

Research Paper

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



Soha Abbasi<sup>1</sup> , \*Nader Farahpour<sup>1</sup> , Bizhan Heidari<sup>2</sup> , Gabriel Moisan<sup>3</sup> , Paul Allard<sup>4</sup>

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>

**doi** <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 lumbar 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 lumbar AIS categorized into right lumbar scoliosis (n=7) and left lumbar 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 main scoliosis group had significantly higher body height ( $P=0.021$ ) and trunk length ( $P=0.052$ ) than the control group. Also the average of COPAP in the left foot was different between control and main scoliosis group ( $p=0.040$ ), as well as the left lumbar scoliosis subgroup showed a larger COPAP range in the left leg (convex side) compared to the control group ( $P=0.027$ ). SPM comparisons for free moment only in the left foot showed a difference between the control and the right lumbar scoliosis groups ( $P=0.005$ ).

**Conclusion** Right and left lumbar scoliosis subgroups demonstrate distinct gait adaptations, particularly in center of pressure and free moment dynamics. Merging subgroups obscured significant biomechanical differences, highlighting the need for direction-specific rehabilitation strategies 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](mailto: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

**A**dolescent 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 lumbar AIS and healthy controls, and b) COP displacements and FM patterns are different between patients with right and left lumbar 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 lumbar scoliosis (Cobb angle  $=19.7\pm3.2^\circ$ ) and left lumbar 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 main scoliosis group and control groups or between left and right lumbar scoliosis subgroups. Moreover, the average of COPAP in the left foot was different between control and main scoliosis group ( $P=0.040$ ), and also the left foot of the left lumbar scoliosis subgroup had a significantly greater COP anterior range compared to controls ( $P=0.027$ ). In the right and left foot, FM values (mean, range, RMS, impulse) showed no significant differences between the groups).

SPM comparisons revealed no significant differences in COP trajectories in either direction across groups. However, a brief but significant difference in left foot FM was found between the control group and the right lumbar scoliosis group during 4.71–5.13% of the stance phase ( $P=0.005$ ).

## Conclusion

This study uniquely focused on gait differences between the left and right lumbar scoliosis 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. For COPAP, the average of COPAP in the left foot was dif-

ferent between control and main scoliosis group. As well as, the left lumbar group showed increased displacement in the left foot. This aligns with prior research linking greater anteroposterior COP motion to impaired dynamic balance [18].

SPM analysis confirmed this with a small but statistically significant FM difference between the control and right lumbar groups, indicating more muscular effort to maintain posture, particularly in the left foot.

These findings suggest that both curvature type and direction affect gait mechanics. The left lumbar subgroup appeared most affected, highlighting the need to consider the polarity of scoliosis curvature in rehabilitation design. 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 Soaha 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<sup>۱</sup>، نادر فرهپور<sup>۲</sup>، بیژن حیدری<sup>۳</sup>، گبریل مويسان<sup>۴</sup>، پاول الارد<sup>۵</sup>

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>

## چکیده

**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 کینماتیکی 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 داخلی-خارجی  $COP_{ML}$  و گشتاور آزاد در هر دو پای راست و چپ بین گروه‌ها مشاهده نشد. باین‌حال، مقدار میانگین  $COP_{AP}$  در پای چپ بین دو گروه کنترل و اسکولیوز اصلی تفاوتی را نشان داد ( $P=0/040$ ). علاوه‌براین، زیرگروه اسکولیوز کمری چپ در پای چپ (سمت تحدب) دامنه  $COP_{AP}$  بزرگتری در مقایسه با گروه کنترل ( $P=0/027$ ) نشان داد. مقایسه‌های spm تفاوت معنی‌داری در گشتاور آزاد پای چپ بین دو گروه کنترل و اسکولیوز راست کمری نشان داد ( $P=0/005$ ).

**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 انحنای برای افزایش ثبات راه رفتن و کنترل 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 ۱۴۰۴

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](mailto: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<sup>۲</sup> 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 نقطه‌ضعف اساسی است. تغییرات یا جابه‌جایی موقعیت مکانی COP منعکس‌کننده کنترل پاسچر برای تنظیم موقعیت مرکز جرم بدن (COM) است [۳۶].

