Sport Medicine Studies

Sport Sciences Research Institute of Iran

Winter 2024/ Vol. 15/ No. 38/ Pages 31-46

Center of Pressure Trajectory during Walking and Running in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction History

A. Sharifi[1], V. Zolaktaf[2*], H. Esmaeili[3]

1. PhD student in Corrective exercises and Sport Injuries, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran
2. Professor, Department of Sport Injury and Corrective Exercise, School of Physical Education and Sports Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran
3. Ph.D. of Sports Biomechanics, Assistant Professor in, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Iran.

Received: 2023/04/27

Accepted: 2023/08/05

Sharifi, A; Zolaktaf, V; & Esmaeili, H. (2024). Center of Pressure Trajectory during Walking and Running in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction History. *Sport Medicine Studies*, 15(37), 31-46. In Persian. DOI: 10.22089/SMJ.2023.14733.1676

Abstract

Gait mechanics alternation remain after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). Evaluating the center of pressure (COP) trajectory is one of the variables that reflects whole mechanics of walking and running. The aim of this study was to compare the COP trajectory in people with a history of ACLR surgery. Forty-eight male basketball players (24 with history of surgery and 24 healthy) participated in this study. The barefoot walking and running COP of both legs of the subjects was recorded by the footscan device in two medio-lateral and antero-posterior directions and was calculated in 4 subphases of the stance phase. The results showed that COP trajectory in walking and running was more medially directed in the forefoot push-off subphase in the ACLR group. Additionally, in the ACLR group, COP of the injured leg in the forefoot push-off subphase during walking and running was more medially directed than the healthy leg. Regarding the results of the present study, it can be concluded that the COP trajectory is different from that of healthy subjects after ACLR. This difference in COP trajectory can result in altered knee loading and increase the risk of knee osteoarthritis.

Keyword: Center of Pressure Trajectory, ACL Reconstruction, Gait Mechanics

* Corresponding Author: Vahid Zolaktaf, Tel: 09131130369, E-mail: v.zolaktaf@spr.ui.ac.ir, https://orcid.org/ 0000-0002-8451-9701

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Background and Purpose

Kinematic and kinetic alterations are commonly observed following anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) surgery (1). While some of these alterations may be restored during the rehabilitation period, others may persist for up to 5 years after surgery, such as a decrease in knee extension moment and an increase in tibia internal rotation during locomotion (2, 3). These altered moments and rotations are directly linked to the center of pressure (COP) trajectory and spatiotemporal parameters, which can lead to early onset of knee osteoarthritis (4). The COP trajectory during the stance phase of locomotion is indicative of foot progression and is a valuable criterion for evaluating foot function and identifying injury risk (5). Given that the walking and running mechanics of ACLR patients differ from those of healthy individuals, there are currently no studies investigating the COP trajectory in individuals with a history of ACLR during walking and running. Therefore, the aim of this study was to examine the COP trajectory in individuals with a history of ACLR in comparison to healthy individuals.

Materials and Methods

Forty-eight physically active men (24 with a history of ACL surgery and 24 without a history of ACL surgery) participated in this study and signed in two groups of healthy and ACLR. Inclusion criteria were having unilateral ACL reconstruction on the dominant leg and complete rehabilitation period (for ACLR group), having at least 3 years of exercise experience, having no injuries and musculoskeletal disorders, and having no other injury in other lower extremity joint and surgery history. The ACLR group participants had no symptoms of pain, swelling, and/or giving-way during straight walking and running. The study was approved by the Research Ethics Committee in University of Isfahan with the reference number of (IR.UI.REC.1400.128) and all subjects gave informed consent. COP trajectory was measured by a footscan pressure plate (Rs scan International, Belgium, 578mm × 418m × 12 mm, 4096 sensors, 253 Hz). Each subject was asked to run barefoot 6 times with each foot at a speed of 3.3 m/s and walk 6 times at a speed of 2 m/s (6). Subjects ran and walked on footscan with both dominant and non-dominant legs. The software automatically calculated COP in two X and Y (mediolateral and anteroposterior) axes in four sub-phases. For each of these sub-phases, COP trajectory was calculated in the antero-posterior and medio-lateral directions. A 2 (side) × 2 (group) design MANOVA was used to compare the COP outcomes between the limbs in the groups. After determining the existence of differences between groups and sides, independent samples t-test was used to determine differences between two groups. ANOVA test was used between two sides in two groups separately to determine the amount of difference in each group. ttt tt tt isticll aaalssia aa s rrr frr mdd tt tpp $p \leq 0555$lelll .

Results

The results showed that in the mediolateral direction of COP trajectory, there was significant main effect of side ($F_{(1,46)}= 22.06$, $p= 0.00$) and interaction effect of side in group ($F_{(1,46)}= 35.30$, $p= 0.00$) for the FFPOP walking. It means that in the groups, the COP trajectory is different on both sides. In the ACLR group, trajectory of COP in dominant leg was more medially than non-dominant leg ($F_{(1,46)}= 50$, $p= 0.00$). The mediolateral direction of COP trajectory in running was similar to walking, and the side effect ($F_{(1,46)}= 6.68$, $p= 0.01$) and interaction effect of side in the group ($F_{(1,46)}= 10.7$, $p= 0.00$) were significant for FFPOP phase. The path of COP of dominant leg in ACLR group was more medially directed than that of non-dominant leg in FFPOP sub-phase ($F_{(1,46)}= 7.70$, $p= 0.01$).

Table1. Multivariate analyse of variance (the main effect of side and interaction effect of side × group) in walking and running roll-off characteristics.

			Walking				Running			
		phase	F	df	P	ES	F	Df	P	ES
Cop X	Side	ICP	2.05	1,46	.06	.09	2.42	1,46	.06	10
		FFCP	2.55	1,46	.11	.05	1.77	1,46	.18	.03
		FFP	.29	1,46	.59	.00	.83	1,46	.36	.01
		FFPOP	22.06	1,46	.00*	.32	6.68	1,46	.01*	.13
	Side * group	ICP	.12	1,46	.72	.00	.00	1,46	.93	.00
		FFCP	.01	1,46	.91	.00	.08	1,46	.77	.00
		FFP	.02	1,46	.87	.00	.02	1,46	.87	.00
		FFPOP	35.30	1,46	.00*	.43	10.7	1,46	.00*	.18
Cop Y	side	ICP	1.85	1,46	.18	.03	.76	1,46	.38	.01
		FFCP	.65	1,46	.42	.01	.01	1,46	.91	.00
		FFP	.29	1,46	.59	.00	.00	1,46	.98	.00
		FFPOP	.05	1,46	.82	.00	.25	1,46	.61	.00
	Side * group	ICP	.37	1,46	.54	.00	2.30	1,46	.13	.04
		FFCP	.01	1,46	.91	.00	3.16	1,46	.08	.64
		FFP	.05	1,46	.81	.00	.35	1,46	.55	.00
		FFPOP	1.33	1,46	.25	.02	.41	1,46	.52	.00

*Significant difference between groups

The results of the group comparisons indicate that during the FFPOP phase of walking, the COP trajectory in the medial-lateral direction was more medially directed in the injured leg of the group that underwent ACLR compared to the healthy group (T= -8.71, p= 0.00). Similarly, during running, the COP trajectory in the medial-lateral direction during the FFPOP phase was more medial in the injured leg of the ACLR group than the healthy group (T= -4.44, p= 0.00).

