مطالعات طب ورزشی

پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

Accepted Manuscript

Accepted Manuscript (Uncorrected Proof)

Title: Center of pressure trajectory during walking and running in patients with anterior cruciate ligament reconstruction history

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

1 .Phd student of Sport Injuries and corrective exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2 .Professor in Sport Injuries and corrective exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran (Corresponding Author)

3 .Assistant Professor in Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

***Corresponding:** Vahid Zolaktaf, Professor in Sport Injuries and corrective exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

v.zolaktaf@spr.ui.ac.ir

To appear in: Sport Medicine Studies

Receive Date: 27 April 2023

Revise Date: 19 July 2023

Accept Date: 05 August 2023

First Publish Date: 05 August 2023

نسخه پیش از انتشار

مطالعات طب ورزشی
پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

This is a “Just Accepted” manuscript, which has been examined by the peer-review process and has been accepted for publication. A “Just Accepted” manuscript is published online shortly after its acceptance, which is prior to technical editing and formatting and author proofing. Journal of Sport Medicine Studies provides “Just Accepted” as an optional service which allows authors to make their results available to the research community as soon as possible after acceptance. After a manuscript has been technically edited and formatted, it will be removed from the “Just Accepted” Website and published as a published article. Please note that technical editing may introduce minor changes to the manuscript text and/or graphics which may affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Please cite this article as:

Sharifi, A., Zolaktaf, V., Esmaeili, H. Center of pressure trajectory during walking and running in patients with anterior cruciate ligament reconstruction history. Studies in Sport Medicine, 2023; (): -. doi: 10.22089/smj.2023.14733.1676

مطالعات طب ورزشی
پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

عنوان: مروری بر تاثیر انواع پروتکل تمرینی و استفاده از ابزارهای حمایتی بر مکانیک حرکات انتقالی در سالمندان دارای عارضه استئوآرتریت زانو

نویسندگان: علی شریفی[1]، وحید ذوالاکتاف[2]، حامد اسماعیلی[3]

1 .دانشجوی دکتری آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
2 .استاد آسیب شناسی ورزشی، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول)
3. استادیار بیومکانیک ورزشی، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

***نویسنده مسئول:** وحید ذوالاکتاف ، استاد آسیب شناسی ورزشی، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
ایمیل:v.zolaktaf@spr.ui.ac.ir

نشریه: مطالعات طب ورزشی

تاریخ دریافت: 07 اردیبهشت 1402

تاریخ بازنگری: 28 تیر 1402

تاریخ پذیرش: 14 مرداد 1402

تاریخ اولین انتشار: 14 مرداد 1402

مطالعات طب ورزشی
پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

این نسخه «پذیرفته شده پیش از انتشار» مقاله است که پس از طی فرآیند داوری، برای چاپ، قابل پذیرش تشخیص داده شده است. این نسخه در مدت کوتاهی پس از اعلام پذیرش به صورت آنلاین و قبل از فرآیند ویراستاری منتشر می‌شود. نشریه مطالعات طب ورزشی گزینه «پذیرفته شده پیش از انتشار» را به عنوان خدمتی به نویسندگان ارائه می‌دهد تا نتایج آنها در سریع ترین زمان ممکن پس از پذیرش برای جامعه علمی در دسترس باشد. پس از آنکه مقاله‌ای فرآیند آماده سازی و انتشار نهایی را طی می‌کند، از نسخه «پذیرفته شده پیش از انتشار» خارج و در یک شماره مشخص در وب‌سایت نشریه منتشر می‌شود. شایان ذکر است صفحه آرایی و ویراستاری فنی باعث ایجاد تغییرات صوری در متن مقاله می‌شود که ممکن است بر محتوای آن تاثیر بگذارد و این امر از حیطه مسئولیت دفتر نشریه خارج است.