مقادیر مرکز فشار قدمی-خلفی<sup>۳</sup> ( $COP_{AP}$ ) در طول بازه استقرار نشان‌دهنده مسیر انتقال مکان COP در راستای پیشروی به جلو از لحظه تماس اولیه پاشنه<sup>۴</sup> - میانه استقرار<sup>۵</sup> - اعمال نیروی پیش‌رونده<sup>۶</sup> و نهایتاً بلند شدن پا از زمین<sup>۷</sup> است. درحالی‌که مقادیر

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)<sup>۱</sup> 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 (همپ 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<sup>۱۱</sup> 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<sup>۱۲</sup> 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).

مرکز فشار داخلی-خارجی<sup>۸</sup> COP<sub>ML</sub> نشان‌دهنده نحوه انتقال وزن بدن در راستای چپ و راست (داخلی-خارجی) طی این مراحل است [۳۶]. در حقیقت نوسانات COP<sub>ML</sub> به نوعی میزان تعادل و کنترل پاسچر دینامیکی در راه رفتن را نشان می‌دهد. از طرفی COP<sub>AP</sub> 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<sup>۹</sup> 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<sup>۱۰</sup> 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، از جمله تعادل دقیقاً به نوع اسکولیوز (کمری، سینه‌ای و غیره) و شدت انحنای بستگی دارد، نباید ۲ نوع متفاوت اسکولیوز در یک گروه جمع‌بندی 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 در خصوص 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

$$1. FM = Mz - Fy(COP_{ML}) + Fx(CoP_{AP})$$

در این فرمول MZ اشاره به گشتاور در سطح عمودی دارد، FY و FX به ترتیب نیروهای عکس‌العمل زمین در محور قدامی خلفی و داخلی خارجی هستند و در نهایت  $COP_{ML}$  و  $CO_{AP}$  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  $COP_{ML}$  و  $COP_{AP}$  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.

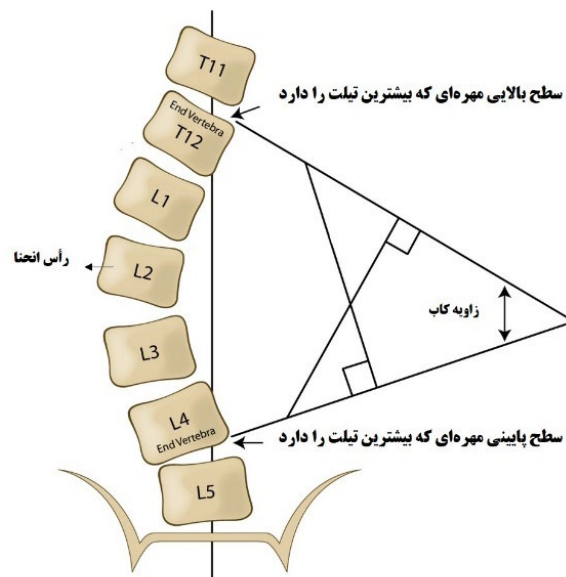
$$2. Impulse = \Delta t \left( \frac{FM1 + FMn}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} (Fi)$$

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 مدت‌زمان نمونه‌برداری را بیان می‌کند. همان‌طور که در مقدمه این مقاله عنوان شد که  $COP_{AP}$  هنگام راه رفتن کاملاً به طول پا وابسته است و بنابراین در تفسیر این متغیر هنگام راه رفتن (در رابطه با تأثیرپذیری مرکز فشار از قد) باید دقت شود، به همین منظور یک تست همبستگی پیرسون بین قد آزمودنی‌ها و مقادیر  $COP$  گرفته شد. نتایج نشان داد هیچ‌گونه رابطه‌ای بین این دو متغیر وجود ندارد. به عبارت دیگر بیماران مبتلا به اسکولیوز کمری با انحنای ملایم و خفیف، تحت تأثیر متغیر قد قرار نمی‌گیرند. بنابراین در این مقاله مقادیر مرکز فشار به قد آزمودنی‌ها نرمالایز نشد. 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 (۰-۱۰۰) 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 آنتروپومتریکی 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)



