

Research Paper



Musculoskeletal Modeling of Individuals With and Without Chronic Ankle Instability During the Anticipatory Postural Adjustment Phase of Gait Initiation

Shaghayegh Zivari<sup>1</sup> , \*Mohammad Yousefi<sup>1</sup> , Abbas Farjad Pezeshk<sup>1</sup>

1. Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.



**Citation** Zivari Sh, Yousefi M, Farjad Pezeshk A. [Musculoskeletal Modeling of Individuals With and Without Chronic Ankle Instability During the Anticipatory Postural Adjustment Phase of Gait Initiation (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 15(2):198-219. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3262>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3262>

**ABSTRACT**

**Background and Aims** This study aims to assess the kinetic parameters and muscle activation involved in the anticipatory postural adjustment (APA) phase of gait initiation in individuals with and without chronic ankle instability (CAI).

**Methods** Twenty participants, evenly divided into 2 groups of 10, voluntarily took part in this study. They were asked to initiate gait after the auditory cue while standing on the force plate. The muscle activity of the tibialis anterior (TA), soleus (SL), biceps femoris (BF), rectus femoris (RF), peroneus longus (PL), gluteus medius (Gmed), and gluteus maximus (Gmax) in both (left and right) legs, along with force parameters (in 3 directions) and center of pressure (in 2 directions) were measured for the 2 groups. The dependent variables were analyzed by using the independent t tests.

**Results** The findings revealed significant differences in the kinetic parameters and the activations of the TA<sub>r</sub> (P=0.04), BF<sub>L</sub> (P=0.04), and SL<sub>L</sub> (P=0.03) muscles between the 2 groups. No statistically significant differences were observed in the other muscles (P>0.05). The outcomes suggest that during the APA phase, individuals with CAI exhibit decreased muscle activities in TA<sub>r</sub> and SL<sub>r</sub>, and increased muscle activities in BF<sub>L</sub> muscle compared to the control group. These changes, which aim to maintain body stability, may reflect alterations in neural transmission patterns originating from the central nervous system (CNS).

**Conclusion** Since the APA phase is regulated by the secondary motor area, alterations in motor control observed in those with CAI could be attributed to changes in supraspinal. Neuromuscular training for muscles which influence motor control strategies affected by CAI may be a beneficial way of the rehabilitation program for these individuals.

**Keywords** Chronic ankle instability, Anticipatory postural adjustment, Center of pressure, Muscle activity

Received: 13 Apr 2024

Accepted: 27 May 2024

Available Online: 22 May 2026

\* Corresponding Author:

Mohammad Yousefi, Assistant Professor.

Address: Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

Tel: +98 (56) 31026918

E-Mail: [m.yousefi@birjand.ac.ir](mailto:m.yousefi@birjand.ac.ir)



Copyright © 2026 The Author(s).  
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC 4.0: <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

Ankle sprain is the most common musculoskeletal injury in sports and physical activities. Following an initial ankle sprain, a significant portion of individuals, approximately 40%, may progress to experiencing chronic ankle instability (CAI), characterized by impaired proprioception, strength, postural control, and neuromuscular control without ligamentous laxity secondary and repeated ankle sprain. Alterations in sensory, reflex, and motor control strategies have been documented in individuals with CAI. Specifically, researchers have observed a heightened inversion of the foot prior to heel strike among CAI patients compared to control (CON) group, and this increase is due to a dysfunction in the normal function of the peroneus longus muscle. One of the factors attributed to CAI is altered posture control. A critical aspect of postural control is center of pressure (COP), whereby injury to the lateral ligaments of the ankle leads to alterations in COP.

People with CAI exhibit altered muscle activations and posture control during challenging tasks like gait initiation (GI), which represents a transition from a steady static to a continuously unstable gait. It has a specific neural pattern within the central nervous system (CNS). This task is more challenging than steady-state walking because initial separation of COP and center of mass (COM) requires a higher level of dynamic balance control and neural adaptation. GI can be segmented into 2 phases: an initial postural phase occurring prior to the lifting of the swing leg heel, characterized by anticipatory postural adjustments (APAs), and a subsequent phase involving the execution of the step, ending at the time of swing foot contact. Given the presence of postural control deficits and altered muscle activation patterns in individuals with CAI, examining muscle activation patterns during APA could offer insights into the modified movement control strategies employed by individuals with CAI. This study aimed to assess the kinetic parameters and muscle activation involved in the APA phase of gait initiation in individuals with and without CAI.

### Methods

The population of this quasi-experimental study comprised 20 men who live in Tehran and volunteer to participate. The sample size was determined using G\*power software, taking into account a test power of 0.80, effect size of 0.5, and significance level of 0.05. So, 20 individuals were divided in two groups: 10 men (mean±SD age:23±1.68 years, height: 177.45±6.26 cm, weight: 70.45 ±6.93 kg) in the control

group and 10 men (mean±SD age: 22.30±2.97 years, height: 175.60±7.23 cm, weight: 66.80±9.51 kg) in chronic ankle instability group. For the CAI group, inclusion criteria were based on the Cumberland ankle instability tool and FAAM questionnaires scores [23] (Appendix 1, 2, 3) and for the CON group was being free from a history of lateral ankle sprains. Also, the participants were physically active (more than 120 minutes of exercise per week). The study protocol was approved by the Research Ethical and Approval Committee of Shahid Beheshti University of Medical Sciences and each participant gave their informed consent before participating in the study. Calibration was performed into dynamic and static procedures. Following the calibration process, the height and weight of each participant were measured, and the skin was prepared by shaving and cleaning with isopropyl alcohol. On dominant limb, the electrodes were placed according to the SENIAM protocol, and markers were positioned based on the plug-in gait model. The dominant limb was ascertained by querying participants about the limb they would employ to kick a ball. Following a 15-min warm-up period, the participants were instructed to maintain a constant stance on the force plate for 10 min. Subsequently, they initiated gait at a normal speed while standing on force plate, in response to an auditory cue given by the dominant limb. Three systems, motion capture (Vicon), Force plate (Bertec) and EMG (Megaviv) were registering signals at the same time. Sample frequencies of motion capture system and EMG system were 100 Hz.

The data were used in OpenSim software for simulating the musculoskeletal model. Muscle activation of 14 muscles were extracted. Analyses were conducted using the SPSS software. The dependent variables were analyzed by using independent t tests. A statistical significance level at  $P < 0.05$  was chosen.

### Results

No differences were noted in participant demographics ( $P > 0.05$ ). There were significant differences in kinetic parameters (Table 1) and muscle activation of TA\_r, BF\_L, and SL\_L muscles (Table 2) ( $P < 0.05$ ). Muscle activation in the TA\_r and SL\_r muscles was lower in the CAI group compared to the CON group, whereas the BF\_L muscle showed increased activation in the CAI group.

### Conclusion

The findings of this study indicate alterations in supraspinal motor control strategies and use ankle strategy among individuals with CAI during APA phase of gait initiation. Specifically, individuals with CAI demonstrate increased kinetic parameters and decrease muscle activation in TA and SL to adapt and prevent further injuries.

**Table 1.** Independent Samples T-Test results for force and Center of Pressure Variables (Force: 3 Directions; CoP: 2 Directions)

Variable	Group	Mean±SD	P*
Fx (N)	(CAI)	0.72±2.30	0.001
	Control	2.46±8.13	
Fy (N)	(CAI)	-4.28±3.78	0.001
	Control	-4.13±13.76	
Fz (N)	(CAI)	-710.66±1.35	0.009
	Control	-831.17±5.38	
COPx (MM)	(CAI)	6.22±8.009	0.001
	Control	6.71±16.90	
COPy (MM)	(CAI)	144.27±3.57	0.02
	Control	110.35±4.89	

\* (P<0.05)

Scientific Journal of  
Rehabilitation Medicine

**Table 2.** Independent Samples T-Test results for muscle activity of the target muscles

Variable	Group	Mean±SD	P
Gmed_r	(CAI)	0.20±0.23	30.0
	Control	0.38±0.32	
Gmax_r	(CAI)	0.18±0.24	48.0
	Control	0.37±0.28	
BF_r	(CAI)	0.23±0.20	0.57
	Control	0.36±0.24	
RF_r	(CAI)	0.22±0.21	0.64
	Control	0.27±0.20	
SL_r	(CAI)	0.17±0.21	0.17
	Control	0.22±0.32	
TA_r	(CAI)	0.46±0.18	0.04*
	Control	0.50±0.33	
PL_r	(CAI)	0.30±0.29	0.13
	Control	0.65±22	
Gmed_L	(CAI)	0.31±0.20	0.13
	Control	0.28±0.34	

Variable	Group	Mean±SD	P
Gmax_L	(CAI)	0.42±0.32	0.55
	Control	0.20±0.27	
BF_L	(CAI)	0.32±0.26	0.04*
	Control	0.14±0.13	
RF_L	(CAI)	0.27±0.20	0.49
	Control	0.33±0.29	
SL_L	(CAI)	0.22±0.19	0.03*
	Control	0.27±0.33	
TA_L	(CAI)	0.40±0.21	0.41
	Control	0.45±0.28	
PL_L	(CAI)	0.42±0.25	0.59
	Control	0.37±0.28	

\* (P&lt;0.05)

Scientific Journal of  
Rehabilitation Medicine

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

The ethical principles were observed, such as the informed consent of the participants, the confidentiality of information, the permission of the participants to cancel their participation in the research observed in the article. This study was approved by the Research Ethics Committee of [Kharazmi University](#), Tehran, Iran (Code: IR.KHUKRC.1000.135).

