



Original Article

A Review on Body Mechanics During Transition Movements in People with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Ebrahim Piri¹, Sajjad Ghadimi², Abbas Ghadimi²,
AmirAli Jafarnezhadgero³

1. PhD Candidate of Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. M.Sc in Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3. Associate Professor of Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 19/04/2024, **Revised:** 12/05/2025, **Accepted:** 12/10/2024

*Corresponding Author: AmirAli Jafarnezhadgero, E-mail: amiralijafarnezhad@gmail.com

How to Cite: Piri, E; Ghadimi, S. Ghadimi, A. Jafarnezhadgero, AA. (2025). A Review on Body Mechanics During Transition Movements in People with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sport Medicine Studies*, 16(42), 37-62. In Persian.

Extended Abstract

Background and Purpose

The anterior cruciate ligament (ACL) is vital for maintaining knee joint stability. ACL injuries are among the most common and debilitating lower limb injuries, with a rising incidence particularly among individuals aged 10 to 14 years. One of the major long-term consequences of ACL injury is the increased risk of knee osteoarthritis. Alterations in ground reaction forces and knee mechanics during gait have been observed in individual's post-ACL reconstruction. The ACL consists of two functional bands: the anteromedial band, which tightens during knee flexion, and the posterolateral band, taut during extension, enabling stability throughout the range of motion. Quadriceps muscle weakness following reconstruction is significant, with deficits ranging from 24% to 40.5% six months post-surgery. This weakness compromises gait quality and may contribute to osteoarthritis development. The ACL also contains neural receptors essential for proprioception, balance, and protective knee responses. This review aims to synthesize current knowledge on body mechanics during transitional movements—walking, running, jumping, and landing—in individuals after ACL reconstruction.

Methods

A systematic search was conducted in Persian and English databases (PubMed, Web of Science, Scopus, Magiran, ISC, and Google Scholar) from 1998 to March 2023. Keywords included “Anterior Cruciate Ligament,” “Transitional Movements,” “Knee Injury,” “Rehabilitation,” “Corrective Exercises,” and “Knee Ligament Surgery.” Seventy-four articles were initially identified; after



applying inclusion criteria—focus on mechanics post-ACL reconstruction, isolated ACL injury, surgical intervention, and accessible full texts—18 articles were selected for review. Exclusion criteria included participants with other musculoskeletal abnormalities, prior surgeries on other knee ligaments, or re-injury post-surgery. The Dan and Black questionnaire, with reliability of 0.89 and validity of 0.90, was used to assess article quality.

Findings

Among the 18 reviewed studies, five focused on walking biomechanics post-ACL reconstruction, revealing that muscle weakness and reduced joint range of motion disrupt normal gait mechanics. One study highlighted that graft type influences gait mechanics. Four studies on running biomechanics showed incomplete recovery of knee function up to 12 months post-surgery, emphasizing the need for targeted quadriceps strengthening, especially in female athletes. Eight studies examined jumping and landing biomechanics, demonstrating deficits in these abilities linked to quadriceps weakness and impaired proprioception. Strengthening quadriceps and hamstrings improves joint range of motion and proprioceptive function. Quality assessment scores ranged from 64.51% to 87.09%.

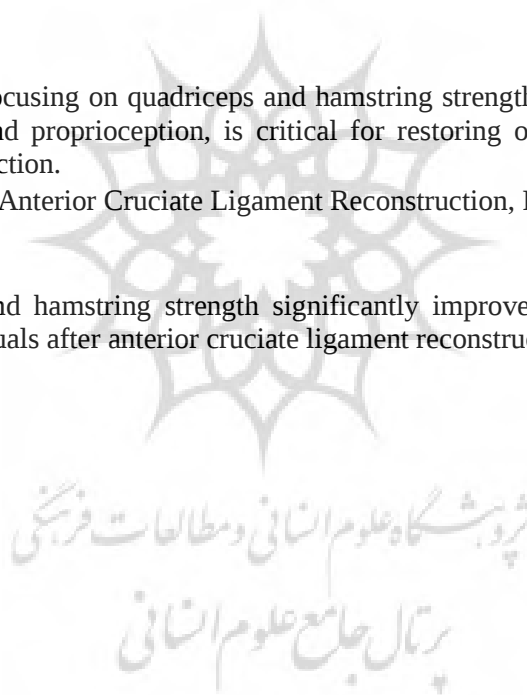
Conclusion

Targeted rehabilitation focusing on quadriceps and hamstring strengthening, along with improving joint range of motion and proprioception, is critical for restoring optimal movement mechanics following ACL reconstruction.

Keywords: Knee Joint, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Rehabilitation, Walking, Running

Article Message

Enhancing quadriceps and hamstring strength significantly improves joint range of motion and proprioception in individuals after anterior cruciate ligament reconstruction.





مروری بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

ابراهیم پیری^۱، سجاد قدیمی^۲، عباس قدیمی^۲، امیرعلی جعفرنژادگرو^۳

۱. دکترای بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

*Corresponding Author: AmirAli Jafarnezhadgero, E-mail: amiralijafarnezhad@gmail.com

How to Cite: Piri, E; Ghadimi, S. Ghadimi, A. AmirAli, Jafarnezhadgero, R. (2025). A Review on Body Mechanics During Transition Movements in People with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sport Medicine Studies*, 16(42), 37-62. In Persian.

چکیده

مطالعات نشان می‌دهد بازسازی لیگامان متقاطع قدامی تأثیر قابل توجهی بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی دارد. لذا هدف از مطالعه حاضر مروری بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی بود. مطالعه حاضر از نوع مروری بود. جستجوی مقالات به زبان فارسی و لاتین از ابتدای سال ۱۹۹۸ تا ابتدای ماه مارس سال ۲۰۲۳ بود که در پایگاه استنادی PubMed، WOS، Scopus، Magiran، ISC و Google scholar انجام گرفت. ۱۸ مقاله در ارتباط با مکانیک بدن طی حرکات انتقالی (راه رفتن، دویدن، پرش، فرود و...) در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. یافته‌های ۵ مقاله نشان داد به علت ضعف عضلات و کاهش دامنه حرکتی سبب اختلال در مکانیک حرکت طی راه رفتن می‌شود. همچنین یافته‌های یکی از مقالات نشان داد تفاوت در انواع روش‌های پیوند لیگامان بر مکانیک بدن در حین راه رفتن تأثیرگذار است. بررسی ۴ مقاله در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد تا ۱۲ ماه پس از بازسازی این لیگامان، بیومکانیک حرکت در هنگام دویدن مانند قبل از آسیب بازبایی نمی‌شود. مطالعه ۸ مقاله در حوزه بیومکانیک پرش و فرود در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان می‌دهد که افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی پرش و فرود ضعیف‌تری نسبت به افراد سالم داشتند. به نظر می‌رسد افزایش قدرت در عضلات چهارسرران و همسترینگ منجر به بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی مفاصل در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی می‌شود.

واژگان کلیدی: مفصل زانو، بازسازی رباط متقاطع قدامی، توانبخشی، راه رفتن، دویدن.