### طب توانبخشی

#### تصویر ۱. نحوه اندازه‌گیری زاویه کاب

برای ثبت نیروهای عکس‌العمل زمین، ۲ عدد صفحه نیروی کیستلر<sup>۱۳</sup> (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. تکالیف حرکتی شامل ۱ تست ایستا با ۲ تکرار و یک تکلیف حرکتی راه رفتن با ۵ تکرار بود که آزمودنی‌ها با سرعت دلخواه خود انجام دادند.

#### پردازش داده‌ها

داده‌های خام پیش از پردازش و تحلیل با استفاده از فیلتر پایین‌گذر باترورث 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 ( $COP_{AP}$ ) و داخلی خارجی ( $COP_{ML}$ ) برحسب متر و با استفاده از فرمول شماره ۱ مقدار گشتاور آزاد محاسبه شد [۴۲].

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 <sup>۴</sup> | 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 <sup>۴</sup> | 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، <sup>۴</sup>: گروه کنترل و گروه اسکولیوزیس اصلی

#### طب توانبخشی

نتایج نشان داد مقدار میانگین، دامنه، RMS و ضربه گشتاور آزاد در هر دو پای راست و چپ بین گروه‌ها و زیرگروه‌ها مشابه بود و اختلافی که از نظر آماری معنی‌دار باشد را نشان نداد (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 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،  $P=۰/۰۰۵$ ).

#### 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،

<sup>۱۴</sup> استفاده شد. مقدار معنی‌داری برای مقایسه SPM روی  $P<۰/۰۰۵$  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 ( $P>۰/۰۰۵$ )، اما گروه اسکولیوز اصلی قد بلندتری به اندازه  $۵\pm۲$  سانتی‌متر ( $P=۰/۰۲۱$ ) و طول تنه بزرگ‌تری به اندازه  $۳\pm۶/۶$  سانتی‌متر ( $P=۰/۰۵۲$ ) را در مقایسه با گروه کنترل نشان داد (جدول شماره ۱).

اختلاف هیچ‌یک از مؤلفه‌های مربوط به  $COP_{ML}$  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 ( $P>۰/۰۰۵$ ) (جدول شماره ۲).

نتایج نشان داد مؤلفه «میانگین»  $COP_{AP}$  در پای چپ بین دو گروه کنترل و اسکولیوز اصلی تفاوت معنی‌داری دارد ( $P=۰/۰۴۰$ ). همچنین مؤلفه «دامنه»  $COP_{AP}$  در پای چپ گروه اسکولیوز کم‌ری چپ به‌طور معنی‌داری ( $p=۰/۰۲۷$ ) از گروه کنترل بزرگ‌تر بود، اما در سایر مؤلفه‌های  $COP_{AP}$  بین گروه‌های اسکولیوز اصلی، اسکولیوز کم‌ری راست و اسکولیوز کم‌ری چپ و در مقایسه با گروه کنترل اختلافی که از نظر آماری معنی‌دار باشد یافت نشد ( $P>۰/۰۰۵$ ) (جدول شماره ۳).

#### 14. Statistical Parametric Mapping (SPM) (t-test)



جدول ۲. مرکز فشار (CM) هنگام راه رفتن مستقیم در محور داخلی-خارجی COPML

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

NS: معنی‌دار نبود.