### Funding

This article was extracted from the master's thesis of Shaghayegh Zivari, approved by the Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, [University of Birjand](#), Birjand, Iran. This research received no grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

### 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 the participants in this research.

**Appendix 1.** Please mark only one option for each item that best describes your condition during the past week. If the activity is limited by something other than your foot or ankle, please indicate this in the “Other” column.

Variables	Relatively Easy	Slightly Difficult	Difficult	Very difficult	Unable to Do	Other
Standing	4	3	2	1	0	
Walking on a flat surface	4	3	2	1	0	
Walking on a flat surface without shoes	4	3	2	1	0	
Walking uphill	4	3	2	1	0	
Walking downhill	4	3	2	1	0	
Going up stairs	4	3	2	1	0	
Going down stairs	4	3	2	1	0	
Walking on uneven ground	4	3	2	1	0	
Stepping up and down from a curb	4	3	2	1	0	
Squatting	4	3	2	1	0	
Rising up on your toes	4	3	2	1	0	
Initiating walking	4	3	2	1	0	
Walking for 5 minutes or less	4	3	2	1	0	
Walking for about 10 minutes	4	3	2	1	0	
Walking for about 15 minutes or more	4	3	2	1	0	
Household activities	4	3	2	1	0	
Performing daily activities	4	3	2	1	0	
Personal care activities	4	3	2	1	0	
Light to moderate work (standing, walking)	4	3	2	1	0	
Heavy work (pushing, pulling, lifting, carrying)	4	3	2	1	0	
Recreational activities	4	3	2	1	0	

Scientific Journal of  
Rehabilitation Medicine

**Appendix 3.** Foot and Ankle Ability Measure – Sports Subscale

Variables	Relatively Easy	Slightly Difficult	Difficult	Very Difficult	Unable to Do	Other
Running	4	3	2	1	0	
Jumping	4	3	2	1	0	
Landing	4	3	2	1	0	
Starting and stopping quickly while performing squatting movements	4	3	2	1	0	

Variables	Relatively Easy	Slightly Difficult	Difficult	Very Difficult	Unable to Do	Other
Cutting / lateral movements	4	3	2	1	0	
Lowimpact activities	4	3	2	1	0	
Ability to perform activities with normal technique	4	3	2	1	0	
Ability to participate in desired sports activities for as long as desired	4	3	2	1	0	

Scientific Journal of  
Rehabilitation Medicine

**Appendix 2.** Please mark only one option for each question that best describes your condition

Variables	left Foot	Right Foot	Score
I have pain in my ankle	Never		5
	During sport		4
	When running on uneven surfaces		3
	When running on level surfaces		2
	When walking on uneven surfaces		1
	When walking on level surfaces		0
I feel unstable in my ankle	Never		4
	Sometimes during sport (not always)		3
	Frequently during sport (always)		2
	Sometimes during daily activities (not always)		1
	Frequently during daily activities (always)		0
I feel unstable in my ankle when making sudden	Never		3
	Sometimes when running		2
	Often when running		1
	When walking		0
I feel unstable in my ankle when going down stairs	Never		3
	If I go quickly		2
	Sometimes		1
	Always		0
I feel unstable in my ankle when standing on one leg	Never		2
	When standing on my toes		1
	Even when standing on a flat foot		0

	Variables	left Foot	Right Foot	Score
I feel unstable in my ankle	Never			3
	When hopping from one foot to the other			2
	When hopping in place			1
	When jumping			0
I feel unstable in my ankle	Never			3
	When running quickly on uneven surfaces			2
	When running gently on uneven surfaces			1
	When walking on uneven surfaces			0
When I begin to roll my ankle, I am usually able to stop it	When walking on level surfaces			3
	Immediately			3
	Often			2
	Sometimes			1
After a typical incident of my ankle rolling, my ankle returns to normal	Never			0
	I never roll my ankle			3
	Almost immediately			3
	Within less than one day			2
	Within 1–2 days			1
	More than 2 days			0
	I never roll my ankle			3



مقاله پژوهشی

مدل سازی اسکلتی عضلانی افراد مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا و سالم در فاز APA شروع راه رفتن

شقایق زیوری<sup>۱</sup>، \*محمد یوسفی<sup>۱</sup>، عباس فرجاد پزشک<sup>۱</sup>

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

Use your device to scan and read the article online



**Citation** Zivari Sh, Yousefi M, Farjad Pezeshk A. [Musculoskeletal Modeling of Individuals With and Without Chronic Ankle Instability During the Anticipatory Postural Adjustment Phase of Gait Initiation (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 15(2):198-219. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3262>

**doi** <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3262>

چکیده

**مقدمه و اهداف** هدف مطالعه حاضر، ارزیابی پارامترهای کینتیکی و فعال سازی عضلانی در طول فاز تنظیم وضعیتی پیش بینی کننده (APA) شروع راه رفتن در افراد مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا و مقایسه آن با افراد سالم بود.

**مواد و روش ها** ۲۰ شرکت کننده در ۲ گروه ۱۰ نفره به صورت داوطلبانه شرکت کردند. شرکت کنندگان در حالی که روی صفحه نیرو به صورت ثابت ایستاده بودند، راه رفتن را به محض شنیدن سیگنال صوتی آغاز کردند. فعالیت عضلانی عضلات تیبیالیس آنتریور، سولئوس، بایسپس فموریس، رکتورس فموریس، پروئوس لانگوس، گلوئوس مدیوس و گلوئوس ماکزیموس برای پای چپ و راست، همچنین پارامترهای نیرو (در ۳ جهت) و مرکز فشار (در ۲ جهت) برای ۲ گروه ثبت شد. از آزمون تی مستقل برای مقایسه اختلاف بین پارامترها استفاده شد.

**یافته ها** نتایج نشان می دهد در پارامترهای کینتیکی و فعالیت عضلات تیبیالیس آنتریور راست ( $P=0/04$ )، بایسپس فموریس راست ( $P=0/04$ ) و سولئوس راست ( $P=0/03$ ) تفاوت معناداری بین گروه مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا و سالم وجود دارد. در سایر عضلات تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P>0/05$ ). نتایج نشان می دهد در فاز APA در افراد مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا نسبت به گروه سالم، فعالیت عضلات TA<sub>2</sub> و SL<sub>L</sub> کاهش و فعالیت عضله BF<sub>L</sub> افزایش می یابد. این تغییرات با هدف حفظ وضعیت بدن، نشان دهنده تغییر الگوهای ارسالی از سیستم عصبی مرکزی است.

**نتیجه گیری** از آنجایی که فاز APA تحت کنترل ناحیه حرکتی ثانویه است، وجود تغییرات کنترل حرکتی در بیماران مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا ممکن است ناشی از تغییرات فوق نخاعی باشد. برخی از عضلات به دلیل بی ثباتی مزمن مچ پا، استراتژی کنترل حرکتی را تغییر می دهند. تمرین عصبی عضلانی برای این عضلات می تواند در برنامه ریزی توان بخشی بیماران مورد توجه قرار بگیرد.

**کلیدواژه ها** بی ثباتی مزمن مچ پا، تنظیمات وضعیتی پیش بینی کننده، مرکز فشار، فعالیت عضلانی

تاریخ دریافت: ۲۵ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۰۷ خرداد ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ خرداد ۱۴۰۵

\* نویسنده مسئول:

دکتر محمد یوسفی

نشانی: بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم ورزشی بیرجند، گروه بیومکانیک ورزشی.

تلفن: ۳۱۰۲۶۹۱۸ (۵۶) +۹۸

رایانامه: [m.yousefi@birjand.ac.ir](mailto:m.yousefi@birjand.ac.ir)



Copyright © 2026 The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC 4.0: <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

جلو و به سمت اندام حمایت کننده (نگهدارنده) است. این انتقال وزن با جابه‌جایی مرکز فشار به سمت عقب و به سمت اندام نوسان انجام می‌شود که به آن تنظیم وضعیتی پیش‌بینی کننده<sup>۴</sup> (APA) می‌گویند [۱۴، ۱۵].

طبق مطالعات گذشته، فرض شده است یکی از فاکتورهای نسبت داده‌شده به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، کنترل پاسچر تغییر یافته است [۱۶]. نکته مهم در کنترل پاسچر، مرکز فشار<sup>۵</sup> (COP) است. آسیب لیگامنت‌های خارجی مچ پا موجب تغییراتی در مرکز فشار می‌شود و اندازه‌گیری‌های مرکز فشار با استفاده از داده‌های صفحه نیرو، می‌توانند برای تعیین نقطه اعمال آبی نیروهای عکس‌العمل زمین آنالیز شوند که در ارزیابی پایداری و عملکرد پا مفید هستند [۱۷]. مرکز فشار در یک فرد در طول شروع راه رفتن به ۳ بخش تقسیم می‌شود [۱۸]. بخش اول S1 با نشانه شروع راه رفتن آغاز و با قرارگیری مرکز فشار در خلفی خارجی‌ترین موقعیت خود به سمت پای آغاز کننده گام به پایان می‌رسد. این انتقال مستلزم مهار ۲ طرفه سولئوس<sup>۶</sup> و به دنبال آن، فعال شدن تیبیالیس آنتریور<sup>۷</sup> است. بخش دوم S2 بیانگر جابه‌جایی مرکز فشار به سمت پای ایستاده اولیه است و در زیر آن پا به پایان می‌رسد. ترکیب ۲ بخش S1 و S2 نشان‌دهنده فاز (APA) در شروع راه رفتن است. بخش سوم S3 تا زمانی ادامه می‌یابد که پای ایستاده اولیه در مرحله جداسدن انگشتان پا از زمین<sup>۸</sup> قرار بگیرد و مرکز فشار به سمت جلو منتقل شود. در طول این بخش، به ترتیب عضلات سولئوس و تیبیالیس آنتریور همان سمت فعال می‌شوند تا که مرکز جرم<sup>۹</sup> را به سمت جلو بکشند و در عین حال حرکت به جلو را نیز کنترل کنند (تصویر شماره ۱). مطالعات کاهش مدت APA را در بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نشان می‌دهند [۱۹، ۲۰]. با توجه به دامنه APA، بیشتر مطالعات کاهش مقدار جابه‌جایی مرکز فشار را در طول APA، به‌ویژه در جهت میانی خارجی در بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در مقایسه با افراد سالم گزارش کردند [۱۵، ۲۰، ۲۱]. اما تفاوتی در جابه‌جایی مرکز فشار در جهت قدامی خلفی مشاهده نشد [۱۹، ۲۲].