مقدمه

رباط متقاطع قدامی نقش کلیدی را در ثبات زانو ایفا می‌کند (۱). آسیب این رباط یکی از متداول‌ترین و ناتوان‌کننده‌ترین آسیب‌های اندام تحتانی محسوب می‌شود (۲). تحقیقات اخیر بیان کرده‌اند که میزان شیوع آسیب رباط متقاطع قدامی در افراد زیر هفده سال، به خصوص در افراد بین ده تا چهارده سال، به سرعت در حال افزایش است (۳). یکی از اولین و مهم‌ترین پیامدهای این آسیب در مفصل، احتمال بروز استئوآرتریت در مفصل زانوست (۴). در هنگام فلکشن و اکستنشن در مفصل تبیوفمورال ترکیبی از حرکات تقویتی عضلات شکم^۱ و چرخش در سطح مفصل انجام می‌شود که برای حفظ تجانس دو استخوان ران و درشت نی روی همدیگر در هنگام حرکت ضروری است (۵). از آنجایی که تغییرات در نیروهای عکس‌العمل زمین به تغییر شتاب مرکز جرم نیاز دارد. تفاوت بین اندام در نیروی عکس‌العمل زمین و مکانیک تغییر یافته زانو در هنگام راه رفتن در افراد با تجربه بازسازی رباط متقاطع قدامی مشخص شده است (۶). رباط متقاطع قدامی دارای دو باند قدامی داخلی و خلفی خارجی است. باند قدامی داخلی هنگامی که زانو به فلکشن می‌رود، سفت و محکم می‌شود و باند خلفی خارجی نیز در زمان اکستنشن زانو در حالت سفت و محکم قرار می‌گیرد. این ترتیب عملکرد در رباط متقاطع قدامی نشان‌دهنده اعمال نقش این رباط در سرتاسر دامنه حرکتی فلکشن و اکستنشن است (۷). همچنین رباط متقاطع قدامی، نگهدارنده اصلی جابه‌جایی قدامی تیبیا روی فمور در حرکت هایپراکستنشن و همچنین جلوگیری‌کننده از واروس و والگوس زانو در هنگام اکستنشن کامل است. به علاوه این رباط از چرخش داخلی و خارجی زانو نیز در هنگام اکستنشن کامل جلوگیری می‌کند (۸). پارگی لیگامان متقاطع قدامی حدود ۵۰ درصد آسیب‌های مفصل زانو را شامل می‌شود. لیگامان متقاطع قدامی معمولاً در فعالیت‌های تفریحی و رقابتی، دچار پارگی و آسیب‌دیدگی می‌شود (۹). آسیب رباط متقاطع قدامی ممکن است با ژنواروم همراه باشد (۱۰).

برای بازگرداندن ثبات مکانیکی در مفصل زانو و همچنین برای به دست آوردن عملکرد طبیعی زانو جراحی بازسازی لیگامان متقاطع قدامی معمولاً به دنبال پارگی آن توصیه می‌شود (۹، ۱۱). مطالعات نشان می‌دهد بسیاری از افراد که دچار آسیب لیگامان متقاطع قدامی شده‌اند پس از جراحی نیز به عملکرد طبیعی خود باز نمی‌گردند و اختلالاتی مانند درد، بی‌ثباتی زانو، کاهش دامنه حرکتی مفصل زانو و کاهش قدرت عضلات کوادریسپس، همسترینگ و اختلال در عملکرد عصبی عضلانی را نشان می‌دهند که این امر می‌تواند سبب بروز پیامدهای گوناگونی در میان این افراد شود (۱۲، ۱۳). این افراد معمولاً با تغییرات قابل توجهی در الگوهای حرکتی و توزیع بار در مفاصل مواجه می‌شوند که می‌تواند منجر به اختلالات حرکتی، کاهش عملکرد ورزشی و افزایش خطر آسیب گردد (۱۲، ۱۳). گزارش بارنیوس^۲ و همکاران، حتی بعد از بازسازی رباط متقاطع قدامی نیز ۵۷ درصد از افرادی که طی چهارده سال تحت نظر بودند، در زانوی آسیب‌دیده دچار پیشرفت استئوآرتریت شده بودند (۱۴). با وجود این هرچند بازسازی لیگامان متقاطع قدامی برای حفظ پایداری مفصل زانو نتایج مطلوبی را نشان داده است اما نقص ماندگار در قدرت عضلات چهارسر ران به عنوان یکی از عوامل محدودکننده در بازگشت به سطح قبل از آسیب گزارش شده است و این نقص می‌تواند بیش از ۲ سال پس از عمل نیز باقی بماند (۱۵). پالمیری^۳ و همکاران، نقص قدرت عضلات چهارسر را در زانوی بازسازی شده و سالم در شش ماه پس از جراحی مقایسه کردند که نقص در قدرت ایزوکینتیک

-
1. Abdominal muscle
 2. Barnius
 3. Palmyri

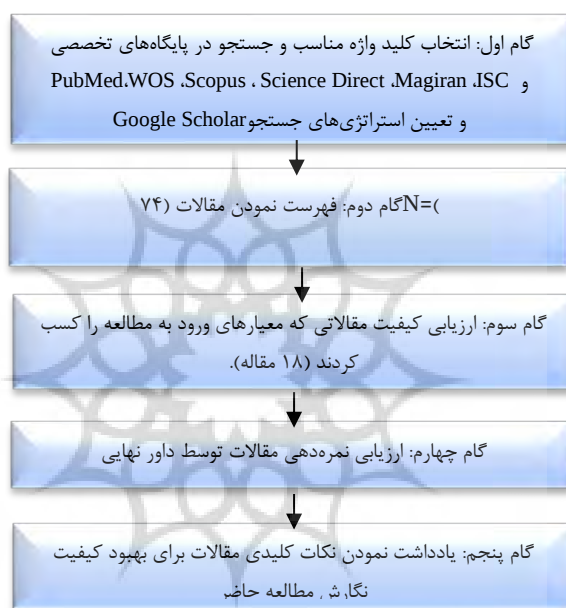
عضلات چهارسر در دامنه بین ۲۴ درصد و ۵/۴۰ درصد بود (۱۶). ضعف عضلات چهارسران علاوه بر این که باعث کاهش کیفیت راه رفتن و افت عملکرد می‌شود، ممکن است یک عامل مؤثر در استئوآرتریت زانو باشد (۱۷). ضعف عضلات چهارسر ران در کاهش زاویه و گشتاور زانو در حین راه رفتن به دنبال بازسازی لیگامان متقاطع قدامی وجود دارد (۱۸). این لیگامان دارای گیرنده‌های متعدد عصبی می‌باشد که قادر است اطلاعات لازم برای واکنش‌های حفاظتی زانو، حفظ تعادل و عملکرد فیزیکی بدن را تامین نمایند (۱۹، ۲۰).

با توجه به اهمیت مکانیک بدن در طی حرکات انتقالی و محدودیت‌های ایجاد شده پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی در انجام این حرکات که می‌تواند سبب اختلال در عملکرد و همچنین ایجاد وضعیت‌های جبرانی نامناسب شود، ضروری است که اطلاعاتی در مورد اثرات بازسازی لیگامان متقاطع قدامی بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی جمع آوری شود. لذا هدف از مطالعه حاضر مروری بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی می‌باشد.