طبتوانبخش

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد میانگین، دامنه و RMS مربوط به  $COP_{ML}$  در هر دو پای راست و چپ بین زیرگروه‌های اسکلیوز و گروه کنترل مشابه بود و اختلاف معنی‌داری نداشتند. این نتایج با یافته‌های دالتو و همکاران در سال ۲۰۰۷ که تفاوتی بین ۲ گروه اسکلیوز و کنترل در مقدار میانگین نوسان  $COP_{ML}$  مشاهده نکردند همسو است [۳۶]. در مقابل، یافته‌های گائو [۲۷] و بیکر [۵۱] که نشان دادند تغییرات  $COP_{ML}$  در بیماران اسکلیوز متفاوت با افراد سالم است با نتایج ما ناهمسو است [۵۱]. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند علت گسترده تغییرات جابه‌جایی  $COP_{ML}$  را می‌توان به جانبی بودن منحنی‌های اسکلیوز اولیه و ثانویه در بین بیماران مرتبط دانست [۵۱]. همچنین گروبر [۲۳] و ليو و همکاران [۵۲] نیز ناهمسو با یافته‌های مطالعه حاضر گزارش کردند دامنه نوسانات  $COP_{ML}$  در گروه اسکلیوز بزرگ‌تر از گروه کنترل بود. شاید دلیل این تفاوت‌ها بین نتایج ما و دیگران مربوط به ترکیب بیماران از نظر نوع اسکلیوز باشد. برخلاف مطالعه ما که فقط اسکلیوز کمری با شدت ملایم را دربر می‌گیرد، در مطالعات مذکور، گروه اسکلیوز ترکیبی از همه انواع اسکلیوز با فازهای متفاوت (با تحذب چپ و راست) و نیز دامنه وسیع مقدار زاویه

ضمن افزایش آگاهی از ویژگی‌های بیومکانیکی راه رفتن، می‌تواند درمانگران اسکلیوز را در طراحی یک برنامه توان‌بخشی ورزشی سودمند یاری کند.

نتایج ما نشان داد در مقایسه با افراد سالم، بیماران اسکلیوز بلندقدتر و دارای طول تنه بزرگ‌تر هستند. این نتایج، همسو با برخی از مطالعات پیشین، فرضیه بلندقدتر بودن بیماران اسکلیوز را تأیید می‌کند [۴۶-۵۰]. بنابراین می‌توان گفت در این خصوص اسکلیوز کمری نیز از سایر انواع اسکلیوزها 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 اسکلیوز 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 اسکلیوز ناشناخته نوجوانی نسبت به افراد سالم و ارتباط ترکیب بدنی با افزایش و شدت انحنای مورد تأیید بسیاری از محققین است [۱۶، ۲۷].

جدول ۳. جدول ۳- مرکز فشار (CM) هنگام راه رفتن مستقیم در محور قدامی-خلفی COPAP

| متغیرها | گروهها            | میانگین $\pm$ انحراف معیار                                |
|---------|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| میانگین | کنترل             | پای راست: $0.034 \pm 0.012$<br>پای چپ: $0.042 \pm 0.014$  |
|         | اسکلیوز اصلی      | پای راست: $0.018 \pm 0.013$<br>پای چپ: $-0.002 \pm 0.010$ |
|         | اسکلیوز راست کمری | پای راست: $0.018 \pm 0.008$<br>پای چپ: $0.011 \pm 0.021$  |
|         | اسکلیوز چپ کمری   | پای راست: $0.027 \pm 0.018$<br>پای چپ: $-0.016 \pm 0.021$ |
| Sig.    |                   | NS                                                        |
| دامنه   | کنترل             | پای راست: $0.260 \pm 0.035$<br>پای چپ: $0.251 \pm 0.018$  |
|         | اسکلیوز اصلی      | پای راست: $0.316 \pm 0.028$<br>پای چپ: $0.295 \pm 0.019$  |
|         | اسکلیوز راست کمری | پای راست: $0.263 \pm 0.052$<br>پای چپ: $0.254 \pm 0.025$  |
|         | اسکلیوز چپ کمری   | پای راست: $0.369 \pm 0.052$<br>پای چپ: $0.325 \pm 0.025$  |
| Sig.    |                   | NS                                                        |
| RMS     | کنترل             | پای راست: $0.098 \pm 0.005$<br>پای چپ: $0.104 \pm 0.005$  |
|         | اسکلیوز اصلی      | پای راست: $0.089 \pm 0.006$<br>پای چپ: $0.099 \pm 0.005$  |
|         | اسکلیوز راست کمری | پای راست: $0.084 \pm 0.008$<br>پای چپ: $0.088 \pm 0.007$  |
|         | اسکلیوز چپ کمری   | پای راست: $0.095 \pm 0.008$<br>پای چپ: $0.110 \pm 0.007$  |
| Sig.    |                   | NS                                                        |