لطفا این گونه استناد شود:

Sharifi, A., Zolaktaf, V., Esmaeili, H. Center of pressure trajectory during walking and running in patients with anterior cruciate ligament reconstruction history. Studies in Sport Medicine, 2023; (): -. doi: 10.22089/smj.2023.14733.1676

پذیرفته پیش از انتشار

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. 48 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. Also, 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 risk of knee osteoarthritis.

Key word: Center of pressure trajectory, ACL reconstruction, Gait mechanics

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. 48 بسکتبالیست مرد (24 نفر با سابقه جراحی و 24 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 4 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

مقدمه

پارگی لیگامنت متقاطع قدامی[1] از شایع ترین آسیب های اندام تحتانی است که باعث تغییر در مکانیک و الگوهای فعال در راه رفتن و دویدن می‌شود (1). این تغییرات در پی درد و بی ثباتی مفصل زانو ایجاد شده و با اثرات منفی همراه می‌شود (1). 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 (2, 3). این اثرات جانبی درنهایت می‌تواند منجر به تغییر الگوهای بارهای وارد بر زانو در فعالیت های روزانه شده و خطر ابتلا به استئوآتریت زودرس را افزایش می‌دهد (4). بسیاری از افرادی که به پارگی لیگامنت متقاطع قدامی مبتلا می‌شوند، برای بازگرداندن ثبات و بازگشت به فعالیت تحت عمل جراحی بازسازی قرار می‌گیرند (5). 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 (3). 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 (6). 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 5 سال پس از جراحی باعث تغییر الگوی گام برداری در این افراد می شود (7-9). 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 (10).

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 (11). 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 (12) و انحرافات آن نشان دهنده بروز اختلال در عملکرد اندام تحتانی است (13). در پژوهش های گذشته نشان داده شده است که مسیر مرکز فشار حین راه رفتن و دویدن ملاک و معیار معتبری برای ارزیابی عملکرد کلی پا و شناسایی ریسک آسیب است (14). محمدی راد و همکاران (2022) در پژوهشی پایایی ارزیابی مسیر مرکز فشار را حین راه رفتن و دویدن پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی بررسی کردند (13) و نشان دادند ارزیابی مسیر مرکز فشار روش مناسبی برای ارزیابی ورزشکاران پس از جراحی می باشد (13). تغییرپذیری موقعیت مسیر مرکز فشار ممکن است بارگذاری ساختارهای مختلف اندام تحتانی را تغییر داده و باعث بوجود آمدن استرس های مکرر به این ساختارها شود (14). حین دویدن و راه رفتن تغییرات داخلی- خارجی و قدامی-خلفی مسیر مرکز فشار بوجود می آید که با تغییرات بارگذاری زانو در گام برداری در ارتباط است (15). بطور مثال انحراف داخلی مسیر مرکز فشار نشان دهنده پرونیشن مچ پا می باشد که با چرخش داخلی ساق، والگوس زانو و افزایش گشتاور ابداکتوری ران همراه است (7, 16). همچنین مسیر مرکز فشار می تواند اطلاعات زیادی در رابطه با گشتاورها و کنترل حرکتی اندام تحتانی ارائه دهد (17). هوانگ و همکاران (2017) نشان دادند که پس از آسیب لیگامنت متقاطع قدامی، مسیر مرکز فشار همراه با کینماتیک اندام تحتانی تغییر می کند که این تغییرات زمینه ساز بروز استئوآرتریت زودرس است (18). آنها بررسی مسیر مرکز فشار حین راه رفتن و دویدن را یک روش عملی برای هدایت و ارزیابی جراحی و تکنیک های توانبخشی در افراد با پارگی لیگامنت متقاطع قدامی دانستند (12). از طرف دیگر اندازه گیری فشار کف پایی درارزیابی های ویژگی‌های رول آف[4] کاربردی هستند (19).