روش پژوهش

مطالعه حاضر از نوع کتابخانه‌ای و مروری سیستماتیک بود، جستجوی مقالات به زبان فارسی و لاتین از ابتدای ماه دسامبر سال ۱۹۹۸ تا ابتدای ماه آپریل ۲۰۲۳ بود، که در پایگاه‌های تخصصی WOS, SID, Magiran, Scopus, ISC, PubMed و Google Scholar انجام گرفت. برای استخراج مقالات از کلیدواژه‌های لیگامنت متقاطع قدامی (Anterior cruciate ligament)، حرکات انتقالی (Translational Movements)، آسیب زانو (knee injury)، توانبخشی (Rehabilitation)، تمرینات اصلاحی (Corrective exercises) و جراحی لیگامان زانو (Knee ligament surgery) استفاده شد. ۷۴ مقاله مرتبط بر اساس معیارهای ورود و خروج انتخاب شدند. معیار ورود به مطالعه شامل مواردی از قبیل: ۱- استفاده مقالات در حوزه مکانیک حرکات انتقالی پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی بود. ۲- مقالاتی که آزمودنی‌ها تنها به آسیب لیگامان متقاطع قدامی دچار شده بودند. ۳- مقالاتی که در آن از عمل جراحی برای آسیب استفاده کرده بودند. ۴- مقالاتی که فایل آن‌ها در دسترس بود. مقالاتی که آزمودنی‌ها مبتلا به سایر ناهنجاری‌های بدن بودند و یا سابقه‌ی عمل جراحی (توانبخشی پس از جراحی) در دیگر لیگامان‌های مفصل زانو داشتند و یا سابقه آسیب مجدد بعد از عمل داشتند از مطالعه خارج شدند. در نهایت ۱۸ مقاله در ارتباط با مکانیک بدن طی حرکات انتقالی در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شکل شماره ۱، مراحل که پژوهشگران به منظور ارزیابی کیفیت مقالات انجام داده‌اند نشان داده شده است. هدف اصلی محققان در گام اول، جستجو کلیدواژه‌های مناسب و تعیین استراتژی‌های جستجو شامل (۱- متن کامل مقالات علمی-پژوهشی در دسترس باشد. ۲- زمان انتشار و نوع مقاله)، بود. طی گام دوم، هدف پژوهشگران بررسی مقالات جستجو شده بر اساس کلیدواژه‌ها بود، در این مرحله نویسندگان تمامی مقالات را در پوشه‌های جداگانه دسته‌بندی کردند. در گام سوم ارزیابی کیفیت مقالاتی که معیارهای ورود به مطالعه را داشتند، توسط پرسشنامه دان و بلک مورد بررسی قرار گرفت (۲۱). در این مرحله دو داور به صورت کاملاً جداگانه به ارزیابی و نمره‌دهی مقالات بر اساس پرسشنامه یاد شده پرداختند. در گام بعدی در خصوص اختلاف‌هایی که در خصوص نمره‌دهی مقالات وجود داشت توسط داور نهایی ارزیابی شد. در گام نهایی، نویسندگان با مطالعه مجدد و دقیق مقالات به بررسی و یادداشت نمودن نکات کلیدی به منظور تسهیل در روند نگارش مطالعه حاضر پرداختند (شکل ۱).

لازم به ذکر است که پرسشنامه دان و بلک^۱ جز پرسشنامه‌های ارزیابی کیفیت مقالات بالینی می‌باشد (پایایی برابر ۰/۸۹ و روایی برابر ۰/۹۰) (۲۱)، که امکان استفاده این نوع پرسشنامه برای مطالعاتی که آزمودنی‌ها به صورت تصادفی و یا غیرتصادفی باشد را فراهم می‌سازد. در این پرسشنامه ۲۷ سوال در خصوص مقالات مورد بررسی ارائه گردیده است. اختصاص عدد یک به معنای تایید و صفر به معنای عدم تایید یا غیرقابل تعیین می‌باشد. تنها در خصوص سوال ۲۷ (آیا مقاله مورد بررسی بر اساس سوال قبلی قابلیت استنادی را دارد؟) عددی ما بین ۵-۰ اختصاص می‌یابد که صفر یا عددی نزدیک به آن به معنای استنادی ضعیف و اختصاص عدد ۵ یا عددی نزدیک به آن نشان‌دهنده استنادی قوی است. در مطالعه حاضر برای مقالاتی که بر اساس سوال قبلی نمره‌ای مابین ۲۰-۱۷، ۲۲-۲۰ و بیشتر از عدد ۲۲ را کسب کرده بودند به ترتیب نمره کیفیت ۳، ۴ و ۵ اختصاص یافت.



شکل ۱- نمودار مربوط به نحوه بررسی کیفیت مقالات

Figure 1- Diagram of on how to review the quality of articles

نتایج

در مطالعه حاضر ۷۴ عنوان مقاله (متن کامل)، به دست آمده از طریق جستجوی کلمات کلیدی ۱۸ مقاله بر اساس معیار ورود، مورد تحلیل قرار گرفتند، از این تعداد بررسی ۵ مقاله در حوزه بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد به علت ضعف عضلات و کاهش دامنه کامل مفصل سبب اختلال در مکانیک حرکت می‌شود. همچنین مطالعه یکی از مقالات نشان داد تفاوت در انواع پیوند بر مکانیک بدن در حین راه رفتن تاثیرگذار است.

همچنین یافته‌های ۴ مقاله در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد بیومکانیک زنان تا ۱۲ ماه پس از بازسازی مانند قبل از آسیب بازبایی نشد و نیاز به افزایش قدرت در چهار سر ران به ویژه در ورزشکاران زن است. مطالعه ۸ مقاله در حوزه بیومکانیک پرش و فرود در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد که افراد با

1. Don & Black

بازسازی لیگامان متقاطع قدامی به علت ضعف عضلات چهارسر ران و کاهش حس عمقی پرش و فرود ضعیف‌تری نسبت به افراد سالم داشتند. به نظر می‌رسد افزایش قدرت در عضلات چهارسر ران و همسترینگ منجر به بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی مفاصل در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی می‌شود. نتایج حاصل از بررسی مقالات به طور خلاصه در جدول (۴-۱)، ارائه شده است. بر اساس جدول شماره ۴، ارزیابی مقالات توسط پرسشنامه دان و بلک نشان داده شده است. یافته‌ها نشان داد که میانگین کل ارزیابی کیفیت مقالات معادل $77/05$ درصد بود. لازم به ذکر است که کمترین کیفیت مقاله مربوط به یکی از مطالعات با درصد کیفیت $64/51$ و بالاترین کیفیت مقالات نیز مربوط به ۳ عنوان مقاله با درصد کیفیت $87/09$ درصد بود. شایان ذکر است که در خصوص نمرات کیفیت مقالات در ستون که بر حسب درصد بیان شده است از رابطه زیر استفاده گردید:

$$100 * (31 / \text{نمره کل}) = \text{کیفیت مقالات (بر حسب درصد)}$$

جدول ۱- مطالعه در حوزه بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی
Table 1- Study in the Field of Walking Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
دویتا ^۱ و همکاران (۲۲) Medicine and science in sports and exercise 1998	مقطعی	ارائه نشده است.	راه رفتن	۶ ماه	گروه کنترل ۲۲ نفر بدون تمرین توانبخشی	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۳۰ نفر شامل ۱۹ مرد و ۱۱ زن	افرادی که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند و سابقه آسیب در دیگر اندام‌های تحتانی را نداشتند.	نتایج نشان داد که پس از بازسازی توانبخشی سریع برای آسیب لیگامان متقاطع قدامی. افراد با الگوهای سینماتیک معمولی اما همچنان از الگوهای گشتاور و توان مفصل تغییر یافته استفاده می‌کنند.
ویستر ^۲ و همکاران (۲۳) The American journal of sports medicine 2005	مقطعی	ارائه نشده است.	راه رفتن	۳ تا ۱۱ ماه پس از بازسازی	دارای سن (بین ۱۸ تا ۴۰ سال)، وزن و جنسیت مشابه بودند و سابقه	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۱۷ بیمار بازسازی رباط صلیبی قدامی، کشکک، ۱۷ بیمار بازسازی	آزمودنی‌هایی که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند وارد مطالعه شدند	تفاوت‌های خاص در انواع پیوند بر بیومکانیک زانو پس از بازسازی رباط صلیبی

