

Research Paper

Timing of Anticipatory and Compensatory Postural Adjustments During Gait Initiation in Individuals With Chronic Ankle Instability



Khorshid Bijari¹, *Hydar Sadeghi^{1,2}, Mohammad Yousefi³

1. Department of Sports Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

2. Department of Sports Biomechanics and Rehabilitation, Kinesiology Research Center, Kharazmi University, Tehran, Iran.

3. Department of Sports Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Birjand University, Birjand, Iran.



Citation Bijari Kh, Sadeghi H, Yousefi M. [Comparison of Anticipatory and Compensatory Postural Adjustment Timing Between Individuals with Chronic Ankle Instability and Healthy Controls During Gait Initiation (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(2):278-289. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3316>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3316>

ABSTRACT

Background and Aims Chronic ankle instability (CAI) is one of the most common sports injuries. The failure of treatment methods suggests that the mechanisms of this injury should be examined as a central impairment. Analyzing the phases of gait initiation is the safest option to assess neuromuscular control mechanisms, as the duration of anticipatory and compensatory postural adjustment phases has not been studied much. Therefore, this study aimed to compare the duration of anticipatory and compensatory postural adjustments (CPA) during gait initiation between individuals with CAI and healthy individuals.

Methods Nineteen individuals with CAI (9 women and 10 men; mean age: 21.21±1.98 years, mean height: 175.31±9.10 cm, and mean weight: 70.89±15.12 kg) with a history of at least two ankle sprains in the past 3 to 12 months, and 19 healthy athletes (9 women and 10 men; mean age: 22.47±2.19 years, mean height: 175.31±9.10 cm, and mean weight: 68.47±10.11 kg) participated in this study. Participants stood on a force plate and initiated walking upon hearing an auditory cue. The duration of the gait initiation phase and the anticipatory and compensatory postural adjustment phases were calculated using MATLAB software. The independent t-test was used to compare the duration of the gait initiation phase between the groups. Multivariate analysis of variance was used to compare the overall duration of the anticipatory and compensatory postural adjustment phases, and the Tukey post hoc test was applied for a detailed analysis of these phases.

Results The findings showed that the duration of the gait initiation phase in the CAI group was shorter than in the healthy group ($P=0.018$). Additionally, the duration of anticipatory postural adjustment in the CAI group was significantly shorter than in the healthy group ($P=0.009$). However, no significant difference was observed between the two groups in the duration of the compensatory postural adjustment phase ($P=0.15$).

Conclusion These findings indicate that individuals with CAI demonstrate altered strategies in neuromuscular control, particularly in supraspinal pathways, as evidenced by the reduced duration of the anticipatory postural adjustments (APA) and gait initiation phases. The unaffected compensatory postural adjustment phase duration in individuals with CAI may result from motor learning and prior experience utilizing compensatory mechanisms in critical situations.

Keywords Chronic ankle instability, Anticipatory postural adjustments (APA), Compensatory postural adjustments (CPA), Gait initiation

Received: 24 Dec 2024

Accepted: 04 Feb 2025

Available Online: 22 May 2025

* Corresponding Author:

Heydar Sadeghi, Professor.

Address: Department of Sports Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 2453175

E-Mail: h.sadeghi@khu.ac.ir/sadeghih@yahoo.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

Lateral ankle sprain (LAS) is one of the most common musculoskeletal injuries caused by excessive inversion that damages the lateral ankle ligaments. Recurrent LAS often leads to chronic ankle instability (CAI), affecting approximately 30–40% of LAS patients. Despite receiving initial treatment and rehabilitation, many individuals with CAI continue to experience symptoms such as instability, episodes of ankle “giving way,” pain, and functional impairment. Impairments in postural control, proprioception, and kinematic parameters often accompany these deficits. Addressing CAI is crucial due to its long-term consequences, including reduced physical activity, impaired function, and increased risk of further injuries. The high prevalence of CAI underscores the need to investigate its underlying mechanisms, particularly from a central nervous system perspective.

Gait initiation (GI) is a valuable tool for assessing neuromuscular control mechanisms in individuals with CAI. GI, the transition from standing to walking, consists of two phases: Anticipatory postural adjustments (APA) and compensatory postural adjustments (CPA). APA, a feedforward mechanism, involves pre-movement muscle activity and is characterized by backward and lateral displacement of the center of pressure (COP) toward the swing limb. Supraspinal motor centers primarily regulate this phase and are commonly used to evaluate instability. In contrast, CPA is a feedback mechanism that restores balance after perturbations. It begins with the transfer of COP toward the stance limb and continues as the body shifts weight to the stance limb and the swing limb lifts off the ground.

Previous studies have shown that APA duration is reduced in individuals with CAI, suggesting altered supraspinal control strategies. However, research on CPA in CAI is limited despite its critical role in balance maintenance. No study has compared the durations of APA and CPA phases in individuals with CAI and healthy controls. This study aims to fill this gap by investigating temporal differences in APA and CPA phases, providing novel insights into the neural mechanisms underlying CAI and informing future therapeutic strategies.

Materials and Methods

This quasi-experimental study involved 40 professional athletes (20 men and 20 women) aged 18–25 years from basketball, volleyball, and handball university teams. After two participants withdrew, 38 athletes (19 men and 19 women) were divided into CAI and healthy control groups. The sample size was calculated using G*Power software, version 3.1 ($\alpha=0.05$, $\beta=0.2$).

The inclusion criteria for the CAI group included a Cumberland ankle instability tool (CAIT) score <27 (Mean: 12.7 ± 2.3), a FAAM daily living subscale score $<90\%$ (Mean: $73 \pm 11\%$), and a FAAM sports subscale score $<80\%$ (Mean: $63 \pm 16\%$). The control group had no history of CAI. Both groups trained at least three times a week for 30 minutes. The exclusion criteria included visual or auditory impairments, dizziness, fractures, pain, or lower limb surgeries.

Participants stood on a force plate and initiated gait upon hearing a beep. Kinematic data were recorded with VICON cameras (100 Hz), and kinetic data were collected with a Kistler force plate (1000 Hz). APA was defined as the time from medial-lateral COP deviation to heel-off of the swing limb, and CPA was the time from heel-off of the swing limb to toe-off of the stance limb. The Shapiro-Wilk test, independent t-test, and Multivariate analysis of variance (MANOVA) were used for statistical analysis, with significance set at $P < 0.05$.