با توجه به اختلالات کنترل پاسچر و تغییرات فعال‌سازی عضلانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، توصیف ویژگی‌های APA و فعالیت‌های عضلانی در حین آغاز راه رفتن ممکن است اطلاعاتی در مورد استراتژی‌های کنترل حرکتی که در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا تغییر کرده است، ارائه دهد؛ زیرا درک اینکه چگونه فعال‌سازی عضلانی باعث ترسیم رد مرکز فشار می‌شود، اطلاعات بیشتری در مورد تغییرات کنترل عصبی عضلانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا ارائه می‌دهد؛ بنابراین هدف مطالعه

پیچ‌خوردگی لیگامنت‌هایی که در سمت خارج مفصل مچ پا قرار دارند، یکی از رایج‌ترین آسیب‌های اسکلتی عضلانی است [۱] که به‌طور ویژه بین جوانان فعال از نظر فیزیکی، در حین فعالیت‌های ورزشی، تفریحی و زندگی روزمره، اتفاق می‌افتد [۲]. حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد از افراد مبتلا به پیچ‌خوردگی مچ پا از رخدادهای تکراری و کاهش عملکرد می‌گویند [۳] که صرف نظر از شدت آسیب اغلب به یک وضعیت مزمن ناپایدار تحت عنوان بی‌ثباتی مزمن مچ پا<sup>۱</sup> منجر می‌شود [۴].

از جمله عوارض ایجادشده در نتیجه بی‌ثباتی مزمن مچ پا کاهش حس عمقی و عملکرد کنترل پاسچر [۵] و همچنین علائم باقی‌مانده مزمن از قبیل احساس ذهنی خالی شدن مچ پا، بی‌ثباتی مفصل و نشانه‌های مداوم، مانند درد، تورم، ضعف عضلانی و از دست دادن عملکرد است [۶]. تغییر در استراتژی‌های کنترل حسی، انعکاسی و حرکتی نیز در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا گزارش شده است [۷]. به‌طور مثال، عده‌ای از محققان بیان کردند اینورژن پا قبل از برخورد پاشنه به زمین در افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا بیشتر از افراد سالم است [۸] و این افزایش اینورژن ناشی از نقص در عملکرد نرمال عضله پرونئوس لانگوس<sup>۲</sup> است [۹]. در واقع در اغتشاشی، مانند راه رفتن در گروه بی‌ثباتی مزمن مچ پا، یک فعال‌سازی تأخیری یا فعالیت طولانی‌تری در این عضله دیده می‌شود [۱۰].

سیستم‌های کنترل حرکت در سطوح مختلف سیستم عصبی و توسط مکانیسم‌های کنترل حرکت فیدفورارد و فیدبکی برای ایجاد پاسخ‌های مناسب تعادلی به یک اغتشاش، باید به‌خوبی عمل کنند. چنین مکانیسم‌هایی می‌توانند عضلات متفاوتی را برای کنترل اغتشاش به‌صورت هماهنگ فعال کنند [۱۱]. به‌طور کلی، مکانیسم‌های عصبی عضلانی که مسئول توسعه بی‌ثباتی مزمن مچ پا هستند، ناشناخته باقی مانده‌اند [۱۲]. تعدادی از مطالعات گذشته نشان داده‌اند که فعالیت‌های پویا و غیرمنتظره بهتر می‌توانند تفاوت‌های بین زوایای مفصل اندام تحتانی و فعالیت عضلانی گروه‌های بی‌ثباتی مزمن مچ پا و سالم را نسبت به فعالیت‌های ساده و استاتیک نشان دهند [۱۵]. از این‌رو شروع راه رفتن می‌تواند ابزار مناسبی باشد و نقش سطوح بالاتر را در ایجاد ثبات مچ پا بررسی کند [۱۲]. شروع راه رفتن<sup>۳</sup> انتقال از حالت استاتیک پایدار به راه رفتن مداوم تعریف می‌شود که نیازمند تعامل سیستم عصبی عضلانی بوده و معمولاً با دنباله‌ای از تنظیمات وضعیتی پیش‌بینی کننده همراه است تا وضعیت بدن را در انتظار جدا شدن پا از زمین تثبیت کند [۱۳]. اولین ویژگی بیومکانیکی شروع راه رفتن به سمت جلو، انتقال مرکز جرم به

4. Anticipatory Postural Adjustment (APA)
5. Center of Pressure (COP)
6. Soleus (SL)
7. Tibialis Anterior (TA)
8. Toe-off
9. Center Of Mass (COM)

1. Chronic ankle instability (CAI)
2. Peroneus longus (PL)
3. Gait initiation (GI)

در صورتی که نمونه‌ها عاری از هر گونه سابقه پیچ خوردگی میج پا بودند، در گروه سالم قرار گرفتند. اگر این افراد سابقه شکستگی میج پا، آسیب و جراحی در اندام تحتانی یا اختلالات سیستم وستیبولار را داشتند یا به‌طور کلی تمایلی برای شرکت در آزمایش نداشتند، از تحقیق خارج شدند. برای حفظ ایمنی آزمودنی، مجوز کمیته اخلاق پژوهش دانشگاه خوارزمی دریافت شد. آزمودنی‌ها قبل از شرکت در آزمون، فرم رضایت آگاهانه را تکمیل و امضا کردند و این اطمینان به آن‌ها داده شد که هر لحظه که مایل بودند، می‌توانستند از تحقیق خارج شوند.

### روش اجرا و پردازش داده‌ها

پس از ثبت قد و وزن، آزمودنی‌ها به مدت ۱۵ دقیقه به‌منظور گرم کردن، با ریتم دلخواه در محیط آزمایشگاه راه رفتند. پیش از شروع آزمایش، کالیبراسیون سیستم آنالیز حرکت در ۲ مرحله دینامیک و استاتیک انجام شد. اجرای مرحله دینامیک توسط حرکت دادن ابزار T فریم در فضای اندازه‌گیری صورت گرفت. همچنین با قرار دادن این ابزار روی صفحه نیرو و تعیین مختصات [000]، کالیبراسیون استاتیک تکمیل شد. برای کاهش مقاومت پوست و ثبت بهتر سیگنال، سطح پوست با الکل تمیز شد. در این آزمایش از الکترودهای سطحی نقره-نقره کلرید (Ag-AgCl) که فاصله مرکز تا مرکزشان ۳۰ میلی‌متر است، استفاده شده است. ۱۶ مارکر غیرفعال براساس مدل پلاگین گیت<sup>۱۱</sup> و ۶ الکترودهای روی عضلات تیپالیس آنتریور، سولئوس، پروئوس لانگوس، گلوئوس مدیوس، رکتورس فموریس و بایسپس فموریس اندام غالب براساس پروتکل سنایام<sup>۱۲</sup> نصب شد. اندام غالب توسط پرسیدن از شرکت‌کنندگان که از کدام پا برای ضربه زدن به توپ استفاده می‌کنند، تعیین شد و در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میج پا، پای غالب همان پای درگیر بود.

حاضر، ارزیابی نوسانات مرکز فشار و فعال‌سازی عضلانی در طول فاز APA شروع راه رفتن در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میج پا و مقایسه آن با افراد سالم است. فرض ما این است که افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میج پا در مقایسه با افراد سالم، نوسانات مرکز فشار و الگوی فعال‌سازی عضلانی را در فاز APA تغییر می‌دهند.

### مواد و روش‌ها

#### شرکت‌کنندگان

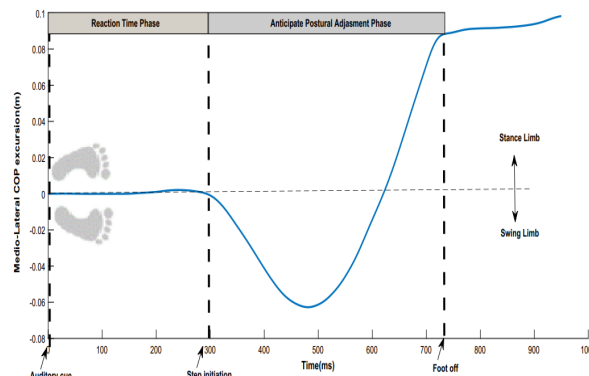
تحقیق حاضر از نوع مقایسه‌ای، نیمه‌تجربی و کاربردی است. با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور، با در نظر گرفتن توان ۰/۸ و سطح معناداری ۰/۰۵ و اندازه اثر متوسط ۰/۵ (Dcohen=۰/۵) و همچنین تی بحرانی ۱/۹۹، درجه آزادی ۶۶ و توان واقعی ۰/۸۱، حجم نمونه کل برای انجام آزمایش ۲۰ نفر در نظر گرفته شد که در ۲ گروه تقسیم شدند. در یک گروه ۱۰ نفر مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میج پا (تعداد: ۱۰، سن: ۲۲/۳۰±۲/۹۷ سال، قد: ۱۷۵/۶±۷/۲۳ سانتی‌متر، وزن: ۶۶/۸±۹/۵۱ کیلوگرم) و در یک گروه ۱۰ نفر سالم (تعداد: ۱۰، سن: ۲۳±۱/۶۸ سال، قد: ۱۷۷/۴۵±۶/۲۶ سانتی‌متر، وزن: ۷۰/۴۵±۶/۹۳ کیلوگرم) قرار گرفتند. این افراد شامل مردان فعال ساکن شهر تهران بودند که به‌صورت داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند.

#### معیارهای ورود در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میج پا

نمره پرسش‌نامه ارزیابی توانایی پا و میج پا<sup>۱۱</sup> (FAAM) (نمره پایین‌تر) (پیوست شماره ۱ و ۲) [۲۳] و کامبرلند (امتیاز کمتر از ۲۷) (پیوست شماره ۳) [۲۳]؛ داشتن تجربه حداقل یک پیچ‌خوردگی میج پا در ۱۲ ماه گذشته که نیازمند عدم تحرک به مدت حداقل ۳ روز و آخرین اسپرین میج پایشان بین ۳ تا ۱۲ ماه قبل از ارزیابی بوده باشد.

11. Plug-In-Gait  
12. SENIAM

#### 10. Foot and Ankle Ability Measure (FAAM)



### طب توانبخش

تصویر ۱. نمونه‌ای از رد COP در طول شروع راه رفتن. محور عمودی بیانگر نوسانات COP در جهت ML برحسب متر و محور افقی بیانگر زمان برحسب میلی ثانیه است. رویدادهای کلیدی شامل نشانه شنوایی (Auditory Cue)، اولین انحراف مرکز فشار به سمت اندام نوسان (Step Initiation)، و پایان جابه‌جایی ML مرکز فشار به سمت پای ایستاده (Foot Off) در محور X.

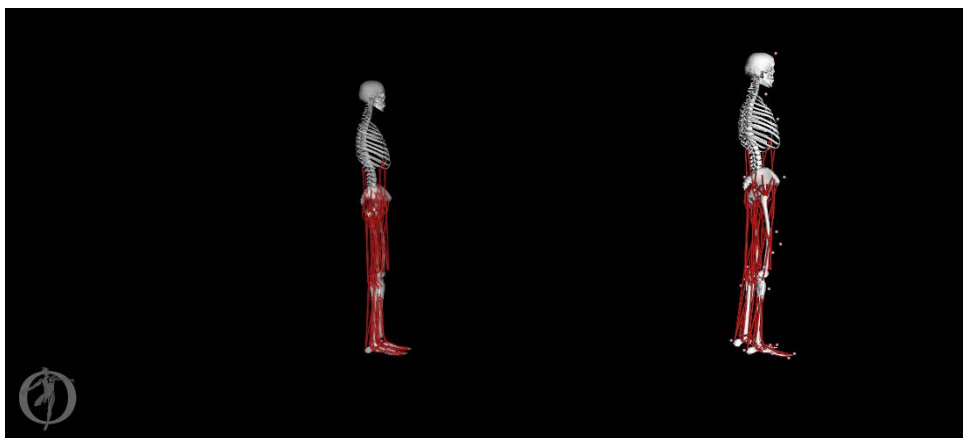
شناسایی نمی‌شد یا سیگنال الکترومایوگرافی قطع می‌شد یا فرد زودتر از شنیدن سیگنال صوتی راه رفتن را آغاز می‌کرد، تست غیرقابل قبول بود و مجدد آزمایش تکرار می‌شد.

سیستم آنالیز حرکت ۸ دوربینه (مدل vicon ساخت انگلستان)، دستگاه الکترومایوگرافی ۱۶ کاناله (مدل Megavin ساخت آلمان) و صفحه نیروسنج (مدل Bertec ساخت آمریکا) به صورت هم‌زمان سیگنال‌ها را ثبت کردند. فرکانس نمونه‌برداری سیستم آنالیز حرکت و دستگاه الکترومایوگرافی ۱۰۰ هرتز بود. داده‌های الکترومایوگرافی (EMG) با استفاده از فیلتر باتورث<sup>۱۳</sup> با شیفیت فازی صفر و شیب ۴ و فرکانس برش ۱۰ هرتز (بالاگذر) تا ۵۰۰ هرتز (پایین‌گذر) و همچنین داده‌های صفحه نیرو و آنالیز حرکت با استفاده از فیلتر باتورث با شیفیت فازی صفر و شیب ۴ و فرکانس برشی که از روش تحلیل باقی‌مانده به دست می‌آید، فیلتر شدند. داده‌های فعالیت عضلات که از الکترومایوگرافی به دست آمد، به حداکثر سیگنال ثبت‌شده در بازه زمانی موردنظر نرمال شدند و سپس زمان آن نیز به ۱۰۰ درصد نرمال شد. از طریق اطلاعات به‌دست‌آمده، شبیه‌سازی اسکلتی عضلانی با استفاده از نرم‌افزار اپن‌سیم<sup>۱۴</sup> نسخه ۳/۳ انجام شد و فعالیت عضلات به دست آمد. مراحل زیر به ترتیب در نرم‌افزار اپن‌سیم انجام شد:

#### مقیاس بندی<sup>۱۵</sup>

یکی از مهم‌ترین مراحل و پیش‌نیاز شبیه‌سازی است (تصویر شماره ۳). در ابتدا مقیاس‌بندی<sup>۱۶</sup> کردن با هدف قرارگیری مارکرهای آزمایشگاهی روی مارکرهای مدل، با کمک داده‌های استاتیک انجام شد. این دو نوع مارکر باید بیشترین هماهنگی را با هم داشته باشند.

13. Butterworth
14. OpenSim
15. Scale
16. SCALE



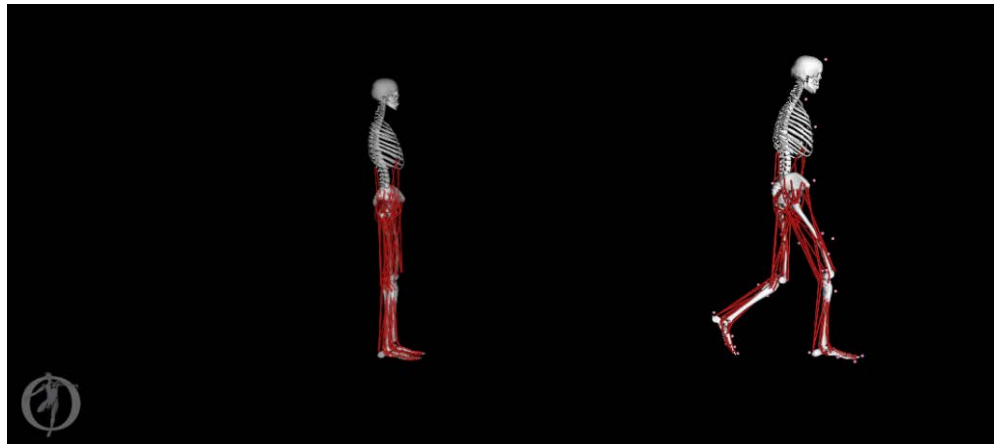
#### تصویر ۲. آزمودنی آماده اجرای آزمون



#### طب توانبخشی

برای تست استاتیک، از افراد خواسته شد به مدت ۱۰ ثانیه بدون کفش روی صفحه نیرو در حالی که وزن خود را به‌طور مساوی روی اندام‌ها تقسیم می‌کنند، قرار بگیرند (تصویر شماره ۲). در ادامه برای تست دینامیک، آن‌ها باید مشابه حالت قبل روی صفحه نیرو قرار می‌گرفتند و در حالی که به جلو نگاه می‌کردند، راه رفتن را به محض شنیدن سیگنال صوتی آغاز و تا انتهای راه ادامه می‌دادند. آزمودنی‌ها این کار را ۳ بار تکرار کردند. در صورتی که در حین اجرای آزمایش بیش از ۳ مارکر به هر دلیلی توسط دوربین‌ها

#### تصویر ۳. مرحله مقیاس‌بندی در نرم‌افزار اپن‌سیم



تصویر ۴. مرحله کینماتیک معکوس در نرم‌افزار اپن سیم

طب توانبخشی

کینماتیک معکوس<sup>۱۷</sup>

مربوط به مطالعه حرکت بدون در نظر گرفتن نیرو و گشتاورهایی است که در طول حرکت تولید می‌شوند. محاسبات این بخش براساس موقعیت مارکرهای آزمایشگاهی است که در مرحله قبل روی مدل قرار دادیم. این بخش با کمک داده‌های دینامیکی انجام می‌شود و هدف آن پیدا کردن زوایای هر مفصل است. خروجی این مرحله براساس بازه زمانی مربوط به شروع راه رفتن گرفته شد و در فایل مربوطه ذخیره شد (تصویر شماره ۴).

نیروهای باقی‌مانده<sup>۱۸</sup>

این مرحله نیروهای اضافی که در حرکت دخالت ندارند را حذف می‌کند و خروجی آن گشتاور هر مفصل است (تصویر شماره ۵). فایل کینماتیک مرحله قبل، در این مرحله اصلاح می‌شود.

نیروی عضله<sup>۱۹</sup>

هدف آخرین مرحله، محاسبه نیروی تک‌تک عضلات است (تصویر شماره ۶). این قسمت مربوط به مجموعه‌ای از تحریکات عضلات است که با داده‌های کینماتیکی مطابقت دارد و در تلاش است عملکرد عضلات بهینه کند.

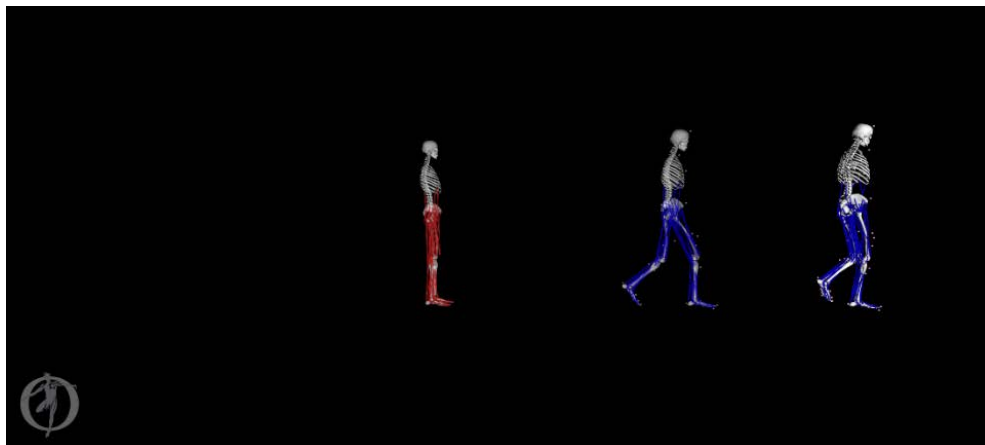
از فایل نیروی عضلات که در خروجی نیروی عضله (CMC) به دست آمد، این بازه زمانی جدا شد. با توجه به مدل استفاده شده در شبیه‌سازی، خروجی شامل فعالیت ۹۲ عضله بود. از این تعداد، ۱۴ عضله که نقش کلیدی در مچ پا و راه رفتن دارند، انتخاب شدند. فرایند مذکور برای همه آزمودنی‌ها انجام شد.

آنالیز استاتیک

برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد و پیش فرض همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع

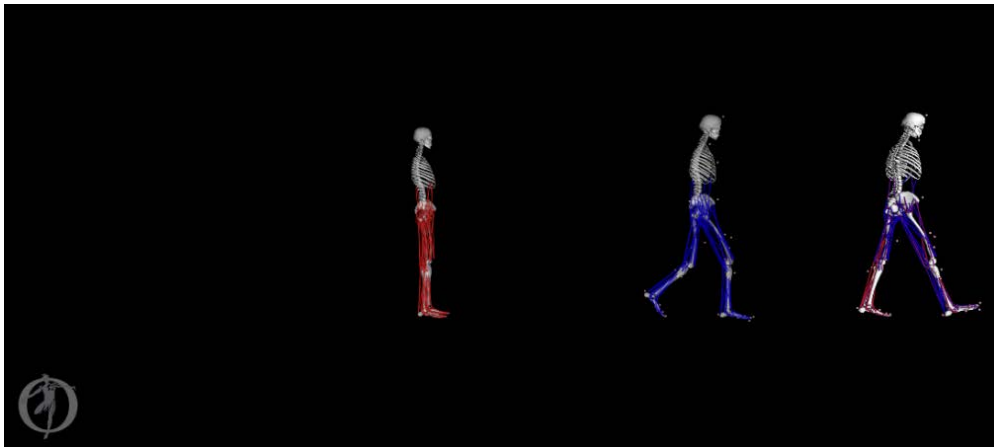
- 17. Inverse kinematics (IK)
- 18. Reduce residual (RRA)

19. Computed Muscle Control (CMC)



تصویر ۵. مرحله نیروهای باقی‌مانده (RRA) در نرم‌افزار اپن سیم

طب توانبخشی



تصویر ۶. مرحله CMC در نرم افزار اپن سیم

## طب توانبخشی

این آزمون در نظر گرفته شد. مطابق جدول شماره ۲، متغیر فعالیت عضلانی در ردیف‌های ۶، ۱۰ و ۱۲ که به ترتیب عضلات تیبیالیس آنتریور راست ( $P=0/04$ )، بایسپس فمورس چپ ( $0/04$ ) و سولئوس چپ ( $P=0/03$ ) هستند، بین ۲ گروه سالم و مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا تفاوت معناداری دارند ( $P<0/05$ ). فعالیت عضلات تیبیالیس آنتریور راست و سولئوس چپ در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا کمتر از گروه سالم و فعالیت عضله بایسپس فمورس در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بیشتر از گروه سالم است. در سایر عضلات، اختلاف معناداری بین ۲ گروه وجود ندارد ( $P>0/05$ ).

نتایج آزمون تی مستقل برای پارامترهای نیرو (در ۳ جهت) و مرکز فشار (در ۲ جهت) در جدول شماره ۳ گزارش شده است. نوسانات مرکز فشار در ۲ جهت و نیرو در ۳ جهت بین دو گروه تفاوت معناداری دارند ( $P<0/05$ ). علی‌رغم افزایش نوسان در جهت ۷ در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، در این گروه در جهت X شاهد کاهش مرکز فشار هستیم.

داده‌ها با کمک آزمون آماری شاپیرو ویلک مورد تأیید قرار گرفت. از آزمون تی مستقل برای سنجش اختلاف بین متغیرها استفاده شد. سطح معناداری آماری برای همه آنالیزها  $P<0/05$  بود.

## یافته‌ها

جدول شماره ۱ مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها را توصیف می‌کند. همان‌طور که نشان داده شده است، در مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها بین ۲ گروه سالم و مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P>0/05$ ).

نتایج آزمون تی مستقل برای پارامتر فعالیت عضلانی عضلات تیبیالیس آنتریور، سولئوس، بایسپس فمورس، رکتورس فمورس، پروئوس لانگوس، گلوئوس مدیوس و گلوئوس ماکزیموس برای پای چپ و راست برای ۲ گروه سالم و مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. وجود تفاوت معنادار در فعالیت عضلانی عضلات مذکور بین ۲ گروه سالم و مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، به‌عنوان فرضیه

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها ( $n=10$ )

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار	P
سن (سال)	سالم	۳۳ $\pm$ ۱/۶۸	۰/۰۸
	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۲۲/۳۰ $\pm$ ۲/۹۷	
قد (سانتی‌متر)	سالم	۱۷۷/۴۵ $\pm$ ۶/۲۶	۰/۳۱
	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۱۷۵/۶۰ $\pm$ ۷/۲۳	
وزن (کیلوگرم)	سالم	۷۰/۴۵ $\pm$ ۶/۹۳	۰/۲۸
	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۶۶/۸۰ $\pm$ ۹/۵۱	
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	سالم	۲۲/۳۳ $\pm$ ۱/۲۸	۰/۵۰
	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۲۱/۸۵ $\pm$ ۱/۷۸	

## طب توانبخشی

جدول ۲. نتایج آزمون تی مستقل برای متغیر فعالیت عضلانی عضلات موردنظر

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار	P
Gmed_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۲۰ $\pm$ ۰/۲۳	۰/۳۰
	کنترل	۰/۲۸ $\pm$ ۰/۲۲	
Gmax_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۱۸ $\pm$ ۰/۲۴	۰/۴۸
	کنترل	۰/۳۷ $\pm$ ۰/۲۸	
BF_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۲۳ $\pm$ ۰/۲۰	۰/۵۷
	کنترل	۰/۳۶ $\pm$ ۰/۲۴	
RF_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۲۱	۰/۶۴
	کنترل	۰/۳۷ $\pm$ ۰/۲۰	
SL_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۱۷ $\pm$ ۰/۲۱	۰/۱۷
	کنترل	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۲۲	
TA_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۴۶ $\pm$ ۰/۱۸	۰/۰۴*
	کنترل	۰/۵۰ $\pm$ ۰/۲۳	
PL_r	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۳۰ $\pm$ ۰/۲۹	۰/۱۳
	کنترل	۰/۶۵ $\pm$ ۰/۲۲	
Gmed_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۳۱ $\pm$ ۰/۲۰	۰/۱۳
	کنترل	۰/۲۸ $\pm$ ۰/۲۴	
Gmax_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۴۲ $\pm$ ۰/۲۲	۰/۵۵
	کنترل	۰/۲۰ $\pm$ ۰/۲۷	
BF_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۳۲ $\pm$ ۰/۲۶	۰/۰۴*
	کنترل	۰/۱۴ $\pm$ ۰/۱۳	
RF_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۲۷ $\pm$ ۰/۲۰	۰/۴۹
	کنترل	۰/۳۳ $\pm$ ۰/۲۹	
SL_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۲۲ $\pm$ ۰/۱۹	۰/۰۳*
	کنترل	۰/۲۷ $\pm$ ۰/۲۳	
TA_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۴۰ $\pm$ ۰/۲۱	۰/۴۱
	کنترل	۰/۴۵ $\pm$ ۰/۲۸	
PL_L	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۴۲ $\pm$ ۰/۲۵	۰/۵۹
	کنترل	۰/۳۷ $\pm$ ۰/۲۸	

طب توانبخشی

عضله Gmed: عضله گلوئوس مدیوس، Gmax: عضله گلوئوس ماکزیموس، BF: عضله بایسپس فمورس، RF: عضله رکتوس فمورس، SL: عضله سولوس، TA: عضله تیبالیس آنتریور، PL: عضله پروئوس لانگوس. L: پای چپ، R: پای راست. \* نشان‌دهنده اختلاف معناداری است ( $P < ۰/۰۵$ ).

جدول ۳. نتایج آزمون تی مستقل برای متغیرهای نیرو (درسه جهت) و مرکز فشار (در دو جهت)

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار	P*
Fx (نیوتن)	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۰/۷۲ $\pm$ ۲/۳۰	۰/۰۰۱
	کنترل	۲/۴۶ $\pm$ ۷/۱۳	
Fy (نیوتن)	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	-۴/۲۸ $\pm$ ۳/۷۸	۰/۰۰۱
	کنترل	-۱۴/۱۳ $\pm$ ۱۳/۷۶	
Fz (نیوتن)	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	-۷۱۰/۶۶ $\pm$ ۱/۳۵	۰/۰۰۹
	کنترل	-۸۳۱/۱۷ $\pm$ ۵/۳۸	
COPx (میلی‌متر)	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۶/۲۲ $\pm$ ۸/۰۰۹	۰/۰۰۱
	کنترل	۶/۷۱ $\pm$ ۱۶/۹۰	
COPy (میلی‌متر)	بی‌ثباتی مزمن مچ پا	۱۴۴/۲۷ $\pm$ ۲/۵۷	۰/۰۲
	کنترل	۱۱۰/۳۵ $\pm$ ۴/۸۹	

متغیر F: نیرو، متغیر COP: نوسانات مرکز فشار، (z، y، x) بیانگر جهات در سه صفحه هستند. \* نشان‌دهنده اختلاف معناداری است (P < ۰/۰۵). **طب توانبخشی**

## بحث

وجود این نتایج این مطالعه نشان داد تغییرات مرکز فشار در هر دو جهت بین گروه سالم و مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا تفاوت معنادار دارد. با این تفاوت که میزان آن در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در جهت X کمتر از گروه سالم و در جهت Y بیشتر از گروه سالم است. دلیل و چگونگی اثرگذاری بی‌ثباتی مزمن مچ پا بر مؤلفه‌های مرکز فشار هنوز نامشخص است.

نتایج مطالعات گذشته نشان داده بود انتقال مرکز فشار خارجی در طول فاز APA شروع راه رفتن غالباً به فعال شدن ابدکتورها و اداکتورهای ران و فلکشن زانوی پای ایستاده نسبت داده می‌شود [۲۶]. با وجود این، نمی‌توان نقش عضلات اینورتور و اورتور مچ پا را در این حرکت انکار کرد [۲۷]. نکته قابل توجه این است که علی‌رغم نقش مهم این عضلات در ثبات مفصل مچ پا، بی‌ثباتی مزمن مچ پا با ضعف در فعال‌سازی این عضلات مرتبط است [۲۹، ۲۸].

برخی از نویسندگان معتقدند این احتمال وجود دارد که تغییرات APA با یک استراتژی جبرانی اتخاذ شده توسط بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا برای به حداقل رساندن نیروهای پاسچرال مرتبط باشد [۲۲]. در این بررسی نتیجه مشابهی به دست آمد. پارامتر نیرو در ۳ جهت، در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در مقایسه با افراد سالم کاهش یافته بود. این تغییرات و سازگاری‌های ایجاد شده در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا را می‌توان به‌عنوان یک استراتژی ایمن برای کاهش خطر پیچ‌خوردگی مجدد مچ پا در نظر گرفت [۳۰]. پس از پیچ‌خوردگی خارجی مچ پا، افراد دچار نقص حس عمقی و به دنبال آن ایجاد برخی ناسازگاری‌های عصبی-عضلانی در اندام تحتانی می‌شوند که می‌تواند عامل اصلی اختلالات کنترل پاسچر باشد. به‌طور مثال،

هدف از این مطالعه ارزیابی پارامترهای کینتیکی و فعالیت عضلانی افراد با و بدون بی‌ثباتی مزمن مچ پا در فاز APA شروع راه رفتن بود. نتایج نشان داد پارامترهای کینتیکی بین ۲ گروه تفاوت معنادار دارند. همچنین نتایج الکترومایوگرافی در قالب متغیرهای فعالیت عضلانی عضلات موردنظر، حاکی از وجود تفاوت معناداری در فعالیت عضلانی برخی از عضلات بود.

اگرچه مطالعات اغتشاشی بخش مهمی از ادبیات بی‌ثباتی مزمن مچ پا است، اما آنالیز پارامترهای کینتیکی و فعال‌سازی عضلات در طول کارهای کاربردی، مانند راه رفتن، مفیدتر خواهد بود [۲۴]. بررسی فاز تنظیم وضعیتی پیش‌بینانه (APA) در شروع راه رفتن به‌عنوان ابزاری برای مطالعه مکانیسم‌های کنترل حرکتی فوق‌نخاعی پیشنهاد شده است؛ زیرا تنظیمات وضعیتی پیش‌بینانه پیش از شروع حرکت از طریق مسیرهای فوق‌نخاعی تعدیل می‌شود و نواحی حرکتی ثانویه به‌شدت در آن درگیر هستند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد تغییرات مربوط به افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، در فاز APA مستقل از این مسئله است که راه رفتن را با کدام پا (اندام آسیب‌دیده یا آسیب‌ندیده) آغاز کنند. اگرچه به نظر می‌رسد زمانی که راه رفتن را با پای آسیب‌دیده شروع کنند (یعنی پای آسیب‌دیده اولین قدم را بردارد)، این تغییرات غالب هستند [۲۵]. اکثر مطالعات کاهش جابه‌جایی مرکز فشار در طول فاز APA، به‌ویژه در جهت داخلی - خارجی (ML) در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در مقایسه با افراد سالم را گزارش کرده‌اند [۲۵، ۲۲]. این در حالی است که هیچ تغییری در جابه‌جایی مرکز فشار در جهت قدامی - خلفی (AP) در طول فاز APA مشاهده نشده است [۱۹، ۲۰، ۲۲]. با

اختلالات عصبی-عضلانی عضله سولئوس (SL) با نقص کنترل پاسچر در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا مرتبط است [۳۱].

براساس نتایج به‌دست‌آمده توسط دلاهورت و همکاران در سال ۲۰۰۶، افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در آماده‌سازی برای برخورد اولیه پا، یک الگوی کنترل حرکتی فیدفوروارد تغییر یافته ایجاد می‌کنند. آن‌ها معتقد بودند که این الگوی فیدفوروارد یک مکانیسم مهم در پیشگیری از آسیب، به‌ویژه در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا است [۳۲]. به‌طور کلی عملکرد عصبی-عضلانی مربوط به افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نگرانی زیادی ایجاد کرده است. فرض بر این است که فاز APA در شروع راه رفتن در امتداد جهت AP با سینرژی عضلات مچ پا انجام می‌شود. بدین معنی که با مهار ۲ طرفه عضله سولئوس (SL) و به دنبال آن فعال‌سازی ۲ طرفه عضله تییبالیس آنتریور (TA) صورت می‌گیرد [۲۰]. عضله SL یک عضله اصلی و حیاتی در کنترل پاسچر اندام تحتانی است؛ زیرا متشکل از ۷۰ تا ۹۰ درصد فیبرهای کند انقباض است و نقش کلیدی در حفظ بدن در وضعیت عمودی برای مدت‌زمان طولانی دارد [۳۱]. علاوه‌براین برخی مطالعات، بیشتر نقایص عصبی-عضلانی را مرتبط با فعال‌سازی عضله پرونتال گزارش کردند [۲۴] و اظهار کردند در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، علاوه بر مهار SL، مهار عضله پرونتال در همان سمت نیز وجود دارد [۳۳]. براساس نتایج مطالعات گذشته، مهار SL مرتبط با بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌تواند به تسهیل در عضلات چهارسر ران منجر شود؛ علاوه‌براین با استفاده از اصل بازداري متقابل، تسهیل استخر نورو حرکتی چهارسر ران ممکن است با مهار استخر نورو حرکتی هم‌سرتینگ مرتبط باشد [۳۳].

سدوری و همکاران نشان دادند عضله گلوئتوس ماکزیموس چپ (Gmax\_L)، به‌عنوان اکستنسور اولیه و اصلی ران، الگوهای فعال‌سازی را در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در هر دو اندام تغییر داده است [۳۳]. با این حال تحقیقات، نتایج متناقضی را در مورد این عضله نشان می‌دهند. در حالی که ویکستروم و همکاران (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیده بودند که عضله Gmax\_L در افراد سالم فعالیت بیشتری نسبت به افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا دارد [۱۲]؛ نتایج مطالعات لین و همکاران [۳۴] نشان‌دهنده افزایش فعالیت این عضله در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در مقایسه با افراد سالم است. با وجود این در سال بعد، دجانگ [۲۵] اظهار کرد در عضله Gmax\_L تفاوتی بین ۲ گروه وجود ندارد.

براساس مطالعات ریوس و همکاران [۳۶] و سان و همکاران [۳۷]، افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا استراتژی غالب هیپ (افزایش فعالیت گلوئتوس ماکزیموس (Gmax)) را نشان می‌دهند که بیانگر نقص حسی حرکتی است. علی‌رغم اینکه عضله Gmax و عضلات زانو در حین راه رفتن در صفحه ساجیتال ثبات پاسچر

را حفظ می‌کنند و می‌توانند با انقباض خارج از مرکز ضربه را کاهش دهند، عضله Gmed به حفظ کنترل پاسچر در صفحه فرونتال کمک می‌کند [۳۸]. دجانگ و همکاران و سان و همکاران [۳۷] نشان دادند عضله گلوئتوس مدیوس راست (Gmed\_r) در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در مرحله ایستادن کمتر فعال می‌شود. همچنین لین و همکاران [۳۴] معتقد بودند عضله Gmed\_r در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا فعال‌سازی کمتری نسبت به گروه سالم دارد. با وجود این تناقض‌هایی نیز دیده می‌شود. فیگر [۲۴] و کوشینو [۳۹] معتقد بودند تفاوتی بین ۲ گروه وجود ندارد.

علاوه بر عضلاتی که بررسی شد، عضله بایسپس فموریس (BF) نیز در مطالعات مورد بحث قرار می‌گیرد؛ چراکه کاهش فعال‌سازی عضله BF در حین راه رفتن ممکن است علاوه بر تأثیر در کارایی جذب ضربه، کاتابولیسم غضروف مفصلی را تغییر دهد و به دژنراسیون غضروف مربوط شود [۳۷، ۷]. فیگر [۲۴] و کوشینو [۳۹] هیچ تفاوتی در فعال‌سازی BF در راه رفتن بین ۲ گروه پیدا نکردند. با این حال می‌توان متصور شد افزایش BF ممکن است برای جبران بی‌ثباتی مچ پا باشد.

به‌طور کلی، می‌توان اظهار کرد پیش از شروع راه رفتن، عضله SL به‌عنوان پلنتار فلکسورهای مچ پا فعال می‌شوند تا با انقباض درون‌گرای خود، علاوه بر فراهم کردن نیروی لازم برای هل دادن بدن، موجب بلند شدن پاشنه از زمین نیز شوند. در ادامه برای جدا نگه داشتن پاشنه، عضله TA نیز فعال می‌شود. از طرف دیگر، در ابتدای شروع حرکت یعنی زمانی که سرعت راه رفتن زیاد نیست و نیروهای مفصلی بسیار کوچک قادر به ایجاد فلکشن زانو نیستند، فلکسورهای زانو از قبیل BF وارد عمل می‌شوند. در فعالیت‌های روزمره که در یک زنجیره کینتیکی بسته صورت می‌گیرد، عضلات TA و SL نقش مهمی در تنظیم تصویر مرکز فشار روی پای تکیه‌گاه دارند. در این مطالعه شاهد کاهش فعالیت این دو عضله در گروه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به گروه سالم بودیم. مطالعات گذشته نیز نتیجه گرفتند تأخیر در فعال‌سازی عضلات TA و SL و کاهش مقدار فعالیت این عضلات می‌تواند شتاب مرکز فشار در جهت اندام حمایت‌کننده را کاهش دهد و از آن به‌عنوان مکانیسم کاهش پیچ‌خوردگی مچ پا استفاده کند [۴۰]. استراتژی مچ پا، اولین استراتژی است که سعی در حفظ حالت تعادل بدن هنگام نوسان حول مفصل مچ پا دارد. مطابق این استراتژی، اصلاح و حفظ پاسچر از عضلات TA و SL به عضله BF صورت می‌گیرد. با این حال همچنان مکانیسم‌های اساسی تغییرات APA در بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا ناشناخته باقی مانده است. با توجه به اینکه افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، به اپیزودهای احساس ذهنی خالی شدن مچ پا و آسیب مجدد ادامه می‌دهند، استراتژی‌های مشاهده‌شده ممکن است راهبردهای حفاظتی ناکافی را نشان دهند.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر تغییر استراتژی‌های کنترل حرکتی فوق نخاعی و استفاده از استراتژی مچ پا در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در طول فاز APA شروع راه رفتن است. نتایج نشان می‌دهد در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا برای سازگاری با این آسیب و تلاش برای جلوگیری از آسیب مجدد، علاوه بر افزایش پارامترهای کنتیکی، شاهد کاهش فعالیت عضلات TA<sub>2</sub> و SL<sub>L</sub> و افزایش فعالیت عضله BF<sub>L</sub> هستیم. این تغییرات با هدف حفظ وضعیت بدن، نشان‌دهنده این است که الگوهای ارسالی از سیستم عصبی مرکزی (CNS) تغییر کرده است. پس این آسیب را نمی‌توان تنها در محیط بررسی کرد؛ بنابراین بی‌ثباتی مزمن مچ پا ممکن است یک آسیب مرکزی باشد.

این تحقیق مشابه تمامی تحقیقات دارای محدودیت‌هایی است. مورد اول: از جایی که پیش از شروع آزمایش، روند کار به‌صورت دقیق و با جزئیات به افراد توضیح داده شد، پس نتایج این پژوهش را نمی‌توان به شروع راه رفتن طبیعی تعمیم داد. به همین دلیل دستورالعمل شروع راه رفتن، ممکن است فاز APA را تغییر دهد. مورد دوم: به تحلیل زمانی فاز APA پرداخته نشد. به همین جهت پیشنهاد می‌شود در آینده الگوهای زمانی این فاز نیز تحلیل شوند. مورد سوم: با توجه به ماهیت مقطعی بودن پژوهش، نمی‌توان تعیین کرد که آیا بی‌ثباتی مزمن مچ پا منجر به تغییراتی می‌شود یا اینکه تغییر استراتژی‌های کنترل حرکتی فوق نخاعی پیشرفت بی‌ثباتی مزمن مچ پا را تسهیل می‌کند. مورد چهارم: مشخص نیست آیا استراتژی عصبی-عضلانی تحت تأثیر مراحل مختلف پیشرفت بی‌ثباتی مزمن مچ پا متفاوت است یا خیر.

## ملاحظات اخلاقی

## پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق پژوهشکده دانشگاه خوارزمی کد اخلاق به شماره (IR.KHUKRC.1000.135) در نظر گرفته شده است.

## حامی مالی

این مطالعه برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد شقایق زیوری در رشته بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند است و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.

## مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت‌کنندگان در این پژوهش تشکر می‌کنند.

## References

- [1] Watanabe T, Takabayashi T, Kikumoto T, Kikuchi Y, Suzuki S, Hiratsuka S, et al. Differences in abductor hallucis activity during running in individuals with chronic ankle instability and copers. *Gait & Posture*. 2023; 108:22-7. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2023.11.005] [PMID]
- [2] Rigby RB, Ptak NA. Incidence of Medial Deltoid Ligament Instability in 226 Patients With Chronic Ankle Instability. *The Journal of Foot & Ankle Surgery*. 2024; 63(2):245-9. [DOI:10.1053/j.jfas.2023.11.011] [PMID]
- [3] Lin CI, Houtenbos S, Lu YH, Mayer F, Wippert PM. The epidemiology of chronic ankle instability with perceived ankle instability- a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021; 14(1):41. [DOI:10.1186/s13047-021-00480-w] [PMID]
- [4] Lee H, Dennis HE, Han S, Hopkins JT, Seeley MK. Decreased rate of torque development in ankle evertors for individuals with chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*. 2023; 109:106096. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2023.106096] [PMID]
- [5] Watabe T, Takabayashi T, Tokunaga Y, Yoshida T, Kubo M. Copers adopt an altered movement pattern compared to individuals with chronic ankle instability and control groups in unexpected single-leg landing and cutting task. *Journal of Electromyography & Kinesiology*. 2021; 57:102529. [DOI:10.1016/j.jelekin.2021.102529] [PMID]
- [6] Son SJ, Kim H, Seeley MK, Hopkins JT. Movement strategies among groups of chronic ankle instability, coper, and control. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2017; 49(8):1649-61. [DOI:10.1249/MSS.0000000000001255] [PMID]
- [7] Hertel J, Corbett RO. An Updated Model of Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):572-88. [DOI:10.4085/1062-6050-344-18] [PMID]
- [8] Yousefi M, Sadeghi H. [Ankle movement pattern variation during walking in people with functional ankle instability: A review article (Persian)]. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2017; 6(2):234-45. [doi:10.22037/jrm.2017.1100330]
- [9] Kordi Ashkezari MH, Sahebozamani M, Daneshjoo A, Ab-basi Bafghi H. [Comparison of kinematic variables of ankle joint in athletes with functional ankle instability, coper and healthy during running (Persian)]. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*. 2021; 10(2):49-57. [doi:10.22038/jpsr.2021.45750.2063]
- [10] Kim H, Palmieri-Smith R, Kipp K. Muscle force contributions to ankle joint contact forces during an unanticipated cutting task in people with chronic ankle instability. *Journal of Biomechanics*. 2021; 124:110566. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2021.110566] [PMID]
- [11] Latash ML. *Neurophysiological basis of movement*. 2<sup>th</sup> ed. Champaign: Human Kinetics; 2008. [DOI:10.1093/acprof:oso/9780195333169.003.0007]
- [12] Wikstrom EA, Bishop MD, Inamdar AD, Hass CJ. Gait termination control strategies are altered in chronic ankle instability subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010; 42(1):197-205. [DOI:10.1249/MSS.0b013e3181ad1e2f] [PMID]
- [13] Fraser JJ, Hart JM, Saliba SF, Park JS, Tumperi M, Hertel J. Multisegmented ankle-foot kinematics during gait initiation in ankle sprains and chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2019; 68:80-8. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2019.05.017] [PMID]
- [14] Yamada H, Shinya M. Variability in the center of mass state during initiation of accurate forward step aimed at targets of different sizes. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021; 3:691307. [DOI:10.3389/fspor.2021.691307] [PMID]
- [15] Yousefi M, Zivari S, Yiou 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]
- [16] Mohamadi S, Ebrahimi I, Salavati M, Dadgoo M, Jafarpisheh AS, Rezaeian ZS. Attentional demands of postural control in chronic ankle instability, copers and healthy controls: A controlled cross-sectional study. *Gait & Posture*. 2020; 79:183-8. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2020.03.007] [PMID]
- [17] Mettler A, Chinn L, Saliba SA, McKeon PO, Hertel J. Balance training and center-of-pressure location in participants with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2015; 50(4):343-9. [DOI:10.4085/1062-6050-49.3.94] [PMID]
- [18] Uemura K, Yamada M, Nagai K, Tanaka B, Mori S, Ichihashi N. Fear of falling is associated with prolonged anticipatory postural adjustment during gait initiation under dual-task conditions in older adults. *Gait & Posture*. 2012; 35(2):282-6. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.09.100] [PMID]
- [19] 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]
- [20] 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]
- [21] Yiou E, Caderby T, Hussein T. Adaptability of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *World Journal of Orthopedics*. 2012; 3(6):75-86. [DOI:10.5312/wjo.v3.i6.75] [PMID]
- [22] 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]
- [23] Hoch JM, Hartzell J, Kosik KB, Cramer RJ, Gribble PA, Hoch MC. Continued validation and known groups validity of the Quick-FAAM: Inclusion of participants with chronic ankle instability and ankle sprain copers. *Physical Therapy in Sport*. 2020; 43:84-8. [DOI:10.1016/j.ptsp.2020.02.012] [PMID]
- [24] Feger MA, Donovan L, Hart JM, Hertel J. Lower extremity muscle activation in patients with or without chronic ankle instability during walking. *Journal of Athletic Training*. 2015; 50(4):350-7. [DOI:10.4085/1062-6050-50.2.06] [PMID]