1. Devita
2. Webster

جدول ۱- مطالعه در حوزه بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 1- Study in the Field of Walking Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
					آسیب در اندام تحتانی در گذشته نداشتند	رابط صلیبی قدامی همسترینگ و ۱۷ بیمار گروه کنترل	و کسانی که در گذشته عمل و یا ناهنجاری در اندام تحتانی داشتند حذف شدند.	قدامی وجود دارد.	
میلانداری و همکاران (۲۴) Clinical Biomechanics 2017	مقطعی	ارائه نشده است.	راه رفتن	۴ تا ۶ سال بعد از عمل	گروه کنترل ۱۵ مرد بودند که بین ۴ تا ۶ سال قبل تحت عمل جراحی بازسازی اتوگرافت همسترینگ یک طرفه قرار گرفته بودند.	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۳۰ مرد که به دو گروه ۱۵ نفره تقسیم شدند یک گروه افراد سالم و گروه دیگر با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	گروه شرکت-کنندگان در صورتی که قبلاً هر گونه جراحی زانو دیگری داشتند، حذف شدند. افرادی که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام دادند وارد مطالعه شدند.	بیمارانی که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام دادند، عدم تفاوت در راه رفتن مداوم و از نظر بالینی تفاوت با افراد سالم را مدت‌ها پس از جراحی در کینماتیک و سینتیک نشان می‌دهند.
پیترزیمون ^۱ و همکاران (۲۵) Journal of Athletic Training 2021	موردی شاهدهی	ارائه نشده است.	راه رفتن	۱۲ ماه پس از عمل	بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند.	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۱۴۷ نفر	افراد با سابقه جراحی در اندام تحتانی دیگر و یا دچار اختلال عصبی و عضلانی و یا دارای استئوآرتریت زانو حذف شدند.	افراد مبتلا به ACLR که گشتاور اکستنشن زانو > 3.0 نیوتن متر بر کیلوگرم را ایجاد کردند، پروفایل‌های راه رفتن بیومکانیکی متفاوتی را نسبت به افرادی که نمی‌توانستند به نمایش گذاشتند.

1. Pietrosimone

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۱- مطالعه در حوزه بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 1- Study in the Field of Walking Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
هادیان و همکاران (۲۶) Rehabilitation Quarterly novin 2007	مقطعی	آزمایشگاه بیومکانیک دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران	راه رفتن	۶ ماه پس از عمل	گروه کنترل ۱۵ مرد بودند که به طور داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند و با گروه سالم از نظر جنس و سن و سطح فعالیت های فیزیکی تطبیق داده شدند.	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۲۴ مرد که به دو گروه ۱۲ نفره با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی و افراد سالم تقسیم شدند	معیار ورود: گروه کنترل: حداقل ۶ ماه از عمل جراحی، عدم وجود آتروفی در عضلات اندام تحتانی و... بود. معیار ورود افراد سالم: عدم وجود صدمات نورولوژیک و یا روماتولوژیک در مفاصل ران، زانو و مچ پا در هر دو اندام، عدم وجود سابقه ضربه در دوماه اخیر در هر دو اندام و ...	نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد افرادی که تحت عمل بازسازی لیگامان متقاطع قدامی قرار گرفتند در وضعیت تحمل وزن اختلالی در حس وضعیت مفصل ندارند. حس وضعیت مفصل زانو عمدتاً توسط گیرنده های عضلانی- تاندونی تامین می شود. اطلاعات حسی گیرنده های مکانیکی سایر لیگامان ها و کپسول مفصلی، ارسال پیام های حسی عمقی را تکمیل می کنند.
لین و سیگوارد ^۱ (۲۷) Gait & posture 2019	مقطعی	آزمایشگاه عملکرد انسانی، بخش بیوکلینزیولوژی و فیزیوتراپی، دانشگاه کالیفرنیا جنوبی ایالات متحده	راه رفتن	۱۰ هفته پس از عمل	بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند.	بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۱۳ زن	کسانی که آسیب و یا سابقه جراحی قبلی در اندام تحتانی داشتند از مطالعه خارج شدند.	تفاوت در الگوهای هماهنگی، نشان می دهد که افراد پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی تنظیمات

1. Lin & Sigward

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۱- مطالعه در حوزه بیومکانیک راه رفتن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 1- Study in the Field of Walking Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
ظریف در زمان بندی مکانیک کل بدن؛ به ویژه در سرعت COM در طول راه رفتن ایجاد می‌کنند. این تنظیمات با کاهش بارگذاری صفحه ساجیتال در زانوی جراحی مطابقت دارد.									

جدول ۲- مطالعه در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 2- Study in the Field of Running Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
جعفرنژادگرو و همکاران (۲۸) Gait & Posture 2021	مقطعی	آزمایشگاه بیومکانیک ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی	دویدن ۶ تا ۱۰ ماه پس از عمل	گروه کنترل با آسیب یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی که عمل اتوگرافت تاندون همسترینگ انجام دادند.	بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۲۸ مرد ۱۴ نفر سالم و ۱۴ نفر با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	سایر آسیب- های لیگامانی قابل توجه که الگوی ضربه آرتروسکوپی تایید شده است. افراد با منیسک کتومی کامل یا آرتروتومی از مطالعه خارج شدند. همچنین آنهايي که واکنش دارای یک وضعیت دردناک دویدن با همزمان در	نتایج این مطالعه نشان داد دویدن با الگوی ضربه آرتروسکوپی ممکن است با انحراف کمتر پای عقب به دلیل پایین تر بودن همراه باشد. اوج نیروهای	نتایج این مطالعه نشان داد دویدن با الگوی ضربه آرتروسکوپی ممکن است با انحراف کمتر پای عقب به دلیل پایین تر بودن همراه باشد. اوج نیروهای

جدول ۲- مطالعه در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 2- Study in the Field of Running Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
آسایدا ^۱ و همکاران (۲۹) Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology 2019	موردی شاهدهی	ارائه نشده است.	دویدن	۶ تا ۱۲ ماه پس از عمل	گروه کنترل شامل افرادی بود که دچار آسیب یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی شده بودند.	بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۲۱ نفر (۱۰ مرد و ۱۱ زن)	کسانی که دارای استئوآرتریت زانو بودند و یا دیگر آسیب‌های اندام تحتانی را دارا بودند از مطالعه خارج شدند.	پشت پا یا الگوی ضربه میانی پا همراه است. علاوه بر این، فعالیت‌های عضلانی تغییر یافته می‌تواند به افزایش خطر آسیب مفصلی در آینده در قسمت قدامی کمک کند.

1. Asaeda

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۲- مطالعه در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 2- Study in the Field of Running Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
پاموکوف ^۱ و همکاران (۳۰) Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 2018	آزمایشگاهی مقطعی کنترل شده	ارائه نشده است.	دویدن	۲۵ تا ۴۸ ماه پس از بازسازی	گروه کنترل شامل افرادی بود که دچار آسیب یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی بودند	بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۳۸ نفر مرد و زن	شرکت - کنندگانی که در ۶ ماه گذشته آسیب یا جراحی در اندام تحتانی داشتند و یا اختلال عصبی داشتند از مطالعه خارج شدند. همچنین کسانی که دچار آسیب دو طرفه لیگامان متقاطع قدامی نیز بودند از مطالعه خارج شدند.	است (به ویژه بیماران زن).
کنور ^۲ و همکاران (۳۱) The American journal of sports medicine 2021	مقطعی	در دانشگاه ویسکانسین-مدیسون	دویدن	۱۲ ماه بعد از عمل	۱۳ ورزشکار دانشگاهی بخش بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ (زن)	بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	دویدن روی تردمیل $3/7 \pm 0/6$ متر بر ثانیه بود. تجزیه و تحلیل آسیب ACL حین دویدن در ۴، ۶، ۸ و	۱- بیومکانیک زانو جراحی به طور قابل توجهی در مدت کوتاهی پس از ACLR کاهش می‌یابد. ۲- مکانیک اندام	به دنبال بازسازی لیگامان متقاطع قدامی، بیومکانیک دویدن زانو ۱۲ ماه پس از جراحی اندام به وضعیت

1. Pamukoff

2. Knurr

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۲- مطالعه در حوزه بیومکانیک دویدن پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 2- Study in the Field of Running Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
							۱۲ ماه تکرار شد.	غیرجراحی به طور قابل توجهی نسبت به قبل از آسیب تغییر می- کند.	قبل از آسیب بازیابی نشد. در حالی که مکانیک اندام غیرجراحی بدون تغییر در مقایسه با قبل از آسیب- دیدگی باقی ماند.

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
بل ^۱ و همکاران (۳۲) Journal of Athletic Training 2014	مقطعی	آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه ویسکانسین- مدیسون	پرش و فرود	۳ مرتبه تکلیف پرش و فرود را انجام دادند.	گروه کنترل از افراد یک آسیب یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی بودند و جراحی قرار گرفتند.	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	(مرد و زن) که ۲۷ نفر سالم و ۲۷ نفر بازسازی لیگامان متقاطع قدامی داده بودند.	کسانی که در ۳ ماه گذشته به آسیبی در اندام تحتانی دچار شده بودند و یا تحت عمل جراحی دیگری در اندام تحتانی قرار گرفته بودند از مطالعه خارج شدند.	نتایج این مطالعه نشان داد افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی مکانیک فرود بدتری داشتند همانطور که توسط LESS اندازه‌گیری شد. انحراف جانبی تنه ممکن است مربوط به اجتناب از کنترل عصبی عضلانی اندام یا تنه ضعیف عضله

1. Bell

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
چهارسر ران در بازسازی باشد.									
نتایج این مطالعه نشان داد شرکت‌کنندگان با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی خطاهای بیشتری را هنگام فرود نشان دادند. وقوع خطاهای فرود با قدرت کشش زانو همبستگی منفی دارد، که نشان می‌دهد که شرکت‌کنندگان ضعیف‌تر فرود خطاهای بیشتری داشتند. ضعف عضله چهارسر که معمولاً با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی همراه است ممکن است مربوط به کاهش کیفیت حرکت اندام تحتانی در طول وظیفه پویا باشد.	مطالعه آزمایشگاهی کنترل شده	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۹ ماه بعد از عمل	گروه کنترل چهار آسیب یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی بودند که جراحی انجام داده بودند	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۴۶ نفر (مرد و زن) ۲۲ نفر با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی و ۲۴ نفر سالم	افرادى که آسیب قابل توجهی در اندام تحتانی و یا سابقه آسیب در ۶ هفته گذشته نداشتند وارد مطالعه شدند.	نتایج این مطالعه نشان داد شرکت‌کنندگان با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی خطاهای بیشتری را هنگام فرود نشان دادند. وقوع خطاهای فرود با قدرت کشش زانو همبستگی منفی دارد، که نشان می‌دهد که شرکت‌کنندگان ضعیف‌تر فرود خطاهای بیشتری داشتند. ضعف عضله چهارسر که معمولاً با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی همراه است ممکن است مربوط به کاهش کیفیت حرکت اندام تحتانی در طول وظیفه پویا باشد.
وارد ^۲ و همکاران (۳۴) Journal of Athletic Training 2018	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۶ ماه پس از عمل	گروه کنترل چهار آسیب یک طرفه	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان	۲۸ نفر (مرد و زن) ۲۱ نفر با بازسازی لیگامان	افرادى که جراحی به جز لیگامان متقاطع قدامی انجام	MVIC و CAR چهار سر ران بزرگتر ممکن است انرژی کمتر

1. Kuenze

2. Ward

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
					لیگامان متقاطع قدامی بودند که جراحی انجام داده بودند	مقاطع قدامی	مقاطع قدامی	داده بودند از مطالعه خارج شدند. همچنین اشخاصی که مبتلا به استئوآرتریت زانو و یا مشکل عصبی و عضلاتی و یا افرادی که دچار ضربه مغزی و یا ضربه به سر و دیگر آسیب‌های اندام تحتانی در ۶ ماه گذشته بودند از مطالعه خارج شدند.	بهتری را در طول یک کار پرش و فرود فراهم کند. افراد با اوج vGRF بیشتر در اندام با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی احتمالاً برای بارگذاری کمتر در حین حرکات پویا بیشتر به تحریک پذیری رفلکس نخاعی بیشتری نیاز دارند.
گرومز ^۱ و همکاران (۳۵) Journal of Athletic Training 2018	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۶ ماه تا ۵ سال قبل مطالعه	گروه کنترل افرادی بودند که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۳۰ نفر (مرد و زن) ۱۵ نفر سالم و ۱۵ نفر با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	افرادی که سابقه عمل در قسمت‌های دیگر اندام تحتانی داشتند از مطالعه خارج شدند.	بازسازی رباط صلیبی ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در کنترل دیداری حرکتی زانو در صفحه ساژیتال شود. مداخله یادگیری حرکتی، یا برنامه آموزشی پلايومتریک، نشان می‌دهد که توانایی دیداری-حرکتی

1. Grooms

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
پترنو ^۱ و همکاران (۳۶) Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 2011	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	-	گروه کنترل از افرادی تشکیل شده بود که اخیراً عمل بازسازی یک طرفه لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۹۸ نفر که ۵۶ نفر (۳۵ زن و ۲۱ مرد) آنها بازسازی یک طرفه رباط صلیبی قدامی انجام دادند و ۴۲ نفر (۲۹ زن و ۱۳ مرد) آنها سالم بودند	افرادى که سابقه جراحى در اندام تحتانى در ۱۲ ماه گذشته داشتند از مطالعه خارج شدند.	ممکن است به کنترل عصبی عضلانی زانو در سطح بالینی مهم کمک کند. پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی، هر دو شرکت‌کنندگان زن و مرد در زمان بازگشت به ورزش عدم تقارن اندام درگیر در اوج VGRF در هنگام فرود روی دوپا را داشتند. این‌ها کسری‌هایی که در زمان بازگشت به ورزش وجود دارند ممکن است خطر آسیب در آینده را افزایش دهند و نشان دهنده آن باشند که ممکن است نیاز به توانبخشی پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی باشد.
جمشیدی و همکاران (۳۷) Research in rehabilitation science 2015	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۶ تا ۲۴ ماه پس از عمل	گروه کنترل همگی تحت جراحی	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان	۲۲ مرد (۱۱ سالم و ۱۱ مرد با بازسازی)	معیارهای ورود شامل: سن ۱۸ تا ۴۰ سال، جراحی	در این تحقیق مشاهده شد که فعالیت الکتریکی و الگوی وارد عمل