Results

The demographic characteristics of participants showed no significant differences between the CAI and healthy groups in terms of age, height, weight, and BMI ($P \geq 0.05$), indicating homogeneity between the groups. The Shapiro-Wilk test confirmed the normal distribution of the data ($P \geq 0.05$). Results from the independent t-test revealed a significant difference in the (GI) duration between the groups ($P = 0.018$). The CAI group exhibited a shorter GI duration (1.13 seconds) than the healthy group (1.24 seconds), suggesting that CAI impacts neuromuscular control mechanisms during the GI.

The APA phase was significantly shorter in the CAI group (0.40 seconds) compared to the healthy group (0.47 seconds, $P = 0.009$). This finding indicates altered neuromuscular strategies and dysfunction in supraspinal pathways in individuals with CAI. However, no significant difference was observed in the compensatory postural adjustment (CPA) phase duration between the two groups ($P = 0.215$), suggesting that CAI patients retain their ability to respond to postural perturbations.

Conclusion

This study compared anticipatory and compensatory postural adjustment timing between individuals with CAI and healthy controls during GI. The results revealed significant differences in the GI phase duration, with CAI subjects showing shorter durations than healthy controls, indicating central nervous system dysfunction.

The study found that APA phase duration was notably shorter in CAI subjects, consistent with previous research by Yousefi et al. [7] and Ebrahimabadi et al. [9]. This reduction suggests deficits in supraspinal control pathways responsible for sensory processing and movement planning. Unlike previous studies focusing on the COP displacement velocity, this research specifically examined APA duration as an indicator of neural pathway disorders.

Interestingly, no significant differences between groups were found in CPA phase duration, aligning with findings by Yiou et al. [15]. This finding suggests that CAI patients maintain compensatory response capabilities similar to healthy individuals, possibly due to their athletic background and motor learning experiences.

This research provides new insights into motor control mechanisms in CAI, demonstrating the adaptability of the neuromuscular system in these patients. Despite shorter APA duration, they maintain effective CPA responses. These findings enhance our understanding of movement deficits in CAI patients and may inform the development of more effective treatment approaches. Additionally, APA duration emerges as a potential new indicator for assessing supraspinal neural pathway changes in future research.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Kharazmi University](#), Tehran, Iran (Code: IR.KHU.REC.1403.033).

Funding

This study was extracted from the master thesis of Korshid Bijari approved by [Kharazmi University](#), Tehran, Iran.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript.

Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the patients who participated in this study for their cooperation.



مقاله پژوهشی

مقایسه زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی بین افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا با افراد سالم در شروع راه رفتن

خورشید بیجاری^۱، حیدر صادقی^{۲،*}، محمدیوسفی^۳

۱. گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲. گروه بیومکانیک ورزشی و توانبخشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۳. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.



Citation Bijari Kh, Sadeghi H, Yousefi M. [Comparison of Anticipatory and Compensatory Postural Adjustment Timing Between Individuals with Chronic Ankle Instability and Healthy Controls During Gait Initiation (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(2):278-289. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3316>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3316>

چکیده

مقدمه و اهداف: بی‌ثباتی مزمن مچ پا از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی است. عدم موفقیت روش‌های نشان می‌دهد باید مکانیسم‌های این آسیب را به‌عنوان یک آسیب مرکزی مورد بررسی قرار داد. بررسی فازهای شروع راه رفتن، ایمن‌ترین گزینه برای سنجش مکانیسم‌های کنترل عصبی است. با توجه به اینکه مطالعات کمی در حوزه مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی صورت گرفته است؛ این مطالعه با هدف مقایسه زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا با افراد سالم در شروع راه رفتن انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه نیمه‌آزمایشگاهی ۱۹ بیمار مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در این مطالعه (۹ زن و ۱۰ مرد، با میانگین سنی $21/21 \pm 9/10$ سال، قد $175/31 \pm 9/10$ سانتی‌متر و وزن $70/89 \pm 15/12$ کیلوگرم) با سابقه حداقل ۲ مورد پیچ‌خوردگی مچ پا بین ۳ تا ۱۲ ماه گذشته و ۱۹ ورزشکار سالم (۹ زن و ۱۰ مرد، با میانگین سنی $22/47 \pm 2/19$ سال، قد $175/31 \pm 9/10$ سانتی‌متر و وزن $68/47 \pm 10/11$ کیلوگرم) به‌عنوان آزمودنی شرکت کردند. آزمودنی‌ها، روی صفحه نیرو ایستاده و با شنیدن علامت صوتی، راه رفتن را آغاز کردند. سپس مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن و مدت‌زمان فازهای وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی با نرم‌افزار متلب محاسبه شد. مقایسه مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن با آزمون تی مستقل انجام شد. برای مقایسه کلی مدت‌زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی از آزمون مانووا و برای تحلیل جزئی این فازها از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن در گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا کوتاه‌تر از افراد سالم است ($P=0/018$). همچنین نتایج نشان داد مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا کوتاه‌تر از گروه سالم بود ($P=0/009$)، اما تفاوت معناداری در مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی بین ۲ گروه مشاهده نشد ($P=2/15$).

نتیجه‌گیری: کاهش مدت‌زمان فازهای شروع راه رفتن و تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نشان‌دهنده تغییر در استراتژی‌های کنترل عصبی، به‌ویژه مسیرهای فوق نخاعی است. همچنین عدم تفاوت در زمان فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی ممکن است به دلیل تجربه و یادگیری مکانیسم‌های جبرانی در مواجهه با شرایط بحرانی باشد.

کلیدواژه‌ها: بی‌ثباتی مزمن مچ پا، تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه، تنظیمات وضعیتی جبرانی، شروع راه رفتن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳ دی ۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۶ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ خرداد ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر حیدر صادقی

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۲۴۵۳۱۷۵

رایانامه: h.sadeghi@khu.ac.ir / sadeghih@yahoo.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

تنظیمات وضعیتی جبرانی یک مکانیسم فیدبکی پیچیده و حیاتی در سیستم حرکتی و تعادلی بدن است که برای بازگرداندن تعادل پس از بروز اختلالات یا تغییرات ناگهانی در وضعیت بدن به کار می‌رود و هدف اصلی آن جلوگیری از سقوط یا برهم خوردن تعادل است [۱۳]. این فاز از لحظه‌ای آغاز می‌شود که مرکز فشار به سمت پای استقرار جابه‌جا می‌شود. این فرایند شامل هماهنگی دقیق عصبی عضلانی است که به بدن امکان می‌دهد تا به سرعت به تغییرات محیطی یا داخلی پاسخ دهد. اختلال در این مکانیسم می‌تواند منجر به مشکلات تعادلی، افزایش خطر سقوط و آسیب دیدگی شود؛ به خصوص در افراد مسن یا کسانی که دارای بیماری‌های عصبی عضلانی هستند [۱۴].