1- Anterior cruciate ligament (ACL)
2- Center of pressure (COP)
3- Stance
4- Roll-off

بررسی ویژگی های فرآیند رول آف که مکانیک کلی بدن را نشان می دهد و تحت تاثیر عوامل بیومکانیکی قرار می‌گیرد ملاک خوبی برای ارزیابی داینامیک راه رفتن در افراد آسیب دیده و جراحی کرده می باشد (12). باتوجه به اینکه مکانیک راه رفتن و دویدن پس از عمل جراحی همچنان دارای تفاوت هایی با افراد سالم می‌باشد، هنوز مطالعه ای 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 می باشد. چنین فرض می شود که مسیر مرکز فشار در این افراد پس از جراحی نسبت به افراد سالم متفاوت است. نتایج تحقیق حاضر می تواند در شناسایی بهتر اختلافات افراد جراحی کرده و سالم و ارزیابی روند بهبود برای متخصصان توانبخشی ورزشی مفید باشد.

روش پژوهش

در این پژوهش 48 بسکتبالیست حرفه ای (24 نفر با سابقه جراحی و 24 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 3 سال بازی در لیگ های 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 1 قابل مشاهده است.

جدول 1. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت شناختی افراد شرکت کننده در پژوهش

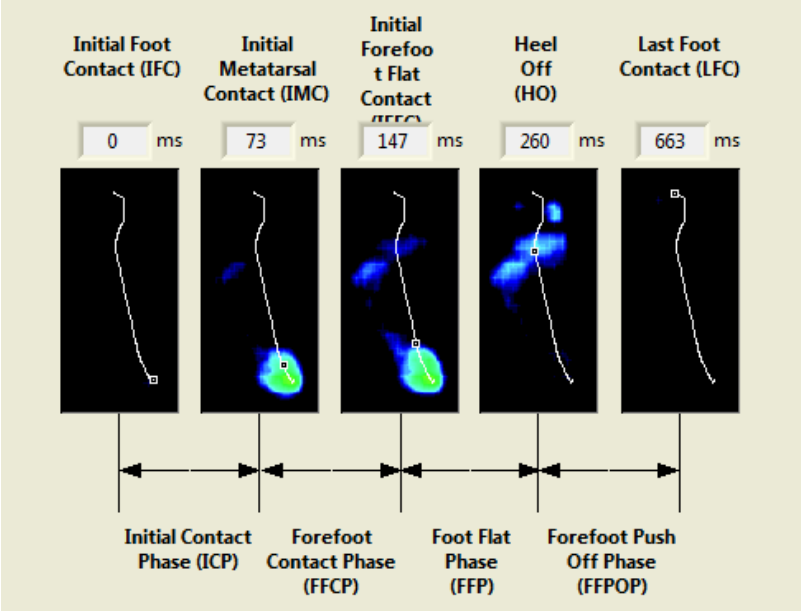
Table 1. Demographic information of the participants (mean ± standard deviation)

	تعداد	سن (سال)	قد (cm)	جرم (kg)	شاخص توده بدن ($kg.m^{-2}$)	زمان جراحی (سال)
سالم	24	24.2 ± 4.1	186.9 ± 8.4	80 ± 7.7	22.9 ± 1.4	-
جراحی کرده	24	26 ± 4.5	183 ± 8.8	84.1 ± 10.3	25.1 ± 2.3	5.1 ± 2.1

پس از ورود به آزمایشگاه علوم ورزشی، ابتدا کلیه مراحل آزمون برای آزمودنی ها توضیح داده شد و شرکت کنندگان برای آشنایی با شرایط آزمون چندین بار تست ها را انجام دادند. دستگاه صفحه فشار فوت اسکن (Rsscan International, Belgium, 578mm × 418m × 12 mm, 4096 sensors, 253 Hz) وسط یک باند 18 متری قرار داده شد و از آزمودنی ها 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 با پای برهنه 6 بار با هر پا در سرعت 3.3 متر بر ثانیه بدود و 6 بار با سرعت 2 متر بر ثانیه راه برود (20). 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 6 نوبت راه رفتن و 6 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 4 زیرفاز تقسیم شد تا برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شود. این 4 زیرفاز از تماس پنج نقطه پا با زمین حین رول آف تشکیل می شود (شکل1) که این پنج نقطه شامل: تماس اولیه پا[5]، تماس اولین متاتارسال[6]، صاف شدن جلوی پا[7]، جدا شدن پاشنه[8] و تماس انتهایی پا[9]