1. Paterno

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
اریشیمو ^۱ و همکاران (۳۸) Knee Surgery, Sports Traumatology,	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۴ تا ۱۲ ماه پس از عمل	کنترل بازسازی لیگامان متقاطع	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان	لیگامان متقاطع قدامی - بازسازی لیگامان متقاطع قدامی - آسیب سایر لیگامنت - های زانو (بر اساس معاینه بالینی و MRI یا آرتروسکوپی زانو توسط پزشک ارتوپد. معیار خروج شامل: (بیشتر از ۳ تورم و افیوژنی که از نظر بالینی و با چشم قابل تشخیص باشد، ایجاد هرگونه آسیب جدی که اثرات یا علائم آن بیش از ۴۸ ساعت ادامه پیدا کند.	بازسازی یکطرفه لیگامنت متقاطع قدامی بدون آسیب سایر لیگامنت - های زانو (بر اساس معاینه بالینی و MRI یا آرتروسکوپی زانو توسط پزشک ارتوپد. معیار خروج شامل: (بیشتر از ۳ تورم و افیوژنی که از نظر بالینی و با چشم قابل تشخیص باشد، ایجاد هرگونه آسیب جدی که اثرات یا علائم آن بیش از ۴۸ ساعت ادامه پیدا کند.	شدن عضلات تنه در افراد سالم و بیمارانی که تحت جراحی بازسازی لیگامان متقاطع قدامی قرار گرفته‌اند، متفاوت است.
نتایج این مطالعه نشان داد بازسازی و توانبخشی زانو می‌تواند برای	باید دوره باز توانی را گذرانده و سابقه عمل و یا آسیب	۱۳ نفر (۹ مرد و ۴ زن)	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان	۴ تا ۱۲ ماه پس از عمل	کنترل بازسازی لیگامان متقاطع	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان	باز توانی را گذرانده و سابقه عمل و یا آسیب	باید دوره باز توانی را گذرانده و سابقه عمل و یا آسیب	نتایج این مطالعه نشان داد بازسازی و توانبخشی زانو می‌تواند برای

1. Orishimo

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۳- مطالعه در حوزه بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی

Table 3- Study in the Field of Jumping and Landing Biomechanics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

اسامی نویسندگان، نام مجله و سال انتشار	نوع مطالعه	محل انجام مطالعه	نوع مداخله	دوره زمانی	گروه کنترل	متغیر مورد بررسی	آزمودنی‌ها	معیارهای ورود و خروج	نتایج اصلی
Arthroscopy 2010					قدامی انجام دادند	متقاطع قدامی	در دیگر اندام تحتانی را نداشته باشند.	بازگرداندن ثبات مکانیکی ایجاد شده توسط رباط صلیبی قدامی در مفصل زانو مفید واقع شود به صورتی که کینیتیک و کینماتیک مفصل را به حالت طبیعی بازگرداند.	
سونگ ^۱ و همکاران (۳۹) Sports Biomechanics 2023	مطالعه مقطعی	ارائه نشده است.	پرش و فرود	۶ تا ۱۴ ماه بعد از عمل	گروه کنترل عمل بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام داده بودند	بیومکانیک پرش و فرود پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی	۱۴ نفر (۸ مرد و ۶ زن)	افرادی که سابقه عمل دیگر قسمت‌های اندام تحتانی از نیروی عکس‌العمل خارج شدند.	نتایج این مطالعه نشان داد تقارن موجود در پرش جفت ارزیابی حساس‌تری نسبت به اسکات در مولفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین و گشتاور اکستنسوری زانو دارد.

1. Song

فصلنامه مطالعات طب ورزشی، زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴۲

جدول ۴- پرسشنامه ارزیابی کیفیت مقالات (Black & Downs)

Table 4- Quality Assessment Questionnaire of Articles (Downs & Black)

کیفیت مقالات (درصد)	نمره کل	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	نوع مقاله
77.41	24	3	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	دیتا و همکاران (۲۴)
77.41	24	4	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	ویستر و همکاران (۲۵)
77.41	24	3	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	میلنداری و همکاران (۲۶)
70.96	22	3	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	پیترزیمون و همکاران (۲۷)
87.09	27	5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	هادیان و همکاران (۲۸)
77.41	24	4	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	لین و سیگورد (۲۹)
77.41	24	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	جعفرزادگرو و همکاران (۳۰)
77.41	24	4	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	آسیدا و همکاران (۳۱)
77.41	24	3	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	پاموکوف و همکاران (۳۲)
74.19	23	3	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	کنور و همکاران (۳۳)
64.51	20	3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	بل و همکاران (۳۴)
87.09	27	5	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	کوتزه و همکاران (۳۵)
70.96	22	3	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	وارد و همکاران (۳۶)
67.74	21	3	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	گرومز و همکاران (۳۷)
74.19	23	4	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	پترنو و همکاران (۳۸)
87.09	27	5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	چمشیدی و همکاران (۳۹)
80.64	25	4	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	ایرشیمو و همکاران (۴۰)

جدول ۴- پرسشنامه ارزیابی کیفیت مقالات (Black & Downs).

Table 4: Quality Assessment Questionnaire of Articles (Downs & Black)

کیفیت مقالات (درصد)	نمره کل	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	مجموع مقالات
80.64	25	4	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	سونگ و همکاران (۴۱)
= ۱۳۸۶/۹۷																													
مجموع Total = 1386.97																													
میانگین Mean= 77																													

بحث و نتیجه گیری

هدف از مطالعه حاضر مروری بر مکانیک بدن طی حرکات انتقالی (راه رفتن، دویدن، پرش و فرود) در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی بود. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که مکانیک راه رفتن در افراد پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی به دلیل ضعف عضلات و دامنه حرکتی مفاصل دچار اختلال می‌گردد. در همین راستا میلاننداری و همکاران، نشان دادند بیمارانی که بازسازی لیگامان متقاطع قدامی انجام دادند، در مقایسه با افراد سالم عدم تقارن بیشتری را در راه رفتن نشان می‌دهند (۲۴). لین و سیگوارد، اظهار داشتند که افراد پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی در زمان بندی مکانیک کل بدن، به ویژه در سرعت COM در طول راه رفتن ایجاد می‌کنند (۲۷). احتمالاً بیماران مبتلا به ACLR، با افزایش اعمال گشتاور به مفاصل اندام تحتانی منجر به تغییر مکانیک حرکات انتقالی می‌گردد، به نحوی که می‌تواند منجر به تغییر در توزیع بار در مفصل پاتلوفمورال شود. این تغییرات می‌توانند باعث افزایش بارگذاری بر روی این مفصل شوند. یکی از مهمترین مشکلات و عوارض پس از بازسازی این لیگامان از دست دادن دامنه انتهایی اکستنشن زانو (۵ تا ۱۰) درجه است (۴۰)، این اختلال محدودیت دامنه حرکتی می‌تواند منجر به درد قابل توجه و نقص عملکردی به ویژه در راه رفتن و دویدن در بیماران جوان و فعال شود، زیرا از دست دادن دامنه انتهایی اکستنشن بیش از ۱۰ درجه، از راه رفتن نرمال جلوگیری کرده و منجر به افزایش لودهای وارده به مفصل پاتلوفمورال و در نتیجه درد قدام زانو می‌شود (۴۱). رباط‌ها در حفظ ثبات دینامیک زانو، علاوه بر نقش مکانیکی دارای نقش مهمی هستند به نحوی که استرین اعمال شده به زانو در طی فعالیت‌های پرتنش اغلب بیشتر از تحمل عناصر پاسیو زانو است که برای جلوگیری از آسیب و افزایش ثبات زانو به نیروهای فشارنده مفصلی ناشی از تحمل وزن و فعالیت عضلات نیاز است (۴۱، ۴۲). لنهاارد^۱ و همکاران، گزارش کردند که با تمرین قدرتی منظم می‌توان از بروز آسیب مفصل زانو پیشگیری نمود. برخی از برنامه‌های تمرینی برای بهبود عملکرد عضلانی الگوهای بکارگیری و زمان عکس‌العمل و افزایش کنترل عصبی عضلانی طراحی و برخی دیگر برای بهبود تعادل و حسی عمقی مفصل طراحی شده‌اند (۴۳).