مطالعات پیشین با بررسی ویژگی‌های فضایی زمانی فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در شروع راه رفتن نشان داده‌اند عواملی مانند سرعت جابه‌جایی مرکز فشار در این فاز تحت تأثیر بی‌ثباتی مزمن مچ پا قرار می‌گیرد. نتایج این مطالعات حاکی از آن است که فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در شروع راه رفتن در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، کوتاه‌تر از افراد سالم است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده استراتژی‌های تغییر یافته مسیرهای فوق نخاعی باشد [۷-۹، ۱۱]. علاوه بر این، بررسی مدت‌زمان این فاز به عنوان شاخص کلیدی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد توانایی سیستم عصبی عضلانی و مسیرهای فوق نخاعی در شروع راه رفتن ارائه دهد. چراکه مدت‌زمان کوتاه‌تر این فاز ممکن است نشان‌دهنده نقص در سیستم عصبی مرکزی، به خصوص مراکز فوق نخاعی باشد. علاوه بر این یکی از برتری‌های اصلی این روش، سادگی پردازش و تحلیل داده‌هاست. مدت‌زمان این فاز یک شاخص کمی و مستقیم بوده که به راحتی با استفاده از ابزارهای استاندارد تحلیل حرکت (مانند پلتفرم‌های نیرو یا سیستم‌های ردیابی حرکت) قابل اندازه‌گیری است. از آنجاکه سیستم عصبی مرکزی برای حفظ تعادل، به هر دو فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی وابسته است [۱۵]. نیاز به مطالعات بیشتر در مورد فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی در این افراد احساس می‌شود. تنها یک مطالعه به‌طور خاص به بررسی مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه پرداخته است و تاکنون مطالعه‌ای مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی را مورد بررسی قرار نداده است [۱۶]. همچنین مطالعه‌ای که به مقایسه مدت‌زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی در افراد مبتلا به پیچ‌خوردگی مزمن مچ پا با افراد سالم پرداخته باشد توسط محققان یافت نشد. بنابراین می‌توان ادعان داشت این پژوهش جزء اولین پژوهش‌هایی است که به بررسی تفاوت‌های زمانی بین تنظیمات وضعیتی جبرانی و تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا و افراد سالم پرداخته است.

پیچ‌خوردگی جانبی مچ پا^۱ یکی از شایع‌ترین آسیب‌های اسکلتی عضلانی است [۱] که در اثر آسیب رباط‌های جانبی پا به دلیل اینورژن بیش از حد رخ می‌دهد [۲]. تکرار این آسیب می‌تواند منجر به بی‌ثباتی مزمن مچ پا^۲ شود. حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد بیماران درگیر پیچ‌خوردگی مچ پا هستند [۳]. با وجود درمان اولیه و توان بخشی با گذشت زمان ممکن است علائمی مانند احساس بی‌ثباتی و خالی شدن مچ پا، درد و اختلال در عملکرد همچنان در فرد باقی بماند [۴]. افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا دچار نقص در کنترل وضعیت، پارامترهای جنبشی و حس عمقی هستند [۵]. اهمیت بررسی بی‌ثباتی مزمن مچ پا در پیامدهای بلندمدت و تأثیر آن بر کیفیت زندگی افراد نهفته است. علائم مداوم می‌تواند منجر به کاهش فعالیت بدنی، کاهش عملکرد و افزایش خطر آسیب‌های بیشتر شود [۶]. شیوع بالای بی‌ثباتی مزمن مچ پا در بین بیماران پیچ‌خوردگی جانبی مچ پا نشان می‌دهد این وضعیت مزمن، نیاز به درک عمیق‌تر مکانیسم‌های اساسی درگیر در بی‌ثباتی مزمن مچ پا داشته و این آسیب باید از منظر آسیب به سیستم عصبی مرکزی مورد بررسی قرار گیرد [۷].

یکی از راه‌های شناسایی این مکانیسم‌ها بررسی شروع راه رفتن^۳ است [۸]. زیرا شروع راه رفتن معیاری برای سنجش مکانیسم‌های کنترل عصبی عضلانی است. شروع راه رفتن انتقال از وضعیت آرام به وضعیت راه رفتن است [۶، ۷] که به ۲ مرحله تقسیم می‌شود. مرحله اول با نشانه شروع حرکت، شروع شده و با بلند شدن پاشنه اندام نوسان پایان می‌یابد. به این مرحله، تنظیمات وضعیتی پیش-بینانه^۴ می‌گویند [۸، ۹]. مرحله دوم از بلند شدن پاشنه اندام نوسان تا برخورد پاشنه اندام نوسان و جدا شدن پنجه اندام استقرار (یعنی پایان فاز نوسان) است که به این فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی^۵ می‌گویند (تصویر شماره ۱) [۸، ۱۰].

تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه یک مکانیسم فیدفورارد است که شامل انقباضات عضلانی قبل از شروع راه رفتن می‌شود و با جابه‌جایی مرکز فشار^۶ به سمت خلف و جانب پای نوسان همراه است [۱۱]. این فاز برای ارزیابی بی‌ثباتی در افراد با اختلالات عصبی استفاده می‌شود و می‌تواند بینش‌هایی درباره مکانیسم‌های کنترل حرکتی فوق نخاعی ارائه دهد؛ چون خود توسط این مراکز کنترل می‌شود [۱۱، ۱۲].

1. Lateral Ankle Sprain (LAS)
2. Chronic ankle instability (CAL)
3. Gait Initiation (GI)
4. Anticipatory Postural Adjustments (APA)
5. Compensatory Postural Adjustments (CPA)
6. Center Of Pressure (COP)