Conclusion

The findings of the present study indicate that during the FFPOP phase of walking and running, the COP trajectory of the injured leg in the group who underwent ACLR was deviated more medially than that of the healthy group. This suggests that there was more pronation in the ACLR group during gait. Previous research has demonstrated that in ACLR, the COP trajectory of the injured leg shifts more medially compared to the healthy leg, resulting in greater medial foot loading and foot pronation. These changes in foot pronation and internal tibial rotation may also affect the mechanics of more proximal joints in the lower limb. Therefore, it can be concluded that even 2 to 8 years after surgery, ACLR can alter the COP trajectory. This alteration, along with changes in muscle activity and mechanical adaptations, may contribute to changes in the mechanics of the body and the movement patterns during walking and running in patients with a history of ACLR. Coaches and sports rehabilitation specialists are advised to assess the COP trajectory along with the kinematics and kinetics of the lower limb during post-ACLR evaluations.

Keywords: Center of Pressure Trajectory, ACL Reconstruction, Gait Mechanics

References

1. Devita P, Hortobagyi T, Barrier J, Torry M, Glover KL, Speroni DL, et al. Gait adaptations before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. Medicine and science in sports and exercise. 1997;29(7):853-9.
2. Gokeler A, Benjaminse A, Van Eck C, Webster K, Schot L, Otten E. Return of normal gait as an outcome measurement in acl reconstructed patients. A systematic review. International journal of sports physical therapy. 2013;8(4):441.
3. Davis-Wilson HC, Pfeiffer SJ, Johnston CD, Seeley MK, Harkey MS, Blackburn JT, et al. Bilateral gait six- and twelve-months post-ACL reconstruction compared to controls. Medicine and science in sports and exercise. 2020;52(4):785.
4. Whittle MW. Gait analysis: an introduction: Butterworth-Heinemann; 2014.
5. Willems TM, De Clercq D, Delbaere K, Vanderstraeten G, De Cock A, Witvrouw E. A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. Gait & posture. 2006;23(1):91-8.
6. Anbarian M, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. Gait & posture. 2016; 48:52-6.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعات طب ورزشی

پژوهشگاه تربیت‌بدنی

زمستان ۱۴۰۲، دوره ۱۵، شماره ۳۸، صفحه‌های ۴۶-۳۱

مسیر مرکز فشار راه رفتن و دویدن در بیماران با سابقه بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی

علی شریفی[۱]، وحید ذوالاکتاف[۲]* ، حامد اسماعیلی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استاد، گروه حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳. دکترای بیومکانیک ورزشی، استادیار دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه اصفهان

Sharifi, A; Zolaktaf, V; & Esmaeili, H. (2024). Center of Pressure Trajectory during Walking and Running in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction History. *Sport Medicine Studies*, 15(37), 31-46. In Persian. DOI: 10.22089/SMJ.2023.14733.1676

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

چکیده

پس از عمل بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی، همچنان تغییراتی در مکانیک دویدن باقی می ماند. بررسی مسیر مرکز فشار یکی از متغیرهای نشان دهنده مکانیک کلی راه رفتن و دویدن است. هدف از مطالعه حاضر مقایسه مسیر مرکز فشار در افراد با سابقه جراحی بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی بود. ۴۸ بسکتبالیست مرد (۲۴ نفر با سابقه جراحی و ۲۴ نفر سالم) در این مطالعه شرکت کردند. مسیر مرکز فشار هر دو پای آزمودنی ها طی راه رفتن و دویدن با پای برهنه توسط دستگاه فوت اسکن در دو محور داخلی-خارجی و قدامی-خلفی ثبت و در ۴ زیرفاز مرحله سکون محاسبه شد. نتایج نشان داد که حین راه رفتن و دویدن در گروه با سابقه جراحی در فاز پوش آف جلوی پا مسیر مرکز فشار داخلی تر از گروه سالم بود. همچنین در گروه با سابقه جراحی، مسیر مرکز فشار پای آسیب دیده در فاز پوش آف جلوی پا حین راه رفتن و دویدن داخلی‌تر از پای سالم بود. از یافته های پژوهش حاضر می توان نتیجه گیری کرد که مسیر مرکز فشار افراد با سابقه بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی با افراد سالم متفاوت است. این تفاوت در مسیر مرکز فشار می‌تواند باعث تغییر بارگذاری زانو شده و خطر ابتلا به استئوآرتریت زانو را افزایش دهد.

واژگان کلیدی: مسیر مرکز فشار، بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی، مکانیک گام برداری

* Corresponding Author: Vahid Zolaktaf, Tel: 09131130369, E-mail: v.zolaktaf@spr.ui.ac.ir, https://orcid.org/ 0000-0002-8451-9701

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

پارگی لیگامنت متقاطع قدامی[1] از شایع ترین آسیب‌های اندام تحتانی است که باعث تغییر در مکانیک و الگوهای فعال در راه رفتن و دویدن می‌شود (۱). این تغییرات در پی درد و بی ثباتی مفصل زانو ایجاد شده و با اثرات منفی همراه می‌شود (۱). کاهش حس عمقی مفصل زانو، تغییر قدرت و نسبت قدرت عضلات اطراف زانو، اجتناب فعالیت عضله چهارسر، تغییر گشتاور اکستنسوری و کاهش فلکشن زانو و تغییر توزیع فشار کف پایی از مهمترین اثرات جانبی پس از آسیب لیگامنت متقاطع قدامی می‌باشند (۲, ۳). این اثرات جانبی در نهایت می‌تواند منجر به تغییر الگوهای بارهای وارد بر زانو در فعالیت های روزانه شده و خطر ابتلا به استئوآتریت زودرس را افزایش می‌دهد (۴). بسیاری از افرادی که به پارگی لیگامنت متقاطع قدامی مبتلا می‌شوند، برای بازگرداندن ثبات و بازگشت به فعالیت تحت عمل جراحی بازسازی قرار می‌گیرند (۵). پس از انجام عمل بازسازی بعضی از اختلالات حرکتی مانند حس عمقی، قدرت و نسبت گشتاور عضلانی بهبود یافته و رفتاری مشابه با افراد سالم دارند (۳). بهبود نسبت گشتاور عضلات و حس عمقی همراه با گراف پیوند شده در مفصل زانو علاوه بر ایجاد ثبات باعث کاهش نیروی برشی در مفصل زانو می شود (۶). ادبیات تحقیق نشان می دهد پس از جراحی، کینماتیک و کینتیک زانو مثل گشتاور اکستنشن زانو، گشتاور اداکشن ران و چرخش داخلی تیبیا بازیابی نشده و مشاهده می شود حتی تا ۵ سال پس از جراحی باعث تغییر الگوی گام برداری در این افراد می شود (۷-۹). تغییرات کینماتیکی مثل افزایش چرخش داخلی تیبیا با انحراف مچ و تغییر در کینتیک، بارگذاری پا، پارامترهای فضایی-زمانی و مسیر مرکز فشار ارتباط مستقیم دارد که باعث توسعه زودرس استئوآرتریت زانو می شود (۱۰).