5- First foot contact
6- First metatarsal contact
7- Forefoot flat
8- Heel-off
9- Last foot contact

است. چهار زیرفاز تشکیل شده نیز عبارتند از: 1- مرحله تماس اولیه[10] (بین تماس اولیه پا و تماس اولین متاتارسال)، 2- مرحله تماس جلوی پا[11] (بین تماس اولین متاتارسال تا صاف شدن جلوی پا)، مرحله صاف شدن پا[12] (بین صاف شدن جلوی پا تا جدا شدن پاشنه)، مرحله پوش آف جلوی پا[13] (بین جداشدن پاشنه تا تماس انتهایی پا) (21). 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 101 نقطه (0 تا 100 درصد) تبدیل شد و آماده تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.



شکل1- پنج لحظه تماس پا

Figure 1. Five distinct instants of foot roll-off

نرمال بودن توزیع داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک تایید شد. از آزمون تحلیل واریانس چند متغیره برای مقایسه مسیر مرکز فشار با طرح 2 (سمت: آسیب دیده و سالم) × 2 (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[14] در سطح $P \leq 0.05$ انجام شد.

[10]- Initial contact phase (ICP)
[11]- Forefoot contact phase (FCP)
[12]- Foot flat phase (FFP)
[13]- Forefoot push-off phase (FFPOP)
[14]- SPSS Inc, Chicago, IL, USA

نتایج

نتایج تحلیل واریانس برای داده‌های تکراری نشان داد که در مسیر مرکز فشار در محور داخلی خارجی اثر سمت (0/00 = P , 22/06 = F(1,46)) و اثر تعاملی سمت در گروه (0/00 = P , 35/30 = F(1,46)) زیر فاز پوش آف جلوی پا در راه رفتن معنادار بود (جدول2). همچنین در دویدن، اثر تعاملی سمت در گروه در زیر فاز پوش آف جلوی پا در در محور داخلی خارجی معنادار بود (0/00 = P , 10/70 = F(1,46)). یعنی در گروه ها 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 (0/05 >P).

جدول 2. 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	2.05	1،46	0.06	0.09
			FFCP	2.55	1،46	0.11	0.05
			FFP	0.29	1،46	0.59	0.00
			FFPOP	22.06	1،46	***0.00**	**0.32**
		سمت × گروه	ICP	0.12	1،46	0.72	0.00
			FFCP	0.01	1،46	0.91	0.00
			FFP	0.02	1،46	0.87	0.00
			FFPOP	35.30	1،46	***0.00**	0.43
	Y	سمت	ICP	1.85	1،46	0.18	0.03
			FFCP	0.65	1،46	0.42	0.01
			FFP	0.29	1،46	0.59	0.00
			FFPOP	0.05	1،46	0.82	0.00
		سمت × گروه	ICP	0.37	1،46	0.54	0.00
			FFCP	0.01	1،46	0.91	0.00
			FFP	0.05	1،46	0.81	0.00
			FFPOP	1.33	1،46	0.25	0.02
دویدن	X	سمت	ICP	2.42	1،46	0.06	0.10
			FFCP	1.77	1،46	0.18	0.03
			FFP	0.83	1،46	0.36	0.01
			FFPOP	**0.68**	1،46	0.41	**0.01**
		سمت × گروه	ICP	0.00	1،46	0.93	0.00
			FFCP	0.08	1،46	0.77	0.00
			FFP	0.02	1،46	0.87	0.00
			FFPOP	**10.70**	1،46	***0.00**	0.18
	Y	سمت	ICP	0.76	1،46	0.38	0.01
			FFCP	0.01	1،46	0.91	0.00
			FFP	0.00	1،46	0.98	0.00
			FFPOP	0.25	1،46	0.61	0.00
		سمت × گروه	ICP	2.30	1،46	0.13	0.04
			FFCP	3.16	1،46	0.08	0.64
			FFP	0.35	1،46	0.55	0.00

	FFPOP	0.41	1،46	0.52	0.00

*- معناداری در سطح α =0/05

مقایسه دو سمت در دو گروه سالم و جراحی کرده در جدول 3 نشان می دهد 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 (F(1,46) = 50 , P = 0/00) (F(1,46) = 7/70 , P = 0/01).