روش اجرا

تمامی جلسات آزمون در آزمایشگاه آنالیز حرکت موفقیتان انجام شد. پس از ارائه توضیحات مراحل اجرای آزمون به آزمودنی‌ها و تکمیل پرسش‌نامه توانایی پا و مچ پا^۷ و پرسش‌نامه کامبرلند و ثبت ویژگی‌های آنتروپومتری، مارکرگذاری با ۱ مارکر بر قسمت خلفی پاشنه اندام درگیر و ۱ مارکر بر قسمت خلفی پاشنه اندام غیردرگیر انجام شد [۱۸]. سپس آزمودنی‌ها با پای برهنه روی فورس پلایت ایستاده و پس از انجام تست استاتیک ۵ ثانیه‌ای، با شنیدن بوق راه رفتن را آغاز کردند. در این مطالعه از هر آزمودنی ۳ تکرار قابل قبول گرفته شد. سپس میانگین این سه تکرار برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. در مواردی که مارکرها توسط دوربین‌ها شناسایی نمی‌شدند یا اگر فرد قبل از شنیدن سیگنال صوتی شروع به حرکت می‌کرد، این وضعیت به‌عنوان یک تست غیرقابل قبول تلقی می‌شد و آزمون مجدداً انجام می‌گرفت. به‌طور کلی تستی قابل قبول بود که هر دو پای فرد به‌طور کامل روی صفحه نیرو قرار داشته و فرد به‌صورت طبیعی حرکت را انجام دهد. گروه بی‌ثباتی مزن مچ پا از اندام درگیر خود، به‌عنوان اندام اولیه اتکا استفاده کردند، درحالی‌که گروه کنترل از اندام غالب خود به‌عنوان اندام اولیه استفاده کردند [۸].

داده‌های کینماتیکی با استفاده از ۸ دوربین وایکان (Oxford Metrics Group, Oxford, UK) با فرکانس ۱۰۰ هرتز ثبت شدند [۱۸]. همچنین داده‌های کینتیکی با صفحه نیروی کیستلر (40x60cm, kistler, Instrument, Winterthur, Switzerland) با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ثبت شدند [۸]. برای شناسایی فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی از نرم‌افزار متلب^۸ استفاده شد. در ابتدا داده‌های کینماتیک با فیلتر باتروث پایین‌گذر (فرکانس برش ۷ هرتز، مرتبه ۴) و داده‌های کینماتیکی با فرکانس فیلتر باتروث پایین‌گذر (قطع ۱۰ هرتز پایین‌گذر و مرتبه ۴) پردازش شدند. سپس داده‌های کینتیک، هم‌فرکانس داده‌های کینماتیک شد [۱۹، ۱۸]. شروع فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه با انحراف مرکز فشار (داخلی خارجی) به‌سوی پای نوسان ظاهر می‌شود و پایان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در زمان بلند شدن پاشنه اندام نوسان است. بدین منظور از مؤلفه عمودی (Z) مارکر پاشنه اندام نوسان استفاده شد [۸، ۷]. برای مشخص کردن فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی، از زمان بلند شدن پاشنه اندام نوسان تا بلند شدن انگشت اندام اتکا استفاده شد. بدین‌منظور از مؤلفه عمودی (Z) مارکر پاشنه اندام نوسان و مؤلفه عمودی (Z) انگشت اندام اتکا استفاده شد. مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی برحسب ثانیه ثبت شد (تصویر شماره ۲). سپس مجموع زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی محاسبه شد تا کل مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن مشخص شود [۱۹].

نوآوری این پژوهش در ارائه رویکردی جدید برای شناسایی و تحلیل تفاوت‌های زمانی در تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی بین افراد سالم و مبتلایان به بی‌ثباتی مزن مچ پا است. این مطالعه برای نخستین بار به‌طور دقیق زمان‌بندی این تنظیمات را در فاز شروع راه رفتن بررسی می‌کند و تأثیر آسیب بی‌ثباتی مزن مچ پا را بر هر دو فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی ارزیابی می‌کند. این نوآوری می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های عصبی مرتبط با کنترل تعادل و حرکت کمک کرده و پایه‌ای علمی برای توسعه روش‌های درمانی و توان‌بخشی مؤثرتر فراهم آورد. بنابراین هدف این مطالعه مقایسه زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزن مچ پا با افراد سالم در شروع راه رفتن است. فرضیه پژوهش این است که مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن در افراد بیمار کوتاه‌تر از افراد سالم است. همچنین مدت‌زمان هر دو فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی تحت تأثیر آسیب بی‌ثباتی مزن مچ پا قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان

در این مطالعه نیمه‌آزمایشگاهی، پس از محاسبه حجم نمونه با نرم‌افزار جی‌پاور ($\beta=0/2$, $\alpha=0/05$) و ورزشکار جوان حرفه‌ای (۲۰ مرد و ۲۰ زن) از رشته‌های بسکتبال، والیبال و هندبال دانشگاهی به روش نمونه‌گیری غیرتصادفی انتخاب شدند. پس از ریزش ۲ نفر به دلیل امتنا از ادامه شرکت در پژوهش، ۳۸ آزمودنی (۱۹ مرد و ۱۹ زن) در ۲ گروه بی‌ثباتی مزن مچ پا و کنترل سالم در گروه سنی ۱۸ تا ۲۵ سال مورد مطالعه قرار گرفتند.

معیارهای ورود به گروه بی‌ثباتی مزن مچ پا: برخورداری از سابقه حداقل ۲ پیچ‌خوردگی مچ پا که نیازمند حفظ تحمل وزن و بی‌حرکت نگه داشتن حداقل برای ۳ روز باشد و بین ۳ تا ۱۲ ماه قبل از آزمایش رخ داده باشد؛ عدم وجود آسیب، درد و تورم شدید؛ بدون کمک راه رفتن و نلنگیدن برای حداقل ۳ ماه قبل از آزمایش، امتیاز کمتر از ۲۷ در پرسش‌نامه بی‌ثباتی مچ پا کامبرلند (۱۲/۷±۲/۳) و امتیاز کمتر از ۹۰ درصد در خرده‌مقیاس زندگی روزانه (۷۳±۱۱) و امتیاز کمتر از ۸۰ درصد در خرده‌مقیاس ورزش (۶۳±۱۶) از پرسش‌نامه توانایی پا و مچ پا [۱۷].

معیار ورود برای گروه کنترل، نداشتن سابقه هیچ‌گونه اختلالات حسی حرکتی، شنوایی، سرگیجه، شکستگی‌های قبلی، درد و جراحی در اندام تحتانی بود. هر دو گروه ورزشکاران جوان، حداقل ۳ بار در هفته به مدت ۳۰ دقیقه ورزش می‌کردند. معیارهای خروج: اختلالات بینایی و شنوایی، سرگیجه، شکستگی قبلی، درد و سابقه جراحی در اندام تحتانی [۱۷]. پروتکل مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی تأیید شد. همچنین تمامی شرکت‌کنندگان قبل از مشارکت، فرم رضایت‌نامه کتبی را امضا کردند.

7. Foot and Ankle Ability Measure
8. MATLAB (MathWork Inc R2016a)

آزمون آماری

از نظر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ($P \geq 0/05$). این امر نشان‌دهنده همگن بودن ویژگی‌های جمعیت‌شناختی (سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی) در ۲ گروه دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و سالم است.