NS: معنی دار نبود، \*کنترل و اسکولیوزیس چپ کمری، € کنترل و اسکولیوز اصلی

طب توانبخشی

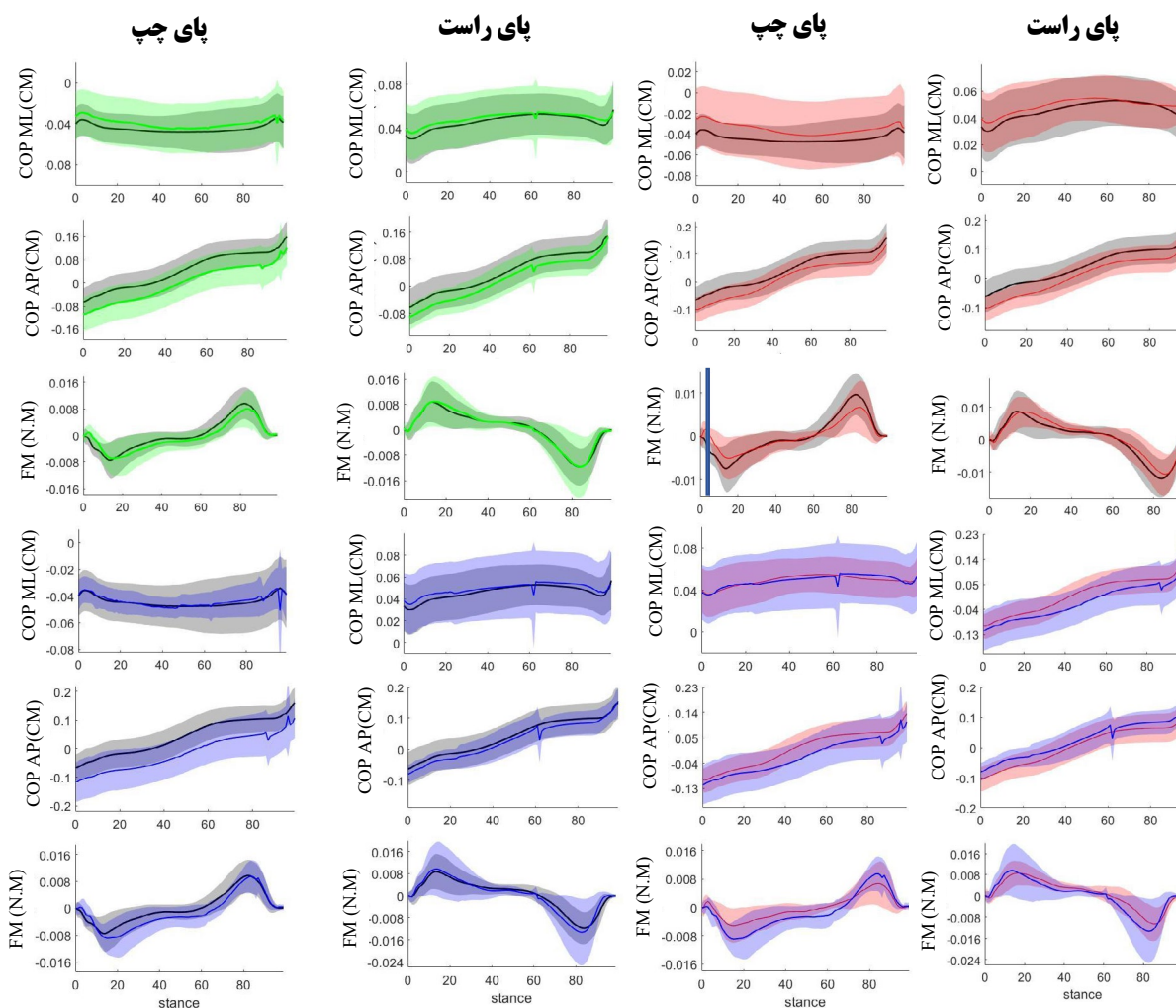
Cobb را داشته است.