جدول 3. 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	2.1 ± 1.38	3.3 ± 2.73	1.6	0.14	0.16
			جراحی کرده	2.1 ± 3.86	3.8 ± 3.22	2	0.16	0.08
		FFCP	سالم	4.5 ± 2.5	6.1 ± 3.90	2.62	0.11	0.10
			جراحی کرده	4.8 ± 5.02	6.2 ± 4.70	0.76	0.39	0.03
		FFP	سالم	8.2 ± 5.24	7.5 ± 4.58	0.24	0.62	0.01
			جراحی کرده	7.6 ± 4.04	7.3 ± 5.41	0.07	0.78	0.00
		FFPOP	سالم	-6 ± 2.70	-5.2 ± 2.44	0.89	**0.35**	**0.03**
			جراحی کرده	2.5 ± 3.96	-4.1 ± 2.47	50	***0.00**	0.68
	Y	ICP	سالم	14.1 ± 5.46	14.6 ± 4.71	0.27	0.60	0.01
			جراحی کرده	15.6 ± 5.04	17.1 ± 6.30	2	0.17	0.08
		FFCP	سالم	48.9 ± 17.88	51.2 ± 10.3	0.74	0.39	0.03
			جراحی کرده	55 ± 16.93	56.7 ± 16.06	0.17	0.68	0.00
		FFP	سالم	93.8 ± 39.99	90.3 ± 26.38	0.39	0.53	0.01
			جراحی کرده	100.2 ± 31.79	98.8 ± 33.40	0.03	0.84	0.00
		FFPOP	سالم	175.1 ± 20.72	177.5 ± 15.40	0.85	0.36	0.03
			جراحی کرده	183.3 ± 15.30	185.7 ± 17.70	0.48	0.49	0.02
	X	ICP	سالم	3.3 ± 2.14	5 ± 2.77	1.2	0.10	0.26
			جراحی کرده	3.2 ± 3.39	4.8 ± 3.77	1.53	0.22	0.06
		FFCP	سالم	5.1 ± 2.89	6.4 ± 3.20	2	0.16	0.08
			جراحی کرده	5.7 ± 3.72	6.5 ± 4.72	0.40	0.53	0.01
		FFP	سالم	4.6 ± 2.36	5.1 ± 3.35	0.32	0.57	0.01

0.02	0.48	0.51	5.3 ± 4.56	4.5 ± 2.97	جراحی کرده		
0.12	**0.08**	3.2	-5.6 ± 2.89	-3.9 ± 2.83	سالم	FFPOP	
0.25	***0.01**	7.7	-5.4 ± 3.41	1.1 ± 3.59	جراحی کرده		دویدن
0.01	0.62	0.24	12.1 ± 6.45	11.5 ± 3.22	سالم	ICP	
0.09	0.13	2.45	12.8 ± 4.01	14.9 ± 6.89	جراحی کرده		
0.04	0.31	1	54.5 ± 21.63	49.4 ± 12.30	سالم	FFCP	
0.10	0.11	2.66	54.9 ± 16.04	60.6 ± 19.73	جراحی کرده		
0.00	0.71	0.14	113.4 ± 27.68	112 ± 16.02	سالم	FFP	Y
0.01	0.64	0.22	120.8 ± 16.38	122.3 ± 15.76	جراحی کرده		
0.03	0.38	0.77	192.7 ± 14.80	194.3 ± 14.95	سالم	FFPOP	
0.00	0.92	0.00	198.6 ± 16.94	198.4 ± 15.54	جراحی کرده		

*- معناداری در سطح α =0/05

در مقایسه بین دو گروه (جدول 4) 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= 0/00، T= -8/7) (P= 0/00، T= -4/4).