مرکز فشار[2] نقطه محل اعمال بردار نیروی واکنش عمودی زمین است و منعکس کننده برآیند تمام نیروهای وارده از سمت بدن انسان و مکانیک کلی حرکت است (۱۱). وضعیت مرکز فشار در مرحله سکون[3] راه رفتن مشخصه پیشرفت پا روی زمین بوده و ملاکی برای بررسی کنترل تعادل و عملکرد کلی اندام تحتانی می باشد (۱۲) و انحرافات آن نشان دهنده بروز اختلال در عملکرد اندام تحتانی است (۱۳). در پژوهش‌های گذشته نشان داده شده که مسیر مرکز فشار حین راه رفتن و دویدن ملاک و معیار معتبری برای ارزیابی عملکرد کلی پا و شناسایی ریسک آسیب است (۱۴). محمدی راد و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی پایایی ارزیابی مسیر مرکز فشار را حین راه رفتن و دویدن پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی بررسی کردند (۱۳) و نشان دادند ارزیابی مسیر مرکز فشار روش مناسبی برای ارزیابی ورزشکاران پس از جراحی می باشد (۱۳). تغییرپذیری موقعیت مسیر مرکز فشار ممکن است بارگذاری ساختارهای مختلف اندام تحتانی را تغییر داده و باعث به وجود آمدن استرس‌های مکرر به این ساختارها شود (۱۴). حین دویدن و راه رفتن تغییرات داخلی- خارجی و قدامی-خلفی مسیر مرکز فشار به وجود می آید که با تغییرات بارگذاری زانو در گام برداری در ارتباط است (۱۵). به طور مثال انحراف داخلی مسیر مرکز فشار نشان دهنده پرونیشن مچ پا می‌باشد که با چرخش داخلی ساق، والگوس زانو و افزایش گشتاور ابداکتوری ران همراه است (۷, ۱۶). همچنین مسیر مرکز فشار می‌تواند اطلاعات زیادی در رابطه با گشتاورها و کنترل حرکتی اندام تحتانی ارائه دهد (۱۷). هوانگ و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که پس از آسیب لیگامنت متقاطع قدامی، مسیر مرکز فشار همراه با

1. Anterior cruciate ligament (ACL)
2. Center of pressure (COP)
3. Stance

کینماتیک اندام تحتانی تغییر می‌کند که این تغییرات زمینه ساز بروز استئوآرتریت زودرس است (۱۸). آنها بررسی مسیر مرکز فشار حین راه رفتن و دویدن را یک روش عملی برای هدایت و ارزیابی جراحی و تکنیک‌های توانبخشی در افراد با پارگی لیگامنت متقاطع قدامی دانستند (۱۲). از طرف دیگر اندازه گیری فشار کف پایی درارزیابی‌های ویژگی‌های رول آف[1] کاربردی هستند (۱۹).

بررسی ویژگی‌های فرآیند رول آف که مکانیک کلی بدن را نشان می‌دهد و تحت تاثیر عوامل بیومکانیکی قرار می‌گیرد ملاک خوبی برای ارزیابی داینامیک راه رفتن در افراد آسیب دیده و جراحی کرده می‌باشد (۱۲). باتوجه به اینکه مکانیک راه رفتن و دویدن پس از عمل جراحی همچنان دارای تفاوت‌هایی با افراد سالم می‌باشد، هنوز مطالعه‌ای که مسیر مرکز فشار در افراد با سابقه لیگامنت متقاطع قدامی حین راه رفتن و دویدن را بررسی کرده باشد وجود ندارد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی مسیر مرکز فشار پا در افراد با سابقه لیگامنت متقاطع قدامی و مقایسه آن با افراد سالم می‌باشد. چنین فرض می‌شود که مسیر مرکز فشار در این افراد پس از جراحی نسبت به افراد سالم متفاوت است. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در شناسایی بهتر اختلافات افراد جراحی کرده و سالم و ارزیابی روند بهبود برای متخصصان توانبخشی ورزشی مفید باشد.

روش پژوهش

در این پژوهش ۴۸ بسکتبالیست حرفه‌ای (۲۴ نفر با سابقه جراحی و ۲۴ نفر سالم) انتخاب و در دو گروه سالم و جراحی کرده قرار گرفتند. معیار ورود به تحقیق شامل: سابقه جراحی بازسازی یک طرفه لیگامنت متقاطع قدامی در پای برتر و اتمام کامل دوره توانبخشی در گروه جراحی کرده، داشتن سابقه حداقل ۳ سال بازی در لیگ‌های حرفه ای، عدم وجود آسیب و اختلالات اسکلتی عضلانی جدید و عدم سابقه جراحی اندام تحتانی در گروه سالم بود. کمیته اخلاق دانشگاه اصفهان این تحقیق را تایید (IR.UI.REC.1400.128) کرده و شرکت کنندگان فرم رضایت آگاهانه را امضا کردند. اطلاعات دموگرافیک شرکت کنندگان در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت شناختی افراد شرکت کننده در پژوهش

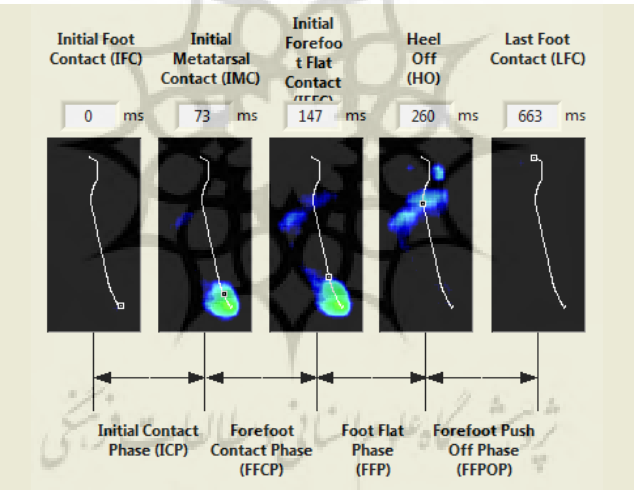
Table 1- Demographic information of the participants (mean ± standard deviation)

	تعداد	سن (سال)	قد (cm)	جرم (kg)	شاخص توده بدن ($kg.m^{-2}$)	زمان جراحی (سال)
سالم	۲۴	۲۴.۲ ± ۴.۱	۱۸۶.۹ ± ۸.۴	۸۰ ± ۷.۷	۲۲.۹ ± ۱.۴	-
جراحی کرده	۲۴	۲۶ ± ۴.۵	۱۸۳ ± ۸.۸	۸۴.۱ ± ۱۰.۳	۲۵.۱ ± ۲.۳	۵.۱ ± ۲.۱

پس از ورود به آزمایشگاه علوم ورزشی، ابتدا کلیه مراحل آزمون برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد و شرکت کنندگان برای آشنایی با شرایط آزمون چندین بار تست‌ها را انجام دادند. دستگاه صفحه فشار فوت اسکن (Rsscan International, Belgium, 578mm × 418m × 12 mm, 4096 sensors, 253 Hz) وسط یک باند ۱۸ متری قرار داده شد و از آزمودنی‌ها خواسته شد تا ریتم و الگوی دویدن و راه رفتن خود را حین گام برداری بر روی دستگاه تغییر ندهند. سپس از هر آزمودنی خواسته شد تا