- [25] Ebrahimabadi Z, Naimi SS, Rahimi A, Sadeghi H, Hosseini SM, Akbarzadeh Baghban A, 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:10.1016/j.jbmt.2017.03.016] [PMID]
- [26] Honeine JL, Schieppati M, Crisafulli O, Do MC. The neuro-mechanical processes that underlie goal-directed medio-lateral APA during gait initiation. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016; 10:445. [DOI:10.3389/fnhum.2016.00445] [PMID]
- [27] Hof AL, van Bockel RM, Schoppen T, Postema K. Control of lateral balance in walking. Experimental findings in normal subjects and above-knee amputees. *Gait & Posture*. 2007; 25(2):250-8. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2006.04.013] [PMID]
- [28] Arnold BL, Linens SW, de la Motte SJ, Ross SE. Concentric evtor strength differences and functional ankle instability: A meta-analysis. *Journal of Athletic Training*. 2009; 44(6):653-62. [DOI:10.4085/1062-6050-44.6.653] [PMID]
- [29] Labanca L, Mosca M, Ghislieri M, Agostini V, Knaflitz M, Benedetti MG. Muscle activations during functional tasks in individuals with chronic ankle instability: A systematic review of electromyographical studies. *Gait & Posture*. 2021; 90:340-73. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2021.09.182] [PMID]
- [30] Wikstrom EA, Anderson RB. Alterations in gait initiation are present in those with posttraumatic ankle osteoarthritis: A pilot study. *Journal of Applied Biomechanics*. 2013; 29(3):245-52. [DOI:10.1123/jab.29.3.245] [PMID]
- [31] Terada M, Bowker S, Thomas AC, Pietrosimone B, Hiller CE, Gribble PA. Corticospinal excitability and inhibition of the soleus in individuals with chronic ankle instability. *PM&R*. 2016; 8(11):1090-6. [DOI:10.1016/j.pmrj.2016.04.006] [PMID]
- [32] Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006; 34(12):1970-6. [DOI:10.1177/0363546506290989] [PMID]
- [33] Sedory EJ, McVey ED, Cross KM, Ingersoll CD, Hertel J. Arthrogenic muscle response of the quadriceps and hamstrings with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2007; 42(3):355-60. [PMID]
- [34] Lin CI, Khajooei M, Engel T, Nair A, Heikkila M, Kaplick H, et al. The effect of chronic ankle instability on muscle activations in lower extremities. *PloS One*. 2021; 16(2):e0247581. [DOI:10.1371/journal.pone.0247581] [PMID]
- [35] DeJong Lempke AF, Koldenhoven RM, Jaffri AH, Hertel J. Gluteal activity during gait in patients with chronic ankle instability following rehabilitation: A randomized controlled trial. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2022; 31(2):158-64. [DOI:10.1123/jsr.2021-0148] [PMID]
- [36] Rios JL, Gorges AL, dos Santos MJ. Individuals with chronic ankle instability compensate for their ankle deficits using proximal musculature to maintain reduced postural sway while kicking a ball. *Human Movement Science*. 2015; 43:33-44. [DOI:10.1016/j.humov.2015.07.001] [PMID]
- [37] Son SJ, Kim H, Seeley MK, Hopkins JT. Altered walking neuromechanics in patients with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):684-97. [DOI:10.4085/1062-6050-478-17] [PMID]
- [38] Reiman MP, Bolgla LA, Loudon JK. A literature review of studies evaluating gluteus maximus and gluteus medius activation during rehabilitation exercises. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2012; 28(4):257-68. [DOI:10.3109/09593985.2011.604981] [PMID]
- [39] Koshino Y, Ishida T, Yamanaka M, Ezawa Y, Okunuki T, Kobayashi T, et al. Kinematics and muscle activities of the lower limb during a side-cutting task in subjects with chronic ankle instability. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016; 24(4):1071-80. [DOI:10.1007/s00167-015-3745-y] [PMID]
- [40] Mitchell A, Dyson R, Hale T, Abraham C. Biomechanics of ankle instability. Part 1: Reaction time to simulated ankle sprain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008; 40(8):1515-21. [DOI:10.1249/MSS.0b013e31817356b6] [PMID]

پیوست ۱. لطفاً در هر سؤال تنها یک گزینه که وضعیت شما را در هفته گذشته بهتر توصیف می‌کند، علامت بزنیید. در صورتی که فعالیت موردنظر توسط چیزی جز پا و مچ پا محدود شده است، در قسمت سایر بنویسید.

متغیر	نسبتاً راحت	کمی سخت	سخت	واقعاً سخت	غیر قابل اجرا	سایر
ایستادن	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن روی سطح هموار	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن روی سطح هموار بدون کفش	۴	۳	۲	۱	۰	
بالا رفتن از سر بالایی	۴	۳	۲	۱	۰	
پایین آمدن از سرازیری	۴	۳	۲	۱	۰	
بالا رفتن از پله	۴	۳	۲	۱	۰	
پایین رفتن از پله	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن روی زمین ناهموار	۴	۳	۲	۱	۰	
بالا رفتن و پایین آمدن از لبه جدول	۴	۳	۲	۱	۰	
اسکوات (نشست و برخاست)	۴	۳	۲	۱	۰	
بالا رفتن سر پنجه	۴	۳	۲	۱	۰	
شروع راه رفتن	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن به مدت ۱۵ دقیقه یا کمتر	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن در حدود ۱۰ دقیقه	۴	۳	۲	۱	۰	
راه رفتن در حدود ۱۵ دقیقه یا بیشتر	۴	۳	۲	۱	۰	
کارهای منزل	۴	۳	۲	۱	۰	
انجام فعالیت‌های روزمره	۴	۳	۲	۱	۰	
کارهای شخصی	۴	۳	۲	۱	۰	
کارهای سبک تا متوسط (ایستادن، راه رفتن)	۴	۳	۲	۱	۰	
کارهای سنگین (هل دادن، کشیدن، بالا بردن، حمل کردن)	۴	۳	۲	۱	۰	
فعالیت‌های تفریحی	۴	۳	۲	۱	۰	

پیوست ۲. پرسش‌نامه ابزار بی‌ثباتی مچ پا کامبرلند (CAIT) (Cumberland Ankle Instability Tool)  
لطفاً در هر سؤال تنها یک گزینه که وضعیت شما را بهتر توصیف می‌کند، علامت بزنید.

امتیاز	پای راست	پای چپ	متغیر
۵			اصلاً
۴			هنگام ورزش
۳			هنگام دویدن روی سطح ناهموار
۲			هنگام دویدن روی سطح هموار
۱			هنگام راه رفتن روی سطح ناهموار
۰			هنگام راه رفتن روی سطح هموار
۴			اصلاً
۳			گاهی اوقات هنگام ورزش (نه همیشه)
۲			غالباً هنگام ورزش (همیشه)
۱			گاهی اوقات هنگام فعالیت روزانه (نه همیشه)
۰			غالباً هنگام فعالیت روزانه (همیشه)
۳			اصلاً
۲			گاهی اوقات هنگام دویدن
۱			اغلب هنگام دویدن
۰			هنگام راه رفتن
۳			اصلاً
۲			اگر سریع بروم
۱			گاهی
۰			همیشه
۲			هرگز
۱			وقتی روی پنجه پا می‌ایستم.
۰			وقتی حتی روی پای صاف می‌ایستم.
۳			هرگز
۲			وقتی از یک پا روی پای دیگر می‌پریم.
۱			وقتی لی لی درجا می‌روم.
۰			وقتی پرش انجام می‌دهم.
۳			هرگز
۲			وقتی روی سطح ناهموار سریع می‌دوم.
۱			وقتی روی سطح ناهموار نرم می‌دوم.
۰			وقتی روی سطح ناهموار راه می‌روم.
۳			وقتی روی سطح هموار راه می‌روم.

امتیاز	پای راست	پای چپ	متغیر
۳			بلافاصله
۲			اغلب
۱			گاهی اوقات
۰			هرگز
۳			هرگز حرکت روی مچ پا ندارم.
۳			تقریباً بلافاصله
۲			در کمتر از ۱ روز
۱			طی ۱ الی ۲ روز
۰			بیشتر از ۱ روز
۳			هرگز حرکت در مچ پا ندارم.

معمولاً وقتی شروع به حرکت برای چرخش روی مچ پا می‌کنم، ..... می‌توانم متوقف شوم.

بعد از یک حادثه معمولی حرکت در مچ پا، مفصل مچ پای من ..... به حالت عادی برمی‌گردد.

طب توانبخش

پیوست ۳. ارزیابی ورزشی توانایی پا و مچ پا

متغیر	نسبتاً راحت	کمی سخت	سخت	واقعاً سخت	غیرقابل اجرا	سایر
دویدن						
پریدن						
فرود آمدن						
انجام سریع حرکات اسکات و توقف						
حرکات پرشی / جانبی						
فعالیت‌ها با برخورد کم						
توانایی انجام فعالیت‌ها با تکنیک‌های طبیعی						
توانایی شرکت در فعالیت‌های ورزشی موردعلاقه تا زمان دلخواه						

طب توانبخش