جدول 4. 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)

sig	T	گروه جراحی کرده (میلیمتر)	گروه سالم (میلیمتر)	سمت	فاز	محور	فعالیت
0.94	-0.74	2.1 ± 3.86	2.1 ± 1.38	برتر	ICP	X	راه رفتن
0.55	-0.59	3.8 ± 3.22	3.3 ± 2.73	غیربرتر			
0.80	-0.25	4.8 ± 5.02	4.5 ± 2.5	برتر	FFCP		
0.93	-0.07	6.2 ± 4.70	6.1 ± 3.90	غیربرتر			
0.67	0.43	7.6 ± 4.04	8.2 ± 5.24	برتر	FFP		
0.84	0.19	7.3 ± 5.41	7.5 ± 4.58	غیربرتر			
***0.00**	-8.7	2.5 ± 3.96	-6 ± 2.70	برتر	FFPOP		
0.14	-1.48	-4.1 ± 2.47	-5.2 ± 2.44	غیربرتر			
0.30	-1.03	15.6 ± 5.04	14.1 ± 5.46	برتر	ICP	Y	
0.13	-1.54	17.1 ± 6.30	14.6 ± 4.71	غیربرتر			
0.23	-1.21	55 ± 16.93	48.9 ± 17.88	برتر	FFCP		
0.16	-1.41	56.7 ± 16.06	51.2 ± 10.3	غیربرتر			
0.54	-0.6	100.2 ± 31.79	93.8 ± 39.99	برتر	FFP		
0.33	-0.97	98.8 ± 33.40	90.3 ± 26.38	غیربرتر			
0.12	-1.31	183.3 ± 15.30	175.1 ± 20.72	برتر	FFPOP		

0.09	-1.71	185.7 ± 17.70	177.5 ± 15.40	غیربرتر		
0.90	0.11	3.2 ± 3.39	3.3 ± 2.14	برتر	ICP	X	دویدن
0.83	0.21	4.8 ± 3.77	5 ± 2.77	غیربرتر		
0.54	-0.61	5.7 ± 3.72	5.1 ± 2.89	برتر	FFCP		
0.92	-0.09	6.5 ± 4.72	6.4 ± 3.20	غیربرتر			
0.88	0.14	4.5 ± 2.97	4.6 ± 2.36	برتر	FFP		
0.92	-0.09	5.3 ± 4.56	5.1 ± 3.35	غیربرتر			
***0.00**	-4.44	1.1 ± 3.59	-3.9 ± 2.83	برتر	FFPOP		
0.81	-0.23	-5.4 ± 3.41	-5.6 ± 2.89	غیربرتر			
0.06	-1.86	14.9 ± 6.89	11.5 ± 3.22	برتر	ICP	Y	
0.63	-0.47	12.8 ± 4.01	12.1 ± 6.45	غیربرتر			
0.10	-2.31	60.6 ± 19.73	49.4 ± 12.30	برتر	FFCP		
0.93	-0.07	54.9 ± 16.04	54.5 ± 21.63	غیربرتر			
0.15	-1.44	122.3 ± 15.76	112 ± 16.02	برتر	FFP		
0.31	-0.64	120.8 ± 16.38	113.4 ± 27.68	غیربرتر			
0.18	-3.30	198.4 ± 15.54	194.3 ± 14.95	برتر	FFPOP		
0.21	-3.54	198.6 ± 16.94	192.7 ± 14.80	غیربرتر			

*- معناداری در سطح α =0/05

نسخه پیش از انتشار

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 (18). نتایج این مطالعه با نتایج هال و همکاران (2020) و کلونور و همکاران (2016) که نشان دهنده تغییر مسیر مرکز فشار در محور داخلی خارجی در افراد جراحی کرده نسبت به افراد سالم بود همسو است (22, 23).