1. Roll-off

با پای برهنه ۶ بار با هر پا در سرعت ۳.۳ متر بر ثانیه بدود و ۶ بار با سرعت ۲ متر بر ثانیه راه برود (۲۰). سرعت دویدن و راه رفتن با دو عدد فوتوسل مادون قرمز (New Test Power Timer, Finland) کنترل شد. زمانبندی زیرفازهای مرحله سکون و مسیر مرکز فشار پای برتر و غیر برتر دو گروه توسط نرم افزار (footscan 7 USB2) حین راه رفتن و دویدن اندازه گیری شد. بر اساس زمان‌بندی هر پا میانگین ۶ نوبت راه رفتن و ۶ نوبت دویدن گرفته شده به‌عنوان رکورد فرد ثبت شد. سپس، مسیر مرکز فشار همه شرکت کنندگان در دو محور X و Y استخراج شد و طبق زمان‌بندی مرحله سکون به ۴ زیرفاز تقسیم شد تا برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شود. این ۴ زیرفاز از تماس پنج نقطه پا با زمین حین رول آف تشکیل می شود (شکل۱) که این پنج نقطه شامل: تماس اولیه پا[1]، تماس اولین متاتارسال[2]، صاف شدن جلوی پا[3]، جدا شدن پاشنه[4] و تماس انتهایی پا[5] است. چهار زیرفاز تشکیل شده نیز عبارتند از: ۱- مرحله تماس اولیه[6] (بین تماس اولیه پا و تماس اولین متاتارسال)، ۲- مرحله تماس جلوی پا[7] (بین تماس اولین متاتارسال تا صاف شدن جلوی پا)، مرحله صاف شدن پا[8] (بین صاف شدن جلوی پا تا جدا شدن پاشنه)، مرحله پوش آف جلوی پا[9] (بین جداشدن پاشنه تا تماس انتهایی پا) (۲۱). نرم افزار به طور خودکار مسیر مرکز فشار را در دو محور X و Y (داخلی خارجی و قدامی خلفی) محاسبه کرد. برای هر یک از این زیرفازهای گام برداری، مسیر مرکز فشار در جهت قدامی خلفی و میانی جانبی محاسبه شد و توسط نرم افزار متلب با میانیابی خطی به ۱۰۱ نقطه (۰ تا ۱۰۰ درصد) تبدیل شد و آماده تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.



شکل۱- پنج لحظه تماس پا

Figure 1- Five distinct instants of foot roll-off

1. First Foot Contact
2. First Metatarsal Contact
3. Forefoot Flat
4. Heel-Off
5. Last Foot Contact
6. Initial Contact Phase (ICP)
7. Forefoot contact Phase (FCP)
8. Foot flat Phase (FFP)
9. Forefoot Push-off Phase (FFPOP)

نرمال بودن توزیع داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک تایید شد. از آزمون تحلیل واریانس چند متغیره برای مقایسه مسیر مرکز فشار با طرح ۲ (سمت: آسیب دیده و سالم) × ۲ (گروه: سالم و جراحی کرده) استفاده شد. پس از تعیین وجود تفاوت بین گروه ها و سمت، از آزمون تی مستقل برای تعیین تفاوت بین دو گروه استفاده شد. برای تعیین میزان اختلاف در هر گروه از آزمون تحلیل واریانس بین دو سمت در دو گروه جداگانه استفاده شد و تجزیه و تحلیل آماری[1] در سطح $P \leq ۰.۰۵$ انجام شد.

نتایج

نتایج تحلیل واریانس برای داده‌های تکراری نشان داد که در مسیر مرکز فشار در محور داخلی خارجی اثر سمت ($P = ۰/۰۰$, $F(۱,۴۶) = ۲۲/۰۶$) و اثر تعاملی سمت در گروه ($P = ۰/۰۰$, $F(۱,۴۶) = ۳۵/۳۰$) زیر فاز پوش آف جلوی پا در راه رفتن معنادار بود (جدول۲). همچنین در دویدن، اثر تعاملی سمت در گروه در زیر فاز پوش آف جلوی پا در در محور داخلی خارجی معنادار بود ($P = ۰/۰۰$, $F(۱,۴۶) = ۱۰/۷۰$). یعنی در گروه‌ها مسیر مرکز فشار در دو سمت بدن متفاوت است. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که در محور قدامی-خلفی راه رفتن و دویدن تغییر معناداری در هیچ یک از زیرفازهای مرحله سکون مشاهده نشد ($P< ۰/۰۵$).

جدول ۲-تحلیل واریانس چند متغیره (اثر سمت و اثر تعاملی سمت × گروه) در مسیر مرکز فشار راه رفتن و دویدن.

Table2- Multivariate analyze of variance (the main effect of side and interaction effect of side × group) in walking and running center of pressure trajectory.

فعالیت	محور	اثر	فاز	F	Df	P	ES
راه رفتن	X	سمت	ICP	۲.۰۵	۱،۴۶	۰.۰۶	۰.۰۹
			FFCP	۲.۵۵	۱،۴۶	۰.۱۱	۰.۰۵
			FFP	۰.۲۹	۱،۴۶	۰.۵۹	۰.۰۰
			FFPOP	۲۲.۰۶	۱،۴۶	٭۰.۰۰	**۰.۳۲**
		سمت × گروه	ICP	۰.۱۲	۱،۴۶	۰.۷۲	۰.۰۰
			FFCP	۰.۰۱	۱،۴۶	۰.۹۱	۰.۰۰
			FFP	۰.۰۲	۱،۴۶	۰.۸۷	۰.۰۰
			FFPOP	۳۵.۳۰	۱،۴۶	٭۰.۰۰	۰.۴۳
	Y	سمت	ICP	۱.۸۵	۱،۴۶	۰.۱۸	۰.۰۳
			FFCP	۰.۶۵	۱،۴۶	۰.۴۲	۰.۰۱
			FFP	۰.۲۹	۱،۴۶	۰.۵۹	۰.۰۰
			FFPOP	۰.۰۵	۱،۴۶	۰.۸۲	۰.۰۰
		سمت × گروه	ICP	۰.۳۷	۱،۴۶	۰.۵۴	۰.۰۰
			FFCP	۰.۰۱	۱،۴۶	۰.۹۱	۰.۰۰
			FFP	۰.۰۵	۱،۴۶	۰.۸۱	۰.۰۰
			FFPOP	۱.۳۳	۱،۴۶	۰.۲۵	۰.۰۲

1. SPSS Inc, Chicago, IL, USA

جدول ۲-تحلیل واریانس چند متغیره (اثر سمت و اثر تعاملی سمت × گروه) در مسیر مرکز فشار راه رفتن و دویدن.

Table2- Multivariate analyze of variance (the main effect of side and interaction effect of side × group) in walking and running center of pressure trajectory.

