm$ ۲/۳۴	سن (سال)	
۰/۰۲۱ ^e	۱/۶۵ $\pm$ ۰/۰۵	۱/۶۵ $\pm$ ۰/۰۵	۱/۶۵ $\pm$ ۰/۰۵	۱/۶۰ $\pm$ ۰/۰۷	قد (متر)	
NS	۵۵/۸۲ $\pm$ ۱۳/۳۳	۵۳/۱۵ $\pm$ ۸/۷۱	۵۴/۴۹ $\pm$ ۱۰/۹۱	۵۴/۲۸ $\pm$ ۱۰/۳۱	جرم (متر)	
NS	۲۰/۳۸ $\pm$ ۴/۱۷	۱۹/۲۸ $\pm$ ۲/۹۹	۱۹/۸۳ $\pm$ ۳/۵۳	۲۱/۲۳ $\pm$ ۳/۷۹	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	
NS	۳۲/۰۰ $\pm$ ۳/۳۱	۳۰/۴۲ $\pm$ ۳/۲۰	۳۱/۲۱ $\pm$ ۳/۲۳	۳۱/۰۰ $\pm$ ۲/۸۰	پهنای شانه (سانتی‌متر)	
NS	۲۴/۰۰ $\pm$ ۱/۵۲	۲۳/۵۷ $\pm$ ۲/۲۸	۲۳/۷۸ $\pm$ ۱/۸۷	۲۳/۷۵ $\pm$ ۲/۴۶	پهنای لگن (سانتی‌متر)	
NS	۹/۰۰ $\pm$ ۱/۳۲	۸/۱۴ $\pm$ ۰/۶۹	۸/۵۷ $\pm$ ۱/۱۰	۹/۱۸ $\pm$ ۱/۳۱	پهنای زانو (سانتی‌متر)	
NS	۶/۰۷ $\pm$ ۰/۶۰	۶/۲۸ $\pm$ ۰/۸۰	۶/۱۷ $\pm$ ۰/۶۹	۶/۶۰ $\pm$ ۰/۴۸	پهنای مچ پا (سانتی‌متر)	
۰/۰۵۲ ^e	۴۸/۶۸ $\pm$ ۲/۲۶	۴۷/۰۶ $\pm$ ۱/۷۶	۴۷/۸۷ $\pm$ ۲/۱۲	۴۶/۰۴ $\pm$ ۲/۷۸	ارتفاع تنه (سانتی‌متر)	

NS: معنی‌دار نبود، ^e: گروه کنترل و گروه اسکولیوزیس اصلی

طوبت‌بخش

نداد (تصویر شماره ۲). مقایسه‌های sPM برای گشتاور آزاد تنها در پای چپ بین گروه کنترل و زیرگروه اسکولیوز راست کم‌ری اختلافی را نشان داد که در زیرگروه اسکولیوز راست کم‌ری بیشتر بود (از ۴/۷۱ تا ۵/۱۳ درصد از فاز استقرار، $P=0/005$).

بحث

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات اجزای پارامتر COP و گشتاور آزاد هنگام راه رفتن در افراد اسکولیوز ناشناخته نوجوانی دارای انحنای اسکولیوز کم‌ری در مقایسه با افراد سالم بود. راه رفتن یک فعالیت عصبی-عضلانی پیچیده است که نیازمند عملکرد دقیق گیرنده‌های حسی عمقی و سیستم عصبی مرکزی است تا از یک بهره مکانیکی مناسب برخوردار باشد [۴۵، ۲۱]. علی‌رغم آن که پارامترهای COP در تحلیل کلینیکی راه رفتن بیماران اسکولیوز اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد، اما اطلاعات کافی در این زمینه در دسترس نیست. الگوی غیرطبیعی در کینماتیکی COP و گشتاور آزاد هنگام راه رفتن می‌تواند منعکس‌کننده ضعف عملکرد سیستم عصبی-عضلانی و یا وقوع یک سازگاری جدید برای جبران مشکلات بیومکانیکی ناشی از انحنای اسکولیوز باشد. به همین جهت کسب اطلاع از تغییرات اجزای پارامتر COP، ضمن افزایش آگاهی از ویژگی‌های بیومکانیکی راه رفتن، می‌تواند درمانگران اسکولیوز را در طراحی یک برنامه توان‌بخشی ورزشی سودمند یاری کند.

نتایج ما نشان داد در مقایسه با افراد سالم، بیماران اسکولیوز بلندقدتر و دارای طول تنه بزرگ‌تر هستند. این نتایج، همسو با برخی از مطالعات پیشین، فرضیه بلندقدتر بودن بیماران اسکولیوز را تأیید می‌کند [۴۶-۵۰]. بنابراین می‌توان گفت در

سانتی‌متر ($P=0/021$) و طول تنه بزرگ‌تری به اندازه $3\pm6/6$ سانتی‌متر ($P=0/052$) را در مقایسه با گروه کنترل نشان داد (جدول شماره ۱).

اختلاف هیچ‌یک از مؤلفه‌های مربوط به COPML در هر دو پای راست و چپ بین گروه‌های اسکولیوز اصلی، اسکولیوز کم‌ری راست و اسکولیوز کم‌ری چپ و در مقایسه با گروه کنترل معنی‌دار نبود ($P>0/05$) (جدول شماره ۲).