نتایج آزمون شاپیرو ویلک^۹ نشان داد توزیع داده‌ها به‌صورت نرمال است ($P \geq 0/05$). نتایج آزمون تی مستقل تفاوت معناداری را در مدت‌زمان شروع راه رفتن بین ۲ گروه نشان داد ($P = 0/018$). این یافته‌ها نشان می‌دهد بی‌ثباتی مزمن مچ پا بر استراتژی‌های کنترل عصبی-عضلانی در طول انتقال از ایستادن به راه رفتن تأثیر می‌گذارد و ممکن است بیشتر بر مکانیسم‌های پیش‌بینی تأثیر داشته باشد. این نتایج اهمیت بررسی مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن را در ارزیابی سیستم عصبی مرکزی و درک بهتر نقص‌های عملکردی و عصبی-عضلانی را در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا برجسته می‌کند و می‌تواند در توسعه استراتژی‌های درمانی و توان‌بخشی مفید باشد.

تصویر شماره ۱ نشان‌دهنده میانگین و انحراف استاندارد مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی و شروع راه رفتن در ۲ گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا و گروه

در این مطالعه، برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. برای مقایسه ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان و همچنین مقایسه مدت‌زمان فاز شروع راه رفتن، از آزمون تی مستقل بهره گرفته شد. به‌منظور مقایسه کلی مدت‌زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی، آزمون آماری مانووا مورد استفاده قرار گرفت. علاوه‌براین، برای مقایسه مدت‌زمان هریک از فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی، از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. در این پژوهش، متغیر مستقل شامل گروه (گروه بی‌ثباتی و گروه سالم) و متغیرهای وابسته شامل مدت‌زمان شروع راه رفتن، مدت‌زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی بودند. تمامی آزمون‌های آماری در سطح معناداری ($P < 0/005$) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شدند.

یافته‌ها

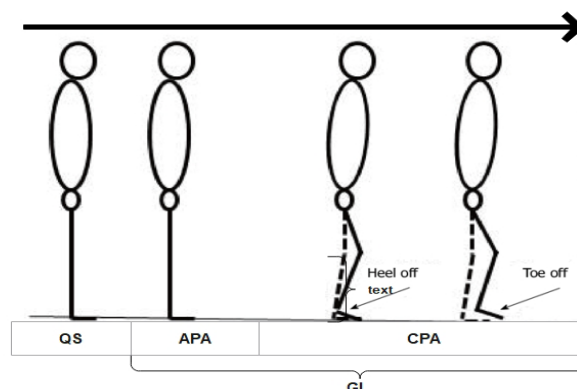
میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در **جدول شماره ۱** ارائه شده است. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد بین دو گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا و سالم

9. Shapiro-Wilk Test

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در ۲ گروه دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و سالم

متغیر	میانگین ± انحراف معیار		سطح معنی‌داری
	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	سالم	
سن (سال)	۹۷/۱ ± ۲۱/۲۱	۲۲/۴۷ ± ۲/۱۹۵	۰/۰۷
قد (سانتی‌متر)	۱۷۵/۳۱ ± ۹/۱۰	۱۷۳/۲۶ ± ۸/۳۳۲	۰/۴۹
وزن (کیلوگرم)	۷۰/۸۹ ± ۱۵/۱۲	۶۸/۴۷ ± ۱۰/۱۱	۰/۵۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۲۲/۹۰ ± ۳/۷۹	۲۲/۷۰ ± ۱/۹۴	۰/۸۴

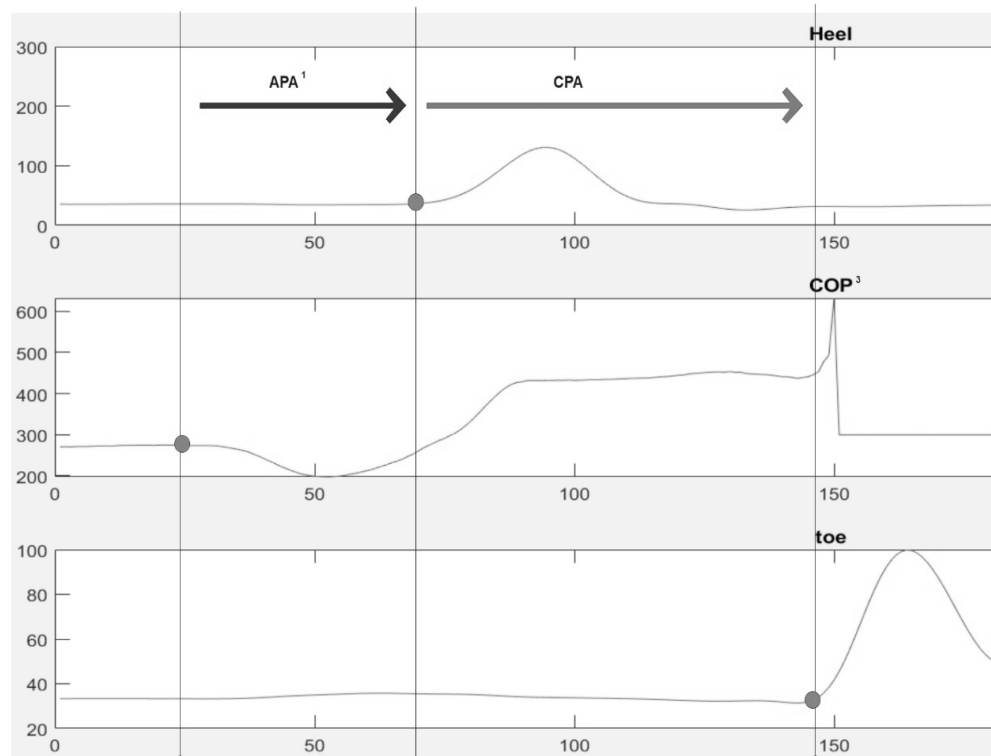
* معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۵



تصویر ۱. شروع راه رفتن (GI)

(GI) شروع راه رفتن، (QS): حالت ایستادن آرام، (APA): تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه، (CPA): تنظیمات جبرانی.

QS: Quiet Stance; GI: Gait Initiation (GI)



تصویر ۲. تعیین فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه (APA) و تنظیمات وضعیتی جبرانی (CPA)

تفاوت معناداری را در مدت زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی بین ۲ گروه تأیید کرد ($P=0/033$, $F=0/779$, $\eta^2=0/216$).