فعالیت	محور	اثر	فاز	F	Df	P	ES
دویدن	X	سمت	ICP	۲.۴۲	۱،۴۶	۰.۰۶	۰.۱۰
			FFCP	۱.۷۷	۱،۴۶	۰.۱۸	۰.۰۳
			FFP	۰.۸۳	۱،۴۶	۰.۳۶	۰.۰۱
			FFPOP	۰.۶۸	۱،۴۶	۰.۴۱	۰.۰۱
		سمت × گروه	ICP	۰.۰۰	۱،۴۶	۰.۹۳	۰.۰۰
			FFCP	۰.۰۸	۱،۴۶	۰.۷۷	۰.۰۰
			FFP	۰.۰۲	۱،۴۶	۰.۸۷	۰.۰۰
			FFPOP	۱۰.۷۰	۱،۴۶	❋۰.۰۰	۰.۱۸
	Y	سمت	ICP	۰.۷۶	۱،۴۶	۰.۳۸	۰.۰۱
			FFCP	۰.۰۱	۱،۴۶	۰.۹۱	۰.۰۰
			FFP	۰.۰۰	۱،۴۶	۰.۹۸	۰.۰۰
			FFPOP	۰.۲۵	۱،۴۶	۰.۶۱	۰.۰۰
		سمت × گروه	ICP	۲.۳۰	۱،۴۶	۰.۱۳	۰.۰۴
			FFCP	۳.۱۶	۱،۴۶	۰.۰۸	۰.۶۴
			FFP	۰.۳۵	۱،۴۶	۰.۵۵	۰.۰۰
			FFPOP	۰.۴۱	۱،۴۶	۰.۵۲	۰.۰۰

❋- معناداری در سطح α =۰/۰۵

مقایسه دو سمت در دو گروه سالم و جراحی کرده در جدول ۳ نشان می‌دهد که در راه رفتن و دویدن گروه جراحی کرده، مسیر مرکز فشار پای برتر در زیر فاز پوش آف جلوی پا در محور داخلی خارجی، داخلی‌تر از پای غیربرتر بود (P = ۰/۰۰ , ۵۰ = $F_{(1,46)}$) ($F_{(1,46)}$ = ۷/۷۰ , P = ۰/۰۱).

جدول ۳- مقایسه مسیر مرکز فشار پای برتر و غیر برتر درگروه جراحی کرده و سالم در حین راه رفتن و دویدن (میانگین ± انحراف استاندارد).

Table 3- comparison of the center of pressure trajectory between dominant and non-dominant leg in ACLR and healthy during walking and running (mean ± standard deviation)

فعالیت	محور	فاز	گروه	پای برتر (میلیمتر)	پای غیربرتر (میلیمتر)	F	sig	ES
راه رفتن	X	ICP	سالم	۲.۱ ± ۱.۳۸	۳.۳ ± ۲.۷۳	۱.۶	۰.۱۴	۰.۱۶
			جراحی کرده	۲.۱ ± ۳.۸۶	۳.۸ ± ۳.۲۲	۲	۰.۱۶	۰.۰۸
		FFCP	سالم	۴.۵ ± ۲.۵	۶.۱ ± ۳.۹۰	۲.۶۲	۰.۱۱	۰.۱۰
			جراحی کرده	۴.۸ ± ۵.۰۲	۶.۲ ± ۴.۷۰	۰.۷۶	۰.۳۹	۰.۰۳
		FFP	سالم	۸.۲ ± ۵.۲۴	۷.۵ ± ۴.۵۸	۰.۲۴	۰.۶۲	۰.۰۱
			جراحی کرده	۷.۶ ± ۴.۰۴	۷.۳ ± ۵.۴۱	۰.۰۷	۰.۷۸	۰.۰۰
		FFPOP	سالم	-۶ ± ۲.۷۰	-۵.۲ ± ۲.۴۴	۰.۸۹	**۰.۳۵**	**۰.۰۳**
			جراحی کرده	۲.۵ ± ۳.۹۶	-۴.۱ ± ۲.۴۷	۵۰	❋۰.۰۰	۰.۶۸

جدول ۳- مقایسه مسیر مرکز فشار پای برتر و غیر برتر درگروه جراحی کرده و سالم در حین راه رفتن و دویدن (میانگین ± انحراف استاندارد).

Table 3- comparison of the center of pressure trajectory between dominant and non-dominant leg in ACLR and healthy during walking and running (mean ± standard deviation)

فعالیت	محور	فاز	گروه	پای برتر (میلیمتر)	پای غیربرتر (میلیمتر)	F	sig	ES
		ICP	سالم	۱۴.۱ ± ۵.۴۶	۱۴.۶ ± ۴.۷۱	۰.۲۷	۰.۶۰	۰.۰۱
			جراحی کرده	۱۵.۶ ± ۵.۰۴	۱۷.۱ ± ۶.۳۰	۲	۰.۱۷	۰.۰۸
		FFCP	سالم	۴۸.۹ ± ۱۷.۸۸	۵۱.۲ ± ۱۰.۳	۰.۷۴	۰.۳۹	۰.۰۳
	Y		جراحی کرده	۵۵ ± ۱۶.۹۳	۵۶.۷ ± ۱۶.۰۶	۰.۱۷	۰.۶۸	۰.۰۰
		FFP	سالم	۹۳.۸ ± ۳۹.۹۹	۹۰.۳ ± ۲۶.۳۸	۰.۳۹	۰.۵۳	۰.۰۱
			جراحی کرده	۱۰۰.۲ ± ۳۱.۷۹	۹۸.۸ ± ۳۳.۴۰	۰.۰۳	۰.۸۴	۰.۰۰
		FFPOP	سالم	۱۷۵.۱ ± ۲۰.۷۲	۱۷۷.۵ ± ۱۵.۴۰	۰.۸۵	۰.۳۶	۰.۰۳
			جراحی کرده	۱۸۳.۳ ± ۱۵.۳۰	۱۸۵.۷ ± ۱۷.۷۰	۰.۴۸	۰.۴۹	۰.۰۲
		ICP	سالم	۳.۳ ± ۲.۱۴	۵ ± ۲.۷۷	۱.۲	۰.۱۰	۰.۲۶
			جراحی کرده	۳.۲ ± ۳.۳۹	۴.۸ ± ۳.۷۷	۱.۵۳	۰.۲۲	۰.۰۶
		FFCP	سالم	۵.۱ ± ۲.۸۹	۶.۴ ± ۳.۲۰	۲	۰.۱۶	۰.۰۸
	X		جراحی کرده	۵.۷ ± ۳.۷۲	۶.۵ ± ۴.۷۲	۰.۴۰	۰.۵۳	۰.۰۱
		FFP	سالم	۴.۶ ± ۲.۳۶	۵.۱ ± ۳.۳۵	۰.۳۲	۰.۵۷	۰.۰۱
			جراحی کرده	۴.۵ ± ۲.۹۷	۵.۳ ± ۴.۵۶	۰.۵۱	۰.۴۸	۰.۰۲
		FFPOP	سالم	-۳.۹ ± ۲.۸۳	-۵.۶ ± ۲.۸۹	۳.۲	**۰.۰۸**	**۰.۱۲**
دویدن			جراحی کرده	۱.۱ ± ۳.۵۹	-۵.۴ ± ۳.۴۱	۷.۷	***۰.۰۱**	۰.۲۵
		ICP	سالم	۱۱.۵ ± ۳.۲۲	۱۲.۱ ± ۶.۴۵	۰.۲۴	۰.۶۲	۰.۰۱
			جراحی کرده	۱۴.۹ ± ۶.۸۹	۱۲.۸ ± ۴.۰۱	۲.۴۵	۰.۱۳	۰.۰۹
		FFCP	سالم	۴۹.۴ ± ۱۲.۳۰	۵۴.۵ ± ۲۱.۶۳	۱	۰.۳۱	۰.۰۴
	Y		جراحی کرده	۶۰.۶ ± ۱۹.۷۳	۵۴.۹ ± ۱۶.۰۴	۲.۶۶	۰.۱۱	۰.۱۰
		FFP	سالم	۱۱۲ ± ۱۶.۰۲	۱۱۳.۴ ± ۲۷.۶۸	۰.۱۴	۰.۷۱	۰.۰۰
			جراحی کرده	۱۲۲.۳ ± ۱۵.۷۶	۱۲۰.۸ ± ۱۶.۳۸	۰.۲۲	۰.۶۴	۰.۰۱
		FFPOP	سالم	۱۹۴.۳ ± ۱۴.۹۵	۱۹۲.۷ ± ۱۴.۸۰	۰.۷۷	۰.۳۸	۰.۰۳
			جراحی کرده	۱۹۸.۴ ± ۱۵.۵۴	۱۹۸.۶ ± ۱۶.۹۴	۰.۰۰	۰.۹۲	۰.۰۰