مؤلفه دامنه COPAP در پای چپ گروه اسکولیوز کم‌ری چپ به‌طور معنی‌داری ($P=0/027$) از گروه کنترل بزرگ‌تر بود (جدول شماره ۳)، اما در سایر مؤلفه‌های COPAP بین گروه‌های اسکولیوز اصلی، اسکولیوز کم‌ری راست و اسکولیوز کم‌ری چپ و در مقایسه با گروه کنترل اختلاف معنی‌دار نبود ($P>0/05$) (جدول شماره ۳).

نتایج نشان داد مقدار میانگین گشتاور آزاد در پای راست بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها مشابه بود، اما این مقدار در پای چپ در زیرگروه اسکولیوز چپ کم‌ری بیشتر از اسکولیوز راست کم‌ری بود ($P=0/019$) (جدول شماره ۴). مقادیر دامنه و RMS گشتاور آزاد بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها برای هر دو پای راست و چپ اختلاف معنی‌دار نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۴). مقدار ضربه گشتاور آزاد در پای راست بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها مشابه بود، اما در پای چپ در گروه در زیرگروه اسکولیوز چپ کم‌ری بیشتر از اسکولیوز راست کم‌ری بود ($P=0/019$) (جدول شماره ۴).

مقایسه‌های داده‌های زمانی با استفاده از روش SPM برای مرکز فشار در ۲ محور X و Y هنگام راه رفتن بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها برای هر دو پای چپ و راست هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری را نشان

جدول ۲. مرکز فشار هنگام راه رفتن در محور X

میانگین $\pm$ انحراف معیار		گروه‌ها	متغیرها
پای راست	پای چپ		
0.46 ± 0.05	0.44 ± 0.05	کنترل	میانگین
0.49 ± 0.06	0.41 ± 0.05	اسکلیوز اصلی	
0.49 ± 0.08	0.39 ± 0.07	اسکلیوز راست کمری	
0.50 ± 0.08	0.43 ± 0.07	اسکلیوز چپ کمری	
NS	NS	Sig.	
0.44 ± 0.16	0.38 ± 0.08	کنترل	دامنه
0.69 ± 0.17	0.53 ± 0.09	اسکلیوز اصلی	
0.41 ± 0.23	0.38 ± 0.12	اسکلیوز راست کمری	
0.96 ± 0.23	0.68 ± 0.12	اسکلیوز چپ کمری	
NS	NS	Sig.	
0.49 ± 0.04	0.47 ± 0.04	کنترل	RMS
0.55 ± 0.05	0.47 ± 0.04	اسکلیوز اصلی	
0.52 ± 0.07	0.46 ± 0.06	اسکلیوز راست کمری	
0.58 ± 0.07	0.48 ± 0.06	اسکلیوز چپ کمری	
NS	NS	Sig.	

NS: معنی‌دار نبود.

طبتوانبخش

[۵۱]. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند علت گسترده تغییرات جابه‌جایی COPML را می‌توان به جانبی بودن منحنی‌های اسکولیوز اولیه و ثانویه در بین بیماران مرتبط دانست [۵۱]. همچنین گروبر [۲۳] و لیو و همکاران [۵۲] نیز ناهمسو با یافته‌های مطالعه حاضر گزارش کردند دامنه نوسانات COPML در گروه اسکولیوز بزرگ‌تر از گروه کنترل بود. شاید دلیل این تفاوت‌ها بین نتایج ما و دیگران مربوط به ترکیب بیماران از نظر نوع اسکولیوز باشد. برخلاف مطالعه ما که فقط اسکولیوز کمری با شدت ملایم را دربر می‌گیرد، در مطالعات مذکور، گروه اسکولیوز ترکیبی از همه انواع اسکولیوز با فازهای متفاوت (با تحذب چپ و راست) و نیز دامنه وسیع مقدار زاویه Cobb را داشته است.

مشاهدات چرن نشان داد کینماتیک COP هنگام راه رفتن به‌عنوان یک شاخص حساس می‌تواند شدت اسکولیوز را نشان دهد [۲۹]. آن‌ها نشان دادند رفتار کینماتیکی COP در بیماران با شدت متوسط نسبت به بیماران با شدت کم و زیاد متفاوت بود. این یافته نیز نشان می‌دهد در مطالعات بیومکانیکی مربوط به COP نباید اسکولیوز با شدت‌های متفاوت را در یک گروه ترکیب کرد.

این خصوص اسکولیوز کمری نیز از سایر انواع اسکولیوزها مستثنا نیست. شاید بتوان این فرضیه را برای بررسی بیشتر پیشنهاد کرد که «در دوران رشد، نسبت بالاتر رشد طولی تنه به رشد طولی اندام تحتانی» می‌تواند یک ریسک‌فاکتور برای بروز و پیشروی اسکولیوز باشد. یک بررسی طولی در دوران رشد نوجوانی و توجه به نرخ رشد طول تنه در مقایسه با نرخ رشد قد و طول اندام تحتانی می‌تواند در زمینه این فرضیه مفید باشد. تفاوت ترکیب بدنی بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی نسبت به افراد سالم و ارتباط ترکیب بدنی با افزایش و شدت انحنای مورد تأیید بسیاری از محققین است [۲۷، ۱۶].

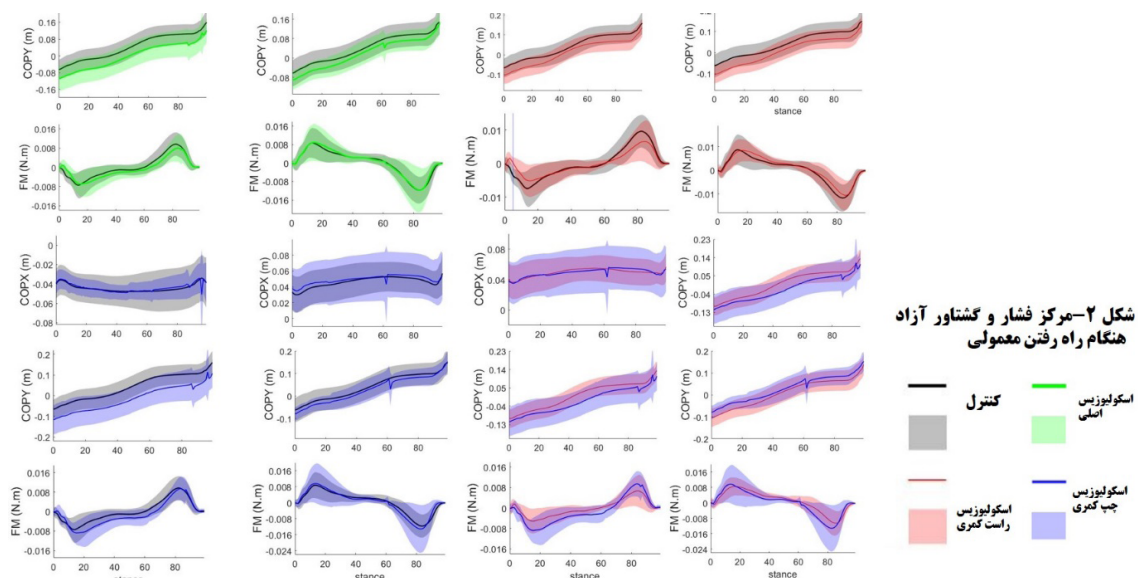
همچنین نتایج این مطالعه نشان داد میانگین، دامنه و RMS مربوط به COPML در هر دو پای راست و چپ بین زیرگروه‌های اسکولیوز و گروه کنترل مشابه بود و اختلاف معنی‌داری نداشتند. این نتایج با یافته‌های دالتو و همکاران در سال ۲۰۰۷ که تفاوتی بین ۲ گروه اسکولیوز و کنترل در مقدار میانگین نوسان COPML مشاهده نکردند همسو است [۳۶]. در مقابل، یافته‌های گائو [۲۷] و بیکر [۵۱] که نشان دادند تغییرات COPML در بیماران اسکولیوز متفاوت با افراد سالم است با نتایج ما ناهمسو است.

جدول ۳. مرکز فشار در محور ۲

متغیرها		گروهها	میانگین $\pm$ انحراف معیار	
			پای راست	پای چپ
میانگین	کنترل		0.050 ± 0.008	0.052 ± 0.009
	اسکلیوز اصلی		0.037 ± 0.009	0.039 ± 0.010
	اسکلیوز راست کمری		0.038 ± 0.012	0.034 ± 0.013
	اسکلیوز چپ کمری		0.037 ± 0.012	0.064 ± 0.013
Sig.			NS	NS
دامنه	کنترل		0.260 ± 0.035	0.251 ± 0.018
	اسکلیوز اصلی		0.316 ± 0.038	0.295 ± 0.019
	اسکلیوز راست کمری		0.263 ± 0.052	0.254 ± 0.025
	اسکلیوز چپ کمری		0.369 ± 0.052	0.335 ± 0.025
Sig.			NS	$0.028^{\#}$
RMS	کنترل		0.098 ± 0.005	0.104 ± 0.005
	اسکلیوز اصلی		0.089 ± 0.006	0.099 ± 0.005
	اسکلیوز راست کمری		0.084 ± 0.008	0.088 ± 0.007
	اسکلیوز چپ کمری		0.095 ± 0.008	0.110 ± 0.007
Sig.			NS	NS

NS: معنی دار نبود؛ $^{\#}$ کنترل و اسکولیوزیس چپ کمری

طب توانبخشی



تصویر ۲. مرکز فشار و گشتاور آزاد هنگام راه رفتن معمولی

طب توانبخشی

جدول ۴. گشتاور آزاد (NM)

میانگین $\pm$ انحراف معیار		گروه‌ها	متغیرها
پای چپ	پای راست		
0.002 ± 0.001	0.001 ± 0.001	کنترل	میانگین
0.002 ± 0.001	0.001 ± 0.007	اسکلیوز اصلی	
0.001 ± 0.005	0.001 ± 0.009	اسکلیوز راست کمری	
0.002 ± 0.001	0.001 ± 0.005	اسکلیوز چپ کمری	
0.019^*	NS	Sig.	
0.022 ± 0.002	0.023 ± 0.002	کنترل	دامنه
0.022 ± 0.002	0.024 ± 0.002	اسکلیوز اصلی	
0.019 ± 0.003	0.021 ± 0.003	اسکلیوز راست کمری	
0.026 ± 0.003	0.027 ± 0.003	اسکلیوز چپ کمری	
NS	NS	Sig.	
0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.001	کنترل	RMS
0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.001	اسکلیوز اصلی	
0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	اسکلیوز راست کمری	
0.007 ± 0.001	0.007 ± 0.001	اسکلیوز چپ کمری	
NS	NS	Sig.	
0.0001 ± 0.0007	0.0001 ± 0.0008	کنترل	ضربه (NMs)
0.0001 ± 0.0008	0.0001 ± 0.0006	اسکلیوز اصلی	
0.0001 ± 0.0003	0.0001 ± 0.0005	اسکلیوز راست کمری	
0.0002 ± 0.0008	0.0001 ± 0.0007	اسکلیوز چپ کمری	
0.019^*	NS	Sig.	

طب توانبخشی

NS: معنی دار نبود،

نوع تغییرات غیرطبیعی در کینماتیک COP می‌تواند منعکس کننده ضعف عملکرد سیستم عصبی عضلانی در راه رفتن باشد [۵۵، ۴۵].

نتایج برای COPAP نشان داد مقدار دامنه COPAP در پای چپ بین زیرگروه اسکولیوز چپ کمری و گروه کنترل متفاوت بود که این مقدار در گروه اسکولیوز چپ کمری بزرگ‌تر بود که نشان دهنده نوسانات بیشتر مرکز فشار در سطح AP است. این یافته همسو با نتایج دالٹو است [۳۶]، اما با نتایج بیکر [۵۱] و لیو [۵۲] ناهمسو است. در نتایج ما، مقدار RMS نیز بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها برای COPAP تقریباً مشابه بود و هیچ‌گونه تفاوتی که از نظر آماری معنادار باشد را نشان نداد. مطالعات پیشین بزرگ‌تر بودن مسیر COPAP را نشانه ضعف در کنترل تعادل هنگام ایستادن ارزیابی کردند [۵۲، ۵۱].

بدیهی است که کینماتیک COP و مرکز ثقل به هم مرتبط هستند. از طرفی تغییرات مرکز ثقل بدن می‌تواند تحت تأثیر فعالیت‌های نامتقارن عضلات پاراورتبرال قرار گیرد [۵۳، ۱۷]. این موضوع را ماهادنس و چرن نوعی واکنش عصبی عضلانی (کنترل حرکتی) به بیومکانیک راه رفتن، به‌ویژه کینماتیک COP قلمداد کردند [۲۹، ۱۰]. از طرفی چپو کینماتیک COPML را در جریان کنترل حرکتی در قالب تغییرات توزیع فشار در بخش‌های مختلف کف پا نشان دادند و آن را به مکانیسم میج پا برای حفظ تعادل مرتبط دانستند [۵۴]. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کینماتیک COP محصول یک جریان کلی سیستم عصبی عضلانی است که با مشارکت عضلات و مفاصل کل بدن تعیین می‌شود و به همین خاطر یک پارامتر بسیار مهم است. به عبارت دیگر وجود هر

قالب یک زیرگروه) می‌توانست رفتار کینماتیکی COP و گشتاور آزاد بر مبنای نوع اسکولیوز را بهتر نمایان و تبیین کند.

این تحقیق تأکید می‌کند طراحی برنامه توان‌بخشی اسکولیوز باید به‌طور منحصربه‌فرد باتوجه‌به نوع و شدت اسکولیوز و نیز فاز انحنا (تحدب به چپ و تحدب به راست) باشد. به‌عنوان مثال اسکولیوز کمری چپ عملکرد متفاوت‌تری نسبت به اسکولیوز راست کمری و افراد سالم داشت و باید این تفاوت‌ها دیده شوند. اینکه چرا اسکولیوز کمری چپ تفاوت بیشتری را در کینماتیک مرکز فشار تجربه می‌کند، سؤالی است که نیاز به تحقیقات پیچیده‌تر با تعداد افراد بیشتر دارد.

نتیجه‌گیری

افراد مبتلا به اسکولیوز کمری بلندقدتر با تنه‌های بلندتر از گروه کنترل سالم بودند. در بیماران اسکولیوز با انحنا کمری راست تغییری در پارامترهای COP و گشتاور آزاد در هیچ جهتی مشاهده نشد. اما در پای چپ اسکولیوز چپ کمری (پای سمت تحدب) تغییراتی در COPAP و ایمپالس گشتاور آزاد مشاهده شد. این تحقیق نشان می‌دهد بروز تغییرات غیرطبیعی در الگوی کینماتیکی مرکز فشار و گشتاور آزاد به نوع انحنا اسکولیوز بستگی دارد. برنامه ورزش‌درمانی و توان‌بخشی باید به‌طور ویژه برای هر نوع انحنا اسکولیوز به‌طور جداگانه طراحی شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق در پژوهش **دانشگاه بوعلی سینای همدان** با کد اخلاق به شماره (IR.BASU.REC.1399.00) رعایت شده است. در این مطالعه تمام اصول اخلاقی از جمله اخذ رضایت آگاهانه از شرکت‌کنندگان، حفظ محرمانگی اطلاعات آن‌ها و احترام به حق آن‌ها برای ترک پژوهش رعایت شد.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری سها عباسی از دانشکده علوم ورزشی، **دانشگاه بوعلی سینای همدان** می‌باشد. برای این مطالعه هیچ گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی، خصوصی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشده است.

مشارکت‌نویسندگان

جمع آوری داده‌ها، آنالیز و پردازش داده‌ها، تفسیر نتایج، تهیه متن، و ویرایش مقاله: سها عباسی؛ طراحی پژوه، مدیریت و نظارت پژوهش، تعریف متدولوژی، آنالیز داده‌ها، تفسیر نتایج،

همچنین نتایج ما نشان داد مقدار میانگین گشتاور آزاد در پای چپ در زیرگروه اسکولیوز چپ کمری بیشتر از اسکولیوز راست کمری بود. مقادیر دامنه و RMS گشتاور آزاد بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها برای هر دو پای راست و چپ اختلاف معناداری را نشان نداد که این نتایج ناهمسو با نتایج دالتو بود [۳۶]. مقدار ضربه گشتاور آزاد در پای چپ (سمت انحنا) در زیرگروه اسکولیوز چپ کمری بیشتر از اسکولیوز راست کمری بود، که نشان‌دهنده تغییرات اندازه حرکتی بزرگ‌تری در این افراد برای جبران عدم تعادل حین راه رفتن است.

مقایسه الگوی تغییرات کینماتیکی متغیرهای COPAP و COPML در بازه زمان استقرار که با روش آماری SPM انجام شد و نشان داد رفتار کینماتیکی در این متغیرها بین همه گروه‌های مورد مطالعه در طول بازه استقرار مشابه بودند. ناهمسو با یافته‌های ما، گائو نشان داد در افراد مبتلا به اسکولیوز کینماتیک COP در بازه استقرار با افراد سالم متفاوت است [۲۷].

در این مطالعه، مقایسه الگوی تغییرات گشتاور آزاد در بازه استقرار نشان داد که گشتاور آزاد پای چپ در ابتدای فاز استقرار بین گروه کنترل و زیرگروه اسکولیوز راست کمری متفاوت بود. این میزان تغییرات بزرگ‌تر گشتاور آزاد در زیرگروه اسکولیوز راست کمری نشان‌دهنده تلاش بیشتر عضلانی برای کنترل پاسچر دینامیکی و قرار دادن بدن در یک وضعیت مناسب برای پیشروی بدن در راه رفتن است [۳۶]. تا جایی که می‌دانیم تاکنون هیچ پژوهشی منحنی پویای گشتاور آزاد را مورد بررسی قرار نداده است.

درمجموع نتایج ما حاکی از آن است که اسکولیوز کمری با یک سری تغییرات در کینماتیک COP و تغییرات گشتاور آزاد همراه است. این تغییرات درواقع منعکس‌کننده نوعی نقص در سیستم عصبی-عضلانی (کنترل حرکتی) و ضعف در تعادل دینامیک هستند [۵۶-۵۸]. مطالعات پیشین نشان داده‌اند میزان شدت اسکولیوز [درجه بالای کاب] در بیماران اسکولیوز ناشناخته نوجوانی با عملکرد تعادلی آن‌ها مرتبط است. به این معنی که هرچه شدت انحنا بیشتر باشد منجر به عدم تعادل بزرگ‌تری می‌شود [۵۹]. شدت زاویه کاب بیماران مورد مطالعه در پژوهش حاضر ملایم بود. بررسی این وضعیت در شدت‌های بالاتر نیز مکمل این تحقیق خواهد شد و می‌تواند اطلاعات بیشتری فراهم آورد.

این تحقیق محدودیت‌هایی داشت. تعداد کم افراد در زیرگروه‌ها یکی از محدودیت‌ها در این تحقیق بود. هرچند که جمع افراد اسکولیوز تعداد مناسبی بودند. به هر حال یافتن تعداد زیادی اسکولیوز کمری تنها دشوار است. همراه کردن اندازه‌گیری الکترومیوگرافی عضلات اندام تحتانی و تنه نیز می‌توانست اطلاعات دقیق‌تری از عملکرد عصبی-عضلانی به دست دهد. همچنین اگر دیگر انواع اسکولیوز افزوده می‌شدند (هریک در

تهیه اولین ویرایش مقاله، و نهایی کردن مقاله: نادر فرهپور؛
متدولوژی، معاینه بالینی بیماران، بازخوانی و ویرایش: بیژن
حیدری؛ متدولوژی، تفسیر نتایج، بازخوانی و ویرایش: گبریل
مویسان و پاول الارد.

تعارض منافع

هیچ نوع تعارض منافی در این مطالعه وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مرکز تندرستی و ورزش‌های تخصصی ستون
فقرات مهر و از جناب آقای دکتر مهدی مجلسی مدیر آزمایشگاه
بیومکانیک ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان که
آزمایشگاه را در اختیار ما قرار دادند قدردانی می‌کنند.

References

- [1] Dufvenberg M, Adeyemi F, Rajendran I, Öberg B, Abbott A. Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis. *Scoliosis and Spinal Disorders*. 2018; 13:19. [DOI:10.1186/s13013-018-0163-1] [PMID]
- [2] Weiss HR. Adolescent Idiopathic Scoliosis-case report of a patient with clinical deterioration after surgery. *Patient Safety in Surgery*. 2007; 1:7. [DOI:10.1186/1754-9493-1-7] [PMID]
- [3] Kikanloo SR, Tarpada SP, Cho W. Etiology of adolescent idiopathic scoliosis: A literature review. *Asian Spine Journal*. 2019; 13(3):519-26. [DOI:10.31616/asj.2018.0096] [PMID]
- [4] Daryabor A, Arazpour M, Sharifi G, Bani MA, Aboutorabi A, Golchin N. Gait and energy consumption in adolescent idiopathic scoliosis: A literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2017; 60(2):107-16. [DOI:10.1016/j.rehab.2016.10.008] [PMID]
- [5] Davis CM, Grant CA, Percy MJ, Askin GN, Labrom RD, Izatt MT, et al. Is there asymmetry between the concave and convex pedicles in adolescent idiopathic scoliosis? A CT investigation. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2017; 475(3):884-93. [DOI:10.1007/s11999-016-5188-2] [PMID]
- [6] Mahaudens P, Detrembleur C, Mousny M, Banse X. Gaitw in thoracolumbar/lumbar adolescent idiopathic scoliosis: Effect of surgery on gait mechanisms. *European Spine Journal*. 2010; 19(7):1179-88. [DOI:10.1007/s00586-010-1292-2] [PMID]
- [7] Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Children's Orthopaedics*. 2013; 7(1):3-9. [DOI:10.1007/s11832-012-0457-4] [PMID]
- [8] Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, et al. 2016 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders*. 2018; 13:3. [DOI:10.1186/s13013-017-0145-8] [PMID]
- [9] Winter RB. Classification and terminology. *Moes Textbook of Scoliosis and Other Deformities*. 1987. [Link]
- [10] Mahaudens P, Banse X, Mousny M, Detrembleur C. Gait in adolescent idiopathic scoliosis: Kinematics and electromyographic analysis. *European Spine Journal*. 2009; 18(4):512-21. [DOI:10.1007/s00586-009-0899-7] [PMID]
- [11] Park HJ, Sim T, Suh SW, Yang JH, Koo H, Mun JH. Analysis of coordination between thoracic and pelvic kinematic movements during gait in adolescents with idiopathic scoliosis. *European Spine Journal*. 2016; 25(2):385-93. [DOI:10.1007/s00586-015-3931-0] [PMID]
- [12] Yazdani S, Farahpour N, Delavar A, Farahmand F. [Electromyographical activity of erector spinae and gluteus medius muscles in patients with adolescent idiopathic scoliosis during gait (Persian)]. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2016; 38(6):84-92. [Link]
- [13] Yazdani S, Farahpour N, Habibi M, Saba MS. [Spatiotemporal variables of gait in patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy individuals (Persian)]. *Journal of Sport Biomechanics*. 2016; 2(3):5-14. [Link]
- [14] Wu KW, Lu TW, Lee WC, Ho YT, Huang TC, Wang JH, et al. Altered balance control in thoracic adolescent idiopathic scoliosis during obstructed gait. *Plos One*. 2020; 15(2):e0228752. [DOI:10.1371/journal.pone.0228752] [PMID]
- [15] Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JC, Danielsson A, Morcuende JA. Adolescent idiopathic scoliosis. *The Lancet*. 2008; 371(9623):1527-37. [DOI:10.1016/S0140-6736(08)60658-3] [PMID]
- [16] Allard P, Chavet P, Barbier F, Gatto L, Labelle H, Sadeghi H. Effect of body morphology on standing balance in adolescent idiopathic scoliosis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2004; 83(9):689-97. [DOI:10.1097/01.PHM.0000137344.95784.15] [PMID]
- [17] Farahpour N, Ghasemi S, Allard P, Saba MS. Electromyographic responses of erector spinae and lower limb's muscles to dynamic postural perturbations in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014; 24(5):645-51. [DOI:10.1016/j.jelekin.2014.05.014] [PMID]
- [18] Schlösser TP, Colo D, Castelein RM. Etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Seminars in Spine Surgery*. 2015; 27(1):2-8. [DOI:10.1053/j.semss.2015.01.003]
- [19] Burwell RG, Freeman BJ, Dangerfield PH, Aujla RK, Cole AA, Kirby AS, et al. Etiologic theories of idiopathic scoliosis: Neurodevelopmental concept of maturational delay of the CNS body schema ("body-in-the-brain"). *Studies in Health Technology and Informatics*. 2006; 123:72-9. [PMID]
- [20] Burwell RG, Aujla RK, Grevitt MP, Dangerfield PH, Moulton A, Randell TL, et al. Pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis in girls-a double neuro-osseous theory involving disharmony between two nervous systems, somatic and autonomic expressed in the spine and trunk: Possible dependency on sympathetic nervous system and hormones with implications for medical therapy. *Scoliosis*. 2009; 4:24. [DOI:10.1186/1748-7161-4-24] [PMID]
- [21] Winter DA, Eng P. Kinetics: Our window into the goals and strategies of the central nervous system. *Behavioural Brain Research*. 1995; 67(2):111-20. [DOI:10.1016/0166-4328(94)00154-8] [PMID]
- [22] Federolf PA. A novel approach to study human posture control: "Principal movements" obtained from a principal component analysis of kinematic marker data. *Journal of Biomechanics*. 2016; 49(3):364-70. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2015.12.030] [PMID]
- [23] Gruber AH, Busa MA, Gorton Iii GE, Van Emmerik RE, Masso PD, Hamill J. Time-to-contact and multiscale entropy identify differences in postural control in adolescent idiopathic scoliosis. *Gait & Posture*. 2011; 34(1):13-8. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.02.015] [PMID]
- [24] Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]
- [25] Palmieri RM, Ingersoll CD, Stone MB, Krause BA. Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2002; 11(1):51-66. [Link]

- [26] Leteneur S, Blandeau M, Barbier F, Farahpour N, Allard P. Center of pressure palindromes reveals a wobbling standing balance in scoliotic girls. *Clinical Biomechanics*. 2024; 113:106217. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2024.106217] [PMID]
- [27] Gao CC, Chern JS, Chang CJ, Lai PL, Lung CW. Center of pressure progression patterns during level walking in adolescents with idiopathic scoliosis. *Plos One*. 2019; 14(4):e0212161. [DOI:10.1371/journal.pone.0212161] [PMID]
- [28] Larni Y, Mohsenifar H, Ghandhari H, Salehi R. Investigation of static balance differences between adolescents with idiopathic scoliosis and healthy age-matched adolescents: A cross-sectional study. *Journal of Iranian Medical Council*. 2023; 6(3):542-9. [DOI:10.18502/jimc.v6i3.12859]
- [29] Chern JS, Kao CC, Lai PL, Lung CW, Chen WJ. Severity of spine malalignment on center of pressure progression during level walking in subjects with adolescent idiopathic scoliosis. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*. 2014; 5888-91. [DOI:10.1109/EMBC.2014.6944968] [PMID]
- [30] Cağan L, Cerbu S, Amarică E, Suci O, Horhat DI, Popoiu CM, et al. Assessment of static plantar pressure, stabilometry, vitamin D and bone mineral density in female adolescents with moderate idiopathic scoliosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(6):2167. [DOI:10.3390/ijerph17062167] [PMID]
- [31] Kewwan K, Mullineaux DR, Kyoungkyu J. A comparative study of spinal deformity and plantar pressure according to the static standing posture of female adolescents with or without idiopathic scoliosis. *Iranian Journal of Public Health*. 2019; 48(2):345. [DOI:10.18502/ijph.v48i2.834]
- [32] Lee JU. Comparison of dynamic plantar foot pressure in normal subjects and patients with adolescent idiopathic scoliosis for health science research. *Toxicology and Environmental Health Sciences*. 2017; 9:269-78. [DOI:10.1007/s13530-017-0331-3]
- [33] Lee JU, Kim MY, Kim J. Comparison of static plantar foot pressure between healthy subjects and patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Toxicology and Environmental Health Sciences*. 2014; 6:127-32. [DOI:10.1007/s13530-014-0197-6]
- [34] Bleuse S, Cassim F, Blatt JL, Defebvre L, Guieu JD. [Anticipatory postural adjustments associated with arm flexion: Interest of vertical torque (French)]. *Neurophysiologie Clinique= Clinical Neurophysiology*. 2002; 32(6):352-60. [DOI:10.1016/S0987-7053(02)00335-0] [PMID]
- [35] Bleuse S, Cassim F, Blatt JL, Defebvre L, Derambure P, Guieu JD. Vertical torque allows recording of anticipatory postural adjustments associated with slow, arm-raising movements. *Clinical Biomechanics*. 2005; 20(7):693-9. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2005.03.005] [PMID]
- [36] Dalleau G, Allard MS, Beaulieu M, Rivard CH, Allard P. Free moment contribution to quiet standing in able-bodied and scoliotic girls. *European Spine Journal*. 2007; 16(10):1593-9. [DOI:10.1007/s00586-007-0404-0] [PMID]
- [37] Lebedowska MK, Syczewska M. Invariant sway properties in children. *Gait & Posture*. 2000; 12(3):200-4. [DOI:10.1016/S0966-6362(00)00080-1] [PMID]
- [38] Penha PJ, Penha NLJ, De Carvalho BKG, Andrade RM, Schmitt ACB, João SMA. Posture alignment of adolescent idiopathic scoliosis: Photogrammetry in scoliosis school screening. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 2017; 40(6):441-51. [DOI:10.1016/j.jmpt.2017.03.013] [PMID]
- [39] Wen JX, Yang HH, Han SM, Cao L, Wu HZ, Yang C, et al. Trunk balance, head posture and plantar pressure in adolescent idiopathic scoliosis. *Frontiers in Pediatrics*. 2022; 10:979816. [DOI:10.3389/fped.2022.979816] [PMID]
- [40] Rigo MD, Villagrasa M, Gallo D. A specific scoliosis classification correlating with brace treatment: Description and reliability. *Scoliosis*. 2010; 5(1):1. [DOI:10.1186/1748-7161-5-1] [PMID]
- [41] Cheng JC, Castelein RM, Chu WC, Danielsson AJ, Dobbs MB, Grivas TB, et al. Adolescent idiopathic scoliosis. *Nature Reviews. Disease Primers*. 2015; 1:15030. [DOI:10.1038/nrdp.2015.30] [PMID]
- [42] Almosnino S, Kajaks T, Costigan PA. The free moment in walking and its change with foot rotation angle. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2009; 1(1):19. [DOI:10.1186/1758-2555-1-19] [PMID]
- [43] Cornilleau-Pérès V, Shabana N, Droulez J, Goh JC, Lee GS, Chew PT. Measurement of the visual contribution to postural steadiness from the COP movement: Methodology and reliability. *Gait & Posture*. 2005; 22(2):96-106. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2004.07.009] [PMID]
- [44] Hamill J, Bates B, Knutzen K, Sawhill J. Variations in ground reaction force parameters at different running speeds. *Human Movement Science*. 1983; 2(1-2):47-56. [DOI:10.1016/0167-9457(83)90005-2]
- [45] Tochigi Y, Segal NA, Vaseenon T, Brown TD. Entropy analysis of tri-axial leg acceleration signal waveforRMS for measurement of decrease of physiological variability in human gait. *Journal of Orthopaedic Research*. 2012; 30(6):897-904. [DOI:10.1002/jor.22022] [PMID]
- [46] Willner S. A study of growth in girls with adolescent idiopathic structural scoliosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1974; 101:129-35. [PMID]
- [47] Buric M, Momcilovic B. Growth pattern and skeletal age in school girls with idiopathic scoliosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*. 1982; 170:238-42. [DOI:10.1097/00003086-198210000-00032]
- [48] Shohat M, Shohat T, Nitzan M, Mimouni M, Kedem R, Danon YL. Growth and ethnicity in scoliosis. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1988; 59(3):310-3. [DOI:10.3109/17453678809149370] [PMID]
- [49] Nicolopoulos KS, Burwell RG, Webb JK. Stature and its components in adolescent idiopathic scoliosis. Cephalocaudal disproportion in the trunk of girls. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*. 1985; 67(4):594-601. [DOI:10.1302/0301-620X.67B4.4030857] [PMID]

- [50] Zhu F, Hong Q, Guo X, Wang D, Chen J, Zhu Q, et al. A comparison of foot posture and walking performance in patients with mild, moderate, and severe adolescent idiopathic scoliosis. *Plos One*. 2021; 16(5):e0251592. [DOI:10.1371/journal.pone.0251592] [PMID]
- [51] Baker R. Temporal spatial data, the gait cycle and gait graphs. University of Salford, Tech Rep. 2012. [Link]
- [52] Liu Y, Li X, Dou X, Huang Z, Wang J, Liao B, et al. Correlational analysis of three-dimensional spinopelvic parameters with standing balance and gait characteristics in adolescent idiopathic scoliosis: A preliminary research on Lenke V. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022; 10:1022376. [DOI:10.3389/fbioe.2022.1022376] [PMID]
- [53] Farahpour N, Younesian H, Bahrpeyma F. Electromyographic activity of erector spinae and external oblique muscles during trunk lateral bending and axial rotation in patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects. *Clinical Biomechanics*. 2015; 30(5):411-7. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2015.03.018] [PMID]
- [54] Chiu MC, Wu HC, Chang LY, Wu MH. Center of pressure progression characteristics under the plantar region for elderly adults. *Gait & Posture*. 2013; 37(3):408-12. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.08.010] [PMID]
- [55] 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. *Clinical Biomechanics*. 2009; 24(4):391-6. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2009.01.006] [PMID]
- [56] Lidström J, Friberg S, Lindström L, Sahlstrand T. Postural control in siblings to scoliosis patients and scoliosis patients. *Spine*. 1988; 13(9):1070-4. [DOI:10.1097/00007632-198809000-00017] [PMID]
- [57] Sahlstrand T. An analysis of lateral predominance in adolescent idiopathic scoliosis with special reference to convexity of the curve. *Spine*. 1980; 5(6):512-8. [DOI:10.1097/00007632-198011000-00005] [PMID]
- [58] Spaepen AJ, Vranken M, Willems EJ. [Comparison of the shifting of the centers of pressure and gravity in normal subjects and scoliotic patients (French)]. *Agressologie*. 1978; 19(B):75-6. [PMID]
- [59] Gauchard GC, Lascombes P, Kuhnast M, Perrin PP. Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control. *Spine*. 2001; 26(9):1052-8. [DOI:10.1097/00007632-200105010-00014] [PMID]