یافته‌های مقالات مرتبط با بیومکانیک حرکات انتقالی پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد بیومکانیک دویدن تا ۱۲ ماه پس از بازسازی مانند شرایط اولیه نگردید که نیاز به افزایش قدرت عضلات چهارسرران می‌باشد، نتایج به نحوی حاکی از آن است که قدرت عضلات چهارسر رانی به دلیل ثبات و عدم تحرک کافی به میزان زیادی کاهش پیدا می‌کند. کاهش سریع عملکرد چهارسرران که در اوایل دوره بعد از جراحی اتفاق می‌افتد، ناشی از مهار عمدتاً آرتروژنیک عضلات است که به

1. Lehnhard

علت درد، التهاب، تورم و همچنین اختلال در گیرنده‌های حس عمقی مفصل به وجود می‌آید. این کاهش قدرت در ماه‌های اول پس از جراحی به اوج خود می‌رسد. بدنبال بازسازی لیگامان متقاطع قدامی، ضعف عضله چهار سر ران منجر به عدم توانایی در فعالسازی کامل موتور یونیتها می‌گردد (مهار عضلانی). مهار عضلانی در رابطه با آسیب مفصل، درد زانو (درد مفاصل پاتلوفمورال)، افیوژن مفصلی و یا سایر فاکتورهای عصبی می‌باشد. مهار عضلانی مانع از تولید حداکثر نیرو شده و در مدت زمان طولانی باعث آتروفی فیبر عضله می‌گردد. بنابراین کاهش کارایی عضله چهارسر رانی ناشی از مهار عضلانی بر روی مکانیک بدن طی حرکاتی مثل پرش و فرود تک پا اثر منفی داشته باشد (۴۴). احتمالاً این وضعیت می‌تواند به ویژه بعد از جراحی منجر به کاهش قدرت و استقامت عضلات اندام تحتانی شود، که در نتیجه توانایی فرد برای تولید نیروی کافی در حرکات انتقالی کاهش می‌یابد.

یافته‌ها در حوزه بیومکانیک پرش و فرود در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی نشان داد که افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی به علت ضعف عضلات چهارسر ران و کاهش حس عمقی پرش و فرود ضعیف‌تری نسبت به افراد سالم داشتند. یکی دیگر از مشکلات عمده پس از بازسازی لیگامان، کاهش قدرت عضلات کوادرپسپس و همسترینگ است. البته تحقیقات متعددی نشان می‌دهد که کاهش بیشتری در عضله کوادرپسپس نسبت به عضله همسترینگ در این بیماران وجود دارد (۴۴). ضعف عضلات چهارسررانی به عنوان مانعی در برابر بازتوانی مؤثر بعد از آسیب و بازسازی لیگامان متقاطع قدامی مشاهده شده است. این ضعف ممکن است به طیف گسترده‌ای از عواقب مهم مثل نقص اکستنشن زانو، راه رفتن غیر طبیعی، آتروفی ران، عملکرد ضعیف، بی ثباتی دینامیکی، درد مداوم زانو و استئوآرتریت اولیه منجر شود (۴۵). آسیب لیگامان متقاطع قدامی و به دنبال آن بازسازی این لیگامان اختلالات زیادی را در الگوهای حرکتی ایجاد نموده و علاوه بر ضعف عضلات ران سبب کاهش کارایی سیستم عصبی-عضلانی و اختلال در عملکرد فرد می‌شود. بعد از عمل بازسازی توانایی فرد در اجرای فعالیت‌های عملکردی و تعادلی کاهش می‌یابد و آسیب مفصلی و بیماری‌های غضروفی تأثیرات منفی بر حس عمقی مفصل، حس حرکت و تعادل فرد می‌گذارند. حس عمقی مفصل زانو متغیر مهمی در ارزیابی توانایی عملکردی زانو است. اختلال حس عمقی ممکن است به اختلال در راه رفتن، از دست دادن ثبات و فقدان کنترل حرکتی مفصل زانو شود. حس عمقی به عنوان مهمترین جزء آوران سیستم حرکتی و جزء ضروری کنترل حرکت مطرح است که نقشی حیاتی در فعالیت پویای مفصل دارد. بنابراین علاوه بر اهمیت انواع تکنیک‌های جراحی، توانبخشی پس از بازسازی نیز از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. علت بهبود حس حرکت پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی را می‌توان تصحیح مکانیکی زانو، از بین رفتن خالی کردن زانو و عدم ارسال پیام‌های غیر نرمال از کپسول مفصل زانو و بافت‌های دیگر و استامپ‌های لیگامان متقاطع قدامی پاره، به مراکز بالاتر، دانست. به نظر می‌رسد افزایش قدرت در عضلات چهارسرران و همسترینگ منجر به بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی مفاصل در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی می‌شود. اگلی و هیوت^۱، به این نتیجه رسیده‌اند که شواهد موجود در ادبیات پیشینه نشان می‌دهد برای رسیدن به سلامت پایه مفصل بعد از بازسازی رباط و انجام یک دوره توانبخشی در ورزشکاران به حدود دو سال وقت نیاز است و پیشنهاد داده‌اند بهتر است، ورزشکارانی که رباط متقاطع قدامی خود را بازسازی کرده‌اند به خصوص ورزشکاران جوان‌تر تا دو سال به فعالیت اصلی خود بازنگردند؛ زیرا بررسی آنها نشان داد تأخیر در بازگشت به فعالیت اصلی تقریباً برای دو سال به طور توجه برانگیزی بروز آسیب بعدی در این رباط را کاهش می‌دهد (۴۶).

1. Nagelli & Hewett

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم بررسی انواع مداخلات تمرینی در بهبود مکانیک بدن طی حرکات انتقالی، عدم بررسی ابزارهای حمایتی همانند کفی، کفش، گوه و بريس اشاره نمود. به نظر می‌رسد انجام تمرینات تخصصی همچون افزایش قدرت در عضلات چهارسرران و همسترینگ و همچنین بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی مفصل جهت بهبود کامل مکانیک حرکات انتقالی در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی ضروری است. پیشنهادهای کاربردی مطالعه حاضر عبارت است از:

- ۱) با مرور مطالعات پیشین پیشنهاد می‌شود که افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی به تقویت عضلات چهارسر ران و همسترینگ بپردازند.
- ۲) پیشنهاد می‌شود که افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی درصدد بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی در راستای بهبود کیفیت حرکات انتقالی باشند.
- ۳) همچنین پیشنهاد می‌شود که افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی تا قبل از بازتوانی کامل از فعالیت ورزشی سنگین بپرهیزند.

درباره چشم‌اندازهای پژوهشی باید گفت، تاکنون مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور به بررسی بازسازی لیگامان متقاطع قدامی پرداخته است. اما تا به حال مطالعه‌ی سیستماتیک در خصوص اهمیت بهبود در حرکات انتقالی پس از بازسازی لیگامان متقاطع قدامی صورت نپذیرفته است. با توجه به اثرات مثبت روش‌های درمانی مثل تقویت عضلات چهارسر و همسترینگ به پژوهشگران پیشنهاد می‌گردد که اثرات این نوع روش درمانی در بازه‌ی زمانی بلندمدت با تعداد آزمودنی‌های بیشتر و مقایسه هر دو جنسیت مورد بررسی قرار گیرد. همچنین به تمامی علاقمندان در این حوزه بر اساس مطالعه حاضر پیشنهاد می‌گردد تا سایر عواملی که در این پژوهش جز محدودیت به شمار می‌آید را مورد بررسی قرار دهند.