*- معناداری در سطح α =۰/۰۵

در مقایسه بین دو گروه (جدول ۴) نتایج نشان داد که پای برتر گروه جراحی کرده در زیر فاز پوش آف جلوی پا در محور داخلی خارجی راه رفتن و دویدن مسیر مرکز فشار داخلی تر نسبت به پای برتر گروه سالم دارد (P= ۰/۰۰، T= -۸/۷) (P= ۰/۰۰، T= -۴/۴).

جدول ۴- مقایسه مسیر مرکز فشار گروه جراحی کرده و سالم در حین راه رفتن و دویدن (میانگین ± انحراف استاندارد).

Table 4- comparison of center of pressure trajectory between ACLR and healthy during walking and running (mean ± standard deviation)

فعالیت	محور	فاز	سمت	گروه سالم (میلیمتر)	گروه جراحی کرده (میلیمتر)	T	sig
راه رفتن	X	ICP	برتر	۲.۱ ± ۱.۳۸	۲.۱ ± ۳.۸۶	-۰.۷۴	۰.۹۴
			غیربرتر	۳.۳ ± ۲.۷۳	۳.۸ ± ۳.۲۲	-۰.۵۹	۰.۵۵
		FFCP	برتر	۴.۵ ± ۲.۵	۴.۸ ± ۵.۰۲	-۰.۲۵	۰.۸۰
			غیربرتر	۶.۱ ± ۳.۹۰	۶.۲ ± ۴.۷۰	-۰.۰۷	۰.۹۳
		FFP	برتر	۸.۲ ± ۵.۲۴	۷.۶ ± ۴.۰۴	۰.۴۳	۰.۶۷
			غیربرتر	۷.۵ ± ۴.۵۸	۷.۳ ± ۵.۴۱	۰.۱۹	۰.۸۴
		FFPOP	برتر	-۶ ± ۲.۷۰	۲.۵ ± ۳.۹۶	-۸.۷	*۰.۰۰
			غیربرتر	-۵.۲ ± ۲.۴۴	-۴.۱ ± ۲.۴۷	-۱.۴۸	۰.۱۴
	Y	ICP	برتر	۱۴.۱ ± ۵.۴۶	۱۵.۶ ± ۵.۰۴	-۱.۰۳	۰.۳۰
			غیربرتر	۱۴.۶ ± ۴.۷۱	۱۷.۱ ± ۶.۳۰	-۱.۵۴	۰.۱۳
		FFCP	برتر	۴۸.۹ ± ۱۷.۸۸	۵۵ ± ۱۶.۹۳	-۱.۲۱	۰.۲۳
			غیربرتر	۵۱.۲ ± ۱۰.۳	۵۶.۷ ± ۱۶.۰۶	-۱.۴۱	۰.۱۶
		FFP	برتر	۹۳.۸ ± ۳۹.۹۹	۱۰۰.۲ ± ۳۱.۷۹	-۰.۶	۰.۵۴
			غیربرتر	۹۰.۳ ± ۲۶.۳۸	۹۸.۸ ± ۳۳.۴۰	-۰.۹۷	۰.۳۳
		FFPOP	برتر	۱۷۵.۱ ± ۲۰.۷۲	۱۸۳.۳ ± ۱۵.۳۰	-۱.۳۱	۰.۱۲
			غیربرتر	۱۷۷.۵ ± ۱۵.۴۰	۱۸۵.۷ ± ۱۷.۷۰	-۱.۷۱	۰.۰۹
دویدن	X	ICP	برتر	۳.۳ ± ۲.۱۴	۳.۲ ± ۳.۳۹	۰.۱۱	۰.۹۰
			غیربرتر	۵ ± ۲.۷۷	۴.۸ ± ۳.۷۷	۰.۲۱	۰.۸۳
		FFCP	برتر	۵.۱ ± ۲.۸۹	۵.۷ ± ۳.۷۲	-۰.۶۱	۰.۵۴
			غیربرتر	۶.۴ ± ۳.۲۰	۶.۵ ± ۴.۷۲	-۰.۰۹	۰.۹۲
		FFP	برتر	۴.۶ ± ۲.۳۶	۴.۵ ± ۲.۹۷	۰.۱۴	۰.۸۸
			غیربرتر	۵.۱ ± ۳.۳۵	۵.۳ ± ۴.۵۶	-۰.۰۹	۰.۹۲
		FFPOP	برتر	-۳.۹ ± ۲.۸۳	۱.۱ ± ۳.۵۹	-۴.۴۴	*۰.۰۰
			غیربرتر	-۵.۶ ± ۲.۸۹	-۵.۴ ± ۳.۴۱	-۰.۲۳	۰.۸۱
	Y	ICP	برتر	۱۱.۵ ± ۳.۲۲	۱۴.۹ ± ۶.۸۹	-۱.۸۶	۰.۰۶
			غیربرتر	۱۲.۱ ± ۶.۴۵	۱۲.۸ ± ۴.۰۱	-۰.۴۷	۰.۶۳
		FFCP	برتر	۴۹.۴ ± ۱۲.۳۰	۶۰.۶ ± ۱۹.۷۳	-۲.۳۱	۰.۱۰
			غیربرتر	۵۴.۵ ± ۲۱.۶۳	۵۴.۹ ± ۱۶.۰۴	-۰.۰۷	۰.۹۳
		FFP	برتر	۱۱۲ ± ۱۶.۰۲	۱۲۲.۳ ± ۱۵.۷۶	-۱.۴۴	۰.۱۵
			غیربرتر	۱۱۳.۴ ± ۲۷.۶۸	۱۲۰.۸ ± ۱۶.۳۸	-۰.۶۴	۰.۳۱
		FFPOP	برتر	۱۹۴.۳ ± ۱۴.۹۵	۱۹۸.۴ ± ۱۵.۵۴	-۳.۳۰	۰.۱۸
			غیربرتر	۱۹۲.۷ ± ۱۴.۸۰	۱۹۸.۶ ± ۱۶.۹۴	-۳.۵۴	۰.۲۱

*- معناداری در سطح α =۰/۰۵

بحث و نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر مقایسه مسیر مرکز فشار در دویدن و راه رفتن افراد با سابقه جراحی لیگامنت متقاطع قدامی و افراد سالم بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در زیر فاز پوش آف جلوی پا راه رفتن و دویدن مسیر مرکز فشار در پای برتر گروه جراحی کرده نسبت به گروه سالم داخلی تر بود. همچنین در گروه جراحی کرده در مقایسه پای آسیب دیده و سالم، مسیرمرکز فشار پای آسیب دیده در راستای داخلی خارجی در زیر فاز پوش آف جلوی پا داخلی تر بود. داخلی تر بودن مسیر مرکز فشار نشان دهنده پرونیشن بیشتر پا در گروه با سابقه جراحی حین گام‌برداری است (۱۸). نتایج این مطالعه با نتایج هال و همکاران (۲۰۲۰) و کلونور و همکاران (۲۰۱۶) که نشان دهنده تغییر مسیر مرکز فشار در محور داخلی خارجی در افراد جراحی کرده نسبت به افراد سالم بود همسو است (۲۲, ۲۳).