در مطالعات گذشته نشان داده شده است 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 (12). 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 (24). انحراف مسیر مرکز فشار در این مرحله باعث می شود 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 می شود (24). 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 ودویدن همراه می‌شود (25). بارهای داخلی تر وارده بر نواحی پا می تواند به ستون داخلی پا و درنهایت به کمپارمنت داخلی زانو منتقل شده و بارگیری زانو را افزایش دهد. به طوریکه آسادا و همکاران (2019) 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 می ماند (26). افزایش فشار در قسمت داخلی زانو احتمال از بین رفتن غضروف مفصلی در این ناحیه را افزایش می دهد و خطر ابتلا به آرتروز زودرس را در افراد جراحی کرده افزایش می دهد (7). علاوه بر این پرونیشن پا با چرخش داخلی ساق کوپل هستند (18). استرجیو و همکاران (2007) نشان دادند که در افراد با سابقه جراحی حین گام برداری چرخش بیش از حد داخلی تیبیا وجود دارد (27). 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 می شود که معمولاً در زانوی سالم بارگذاری نمی شوند (7, 28). 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 (26). افزایش گشتاور اداکشن زانو همچنین در افراد جراحی کرده از عوامل خطرزا در ابتلا به آسیب مجدد این ورزشکاران است (7).

در مطالعات قبلی، تغییرات کینتیک کینماتیکی در مکانیک راه رفتن پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی گزارش شده است (7). همریچ و همکاران (2011) 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 می آید (29). هم انقباضی به دلیل افزایش سفتی مفصل زانو ایجاد می شود که باعث تغییر در آزادی حرکت مفصل نیز می شود (29). همریچ و همکاران (2011) به این نتیجه رسیدند که تغییر کنترل حسی حرکتی باعث تغییر در الگوهای حرکتی راه رفتن و دویدن می شود (29).همچنین از طرفی، بعضی از مطالعات سازگاری های مکانیکی را دلیل تغییر گام بردای پس از جراحی در اندام تحتانی عنوان کرده اند. نول و همکاران (2004) نتیجه گیری کردند که درد، تورم و عدم تحرک مناسب پس از آسیب باعث تغییر در مکانیک طبیعی مفصل می شود (30). همچنین افراد پس از آسیب و حتی پس از جراحی به دلایلی همچون کینزیوفوبیا[15] به صورت ناخودآگاه حرکت عضو جراحی شده را تغییر می دهند (30). این تغییرات پس از مدتی بطور کلی باعث تغییر الگوی حرکتی فرد شده و تا سال ها پس از جراحی همراه فرد باقی می ماند (7). تغییرات مکانیک اندام تحتانی باعث تغییر بارگذاری مفصل زانو شده و احتمال بروز آرتروز زودرس و آسیب مجدد را در

15- Kinesiophobia

ورزشکاران افزایش می دهد (7). با توجه به اهمیت پا و مچ پا در آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و ارتباط آن با مفصل زانو، مطالعه حاضر اولین مطالعه ای 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 پژوهش های گذشته که نشان دهنده تغییرات مکانیک اندام تحتانی پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی است. به نظر می رسد که مسیر مرکز فشار نیز همچون دیگر فاکتورهای بیومکانیکی 2 تا 8 سال پس از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی با افراد سالم تفاوت دارد. تغییر مسیر مرکز فشار در کنار تغییر فعالیت عضلات و سازگاری های مکانیکی می تواند 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 محدودیت های این مطالعه می توان 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 می تواند بر نتایج تأثیر بگذارد، نداشتیم. تغییرپذیری زمان سپری شده از جراحی لیگامنت متقاطع قدامی بین 2 تا 8 سال بود که می تواند واگرایی داده ها را بالا ببرد. استفاده از تجهیزات کینتیک و کینماتیک و ثبت فعالیت عضلانی می تواند 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 می ماند. این تغییرات می تواند زمینه ساز مشکلات ثانویه همچون استئوآرتریت زانو باشد. به متخصصان و پژوهشگران علوم ورزشی و توانبخشی توصیه می شود 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 می نمایند.

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.

نسخه پیش از انتشار