پیام مقاله

به نظر می‌رسد، افزایش قدرت در عضلات چهارسرران و همسترینگ منجر به بهبود دامنه حرکتی و حس عمقی مفاصل در افراد با بازسازی لیگامان متقاطع قدامی می‌شود.

تشکر و قدردانی

از تمامی پژوهشگران در این حوزه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

1. Nasseri A, Khataee H, Bryant AL, Lloyd DG, Saxby DJ. Modelling the loading mechanics of anterior cruciate ligament. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2020;184:105098. (Persian)
2. Kiapour A, Murray M. Basic science of anterior cruciate ligament injury and repair. Bone & joint research. 2014;3(2):20-31.
3. Collins S, Layde P, Guse C, Schlotthauer A, Van Valin S. The incidence and etiology of anterior cruciate ligament injuries in patients under the age of 18 in the state of Wisconsin. Pediat Therapeut. 2014;4(196).
4. Ajuied A, Wong F, Smith C, Norris M, Earnshaw P, Back D, et al. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. The American journal of sports medicine. 2014;42(9):2242-52.

5. Kapandji IA. The Physiology of the Joints: The spinal column, pelvic girdle and head: Churchill Livingstone; 2007.
6. Jafarnezhadgero A, Piran Hamlabadi M, Naderpour M, Khodabakhsh Dizaj M. Effect of Sport Shoe Weight on Gait Kinetics in Athletes With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction During Walking. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023;11(6):850-63. (Persian)
7. Gerber C, Matter P. Biomechanical analysis of the knee after rupture of the anterior cruciate ligament and its primary repair. An instant-centre analysis of function. The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume. 1983;65(4):391-9.
8. Fu FH, Harner CD, Johnson DL, Miller MD, Woo SL-Y. Biomechanics of knee ligaments: basic concepts and clinical application. JBJS. 1993;75(11):1716-27.
9. Bonfim TR, Paccola CAJ, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2003;84(8):1217-23.
10. Ghorbanlou F, Jafarnezhadgero A, Fakhri Mirzanag E. The Effect of Training with Elastic Band on Electro Myography of Lower Limb Muscles in Genu Valgum Male Students during Running: A Clinical Trial Study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2022;21(3):327-42. (Persian)
11. Howells BE, Ardern CL, Webster KE. Is postural control restored following anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy. 2011;19:1168-77.
12. Logerstedt D, Lynch A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Symmetry restoration and functional recovery before and after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy. 2013;21:859-68.
13. Logerstedt D, Lynch A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Pre-operative quadriceps strength predicts IKDC2000 scores 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. The Knee. 2013;20(3):208-12.
14. Barenus B, Ponzer S, Shalabi A, Bujak R, Norlén L, Eriksson K. Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial. The American journal of sports medicine. 2014;42(5):1049-57.
15. Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. The American journal of sports medicine. 2009;37(10):1958-66.
16. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. Clinics in sports medicine. 2008;27(3):405-24.
17. Hurley MV. The role of muscle weakness in the pathogenesis of osteoarthritis. Rheumatic disease clinics of North America. 1999;25(2):283-98.
18. Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. Clinical biomechanics. 2002;17(1):56-63.
19. Kruse L, Gray B, Wright R. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2012;94(19):1737.
20. Moezy A, Olyaei G, Hadian M, Razi M, Faghihzadeh S. A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. British journal of sports Medicine. 2008;42(5):373-85.
21. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. Journal of epidemiology & community health. 1998;52(6):377-84.
22. Devita P, Hortobagyi T, Barrier J. Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation. Medicine and science in sports and exercise. 1998;30:1481-8.
23. Webster KE, Wittwer JE, O'Brien J, Feller JA. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction are related to graft type. The American journal of sports medicine. 2005;33(2):247-54.

24. Milandri G, Posthumus M, Small T, Bothma A, van der Merwe W, Kassanje R, et al. Kinematic and kinetic gait deviations in males long after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Biomechanics*. 2017;49:78-84.
25. Pietrosimone B, Davis-Wilson HC, Seeley MK, Johnston C, Spang JT, Creighton RA, et al. Gait biomechanics in individuals meeting sufficient quadriceps strength cutoffs after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*. 2021;56(9):960-6.
26. Hadian MR, Mir SM, Talebian S, Naseri N. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. *Modern Rehabilitation*. 2007;1(1):59-69.
27. Lin PE, Sigward SM. Subtle alterations in whole body mechanics during gait following anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait & posture*. 2019;68:494-9.
28. Jafarnezhadgero AA, Pourrahimghoroghchi A, Darvishani MA, Aali S, Dionisio VC. Analysis of ground reaction forces and muscle activity in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction during different running strike patterns. *Gait & Posture*. 2021;90:204-9. (Persian)
29. 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.
30. Pamukoff DN, Montgomery MM, Choe KH, Moffit TJ, Garcia SA, Vakula MN. Bilateral alterations in running mechanics and quadriceps function following unilateral anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2018;48(12):960-7.
31. Knurr KA, Kliethermes SA, Stiffler-Joachim MR, Cobian DG, Baer GS, Heiderscheit BC. Running biomechanics before injury and 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction in division i collegiate athletes. *The American journal of sports medicine*. 2021;49(10):2607-14.
32. Bell DR, Smith MD, Pennuto AP, Stiffler MR, Olson ME. Jump-landing mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction: a landing error scoring system study. *Journal of athletic training*. 2014;49(4):435-41.
33. Kuenze CM, Foot N, Saliba SA, Hart JM. Drop-landing performance and knee-extension strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of athletic training*. 2015;50(6):596-602.
34. Ward SH, Blackburn JT, Padua DA, Stanley LE, Harkey MS, Luc-Harkey BA, et al. Quadriceps neuromuscular function and jump-landing sagittal-plane knee biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of athletic training*. 2018;53(2):135-43.
35. Grooms DR, Chaudhari A, Page SJ, Nichols-Larsen DS, Onate JA. Visual-motor control of drop landing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*. 2018;53(5):486-96.
36. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Hewett TE. Effects of sex on compensatory landing strategies upon return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2011;41(8):553-9.
37. Kechili ASTAAJMASIETNMHYPJY. Comparison of electrical activity time of central trunk muscles during landing task in healthy subjects and patients after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Research in rehabilitation science*. 2015.
38. Orishimo KF, Kremenik IJ, Mullaney MJ, McHugh MP, Nicholas SJ. Adaptations in single-leg hop biomechanics following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010;18(11):1587-93.
39. Song Y, Li L, Jensen MA, Dai B. Jump-landing kinetic asymmetries persisted despite symmetric squat kinetics in collegiate athletes following anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Biomechanics*. 2023:1-14.
40. Kisner C, Colby LA, Borstad J. *Therapeutic exercise: foundations and techniques*: Fa Davis; 2017.
41. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph KS, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2001;31(10):546-66.

42. Grip H, Tengman E, Häger CK. Dynamic knee stability estimated by finite helical axis methods during functional performance approximately twenty years after anterior cruciate ligament injury. *Journal of biomechanics*. 2015;48(10):1906-14.
43. Lehnhard RA, Lehnhard HR, Young R, Butterfield SA. Monitoring injuries on a college soccer team: the effect of strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1996;10:115-9.
44. Arastoo N, Goharpey S, Negahban Sioki H, Shaterzadeh Yazdi MJ, Salehi R. Comparision of Some Functional Tests and Disability Level between Patients with ACL Deficiency, ACL Reconstruction, and Healthy People. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2015;14(3):273-81.
45. Eitzen I, Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA. A progressive 5-week exercise therapy program leads to significant improvement in knee function early after anterior cruciate ligament injury. *journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2010;40(11):705-21.
46. Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports medicine*. 2017;47(2):221-32.