نتایج آزمون تعقیبی توکی^{۱۱} نشان داد تفاوت معناداری در مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه، بین ۲ گروه وجود دارد ($P=0/009$) (جدول شماره ۲). این تفاوت که با کوتاه‌تر شدن فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در افراد با بی‌ثباتی مزمن می‌چپ همراه است (تصویر شماره ۳)، نشان‌دهنده تغییر در مسیرهای فوق‌نخاعی و استراتژی‌های کنترل عصبی-عضلانی در این افراد است. در مقابل، در فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی تفاوت معناداری بین ۲ گروه مشاهده نشد ($P=0/215$) که نشان می‌دهد بیماران با بی‌ثباتی مزمن می‌چپ علی‌رغم آسیب مزمن، توانایی

سالم است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مدت زمان فاز شروع راه رفتن در افراد بی‌ثباتی مزمن می‌چپ (۱/۱۳ ثانیه) کوتاه‌تر از افراد سالم (۱/۲۴ ثانیه) است. کوتاه‌تر بودن فاز شروع راه رفتن در افراد با بی‌ثباتی مزمن می‌چپ با نشان‌دهنده وجود اختلال در سیستم عصبی است. این یافته‌ها اهمیت پرداختن مدت زمان فاز شروع راه رفتن برای بررسی سیستم عصبی مرکزی را روشن می‌کند. همچنین، مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در افراد با بی‌ثباتی مزمن می‌چپ (۰/۴۰ ثانیه) کمتر از افراد سالم (۰/۴۷ ثانیه) بود، در حالی که تفاوت قابل توجهی در مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی بین ۲ گروه مشاهده نشد. برای بررسی اثر بی‌ثباتی مزمن می‌چپ بر ۲ متغیر وابسته تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی به‌طور هم‌زمان از آنالیز واریانس چندمتغیره (مانووا^{۱۲}) استفاده شد. نتایج آزمون

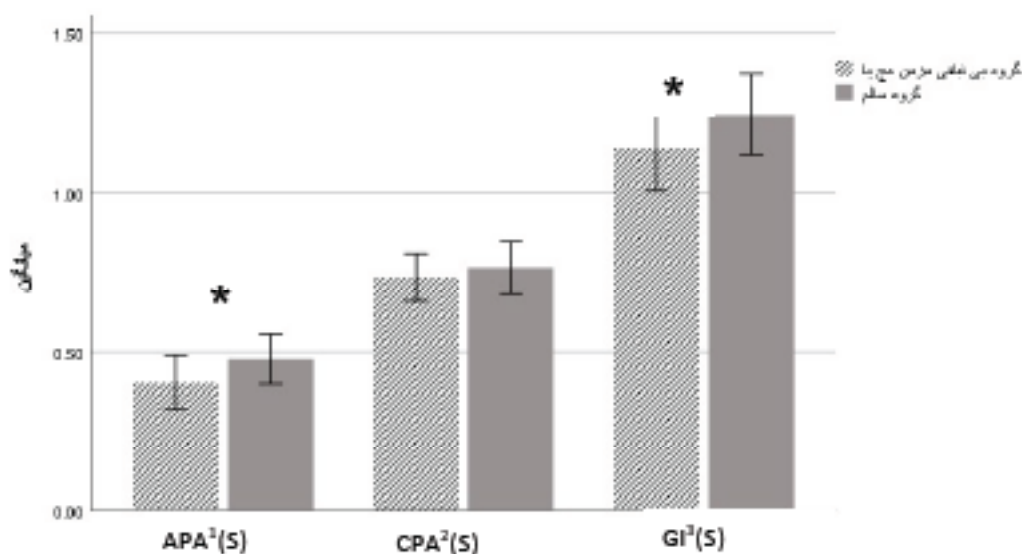
11. Tukey test

10. MANOVA

جدول ۲. نتایج آزمون توکی جهت بررسی اختلاف زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تنظیمات وضعیتی جبرانی در هر گروه

متغیر	گروه ۱	گروه ۲	تفاضل میانگین	سطح معنی‌داری
مدت زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه (ثانیه)	بی‌ثباتی مزمن می‌چپ	سالم	-۰/۰۷۳	۰/۰۰۹*
مدت زمان تنظیمات جبرانی (ثانیه)	بی‌ثباتی مزمن می‌چپ	سالم	-۰/۰۳۲	۰/۲۱۵

* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵



طب توانبخشی

تصویر ۳. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای مدت زمان شروع راه رفتن (GI)، مدت زمان فازهای تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه (APA) و تنظیمات جبرانی (CPA) بین ۲ گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا و گروه سالم

اتخاذ این رویکرد جامع به روشن‌تر شدن تأثیر هر یک از فازهای شروع راه رفتن در نقص‌های حرکتی مرتبط با بی‌ثباتی مزمن مچ پا کمک کرده و درک عمیق‌تری از نقش سیستم عصبی مرکزی در برنامه‌ریزی و اجرای حرکات در این افراد ارائه می‌دهد. نتایج این مطالعه می‌تواند به طراحی مداخلات درمانی مؤثرتر برای بهبود کنترل حرکتی در این افراد کمک کند.

فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه (APA)^{۱۲}

نتایج این پژوهش نشان داد مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به افراد سالم کوتاه‌تر است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات یوسفی و همکاران و ابراهیم‌آبادی و همکاران همخوانی دارد [۷، ۹]. محققان به این نتیجه رسیده بودند کاهش فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در شروع راه رفتن می‌تواند به عنوان شاخصی برای نشان دادن تغییرات در کنترل حرکتی فوق نخاعی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در نظر گرفته شود. از آنجاکه تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه تحت کنترل مراکز فوق نخاعی است، کاهش مدت این فاز می‌تواند نشان‌دهنده نقص در مسیرهای فوق نخاعی باشد که وظیفه جمع‌آوری اطلاعات حسی و برنامه‌ریزی حرکات را برعهده دارند. به عبارتی پس از اولین پیچ خوردگی مچ پا، کنترل عصبی عضلانی فوق نخاعی به گونه‌ای تغییر می‌کند که بیماران از الگوهای جبرانی، مانند تغییر در مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و تغییر سرعت مرکز فشار، کاهش نیازهای وضعیتی خود و کاهش اختلال داخلی استفاده می‌کنند. تمرکز عمده در

پاسخ‌گویی به اختلالات را مشابه افراد سالم حفظ کرده‌اند. این یافته‌ها بر اهمیت تمرکز بر بهبود استراتژی‌های کنترل پیش‌بینانه در برنامه‌های توان‌بخشی بی‌ثباتی مزمن مچ پا تأکید می‌کند، زیرا نقص اولیه در این بیماران در فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه به جای تنظیمات وضعیتی جبرانی قرار دارد.

بحث

هدف این مطالعه مقایسه زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و جبرانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا با افراد سالم در هنگام شروع راه رفتن بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مدت زمان کل فاز شروع راه رفتن در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا به طور قابل توجهی کوتاه‌تر از افراد سالم است. این یافته با نتایج مطالعه یوسفی و همکاران همسو است. آنان با بررسی مدت زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در شروع راه رفتن دریافتند کوتاه‌تر بودن این فاز در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا به اختلال عملکرد سیستم عصبی مرکزی مرتبط است [۷]. این اختلالات می‌توانند بر برنامه‌ریزی و اجرای حرکات، تأثیر گذاشته و موجب نقص در کنترل حرکتی شوند. با این حال، مطالعه یوسفی و همکاران تنها به بررسی فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه که یکی از اجزای کل فاز شروع راه رفتن است، بسنده کرده و فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی را که بخش دیگری از این فاز محسوب می‌شود مورد ارزیابی قرار ندادند. در مقابل، پژوهش حاضر با رویکردی جامع‌تر، کل فاز شروع راه رفتن را شامل هر دو فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه و فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی مورد بررسی قرار داده است.

12. Anticipatory Postural Adjustments (APA)

با در حفظ تنظیمات وضعیتی جبرانی می‌تواند ناشی از یادگیری حرکتی و تجربیات قبلی آن‌ها باشد. این امر اهمیت تمرینات تخصصی و مداوم در بازتوانی بیماران مبتلا به ناپایداری مزمن مچ پا را برجسته می‌کند. به‌طور کلی این پژوهش درجه‌ای نوین به درک مکانیسم‌های کنترل حرکتی در بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌گشاید و نشان می‌دهد سیستم عصبی-عضلانی این بیماران از انعطاف‌پذیری و قدرت سازگاری قابل توجهی برخوردار است. در پژوهش حاضر مشخص شد افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا دچار نقص در مسیرهای فوق‌نخاعی هستند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق مؤید اثرگذاری بی‌ثباتی مزمن مچ پا در شروع راه رفتن به‌عنوان شاخصی در وجود اختلال در سیستم مرکز و کاهش زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه به‌عنوان شاخص در درک تغییر در مسیرهای فوق‌نخاعی و اختلال در سیستم مرکزی در این افراد بود. نتایج همچنین نشان‌دهنده عدم تفاوت در تنظیمات وضعیتی جبرانی بین گروه‌ها به دلیل نقص اولیه در تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه بود. از آنجایی که همگونی در زمان تنظیمات وضعیتی جبرانی می‌تواند ناشی از یادگیری حرکتی و تجربه‌های قبلی افراد در واکنش به شرایط بحرانی باشد، باتوجه به نتایج مطالعه حاضر، به درمانگران در طراحی برنامه‌های تمرینی برای افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا، توصیه می‌شود علاوه بر جنبه‌های حرکتی، به تمریناتی که بر بهبود زمان تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه تمرکز دارند، توجه کنند.

باتوجه به اینکه ارتباط بین برنامه‌ریزی‌های حرکتی کورتکس مغز و مراکز فوق‌نخاعی با آسیب بی‌ثباتی مزمن مچ پا به‌طور دقیق مشخص نیست، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌هایی در زمینه مکانیک اعصاب، برای بررسی این عارضه طراحی و اجرا شود. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مرتبط با جابه‌جایی مرکز فشار و فعالیت‌های عضلانی در فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی نیز مورد بررسی قرار گیرند. این امر می‌تواند اطلاعات بیشتری درباره تغییرات در فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی و عملکرد سیستم عصبی ارائه دهد و درک بهتری از این اختلال و مسیرهای عصبی مرتبط با آن را فراهم کند.

این مطالعه، مانند بسیاری از پژوهش‌های دیگر، بدون محدودیت نبود. یکی از محدودیت‌های پژوهش، عدم تطابق بین اندام تحتانی غالب و اندام تحتانی مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود. از این رو بهتر بود، شرایط حضور شرکت‌کننده‌هایی فراهم بود که اندام غالب‌شان، اندام مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود، میسر می‌شد.

برخی مطالعات روی سرعت جابه‌جایی مرکز فشار^{۱۳} (COP) در فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه بود [۵، ۷، ۹]. این مطالعات عمدتاً به این موضوع پرداخته‌اند که چگونه تغییرات در سرعت جابه‌جایی COP می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای مسیرهای عصبی فوق‌نخاعی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا استفاده شود. با این حال پژوهش حاضر به‌طور ویژه بر مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه تمرکز کرده است و این پارامتر را به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای بررسی نقص‌های مسیرهای عصبی فوق‌نخاعی معرفی کرده است.

رویکرد پژوهش حاضر در بررسی مستقیم مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه، نقطه تمایز آن از مطالعات پیشین است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد کاهش مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه، به‌تنهایی می‌تواند شاخصی قابل‌اعتماد برای شناسایی نقص‌های عصبی فوق‌نخاعی باشد. این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا مدت‌زمان این فاز به‌سادگی قابل‌اندازه‌گیری است و می‌تواند در طراحی روش‌های درمانی هدفمند برای بهبود کنترل حرکتی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا مورد استفاده قرار گیرد و به توسعه مداخلات توانبخشی مؤثرتر کمک کند.

فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی^{۱۴}

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی در مرحله شروع راه رفتن تفاوت معناداری بین گروه‌های مختلف ندارد. این نتیجه با مطالعات یو و همکاران [۱۶] همخوانی دارد که معتقد بودند مدت‌زمان مرحله تنظیمات وضعیتی جبرانی در شرایط برنامه‌ریزی‌نشده تغییر نمی‌کند. برخلاف انتظار اولیه، تغییرات در برنامه‌ریزی‌های کنترل حرکتی تأثیر چشمگیری بر عملکرد حرکتی در مرحله تنظیمات وضعیتی جبرانی نداشته است. این موضوع نشان می‌دهد بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، با وجود ماهیت مزمن آسیب، همچنان توانایی پاسخ‌دهی مشابه افراد سالم را حفظ کرده‌اند. اگرچه ممکن است مدت‌زمان فاز تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه در این بیماران کاهش یابد، اما در فاز تنظیمات وضعیتی جبرانی تغییری مشاهده نمی‌شود و این افراد همچنان قادر به حفظ تعادل و ثبات پاسچر در کل فاز شروع راه رفتن هستند.

پاسخ‌های تنظیمات وضعیتی جبرانی معمولاً به‌صورت خودکار و سریع انجام می‌شوند و نقش مهمی در کاهش خطر آسیب و بهبود عملکرد ورزشی دارند. عوامل مختلفی مانند آمادگی بدنی، سن و شرایط فیزیکی می‌توانند بر این تنظیمات تأثیرگذار باشند. از آنجایی که شرکت‌کنندگان در این پژوهش در هر دو گروه ورزشکار بوده‌اند، توانایی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ

13. Center of Pressure (COP)

14. Compensatory Postural Adjustments (CPA)

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **دانشگاه خوارزمی** در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.KHU.REC.1403.033 دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه خانم خورشید بیجاری در گروه بیومکانیک و آسیب شناسی **دانشگاه خوارزمی** است و هیچ گونه کمک مالی از سازمان تأمین کننده مالی در بخش های عمومی و دولتی، تجاری و غیرانتفاعی یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری تمامی بیمارانی که در این مطالعه شرکت کردند، تشکر و قدردانی می کنند.

References

- [1] Tedeschi R, Ricci V, Tarantino D, Tarallo L, Catani F, Donati D. Rebuilding stability: Exploring the best rehabilitation methods for chronic ankle instability. *Sports*. 2024; 12(10):282. [DOI:10.3390/sports12100282] [PMID] [PMCID]
- [2] Xue X, Wang Y, Xu X, Li H, Li Q, Na Y, et al. Postural control deficits during static single-leg stance in chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health*. 2024; 16(1):29-37. [DOI:10.1177/19417381231152490] [PMID] [PMCID]
- [3] Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):603-10. [DOI:10.4085/1062-6050-447-17] [PMID] [PMCID]
- [4] Zhang J, Yang K, Wang C, Gu W, Li X, Fu S, et al. Risk factors for chronic ankle instability after first episode of lateral ankle sprain: A retrospective analysis of 362 cases. *Journal of Sport and Health Science*. 2023; 12(5):606-12. [DOI:10.1016/j.jshs.2023.03.005] [PMID] [PMCID]
- [5] Mortezaejad M, Daryabor A, Ebrahimabadi Z, Rahimi A, Yousefi M, Ehsani F, et al. Kinetic changes of gait initiation in individuals with chronic ankle instability: A systematic review. *Health Science Reports*. 2024; 7(11):e70143. [DOI:10.1002/hsr.2.70143] [PMID] [PMCID]
- [6] Altun A, Dixon S, Rice H. Task-specific differences in lower limb biomechanics during dynamic movements in individuals with chronic ankle instability compared with controls. *Gait & Posture*. 2024; 113:265-71. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2024.07.004] [PMID]
- [7] Yousefi M, Sadeghi H, Ilbiegi S, Ebrahimabadi Z, Kakavand M, Wikstrom EA. Center of pressure excursion and muscle activation during gait initiation in individuals with and without chronic ankle instability. *Journal of Biomechanics*. 2020; 108:109904. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2020.109904] [PMID]
- [8] Hass CJ, Bishop MD, Doidge D, Wikstrom EA. Chronic ankle instability alters central organization of movement. *The American Journal of Sports Medicine*. 2010; 38(4):829-34. [DOI:10.1177/0363546509351562] [PMID]
- [9] Ebrahimabadi Z, Naimi SS, Rahimi A, Yousefi M, Wikstrom EA. Postural phase duration during self-generated and triggered gait initiation in patients with chronic ankle instability. *Science & Sports*. 2023; 38(2):182-8. [DOI:10.1016/j.scispo.2022.08.001]
- [10] Hass CJ, Waddell DE, Wolf SL, Juncos JL, Gregor RJ. Gait initiation in older adults with postural instability. *Clinical Biomechanics*. 2008; 23(6):743-53. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2008.02.012] [PMID] [PMCID]
- [11] Ebrahimabadi Z, Naimi SS, Rahimi A, Sadeghi H, Hosseini SM, Baghban AA, et al. Investigating the anticipatory postural adjustment phase of gait initiation in different directions in chronic ankle instability patients. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2018; 22(1):40-5. [DOI:10.5812/jrcmj.44534]
- [12] Yousefi M, Zivari S, Yiu E, Caderby T. Effect of chronic ankle instability on the biomechanical organization of gait initiation: A systematic review. *Brain Sciences*. 2023; 13(11):1596. [DOI:10.3390/brainsci13111596] [PMID] [PMCID]
- [13] Tomita H, Fukaya Y, Kawaguchi D, Ito T, Aoki Y. An increase in relative contribution of compensatory postural adjustments during voluntary movement while standing in adolescents and young adults with bilateral spastic cerebral palsy. *Experimental Brain Research*. 2022; 240(12):3315-25. [DOI:10.1007/s00221-022-06499-0] [PMID]
- [14] Caderby T, Dalleau G, Leroyer P, Bonazzi B, Chane-Teng D, Do MC. Does an additional load modify the Anticipatory Postural Adjustments in gait initiation? *Gait & Posture*. 2013; 37(1):144-6. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.06.012] [PMID]
- [15] Lee YJ, Chen B, Liang JN, Aruin AS. Control of vertical posture while standing on a sliding board and pushing an object. *Experimental Brain Research*. 2018; 236(3):721-31. [DOI:10.1007/s00221-017-5166-2] [PMID]
- [16] Yiu E, Fourcade P, Artico R, Caderby T. Influence of temporal pressure constraint on the biomechanical organization of gait initiation made with or without an obstacle to clear. *Experimental Brain Research*. 2016; 234(6):1363-75. [DOI:10.1007/s00221-015-4319-4] [PMID]
- [17] Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, Caulfield B, Docherty CL, Fourchet F, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2013; 43(8):585-91. [DOI:10.2519/jospt.2013.0303] [PMID]
- [18] Langeard A, Mathon C, Ould-Slimane M, Decker L, Bessot N, Gauthier A, Chastan N. Kinematics or kinetics: Optimum measurement of the vertical variations of the center of mass during gait initiation. *Sensors*. 2021; 21(23):7954. [DOI:10.3390/s21237954] [PMID] [PMCID]
- [19] Zeni JA Jr, Richards JG, Higginson JS. Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. *Gait & Posture*. 2008; 27(4):710-4. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2007.07.007] [PMID] [PMCID]