در مطالعات گذشته نشان داده شده که در افراد با پارگی لیگامنت متقاطع قدامی مسیر مرکز فشار پای آسیب دیده نسبت به پای سالم جابجایی به سمت داخل دارد که با بارگیری بیشتر قسمت داخل پا و پرونیشن پا همراه می‌شود (۱۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پس از جراحی و اتمام دوره توانبخشی این اختلال همچنان در مرحله زیر فاز پوش آف جلوی پا راه رفتن و دویدن این افراد مشاهده شد. در زیر فاز پوش آف جلوی پا راه رفتن و دویدن مچ پا در حالت پلنتار فلکشن قرار گرفته و وزن بدن به سمت جلو منتقل می شود (۲۴). انحراف مسیر مرکز فشار در این مرحله باعث می‌شود تحویل بار در قوس طولی پا به درستی انجام نشود. اختلال در تحویل بار با کاهش در عملکرد پا و سرعت گام بردای باعث تغییر فشار وارد شده به قسمت های مختلف پا می‌شود (۲۴). بارگیری منتقل شده به سمت داخل پا با افزایش بار وارد به قسمت داخلی پا شده که با باریک شدن پهنای گام و کاهش سطح اتکا و تعادل حین راه رفتن و دویدن همراه می‌شود (۲۵). بارهای داخلی‌تر وارده بر نواحی پا می‌تواند به ستون داخلی پا و درنهایت به کمپارمنت داخلی زانو منتقل شده و بارگیری زانو را افزایش دهد. طوری‌که آسادا و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود نشان دادند که پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی بارگیری و گشتاورهای وارده تغییریافته زانو تا یک سال پس از جراحی همچنان همراه فرد باقی می‌ماند (۲۶). زیاد شدن فشار در قسمت داخلی زانو احتمال از بین رفتن غضروف مفصلی در این ناحیه و خطر ابتلا به آرتروز زودرس را در افراد جراحی کرده افزایش می‌دهد (۷). علاوه بر این پرونیشن پا با چرخش داخلی ساق کوپل هستند (۱۸). استرجیو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در افراد با سابقه جراحی حین گام برداری چرخش بیش از حد داخلی تیبیا وجود دارد (۲۷). تغییرات در پرونیشن و چرخش داخلی تیبیا با تغییراتی در مکانیک مفاصل پروگزیمال اندام تحتانی همچون افزایش گشتاور اداکشن زانو و بارگذاری غیرطبیعی در نواحی غضروفی می‌شود که معمولاً در زانوی سالم بارگذاری نمی‌شوند (۷, ۲۸). گشتاور اداکشن از متغیرهای راه رفتن است که با آرتروز زودرس ارتباط مستقیم دارد زیرا گشتاور بالاتر نشان دهنده بارگذاری بیشتر کمپارتمان داخلی ساق است (۲۶). افزایش گشتاور اداکشن زانو همچنین در افراد جراحی کرده از عوامل خطرزا در ابتلا به آسیب مجدد این ورزشکاران است (۷).

در مطالعات قبلی، تغییرات کینتیک کینماتیکی در مکانیک راه رفتن پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی گزارش شده است (۷). همریچ و همکاران (۲۰۱۱) علت تغییر در راه رفتن در افراد جراحی کرده را ثبات نابالغ مفصل زانو دانستند که به دلیل تغییر در هم انقباضی عضلات اطراف زانو به وجود می‌آید (۲۹). هم انقباضی به دلیل افزایش سفتی مفصل زانو ایجاد می‌شود که باعث تغییر در آزادی حرکت مفصل نیز می‌شود (۲۹). همریچ و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که تغییر

کنترل حسی حرکتی باعث تغییر در الگوهای حرکتی راه رفتن و دویدن می‌شود (۲۹).همچنین از طرفی، بعضی از مطالعات، سازگاری‌های مکانیکی را دلیل تغییر گام‌بردای پس از جراحی در اندام تحتانی عنوان کرده‌اند. نول و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه‌گیری کردند که درد، تورم و عدم تحرک مناسب پس از آسیب باعث تغییر در مکانیک طبیعی مفصل می شود (۳۰). همچنین افراد پس از آسیب و حتی پس از جراحی به دلایلی همچون کینزیوفوبیا[1] به صورت ناخودآگاه حرکت عضو جراحی شده را تغییر می‌دهند (۳۰). این تغییرات پس از مدتی به طور کلی باعث تغییر الگوی حرکتی فرد شده و تا سال ها پس از جراحی همراه فرد باقی می‌ماند (۷). تغییرات مکانیک اندام تحتانی باعث تغییر بارگذاری مفصل زانو شده و احتمال بروز آرتروز زودرس و آسیب مجدد را در ورزشکاران افزایش می‌دهد (۷). با توجه به اهمیت پا و مچ پا در آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و ارتباط آن با مفصل زانو، مطالعه حاضر اولین مطالعه‌ای است که به بررسی مسیر مرکز فشار در حین راه رفتن و دویدن بعد از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی پرداخته است. نتایج نشان داد که مسیر مرکز فشار در افراد با سابقه جراحی لیگامنت متقاطع قدامی با افراد سالم متفاوت است. باتوجه به نتایج پژوهش‌های گذشته که نشان دهنده تغییرات مکانیک اندام تحتانی پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی است. به نظر می‌رسد که مسیر مرکز فشار نیز همچون دیگر فاکتورهای بیومکانیکی ۲ تا ۸ سال پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی با افراد سالم تفاوت دارد. تغییر مسیر مرکز فشار در کنار تغییر فعالیت عضلات و سازگاری‌های مکانیکی می‌تواند از دلایل تغییر مکانیک اندام و الگوی حرکت راه رفتن و دویدن در افراد با سابقه جراحی لیگامنت متقاطع قدامی باشد. به مربیان و متخصصان توانبخشی ورزشی توصیه می‌شود در ارزیابی‌های پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی، ویژگی‌های رول آف پا در دویدن همراه با کینماتیک و کینتیک اندام تحتانی را بررسی کنند.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به کنترل سرعت اشاره کرد که می تواند الگوهای غیرعادی در حین راه رفتن و دویدن ایجاد کند. با این حال، برخی از نتایج تحت تأثیر سرعتی است که ما آنها را کنترل کردیم. این یک مطالعه مقطعی است و ما نمی توانیم تعیین کنیم که آیا تغییرات مسیر مرکز فشار قبل یا بعد از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی تغییر کرده است. همچنین، ما اطلاعاتی مربوط به دوره توانبخشی قبل یا بعد از جراحی را که می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد، نداشتیم. تغییرپذیری زمان سپری شده از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی بین ۲ تا ۸ سال بود که می تواند واگرایی داده‌ها را بالا ببرد. استفاده از تجهیزات کینتیک و کینماتیک و ثبت فعالیت عضلانی می‌تواند اطلاعات جامعی را ارائه دهد.