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

بدیهی است که کینماتیک COP و مرکز ثقل به هم مرتبط هستند. از طرفی تغییرات مرکز ثقل بدن می تواند تحت تأثیر فعالیت های نامتقارن عضلات پاراورتبرال قرار گیرد [۵۳، ۱۷]. این موضوع را ماهادنس و چرن نوعی واکنش عصبی عضلانی (کنترل حرکتی) به بیومکانیک راه رفتن، به ویژه کینماتیک COP قلمداد کردند [۲۹، ۱۰]. از طرفی چپو کینماتیک COP<sub>ML</sub> را در جریان کنترل حرکتی در قالب تغییرات توزیع فشار در بخش های مختلف کف پا نشان دادند و آن را به مکانیسم مچ پا برای حفظ تعادل مرتبط دانستند [۵۴]. بنابراین می توان چنین نتیجه گیری کرد که کینماتیک COP محصول یک جریان کلی سیستم عصبی عضلانی

است که با مشارکت عضلات و مفاصل کل بدن تعیین می شود و به همین خاطر یک پارامتر بسیار مهم است. به عبارت دیگر وجود هر نوع تغییرات غیرطبیعی در کینماتیک COP می تواند منعکس کننده ضعف عملکرد سیستم عصبی عضلانی در راه رفتن باشد [۵۵، ۴۵].

COP<sub>AP</sub> در پای چپ بین گروه کنترل و گروه اسکولیوز اصلی از نظر آماری تفاوت معنی داری دارد. همچنین دامنه COP<sub>AP</sub> در پای چپ بین زیر گروه 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 می باشد. این یافته همسو با نتایج دالو است [۱۸]، اما با نتایج بیکر [۱۷] و لیو [۵۲] همسو نیست. افزایش دامنه مرکز فشار در محور قدامی-خلفی در پای چپ (سمت تحدب) بیماران اسکولیوز چپ کمری نشانه ضعف در کنترل این نوسانات توسط پلاتارفلکسورها می باشد، تا مرکز جرم (که در این بیماران به سمت چپ و عقب منتقل شده است) را به سمت جلو شتاب دهند، درواقع این یک نوع مکانیسم جبرانی برای حفظ تعادل می باشد. بنابراین باید در برنامه توانبخشی این بیماران تقویت این عضلات گنجانده شود. در نتایج ما، مقدار RMS نیز بین گروه ها و زیر گروه ها برای COP<sub>AP</sub> تقریباً مشابه بود و هیچ گونه تفاوتی که از نظر



طب توانبخش

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

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 کمتری متفاوت بود. این میزان تغییرات بزرگتر گشتاور آزاد در زیرگروه اسکولیوز راست کمتری 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.

در مجموع نتایج ما حاکی از آن است که اسکولیوز کمتری با یک سری تغییرات در کینماتیک COP و تغییرات گشتاور آزاد

آماری معنی‌دار باشد را نشان نداد. مطالعات پیشین بزرگتر بودن مسیر  $COP_{AP}$  را نشانه ضعف در کنترل تعادل هنگام ایستادن ارزیابی کردند [۱۷، ۵۲]. برای رفع ابهام، تمامی مقادیر مرکز فشار در این مطالعه نسبت به قد آزمودنی‌ها نرمال‌سازی شد. سپس با استفاده از آزمون مانووا<sup>۱۵</sup>، مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت که نتایج آن تغییری در یافته‌های این مطالعه نشان نداد. به عبارت دیگر مرکز فشار در بیماران مبتلا اسکولیوز کمتری با انحنای ملایم از قد تأثیر نمی‌پذیرد.

همچنین نتایج ما نشان داد مقدار میانگین، دامنه، RMS و ضربه‌ی گشتاور آزاد در هر دو پای راست و پای چپ در تمامی گروه‌ها اختلافی را نشان نداد که این نتایج با نتایج دالو همسو نبود [۱۸].

مقایسه الگوی تغییرات کینماتیکی متغیرهای  $COP_{AP}$  و  $COP_{ML}$  در بازه زمان استقرار که با روش آماری SPM انجام شد و نشان داد رفتار کینماتیکی در این متغیرها بین همه گروه‌های

## 15. MANOVA

جدول ۴. گشتاور آزاد (N.M) هنگام راه رفتن مستقیم

| میانگین $\pm$ انحراف معیار |                        | گروه‌ها           | متغیرها    |
|----------------------------|------------------------|-------------------|------------|
| پای چپ                     | پای راست               |                   |            |
| $-0.00002 \pm 0.0001$      | $0.00002 \pm 0.0001$   | کنترل             | میانگین    |
| $-0.00006 \pm 0.0001$      | $0.00003 \pm 0.0001$   | اسکلیوز اصلی      |            |
| $-0.00007 \pm 0.0001$      | $0.0001 \pm 0.0001$    | اسکلیوز راست کمری |            |
| $-0.0001 \pm 0.0001$       | $-0.00001 \pm 0.0001$  | اسکلیوز چپ کمری   |            |
| Sig.                       |                        | NS                |            |
| $0.022 \pm 0.002$          | $0.023 \pm 0.002$      | کنترل             | دامنه      |
| $0.022 \pm 0.002$          | $0.023 \pm 0.002$      | اسکلیوز اصلی      |            |
| $0.019 \pm 0.003$          | $0.021 \pm 0.003$      | اسکلیوز راست کمری |            |
| $0.026 \pm 0.003$          | $0.027 \pm 0.003$      | اسکلیوز چپ کمری   |            |
| Sig.                       |                        | NS                |            |
| $0.006 \pm 0.001$          | $0.007 \pm 0.001$      | کنترل             | RMS        |
| $0.006 \pm 0.001$          | $0.007 \pm 0.001$      | اسکلیوز اصلی      |            |
| $0.006 \pm 0.001$          | $0.006 \pm 0.001$      | اسکلیوز راست کمری |            |
| $0.007 \pm 0.001$          | $0.007 \pm 0.001$      | اسکلیوز چپ کمری   |            |
| Sig.                       |                        | NS                |            |
| $-0.00001 \pm 0.00001$     | $-0.00003 \pm 0.00001$ | کنترل             | ضربه (NMs) |
| $-0.00003 \pm 0.00001$     | $0.00002 \pm 0.00001$  | اسکلیوز اصلی      |            |
| $-0.00006 \pm 0.00001$     | $0.00002 \pm 0.00001$  | اسکلیوز راست کمری |            |
| $-0.00006 \pm 0.00001$     | $0.00001 \pm 0.00006$  | اسکلیوز چپ کمری   |            |
| Sig.                       |                        | NS                |            |

NS: معنی دار نبود،

طب توانبخشی

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 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

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

## تعارض منافع

هیچ نوع تعارض منافع 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.

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 انحنای کمری راست تغییری در پارامترهای COP و گشتاور آزاد در هیچ جهتی مشاهده نشد، اما در پای چپ اسکولیوز چپ کمری (پای سمت تحذب) تغییراتی در مشاهده شد. همچنین نتایج مقادیر پویای FM پای چپ در ابتدای فاز استقرار بین گروه کنترل و زیر گروه اسکولیوز راست کمری متفاوت بود این تحقیق نشان می‌دهد بروز تغییرات غیرطبیعی در الگوی کینماتیکی مرکز فشار و گشتاور آزاد به نوع انحنای اسکولیوز بستگی دارد. برنامه ورزش درمانی و توان بخشی باید به‌طور ویژه برای هر نوع انحنای 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 پروژه، مدیریت و نظارت پژوهش، تعریف متدولوژی، آنالیز داده‌ها، تفسیر نتایج، 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.



## 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, Kyounghyu 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]