پیام مقاله

تغییر مسیر مرکز فشار از پیامدهای پارگی لیگامنت متقاطع قدامی است که پس از جراحی و اتمام دوره توانبخشی همراه فرد باقی می‌ماند. این تغییرات می‌تواند زمینه‌ساز مشکلات ثانویه همچون استئوآرتریت زانو باشد. به متخصصان و پژوهشگران علوم ورزشی و توانبخشی توصیه می‌شود که در ارزیابی گام برداری افراد جراحی کرده تغییرات مسیر مرکز فشار را نیز اندازه گیری کنند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند تشکر می‌نمایند.

1. Kinesiophobia

منابع

1. Devita P, Hortobagyi T, Barrier J, Torry M, Glover KL, Speroni DL, et al. Gait adaptations before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. Medicine and science in sports and exercise. 1997;29(7):853-9.
2. Ferber R, Osternig LR, Woollacott MH, Wasielewski NJ, Lee J-H. Gait mechanics in chronic ACL deficiency and subsequent repair. Clinical biomechanics. 2002;17(4):274-85.
3. Sharifi A, Esmaeili H. Assessment of proprioception and knee muscles strength after rehabilitation of anterior cruciate ligament in comparison with healthy matches. Studies in Sport Medicine. 2020;11(26):49-66.(Persian)
4. Gardinier ES, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Altered loading in the injured knee after ACL rupture. Journal of Orthopaedic Research. 2013;31(3):458-64.
5. Mather III RC, Koenig L, Kocher MS, Dall TM, Gallo P, Scott DJ, et al. Societal and economic impact of anterior cruciate ligament tears. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2013;95(19):1751.
6. Williams JR, Neal K, Alfayyadh A, Lennon K, Capin JJ, Khandha A, et al. Knee cartilage T2 relaxation times 3 months after ACL reconstruction are associated with knee gait variables linked to knee osteoarthritis. Journal of Orthopaedic Research®. 2022;40(1):252-9.
7. Gokeler A, Benjaminse A, Van Eck C, Webster K, Schot L, Otten E. Return of normal gait as an outcome measurement in acl reconstructed patients. A systematic review. International journal of sports physical therapy. 2013;8(4):441.
8. Davis-Wilson HC, Pfeiffer SJ, Johnston CD, Seeley MK, Harkey MS, Blackburn JT, et al. Bilateral gait six and twelve months post-ACL reconstruction compared to controls. Medicine and science in sports and exercise. 2020;52(4):785.
9. Butler R, Minick K, Ferber R, Underwood F. Gait mechanics after ACL reconstruction: implications for the early onset of knee osteoarthritis. British journal of sports medicine. 2009;43(5):366-70.
10. Whittle MW. Gait analysis: an introduction: Butterworth-Heinemann; 2014.
11. Chesnin KJ, Selby-Silverstein L, Besser MP. Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements. Gait & posture. 2000;12(2):128-33.
12. Huang H, Qiu J, Liu T, Yu Y, Guo Q, Luo D, et al. Similarity of center of pressure progression during walking and jogging of anterior cruciate ligament deficient patients. PLoS One. 2017;12(1):e0169421.
13. Mohammadi-Rad S, Bandpei MAM, Salavati M, Talebian S, Keyhani S, Shanbehzadeh S. Reliability of Center of Pressure measures of Postural Stability in Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Athletes: Effect of Vibration and Cognitive Load. Archives of Bone and Joint Surgery. 2022;10(2):171.
14. Willems TM, De Clercq D, Delbaere K, Vanderstraeten G, De Cock A, Witvrouw E. A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. Gait & posture. 2006;23(1):91-8.
15. Jenkyn TR, Erhart JC, Andriacchi TP. An analysis of the mechanisms for reducing the knee adduction moment during walking using a variable stiffness shoe in subjects with knee osteoarthritis. Journal of biomechanics. 2011;44(7):1271-6.
16. De Wit B, De Clercq D. Timing of lower extremity motions during barefoot and shod running at three velocities. Journal of Applied Biomechanics. 2000;16(2):169-79.
17. McCaw ST, DeVita P. Errors in alignment of center of pressure and foot coordinates affect predicted lower extremity torques. Journal of biomechanics. 1995;28(8):985-8.
18. Huang H, Keijsers N, Horemans H, Guo Q, Yu Y, Stam H, et al. Anterior cruciate ligament rupture is associated with abnormal and asymmetrical lower limb loading during walking. Journal of Science and Medicine in Sport. 2017;20(5):432-7.
19. De Cock A, De Clercq D, Willems T, Witvrouw E. Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults. Gait & posture. 2005;21(4):432-9.

20. Anbarian M, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. Gait & posture. 2016; 48:52-6.
21. Willems TM, De Ridder R, Roosen P. The effect of a long-distance run on plantar pressure distribution during running. Gait & posture. 2012;35(3):405-9.
22. Hall M, Perraton LG, Stevermer CA, Gillette JC. Alterations in medial-lateral postural control after anterior cruciate ligament reconstruction during stair use. Gait & Posture. 2020; 77:283-7.
23. Culvenor AG, Alexander BC, Clark RA, Collins NJ, Ageberg E, Morris HG, et al. Dynamic single-leg postural control is impaired bilaterally following anterior cruciate ligament reconstruction: implications for reinjury risk. journal of orthopaedic & sports physical therapy. 2016;46(5):357-64.
24. Chiu M-C, Wu H-C, Chang L-Y, Wu M-H. Center of pressure progression characteristics under the plantar region for elderly adults. Gait & posture. 2013;37(3):408-12.
25. Lyle MA, Jensen JC, Hunnicutt JL, Brown JJ, Chambliss CP, Newsome MA, et al. Associations of Strength and Spatiotemporal Gait Variables With Knee Loading During Gait After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Journal of Athletic Training. 2022;57(2):158-64.
26. Asaeda M, Deie M, Kono Y, Mikami Y, Kimura H, Adachi N. The relationship between knee muscle strength and knee biomechanics during running at 6 and 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction. Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology. 2019; 16:14-8.
27. Stergiou N, Ristanis S, Moraiti C, Georgoulis AD. Tibial rotation in anterior cruciate ligament (ACL)-deficient and ACL-reconstructed knees. Sports medicine. 2007;37(7):601-13.
28. Matsusaka N. Control of the medial-lateral balance in walking. Acta Orthopaedica Scandinavica. 1986;57(6):555-9.
29. Hemmerich A, van der Merwe W, Batterham M, Vaughan CL. Knee rotational laxity in a randomized comparison of single-versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. The American journal of sports medicine. 2011;39(1):48-56.
30. Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM. Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2004; 12:7-14.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی