مقاله مروری
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۲۵، خرداد ۱۴۰۵، ۳۱۸-۲۹۹

تفاوت‌های جنسیتی در بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی حین راه‌رفتن: مرور نظام‌مند و متا-آنالیز

علی اسماعیلی[۱]، امیرعلی جعفرنژادگرو[۲]، فرهاد رضازاده[۳]، رضا نکته سنج[۴]

دریافت مقاله: ۱۴۰۵/۰۱/۲۶ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح۱۴۰۵/۰۲/۱۹ دریافت اصلاحیه از نویسنده۱۴۰۵/۰۳/۲۳ پذیرش مقاله۱۴۰۵/۰۳/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: تفاوت‌های جنسیتی خاص در بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمینی پس از جراحی بازسازی رباط صلیبی قدامی (Anterior cruciate ligament reconstruction; ACLR) حین راه‌رفتن مشخص شده است. بنابراین، نمی‌توان مکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمینی را در زنان همانند مردان فرض کرد. در این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز، هدف مطالعه حاضر تعیین تفاوت جنسیت در بازیابی بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمینی پس از جراحی ACLR حین راه‌رفتن بود.

مواد و روش‌ها: پنج پایگاه داده الکترونیکی شامل Scopus، PubMed، EMBASE، PEDro و Register Central Cochrane of Trials Controlled به‌صورت نظام‌مند تا ژوئن ۲۰۲۶ برای شناسایی مقالات واجد شرایط بالقوه جست‌وجو شدند. نسخه اصلاح شده چک‌لیست Downs و Black برای ارزیابی کیفیت روش‌شناختی مطالعات وارد شده به‌کار گرفته شد.

یافته‌ها: در نهایت شش مطالعه با میانگین کیفیت روش شناسی ۶۶ درصد وارد مرور شدند. یافته‌های مطالعات اصلی نشان داده‌اند که در زیرگروه مرد، گشتاور اداکتوری زانو و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در بیماران ACLR به‌طور معنی‌داری، کمتر از گروه کنترل سالم یافت شد (P<۰/۰۵). در زیرگروه زن، در بیماران ACLR نیروی عمودی عکس‌العمل زمین به‌طور معناداری بیش‌تر از گروه کنترل سالم مشاهده گردید (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: یافته‌های مرور نظام‌مند و متا-آنالیز حاضر بیانگر بازسازی متفاوت الگوی راه‌رفتن مردان در مقایسه با زنان با سابقه ACLR است. نتایج این مطالعه بر ضرورت طراحی برنامه‌های توان‌بخشی هدف‌مند بر اساس جنسیت برای اصلاح و تغییر الگوی بارگذاری مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمینی پس از ACLR تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: جراحی ACL، زاویه مفصل، گام برداری

ارجاع: اسماعیلی ع، جعفرنژادگرو اع، رضازاده ف، نکته سنج ر. تفاوت‌های جنسیتی در بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی حین راه‌رفتن: مرور نظام‌مند و متا-آنالیز . سال ۱۴۰۵، دوره ۲۵، شماره ۳، صفحات: ۳۱۸-۲۹۹.

۱- کاندید دکتری بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تلفن: ۰۹۱۰-۵۱۴۶۲۱۴، پست الکترونیکی: amiralijafarnezhad@gmail.com
۳- استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- استادیار، گروه جراحی و ارتوپدی، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

مقدمه

پس از پارگی رباط صلیبی قدامی (Anterior cruciate ligament; ACL)، بازسازی رباط صلیبی قدامی (Anterior cruciate ligament reconstruction; ACLR) یک درمان پزشکی رایج برای بازگرداندن پایداری مفصل و بازگرداندن بیماران به سطح تحرک قبل از آسیب محسوب می‌شود. تعدادی از مطالعات، تأثیر ACLR بر الگوهای کینماتیک مفصل زانو در حین راه‌رفتن را بررسی کرده‌اند (۲، ۱). این مطالعات نشان داده‌اند که اگرچه پس از عمل بازسازی، تمایلی به نرمال‌سازی الگوی راه‌رفتن وجود دارد، اما کینماتیک تغییریافته حول محور خم و باز شدن زانو همچنان پابرجاست. این‌طور پیشنهاد شده است که الگوهای غیرطبیعی راه‌رفتن ممکن است در بروز بلندمدت عوارض پاتولوژیک زانو نقش داشته باشند. علاوه بر این، نشان داده شده است که افراد پس از ACLR در مقایسه با افراد سالم هنگام راه رفتن، عدم تقارن در بارگذاری زانو را تجربه می‌کنند (۱).

بیومکانیک تغییریافته راه رفتن که با زوایا و گشتاورهای مفصلی نشان داده می‌شود، می‌تواند نشان‌دهنده اختلالات حل نشده پس از آسیب و جراحی باشد و هم‌چنین ممکن است به‌عنوان یک عامل مکانیکی مؤثر در بروز آرتروز پس از تروما عمل کند (۳). تا به امروز، مطالعات بررسی‌کننده ویژگی‌های الگوی راه‌رفتن پس از ACLR یافته‌های ناهمگون و گاه متناقضی را در خصوص کینماتیک زانو گزارش کرده‌اند (۴، ۱). با توجه به شواهد موجود مبنی بر تفاوت‌های جنسیتی در الگوهای بارگذاری و کنترل عصبی-عضلانی پس از ACLR، جنسیت می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در ناهمگنی نتایج باشد (۶، ۵). بنابراین، تجمیع داده های قابل مقایسه و انجام تحلیل‌های مبتنی بر جنسیت برای تبیین دقیق‌تر تغییرات بیومکانیکی مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین ضروری به‌نظر می‌رسد. شناسایی ویژگی‌های قابل تغییر و وابسته به جنسیت در الگوی راه‌رفتن زانوی بازسازی‌شده می‌تواند به توسعه مداخلات هدف‌مند برای پیشگیری از بروز زودهنگام و پیشرفت عوارض پاتولوژیک پس از آسیب زانو کمک کند (۶، ۵).

زنان در مقایسه با مردان حدود دو تا سه برابر بیش‌تر در معرض آسیب ACL در ورزش‌هایی مانند فوتبال و بسکتبال قرار دارند (۷). علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که پس از ACLR، ورزشکاران زن نسبت به مردان در معرض خطر بیش‌تری برای آسیب مجدد ACL، به‌ویژه پارگی ACL اندام مقابل، قرار دارند (۸). زنان معمولاً دارای عرض لگن بیش‌تر، زاویه Q بزرگ‌تر، شلی عمومی مفاصل بیش‌تر و الگوهای فعال‌سازی عضلانی متفاوتی نسبت به مردان هستند (۱۰، ۹). این ویژگی‌ها می‌توانند منجر به افزایش والگوس دینامیک زانو، تغییر در بارگذاری مفصل در صفحات فرونتال و عرضی و تفاوت در کنترل عصبی-عضلانی حین راه رفتن شوند (۱۲، ۱۱). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که زنان سالم در مقایسه با مردان طی راه رفتن الگوهای کینماتیکی متفاوتی در مفصل زانو دارند که با افزایش زاویه ابداکشن زانو و تفاوت در دامنه حرکتی فلکشن همراه است (۱۴، ۱۳). Shi و همکاران در یک متاآنالیز با بررسی اثرات ACLR بر ویژگی‌های بیومکانیکی راه رفتن، گزارش کردند که تفاوت معناداری در زاویه فلکشن زانو طی فاز بارگذاری بین گروه ACLR و گروه کنترل سالم وجود ندارد (۱۵). نتایج متا-آنالیز دیگری نشان داد که در بیماران دارای ACLR، اوج زاویه فلکشن زانو و اوج گشتاور اکستنسوری مفصل زانو نسبت به افراد سالم کمتر است (۱).

با این حال، متا-آنالیزهای پیشین، تفاوت‌های جنسیتی در بازسازی کینماتیک و کینتیک مفصل زانو و نیروی‌های عکس‌العمل زمینی پس از ACLR را در نظر نگرفتند (۱۶، ۱۵، ۱). بررسی دقیق تفاوت‌های جنسیتی در بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین، امکان شناسایی ویژگی‌های متمایز در

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

الگوی راه‌رفتن را فراهم می‌سازد و می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای طراحی مداخلات هدف‌مند در جهت اصلاح الگوی راه‌رفتن و کاهش خطر آسیب مجدد یا پیشرفت استئوآرتریت پس از ACLR مورد استفاده قرار گیرد (۶). بنابراین، هدف از این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز همراه با تحلیل زیرگروهی براساس جنسیت، تعیین بیومکانیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین طی فاز اتکا (Stance phase) راه‌رفتن در مردان و زنان بالغ دارای ACLR در مقایسه با افراد سالم بود.

مواد و روش‌ها

در این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز دستورالعمل‌های استاندارد گزارش موارد ترجیحی برای مرورهای سیستماتیک و متا-آنالیزها (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses; PRISMA) رعایت شد (۱۷). برای جستجوی سیستماتیک و پردازش مقالات احتمالی، از نرم‌افزار EndNote ۲۰ (EndNote ۲۰ Bld ۱۴۶۷۲، Clarivate، فیلادلفیا، ایالات متحده) استفاده شد. رویکرد PECOS (Participants, Exposure, Comparators, Outcomes, Study desigs; PECOS) (شرکت‌کنندگان، مواجهه، مقایسه‌کننده‌ها، متغیرها و طراحی مطالعه) برای تعریف معیارهای ورود و خروج به کار گرفته شد. در این چارچوب، شرکت کنندگان شامل مردان و زنان بالغ دارای ACLR بود، مواجهه به‌صورت قرارگرفتن در وضعیت پس از ACLRتعریف شد، مقایسه شامل افراد سالم بدون سابقه آسیب یا جراحی زانو بود، متغیرها نیز بیومکانیک مفصل زانو طی فاز حمایت راه‌رفتن را دربر می‌گرفت و نوع مطالعه نیز شامل تمامی مطالعات به جز مطالعات مطالعات موردی، مرورهای نظام‌مند تعریف شد (جدول ۱) (۱۹، ۱۸). برای ورود در این متا-آنالیز، مقالات باید در مجلات دارای داوری همتا باشند. همچنین تنها مطالعاتی که وارد مرور شدند که تنها شرکت کنندگان مرد یا زن و یا هر دو را به صورت مجزا مورد بررسی قرار داده باشند.

جدول ۱- چارچوب PECOS (شرکت‌کنندگان، مواجهه، مقایسه‌کننده‌ها، متغیرها و طراحی مطالعه) برای معیارهای ورود و خروج مطالعه

چارچوب PECOS	معیار ورود	معیار خروج
شرکت‌کنندگان	افراد مرد و زن ≤۱۸ سال دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR) با هر نوع گرفت، پس از آسیب ایزوله ACL یا همراه با آسیب منیسک و/یا رباط‌های جانبی	افراد دارای رخدادهای نامطلوب سلامت غیر از ACLR (مانند سایر آسیب‌ها، جراحی اخیر)؛ افراد با شرایط نورولوژیک، سیستمیک یا تخریبی؛ افراد <۱۸ سال
مواجهه	جراحی رباط صلیبی قدامی	-
مقایسه‌کننده	مقایسه بین‌گروهی با افراد سالم (یعنی بدون جراحی رباط صلیبی قدامی)	فقدان شرایط کنترل
متغیر	بیومکانیک مفصل زانو و نیروی‌های عکس‌العمل زمینی طی فاز حمایت راه رفتن	اندازه‌گیری‌های کینماتیک و کینتیک اندام تحتانی طی فعالیت‌هایی غیر از راه رفتن (مانند دویدن، پرش)؛ اندازه‌گیری‌های کینماتیک و کینتیک اندام تحتانی طی فاز نوسان راه رفتن؛ فقدان اندازه‌گیری‌های کینماتیک و کینتیک اندام تحتانی
طراحی مطالعه	مطالعات مورد-شاهدی، مطالعات مقطعی، مطالعات کوهورت، سری موارد، کارآزمایی‌های تصادفی‌شده و مطالعات مداخله‌ای غیرتصادفی که داده‌های پایه (پیش از مداخله) مربوط به مقایسه افراد دارای ACLR و افراد سالم	مطالعات موردی، مرورهای نظام‌مند

پنج پایگاه داده شامل Scopus، PubMed، EMBASE، PEDro و Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL) به‌صورت سیستماتیک تا ژوئن ۲۰۲۶ جستجو شدند. منابع خاکستری (مانند مقالات کنفرانس‌ها) از Google

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

Scholar، Direct Science، Clinicaltrial.gov، PROQUEST و فهرست منابع مقالات شناسایی شده نیز بررسی شدند. جستجوی ادبیات برای PubMed طراحی شده و برای هر پایگاه داده تطبیق داده شد. اصطلاحات جستجو با استفاده از طرح PECOS، کلیدواژه‌های آزاد و سرعنوان‌های موضوعی پزشکی (Mesh) ایجاد شدند (جدول ۲). عناوین و چکیده‌های مقالات توسط دو نویسنده بررسی شدند تا مطالعات بالقوه شایسته ورود، مطابق معیارهای پیش‌فرض، شناسایی شوند. درصورت بروز اختلاف‌نظر بین دو نویسنده، نویسنده سوم برای رسیدن به اجماع مورد مشورت قرار گرفت. در صورتی که اطلاعات کافی در عنوان و چکیده وجود نداشت، متن کامل بررسی می‌شد.

جدول ۲- استراتژی جستجو

بخش بدن		متغیر		فعالیت حرکتی		شرکت کنندگان
"lower limb*"	AND	biomech*	AND	walk*	AND	"anterior cruciate ligament reconstruction"
OR "lower extremit*"		OR kinetic*		OR walking*		OR "anterior cruciate ligament"
OR foot		OR kinematic*		OR gait*		OR "anterior cruciate ligament injur*"
OR feet		OR speed		OR "translation movement"		OR "ACL repair"
OR ankle		OR force*				
OR ankles		OR motion*				
OR leg		OR rotation*				
OR legs		OR impuls				
OR knee		OR acceleration				
OR knee*		OR dynamic				
OR hip		OR power				
OR hips		OR movement				
OR pelvis		OR load*				
OR thigh*		OR joint moment*				
		OR ground reaction force*				
		OR mechanic*				
		OR torque*				
		OR angle*				

کیفیت روش‌شناختی مطالعات توسط دو پژوهشگر مستقل با استفاده از نسخه اصلاح‌شده چک‌لیست Downs and Black ارزیابی شد (۲۰). مطالعات وارد شده شامل مطالعات مورد-شاهدی، مقطعی، کوهورت، سری موارد، کارآزمایی‌های تصادفی‌شده و مطالعات مداخله‌ای غیرتصادفی بودند. بااین‌حال، در مطالعات مداخله‌ای تنها داده‌های پایه (پیش از مداخله) برای سنتز شواهد استخراج شدند. از آن‌جا که چک‌لیست Downs and Black برای ارزیابی کیفیت روش‌شناختی مطالعات تصادفی‌شده و غیرتصادفی طراحی شده است، نسخه اصلاح‌شده ۱۸ آیتمی آن در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفت. این ابزار ابعاد مختلف کیفیت مطالعه شامل گزارش‌دهی، روایی خارجی، روایی داخلی (سوءگیری)، عوامل مخدوش‌کننده و توان مطالعه را ارزیابی می‌کند. به‌طور مشخص، سؤالات ۱ تا ۱۰ به گزارش‌دهی (Reporting)، سؤالات ۱۱ و ۱۲ به روایی خارجی (External

CCBY-NC.4.0 DEED

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

validity)، سؤالات ۱۴ تا ۲۰ به روایی داخلی-سوءگیری (bias – Internal validity)، سؤالات ۲۱ تا ۲۵ به روایی داخلی-عوامل مخدوش‌کننده (confounding – Internal validity)، و سؤال ۲۷ به توان مطالعه (Power) مربوط می‌شوند. بدین ترتیب، این چک‌لیست امکان ارزیابی جامع و نظام‌مند کیفیت مطالعات غیرتصادفی را فراهم می‌کند. کیفیت کلی هر مطالعه بر اساس درصد امتیاز به‌دست آمده از حداکثر امتیاز (۱۹) محاسبه شد. برای طبقه‌بندی کیفیت، دامنه‌های از پیش تعریف‌شده به‌کار رفتند؛ به‌گونه‌ای که امتیاز ۷۵ درصد یا بالاتر به‌عنوان کیفیت بالا، امتیاز ۶۰ تا ۷۴ درصد به‌عنوان کیفیت متوسط، و امتیاز کمتر از ۶۰ درصد به‌عنوان کیفیت پایین در نظر گرفته شد (۲۱).

در این مرور، تنها داده‌های مربوط به فاز حمایت چرخه گام‌برداری استخراج شدند. متغیرهای پیامد شامل پارامترهای کینماتیکی مفصل زانو، پارامترهای کینتیکی مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین طی راه‌رفتن بودند. متغیرهای کینماتیکی شامل اوج زاویه فلکشن و زاویه اداکشن زانو طی فاز حمایت بودند. متغیرهای کینتیکی شامل اوج گشتاور فلکسوری، گشتاور اکستنسوری و گشتاور اداکتوری زانو بودند که بر اساس پارامتر گزارش‌شده در مطالعات اولیه (مانند مقدار اوج یا بیش‌ترین مقدار ثبت‌شده در یک مرحله مشخص از فاز حمایت) استخراج شدند. هم‌چنین، متغیرهای نیروهای عکس‌العمل زمین شامل اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بودند. در مواردی که داده‌ها مربوط به مراحل مشخصی از فاز حمایت نظیر پاسخ بارگیری، ابتدای تماس یا مرحله برداشتن پنجه بودند، بیش‌ترین مقدار برای هر متغیر وارد متا-آنالیز گردید.

یک نویسنده داده‌های مرتبط (تعداد شرکت‌کنندگان در گروه‌های دارای ACLR و کنترل سالم، جنسیت، سن، نوع گرفت، مدت زمان سپری‌شده از جراحی، مدت زمان از آسیب، پروتکل راه‌رفتن و متغیرها) را از مقالات وارد شده استخراج کرد. به‌منظور کاهش هرگونه خطا در استخراج داده‌ها، فایل‌های اکسل مربوطه توسط نویسنده‌ی دوم بررسی شدند. برای مطالعاتی که داده‌های کمی به‌طور مستقیم در متن یا جداول گزارش نشده بود، ابتداء تلاش شد از طریق تماس با نویسنده مسئول مقاله اطلاعات لازم به‌دست آید. ایمیل نویسنده مسئول هر مقاله بررسی شد و یک پیام رسمی شامل درخواست داده‌های خام مرتبط با متغیرها ارسال گردید. در صورت عدم دریافت پاسخ یا در مواردی که داده‌ها در دسترس نبودند، از یک نرم‌افزار رایگان مبتنی بر وب (https://plotdigitizer.com/webplotdigitizer-alternative) برای استخراج داده‌ها از نمودارها استفاده گردید. فرآیند استخراج داده‌ها توسط دو پژوهشگر به‌صورت مستقل انجام شد و هر نمودار حداقل دو بار دیجیتایز گردید. در صورت وجود اختلاف بین مقادیر استخراج‌شده، میانگین مقادیر به‌عنوان مقدار نهایی در نظر گرفته شد. این رویکرد به‌منظور کاهش خطای استخراج و افزایش دقت داده‌های وارد شده در متا-آنالیز اتخاذ شد. برای انجام زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت، مطالعات وارد شده در دو دسته زن و مرد طبقه‌بندی شدند.

تحلیل‌های ترکیبی داده‌های کمی با استفاده از نرم‌افزار Cochrane Review Manager نسخه ۵/۱ انجام گردید و به‌صورت نمودارهای جنگلی (Forest plots) نمایش داده شد. برای روشن کردن تفاوت بین دو گروه، اختلاف میانگین استاندارد (Standardized Mean Differences; SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵٪ با استفاده از مدل اثرات تصادفی محاسبه شد (۲۴-۲۲). برای ترکیب نتایج، از مدل اثرات تصادفی استفاده شد. انتخاب مدل اثرات تصادفی به‌دلیل تفاوت‌های بالقوه بین مطالعات از نظر جنسیت، سن، زمان پس از جراحی، نوع گرفت، پروتکل‌های راه‌رفتن و روش‌های اندازه‌گیری و پردازش داده‌های بیومکانیکی انجام شد؛ عواملی که می‌توانستند بر نتایج تأثیر گذاشته و موجب ناهمگنی بین مطالعات شوند. اختلاف میانگین استاندارد به عنوان

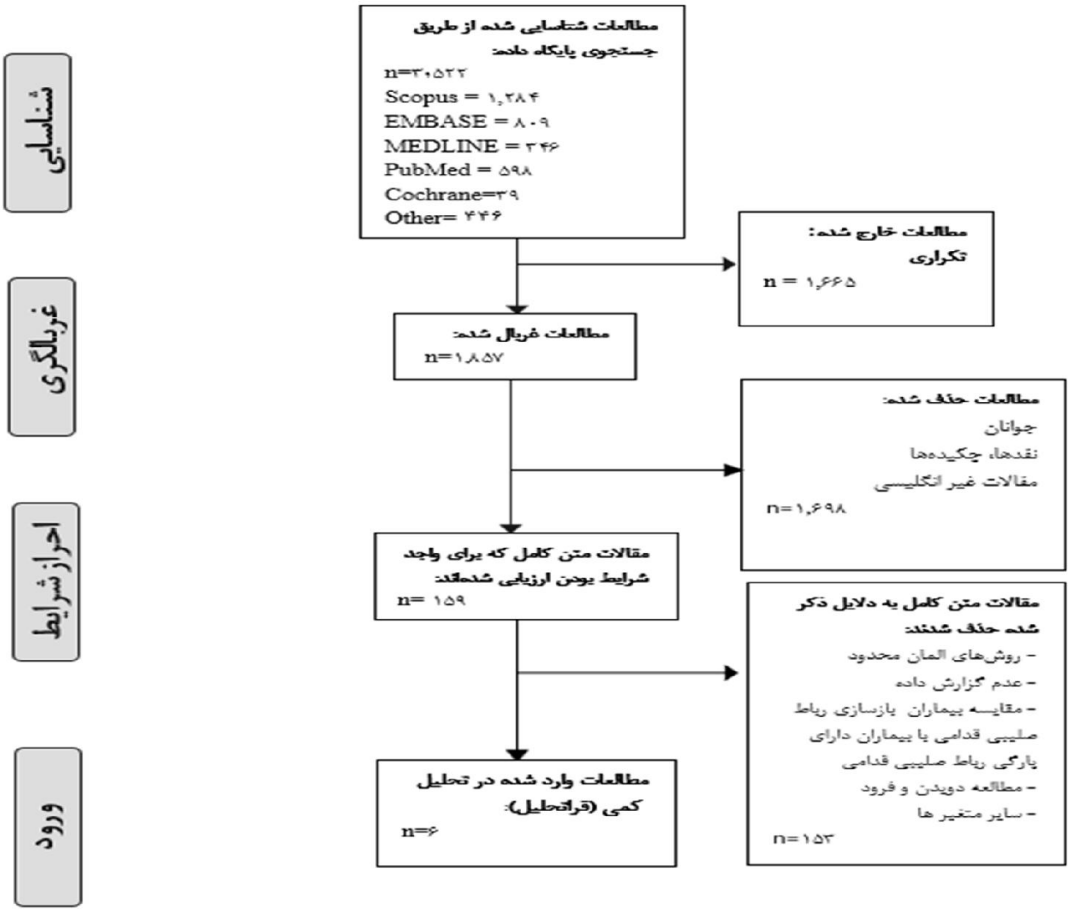
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

بی اهمیت (۰-۰/۲)، کوچک (۰/۲-۰/۵)، متوسط (۰/۵ - ۰/۸) و بزرگ (>۰/۸) طبقه‌بندی شدند (۲۲-۲۴). میزان ناهمگونی مطالعات با شاخص I^2 ارزیابی شد و به سه دسته ناهمگونی زیاد (بیش از ۷۵ درصد)، متوسط (۵۰ تا ۷۵ درصد) و پایین (۲۵ تا ۵۰ درصد) تقسیم‌بندی گردید (۲۶، ۲۵). سطح معنی‌داری در آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

جستجوی اولیه منجر به شناسایی ۳۵۲۲ مطالعه شد. پس از حذف موارد تکراری، ۱۸۵۷ مطالعه باقی ماند. در ادامه، با غربالگری عناوین و چکیده‌ها، ۱۵۹ متن کامل مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، ۶ مطالعه مقطعی واجد شرایط ورود به این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز شناخته شدند (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار جریان PRISMA از مطالعات موجود در این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز

جدول ۳، ویژگی‌های مطالعات وارد شده را نشان می‌دهد. دو مطالعه در دسته زن (۲۸، ۲۷) و سه مطالعه در دسته مرد (۳۱-۲۹)، طبقه‌بندی شدند. یک مطالعه هر دو جنسیت مرد و زن را مورد مطالعه قرار داد (۵).

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

جدول ۳- جدول خلاصه ٦ مطالعه وارد شده که برای تحلیل کمی

نویسندگان	تعداد شرکت‌کنندگان بازسازی رباط صلیبی قدامی (جنسیت، سن به سال)	تعداد گروه کنترل سالم (جنسیت، سن به سال)	نوع پیوند	مدت زمان پس از جراحی	مدت زمان پس از آسیب	پروتکل راه‌رفتن	متغیرهای خروجی	ابزارهای اندازه‌گیری کینماتیکی و کینتیکی
Asaeda و همکاران (۵)	۱۶ مرد، ۲۹/۱ ± ۱۱/۷ و ۱۶ زن، ۲۵/۶ ± ۱۳/۰	۱۶ مرد، ۲۵/۰ ± ۶/۸ و ۱۶ زن، ۲۱/۳ ± ۱/۸	تاندون نیمه وتری چهارلایه	۱۲ ماه	گزارش نشده	۵ تکرار، مسیر ۱۰ متری، سرعت انتخابی	زاویه چرخش تی‌بیا، بیش‌ترین فلکشن زانو در فاز بارگذاری، کمترین فلکشن زانو در میانه فاز اتکا و دامنه حرکتی زانو	سیستم سه‌بعدی، صفحه نیرو
Bulgheroni و همکاران (۳۱)	۱۵ مرد، ۲۵ ± ۳	۵ مرد، ۲۸ ± ۳	تکنیک تاندون استخوان-کشکک-استخوان	۱۷ ± ۵ ماه	گزارش نشده	۵ تکرار، مسیر ۲۰ متری	زاویه و گشتاور مفاصل اندام تحتانی	سیستم سه‌بعدی، صفحه نیرو
Patterson و همکاران (۲۷)	۱۷ اندام جراحی‌شده ۱۴ زن، ۲۰/۸ ± ۱/۱۷	۱۷ زن، ۲۳/۷ ± ۳/۱۲	۸ همسترینگ و ۹ استخوان-تاندون کشککی-استخوان	۲۵۳ ± ۳/۵۰ سال	گزارش نشده	۱۰ تکرار، مسیر راه رفتن، سرعت انتخابی	تغییرات زاویه‌های ران و زانو و مچ پا در سه بعد	سیستم سه‌بعدی، صفحه نیرو
Milandri و همکاران (۳۰)	۱۵ مرد، ۲۸/۶ ± ۶/۸	۱۵ مرد، ۲۸/۶ ± ۶/۸	اتوگرفت همسترینگ	۴ و ۶ سال	گزارش نشده	۵ تکرار، مسیر راه رفتن، سرعت انتخابی	زاویه‌های فلکشن ران و زانو، گشتاورهای فلکشن خارجی ران و زانو، گشتاور اداکشن خارجی زانو و زاویه وروس زانو	سیستم سه‌بعدی، صفحه نیرو
Noehren و همکاران (۲۸)	۲۰ زن، ۲۵ ± ۶/۲	۲۰ زن، ۲۶ ± ۵/۱	۸ همسترینگ، ۷ تاندون کشکک و ۵ آلوگرفت	۵/۲ ± ۳/۲ سال	گزارش نشده	۵ تکرار، تردمیل با سرعت ۱/۵ متر/ثانیه	زاویه‌های فلکشن ران و زانو، گشتاورهای اکستنسور زانو و ران	سیستم سه‌بعدی، تردمیل نیرو
Webster و همکارش (۲۹)	تاندون کشکک: ۱۶ مرد، ۲۳/۸ ± ۵؛ تاندون همسترینگ:۱۶ مرد، ۲۶/۸ ± ۸	۱۶ مرد، ۲۴/۷ ± ۵	۱۶ تاندون کشکک و ۱۶ تاندون همسترینگ	تاندون کشکک: ۱۱ ماه؛ همسترینگ: ۹/۳ ماه	تاندون کشکک: ۹/۷۸ ± ۶؛ همسترینگ: ۶/۷۹ ± ۷	۳ تکرار، سرعت راحت	گشتاور اداکتوری زانو و زاویه واروس زانو و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین	سیستم سه‌بعدی، صفحه نیرو

میانگین کیفیت روش‌شناسی تمامی مطالعات وارد شده در این مرور در سطح متوسط ارزیابی شد و میانگین امتیاز آن‌ها بر اساس چک‌لیست Downs و Black برابر با ۶۶ درصد بود (۱۹) (جدول ۴). در میان ۶ مطالعه وارد شده، تمامی مطالعات در سطح کیفیت متوسط ارزیابی شدند.

CCBY-NC.4.0 DEED

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

جدول ٤- امتیاز ارزیابی کیفیت روش‌شناسی بر اساس چک‌لیست Downs و Black در ٦ مطالعه وارد شده

	گزارش‌دهی										اعتبار بیرونی		اعتبار درونی - سوءگیری				اعتبار درونی - عوامل مخدوش‌کننده			توان آماری	امتیاز (٪)	کیفیت
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۲	۱۵	۱۶	۱۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۵	۲۷		
Asaeda و همکاران (۵)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۶۸	MQ
Bulgheroni و همکاران (۳۱)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۶۳	MQ
Patterson و همکاران (۲۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۶۳	MQ
Milandri و همکاران (۳۰)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۶۸	MQ
Noehren و همکاران (۲۸)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۶۸	MQ
Webster و همکارش (۲۹)	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۶۸	MQ
																			۶۶	MQ

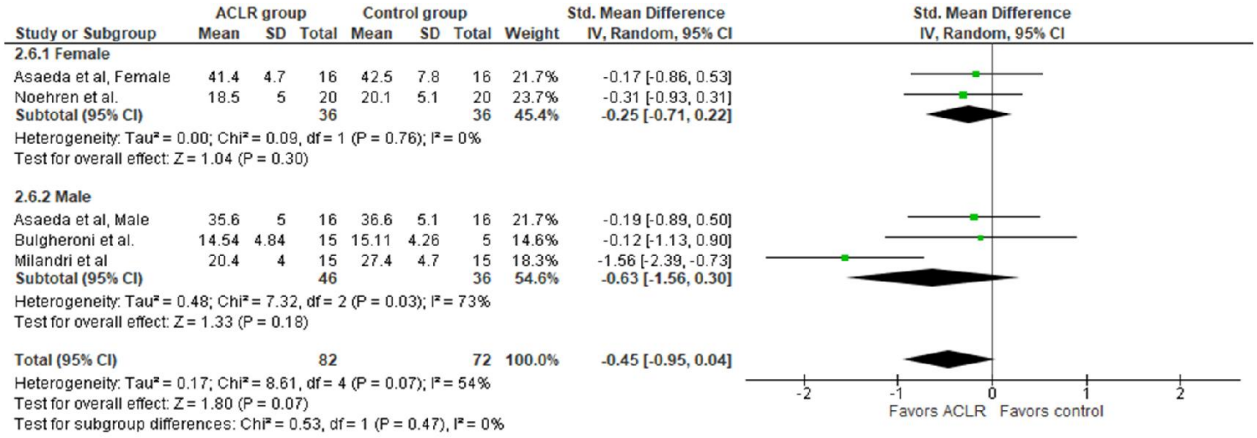
۱ = بلی؛ ۰ = خیر؛ HQ: کیفیت بالا (امتیاز ≥ ۷۵٪)؛ MQ: کیفیت متوسط (٪۷۵ > امتیاز ≥ ٦۰٪)؛ LQ: کیفیت پایین (امتیاز < ٪٦۰).

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

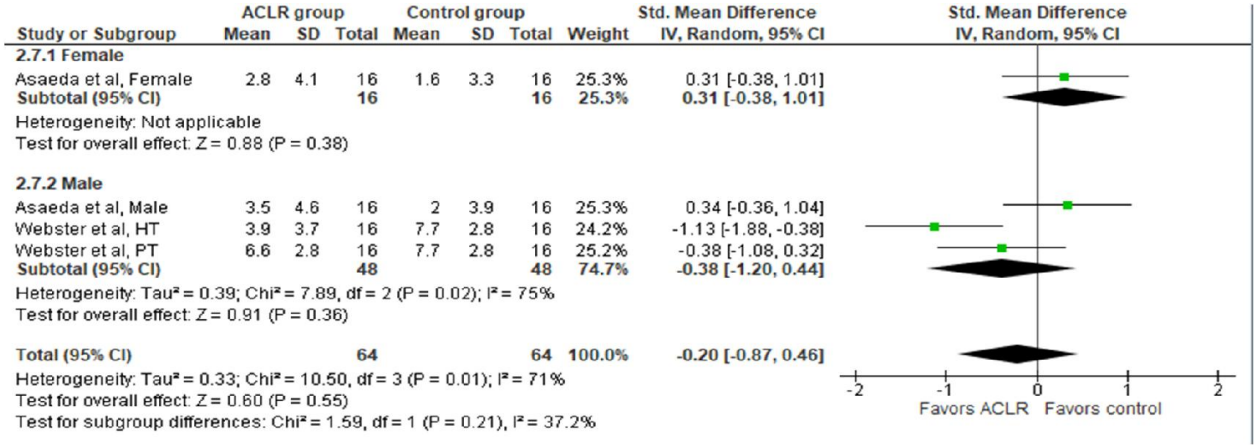
چهار مطالعه به بررسی تفاوت زاویه فلکشن زانو بین بیماران ACLR و گروه کنترل سالم طی فاز حمایت راه رفتن پرداختند (۳۱، ۳۰). در مجموع، تحلیل کلی و زیرگروه‌ها نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد (چهار مطالعه: SMDs=-۰/۴۵، فاصله اطمینان ۹۵ درصد ۰/۹۵- تا ۰/۰۴، P=۰/۰۷۰، I^2=۵۴٪) (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار جنگلی تفاوت زاویه فلکشن زانو را در فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و افراد سالم

اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵٪ محاسبه شدند. SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان.

نتایج تحلیل کلی و زیرگروه‌های جنسیت نشان دادند پس از جراحی در بیماران دارای ACLR در مقایسه با گروه کنترل سالم، تفاوت معناداری در زاویه اداکشن زانو در فاز حمایت راه رفتن وجود ندارد (دو مطالعه: SMDs=-۰/۲۰، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۰/۸۷- تا ۰/۴۶، P=۰/۵۵۰، I^2=۷۱٪) (۵، ۲۹) (شکل ۳). ناهمگنی بین مطالعات متوسط بود (I^2=۷۱٪).



شکل۳- نمودار جنگلی تفاوت زاویه اداکشن زانو را طی فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و افراد سالم

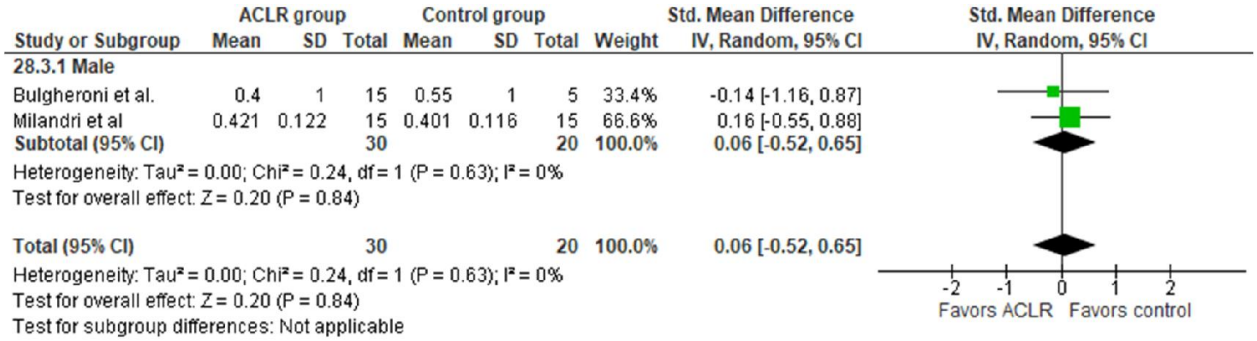
اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شدند. HT: گرفت تاندون همسترینگ، PT: گرفت تاندون کشککی، SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

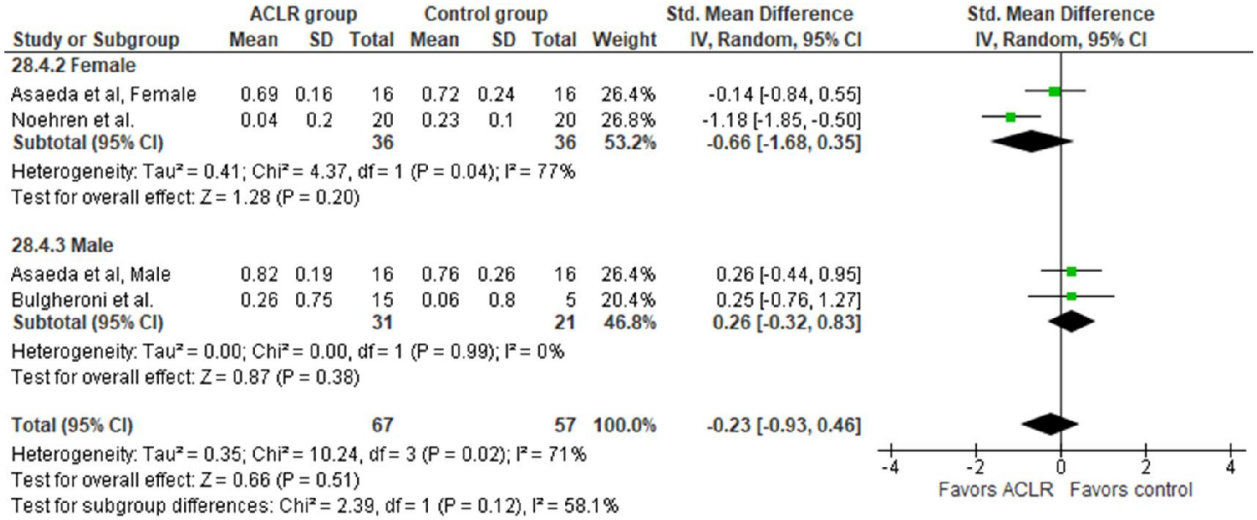
نتایج تحلیل کلی و زیرگروه‌ها نشان داد پس از جراحی در بیماران دارای ACLR در مقایسه با گروه کنترل سالم، تفاوت معناداری در گشتاور فلکسوری زانو طی مرحله برداشتن پنجه پا در فاز حمایت راه رفتن وجود ندارد (دو مطالعه: SMDs= ۰/۰۶، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۰/۵۲- تا ۰/۶۵، P=۰/۸۴۰، I^2=۰٪) (۳۰، ۳۱) (شکل ۴). هیچ ناهمگنی بین مطالعات یافت نشد (I^2=۰٪).



شکل ٤- نمودار جنگلی تفاوت گشتاور فلکسوری زانو را در فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و افراد سالم

اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شدند. SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان

سه مطالعه به بررسی تفاوت گشتاور اکستنسوری زانو بین بیماران ACLR و گروه کنترل سالم طی فاز حمایت راه رفتن پرداختند (۳۱، ۲۸). در مجموع، تحلیل کلی و زیرگروهی نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد (سه مطالعه: SMDs=-۰/۲۳، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۰/۹۳- تا ۰/۴۶، P=۰/۵۱۰، I^2=۷۱٪) (شکل ۵). ناهمگنی بین مطالعات متوسط بود (I^2=۷۱٪).



شکل ٥- نمودار جنگلی تفاوت گشتاور اکستنسوری زانو را طی مرحله ابتدای برخورد در فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR) و افراد سالم

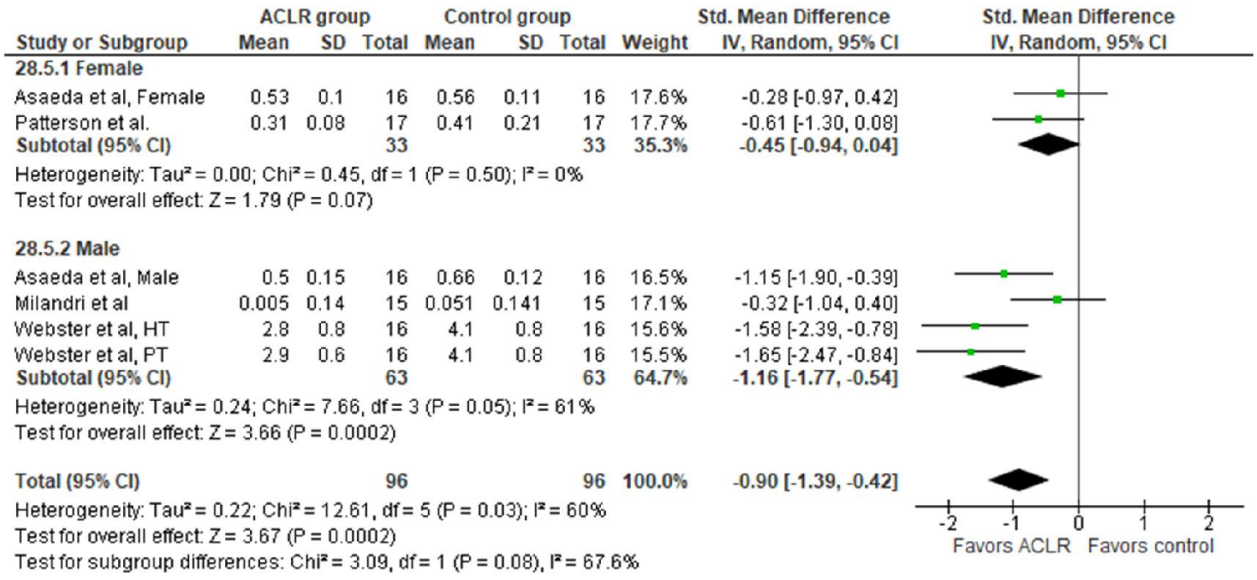
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شدند. SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان.

چهار مطالعه به بررسی تفاوت گشتاور اداکتوری زانو بین بیماران ACLR و گروه کنترل سالم طی فاز حمایت راه رفتن پرداختند (۳۰، ۲۹). در مجموع، تحلیل کلی نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود دارد (چهار مطالعه: SMDs=-۰/۰۹، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۱/۳۹- تا ۰/۴۲-، P<۰/۰۰۲، I^2=۶۰٪) (شکل ۶). گشتاور اداکتوری زانو در گروه ACLR کمتر از گروه کنترل بود. ناهمگنی بین مطالعات متوسط بود (I^2=۶۰٪). هم‌چنین تحلیل زیرگروهی نشان داد، در زیرگروه مرد (سه مطالعه: SMDs= -۱/۱۲، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۱/۷۷- تا ۰/۵۴-، P<۰/۰۰۱، I^2=۶۱٪)، گشتاور اداکتوری زانو در بیماران ACLR به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل سالم گزارش شد (۳۰، ۲۹).

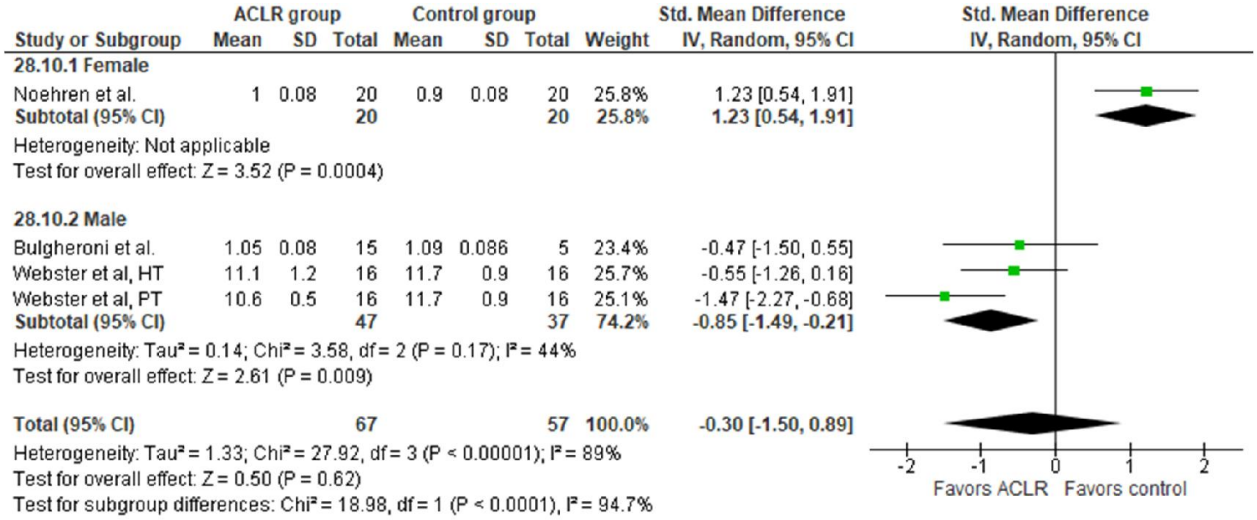


شکل ۶- نمودار جنگلی تفاوت گشتاور اداکتوری زانو را طی فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و افراد سالم

اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵٪ محاسبه شدند. HT: گرفت تاندون همسترینگ، PT: گرفت تاندون کشککی، SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان.

سه مطالعه به بررسی تفاوت نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین بیماران ACLR و گروه کنترل سالم طی فاز حمایت راه رفتن پرداختند (۳۱، ۲۹، ۲۸). در مجموع، تحلیل کلی نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد (سه مطالعه: SMDs=-۰/۱۹، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۱/۵۰- تا ۰/۸۹، P=۰/۶۲۰، I^2=۸۹٪) (شکل ۷). ناهمگنی بین مطالعات زیاد بود (I^2=۸۹٪). بااین‌حال، تحلیل‌های زیرگروهی نتایج متفاوتی را نشان دادند. در زیرگروه مرد (دو مطالعه: SMDs= -۰/۸۵، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۱/۴۹- تا ۰/۲۱-، P<۰/۰۰۱، I^2=۴۴٪)، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در بیماران ACLR به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل سالم گزارش شد (۳۱، ۲۹). درحالی‌که در زیر گروه زن با یک مطالعه (یک مطالعه: SMDs=۱/۲۳، ۹۵ درصد فاصله اطمینان ۰/۵۴ تا ۱/۹۱، P=۰/۰۰۴)، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در بیماران ACLR به‌طور معناداری بیش‌تر از گروه کنترل سالم گزارش شد (۲۸).

CCBY-NC.4.0 DEED
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]



شکل ۷- نمودار جنگلی تفاوت نیروی عمودی عکس‌العمل زمین را طی فاز حمایت راه رفتن بین بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و افراد سالم

اثرات کلی و هم‌چنین اثرات زیرتحلیل‌ها بر اساس جنسیت برای هر پارامتر به‌صورت اختلاف میانگین استاندارد شده (SMDs) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شدند. HT: گرفت تاندون همسترینگ، PT: گرفت تاندون کشککی، SD: انحراف معیار، Std: استاندارد شده، CI: فاصله اطمینان.

بحث

این مرور نظام‌مند و متا-آنالیز با هدف تعیین تفاوت جنسیتی در بازیابی بیومکانیک مفصل زانو پس از ACLR و مقایسه با افراد سالم، طی فاز حمایت راه رفتن انجام شد. یافته‌های اصلی نشان دادند که در ارتباط با متغیرهای کینماتیکی فلکشن زانو و اداکشن زانو، تفاوت معناداری در زیرگروه‌های زن و مرد یافت نشد. بااین‌حال، نتایج تحلیل متغیرهای کینتیکی نشان داد، گشتاور اداکتوری زانو بیماران ACLR در زیرگروه مرد به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل سالم می‌باشد (۳۰، ۲۹). تحلیل‌های زیرگروهی نیروی عمودی عکس‌العمل زمین نتایج متضادی را نشان دادند. به‌طوری‌که، در زیرگروه مرد، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در بیماران ACLR به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل سالم مشاهده شد (۳۱، ۲۹). درحالی‌که در زیر گروه زن با یک مطالعه، نیروی عمودی عکس العمل زمین در بیماران ACLR به‌طور معناداری بیش‌تر از گروه کنترل سالم گزارش شد (۲۸).

براساس یافته‌های فراتحلیل حاضر، کاهش گشتاور اداکتوری زانو عمدتاً در مردان دارای ACLR مشاهده شد، درحالی‌که در زنان تفاوت معناداری نسبت به افراد سالم وجود نداشت. نتایج مطالعه Webster و همکاران نشان داد گشتاور اداکشن زانو در بیماران زن ACLR بیش‌تر از بیماران مرد ACLR می‌باشد (۶). آن‌ها بیان کردند احتمال افزایش گشتاور اداکشن زانو در زنان نسبت به مردان می‌تواند نشان‌دهنده افزایش خطر توسعه استئوآرتریت در زنان ACLR باشد. هدف از جراحی ACLR این است که به بیمار اجازه دهد به مشارکت ورزشی با عملکرد عادی زانو بازگردد (۳۲). تعداد رو به رشد مطالعات، شواهد رادیوگرافی استئوآرتریت زودرس زانو پس از آسیب ACL و بازسازی آن را گزارش می‌کنند (۳۳). اگرچه شیوع استئوآرتریت زانو در زنان در مقایسه با مردان پس از جراحی ACLR نشان داده نشده است، بااین‌حال، طبق یافته‌های مطالعات گذشته شیوع و شدت استئوآرتریت زانو در زنان نسبت به مردان بیش‌تر است (۳۴).

CCBY-NC.4.0 DEED
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

اگرچه افزایش گشتاور اداکشن زانو با افزایش شدت استئوآرتریت و هم‌چنین پیشرفت استئوآرتریت زانو در سایر جمعیت‌ها ارتباط دارد، اما هیچ مدرکی مبنی بر این نیست که گشتاور اداکشن بالا در هر مفصل باعث ایجاد استئوآرتریت شود. به این ترتیب، باید توجه داشت که بیومکانیک غیر طبیعی در سایر صفحات حرکتی ممکن است به‌طور مساوی در توسعه یا پیشرفت استئوآرتریت زانو نقش داشته باشد. تعدادی از مطالعات حرکات غیر طبیعی چرخش درشت‌نی را در طول فاز حمایت راه رفتن (۳۵) در بیمارانی که تحت جراحی ACLR قرار گرفته‌اند، گزارش کرده‌اند. بااین‌حال، در حال حاضر مشخص نیست که چه مقدار تغییر دورانی می‌تواند از نظر بالینی برای توسعه تغییرات تخریبی در مفصل زانو مهم باشد.

ممکن است تغییرات تخریبی ناشی از تغییرات ترکیبی در تعدادی از متغیرهای بیومکانیکی ایجاد شود. اگرچه تحلیل کلی تفاوت معناداری در نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین افراد دارای ACLR و افراد سالم نشان نداد، تحلیل‌های زیرگروهی الگوهای متفاوتی را آشکار کردند. کاهش نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در مردان ممکن است نشان‌دهنده اتخاذ راهبردهای محافظتی و کاهش بارگذاری اندام مبتلا باشد، درحالی‌که افزایش نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در زنان ممکن است با تفاوت‌های جنسیتی در راهبردهای جذب نیرو، کنترل عصبی-عضلانی و الگوهای بارگذاری اندام تحتانی مرتبط باشد، هرچند این تفسیر تنها بر اساس یک مطالعه انجام شده و نیازمند تأیید در مطالعات آینده است (۱۰، ۹). Asaeda و همکاران، تفاوت‌های مبتنی بر جنسیت را شناسایی کردند که بر کینماتیک و کینتیک زانو در طول فاز ایستایی گام، هم پیش از عمل و هم پس از ACLR تأثیر می‌گذارد (۵). شناسایی این ویژگی‌های قابل‌تغییر و مبتنی بر جنسیت در بیماران مبتلا به ACLR می‌تواند زمینه‌ساز توسعه مداخلات هدف‌مند برای پیشگیری از بروز زودهنگام و پیشرفت آرتروز پس از سانحه‌ی زانو یا آسیب‌های مجدد باشد.

از دیدگاه بالینی، این یافته‌ها برای بیماران نشان می‌دهند که حتی پس از بازسازی موفق رباط صلیبی قدامی، تغییرات ظریف اما پایدار در الگوی راه‌رفتن ممکن است باقی بماند. برای درمانگران، نتایج حاضر بر اهمیت ارزیابی و بازآموزی مرحله‌محور راه‌رفتن و طراحی تمرینات هدف‌مند برای بهینه‌سازی الگوهای بارگذاری مفصل

زانو در برنامه‌های بازتوانی تأکید می‌کند. وجود تغییرات پایدار پس از ACLR نشان می‌دهد که بازتوانی باید فراتر از بازیابی پایداری مفصلی و بازگرداندن قدرت صرف باشد و به بازآموزی الگوی حرکت هنگام وزن‌گذاری و اصلاح راهبردهای بارگذاری اندام تحتانی توجه کند (۳۸-۳۶). در نهایت، بررسی نقش عوامل روان‌شناختی و سطح فعالیت روزمره (مثلاً تعداد گام‌های روزانه) به‌عنوان متغیرهای میانی که ممکن است الگوی راه رفتن را تشدید یا تعدیل کنند نیز ضروری است. لازم به تأکید است که تمامی نتایج ارائه‌شده در این مطالعه، با توجه به کیفیت متوسط مطالعات وارد شده و طراحی عمدتاً مقطعی آن‌ها، باید با احتیاط تفسیر شوند و نباید به‌عنوان شواهد علّی قطعی تلقی گردند.

بر اساس یافته‌های متا-آنالیز حاضر می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که درمان جراحی منجر به تغییر در ویژگی‌های بیومکانیکی راه رفتن مانند گشتاور اداکتوری زانو یا نیروی عمودی عکس‌العمل زمین حین راه رفتن می‌شود. این تغییرات در بارگذاری که احتمالاً ممکن است مرتبط با جراحی باشند می‌توانند به‌عنوان یک عامل خطر برای آسیب مجدد و هم‌چنین ابتلاء به استئوآرتریت زانو در بیماران ACLR مطرح شوند (۴۰). ناهمگنی بالای مشاهده شده در برخی متغیرها می‌تواند ناشی از چندین

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

عامل بالینی و روش‌شناختی باشد. تفاوت در نوع گرفت مورد استفاده برای ACLR (۲۹)، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان از جمله سن (۳۹) و زمان سپری شده از جراحی (۴۰) از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر الگوهای بیومکانیکی راه‌رفتن تأثیر بگذارند. علاوه بر این، تفاوت در سرعت راه‌رفتن طی آزمون‌های آزمایشگاهی و ناهمگنی در سیستم‌های اندازه‌گیری حرکت، مدل‌های بیومکانیکی و روش‌های پردازش داده می‌تواند به افزایش ناهمگنی بین مطالعات منجر شود.

محدودیت‌هایی ممکن است بر نتایج این مطالعه تأثیر گذاشته باشد. حذف تعداد زیادی از مطالعات به دلیل عدم گزارش تفکیک جنسیتی شرکت‌کنندگان، تفسیر یافته‌ها را با احتیاط همراه می‌سازد. هم‌چنین، نوع گرفت، سرعت راه‌رفتن و زمان سپری شده از جراحی در بسیاری از مطالعات به‌صورت ناهمگون گزارش شده و در تحلیل حاضر کنترل نشدند؛ عواملی که می‌توانند در ناهمگنی مشاهده شده بین مطالعات نقش داشته باشند. علاوه بر این، به دلیل تعداد محدود مطالعات در هر پیامد، به‌ویژه در زیرگروه زنان، امکان ارزیابی معتبر سوءگیری انتشار وجود نداشت و توانایی تفسیر تفاوت‌های جنسیتی کاهش یافت. مطالعات آینده باید با حجم نمونه بزرگ‌تر، پیگیری طولانی‌تر و کنترل عواملی مانند نوع گرفت، زمان پس از جراحی و سطح فعالیت بدنی انجام شوند. هم‌چنین، بررسی هم‌زمان شاخص‌های کینماتیکی، کینتیکی و عصبی-عضلانی می‌تواند به درک بهتر تفاوت‌های جنسیتی و شناسایی عوامل مرتبط با خطر آسیب مجدد و استئوآرتریت پس از ACLR کمک کند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مرور نظام‌مند و متاآنالیز نشان داد که بیماران پس از ACLR در مقایسه با افراد سالم، تغییراتی در بیومکانیک راه‌رفتن را تجربه می‌کنند که در برخی متغیرها به‌صورت وابسته به جنسیت بروز می‌یابد. مهم‌ترین یافته‌های مطالعه شامل کاهش گشتاور اداکتوری زانو در مردان و الگوی متضاد نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین دو جنس (کاهش در مردان، افزایش در زنان) بود، درحالی‌که در سایر متغیرهای بررسی‌شده تفاوت معناداری میان دو جنس مشاهده نشد. با این حال، با توجه به تعداد محدود مطالعات، به‌ویژه در زیرگروه زنان و ناهمگنی بالای مطالعات واردشده، این یافته‌ها باید با احتیاط تفسیر شوند. این تغییرات ممکن است نشان‌دهنده تداوم اختلالات در الگوهای بارگذاری و کنترل عصبی-عضلانی پس از ACLR باشند و احتمالاً در افزایش خطر آسیب مجدد یا استئوآرتریت پس از سانحه نقش داشته باشند. از این‌رو، در برنامه‌های توان‌بخشی، توجه به ارزیابی و بازآموزی الگوهای حرکتی، بهینه‌سازی راهبردهای بارگذاری مفصل زانو و در نظر گرفتن تفاوت‌های جنسیتی می‌تواند به بهبود پیامدهای عملکردی و کاهش عوارض بلندمدت کمک کند. همچنین، انجام مطالعات طولی با حجم نمونه بیش‌تر و کنترل عوامل مداخله‌گر برای روشن‌تر شدن پیامدهای بلندمدت این تغییرات ضروری است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بدین‌وسیله از تمامی پژوهشگرانی که مطالعه‌های آن‌ها وارد متا-آنالیز حاضر شد، تشکر می‌کنند.

تعارض در منافع: از طرف نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی در مقاله گزارش نشده است.

حامی مالی: پژوهش حاضر فاقد هرگونه حمایت مالی از جانب سازمان های دولتی یا خصوصی بوده است.

ملاحظات اخلاقی (کد اخلاق): مطالعه حاضر از نوع مروری نظام‌مند و متا-آنالیز می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

- **طراحی ایده:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو
- **روش کار:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو، فرهاد رضازاده

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

- **جمع‌آوری داده:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو
- **تجزیه و تحلیل داده‌ها:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو
- **نظارت:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو
- **مدیریت پروژه:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو
- **نگارش پیش‌نویس اصلی:** علی اسماعیلی
- **نگارش – بررسی و ویرایش:** علی اسماعیلی، امیرعلی جعفرنژادگرو، فرهاد رضازاده، رضا نکته سنج

References

1. Esmaeili A, Jafarnezhadgero A, Sajedi H, Aydin E, Hortobágyi T, Granacher U. Time-Dependent Alterations in Walking Biomechanics After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared with Healthy Individuals: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine-Open* 2026; 12(1): 39.

2. Pfile K, Prosser B, Slone H, McLeod M, Gregory C, Hunnicutt J. Walking gait biomechanics in individuals with quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Frontiers in Sports and Active Living* 2025; 7: 1546297.

3. Savage M, Culvenor AG, Hedger M, Matt A-R, O'Brien MJ, McMillan RM, et al. Are Altered Knee Joint Biomechanics Associated with Future Post-Traumatic Osteoarthritis Outcomes? A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies: M. Savage et al. *Sports Medicine* 2025; 55(10): 2595-612.

4. Birchmeier TB, Schwartz TA, Edison AE, Dennis JD, Blackburn JT, Shultz SJ. Differences in gait biomechanics in the first year after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Clinical Biomechanics* 2026; 131: 106707.

5. Asaeda M, Deie M, Fujita N, Kono Y, Terai C, Kuwahara W, et al. Gender differences in the restoration of knee joint biomechanics during gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee* 2017; 24(2): 280-8.

6. Webster KE, McClelland JA, Palazzolo SE, Santamaria LJ, Feller JA. Gender differences in the knee adduction moment after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *British journal of sports medicine* 2012; 46(5): 355-9.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

7. D'Ambrosi R, Baumert P, Fink C. ACL injury in female soccer players: Risk, resilience, and prevention in the modern game. *Science Progress* 2026; 109(2): 00368504261428994.

8. Gao H, Hu H, Sheng D, Sun L, Chen J, Chen T, et al. Risk factors for ipsilateral versus contralateral reinjury after ACL reconstruction in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2023; 11(12): 23259671231214298.

9. Ellison TM, Flagstaff I, Johnson AE. Sexual Dimorphisms in Anterior Cruciate Ligament Injury: A Current Concepts Review. *Orthop J Sports Med* 2021; 9(12): 23259671211025304.

10. Steiner M, Baur H, Blasimann A. Sex-specific differences in neuromuscular activation of the knee stabilizing muscles in adults - a systematic review. *Arch Physiother* 2023; 13(1): 4.

11. Xie P-P, István B, Liang M. Sex-specific differences in biomechanics among runners: A systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Physiology* 2022; Volume 13 - 2022.

12. Otsuki R, Del Bel MJ, Benoit DL. Sex differences in muscle activation patterns associated with anterior cruciate ligament injury during landing and cutting tasks: A systematic review. *J Electromyogr Kinesiol* 2021; 60: 102583.

13. Munsch MA, LaBaze D, Pitcairn S, Piva SR, Anderst WJ. Differences between men and women in coupled subtalar and tibiofemoral joint kinematics during gait revealed through dynamic biplane radiography. *Journal of Biomechanics* 2022; 141: 111222.

14. Konishi R, Ozawa J, Kuniki M, Yamagiwa D, Kito N. Sex differences in pelvis, thigh, and shank coordination during walking. *Journal of Biomechanics* 2024; 162: 111891.

15. Shi D-l, Wang Y-b, Ai Z-s. Effect of anterior cruciate ligament reconstruction on biomechanical features of knee in level walking: a meta-analysis. *LWW*; 2010. p. 3137-42.

16. Sajedi H, Aydın E, Güler MŞ, Akpınar S, Esmaeili A, Jafarnezhadgero A, et al., editors. Gait Biomechanical Differences in the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed and

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

Contralateral Limb: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Healthcare*; 2025.

17. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery* 2021; 88: 105906.

18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group* P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine* 2009; 151(4): 264-9.

19. Morgan RL, Whaley P, Thayer KA, Schünemann HJ. Identifying the PECO: a framework for formulating good questions to explore the association of environmental and other exposures with health outcomes. *Environment international* 2018; 121(Pt 1): 1027.

20. 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.

21. Radzimski AO, Mündermann A, Sole G. Effect of footwear on the external knee adduction moment—a systematic review. *The knee* 2012; 19(3): 163-75.

22. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences; Hillsdale [etc.]. Lawrence Erlbaum Associates, Cop.: Mahwah, NJ, USA; 1988.

23. Kraemer HC, Kupfer DJ. Size of treatment effects and their importance to clinical research and practice. *Biological psychiatry* 2006; 59(11): 990-6.

24. McGough JJ, Faraone SV. Estimating the size of treatment effects: moving beyond p values. *Psychiatry (Edgmont)* 2009; 6(10): 21.

25. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Bmj* 2003; 327(7414): 557-60.

26. Jafarnezhadgero A, Esmaeili A, Mousavi SH, Granacher U. Effects of foot orthoses application during walking on lower limb joint angles and moments in adults with flat Feet: A systematic

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

review with Meta-Analysis. *Journal of Biomechanics* 2024; 176: 112345.

27. Patterson MR, Delahunt E, Caulfield B. Peak knee adduction moment during gait in anterior cruciate ligament reconstructed females. *Clinical Biomechanics* 2014; 29(2): 138-42.

28. Noehren B, Wilson H, Miller C, Lattermann C. Long term gait deviations in anterior cruciate ligament reconstructed females. *Medicine and science in sports and exercise* 2013; 45(7): 1340.

29. Webster KE, Feller JA. The knee adduction moment in hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2012; 20(11): 2214-9.

30. Milandri G, Posthumus M, Small T, Bothma A, van der Merwe W, Kassanjee R, et al. Kinematic and kinetic gait deviations in males long after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Biomechanics* 2017; 49: 78-84.

31. Bulgheroni P, Bulgheroni M, Andrini L, Guffanti P, Giughello A. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 1997; 5: 14-21.

32. Pinczewski L RJ, Salmon L. Why autologous hamstring tendon reconstruction should now be considered the gold standard for anterior cruciate ligament reconstruction in athletes. *Br J Sports Med* 2009; 43: 325–7.

33. Lohmander LS OA, Englund M, et al. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum* 2004; 50: 3145–52.

34. Arden N NM. Osteoarthritis: epidemiology. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2006; 20: 3–25.

35. Tashman S CD, Anderson K, et al. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2004; 32: 975–83.

36. Gao T, Huang H, Yu Y, Liu H, Ao Y. Effect of knee extension constraint training on walking biomechanics 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a double-blind randomized controlled clinical trial. *Journal of*

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

Orthopaedic Surgery and Research 2025; 20(1): 20.

37. Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps muscle size following ACL injury and reconstruction: a systematic review. *Journal of Orthopaedic Research*® 2020; 38(3): 598-608.

38. 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.

39. Jin L, Hahn ME. Comparison of lower extremity joint mechanics between healthy active young and middle age people in walking and running gait. *Scientific reports* 2019; 9(1): 5568.

40. Webster KE, Feller JA, Wittwer JE. Longitudinal changes in knee joint biomechanics during level walking following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Gait & posture* 2012; 36(2): 167-71.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]

CCBY-NC.4.0 DEED

Gender Differences in the Knee Joint Biomechanics and Ground Reaction Forces after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction during Gait: A Systematic Review and Meta-Analysis

Ali Esmaeili[1], Amir Ali Jafarnezhadgero[2], Farhad Rezazadeh[3], Reza Noktehsanj[4]

Received: 15/04/26 Sent for Revision: 09/05/26 Received Revised Manuscript: 13/06/26 Accepted: 14/06/26

Background and Objectives: Specific gender differences in knee joint biomechanics and ground reaction forces after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) surgery during gait have been identified. Therefore, it is not possible to assume the knee joint mechanics and ground reaction forces in males as well as females. In this systematic review and meta-analysis, we aimed to investigate gender differences in the restoration of knee joint biomechanics and ground reaction forces after anterior cruciate ligament reconstruction during gait.

Materials and Methods: Five electronic databases including Scopus, PubMed, EMBASE, PEDro, and Cochrane Central Register of Controlled Trials were systematically searched for articles potentially eligible for inclusion until June 2026. The modified version of the Downs and Black checklist was used to assess the methodological quality of the included studies.

Results: Ultimately, six studies with a mean methodological quality of 66% were included in the review. The findings of the main studies showed that in the male subgroup, knee adduction torque and vertical ground reaction force in ACLR patients were significantly lower than in the healthy control group ($p<0.05$). In the female subgroup, vertical ground reaction force in ACLR patients was significantly higher than in the healthy control group ($p<0.05$).

Conclusion: The findings of the present systematic review and meta-analysis indicate a differential reconstruction of gait pattern in men compared to women with a history of ACLR. The results of this study emphasize the necessity of designing sex-specific targeted rehabilitation programs to correct knee joint movement limitations and alter knee joint loading patterns and ground reaction forces following ACLR.

Keywords: ACL surgery, Joint Angle, Gait

Funding: This study did not receive any funds.

Conflict of interest: None declared.

Ethical considerations: Not applicable.

Authors' contributions:

- **Conceptualization:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero
- **Methodology:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero, Farhad Rezazadeh
- **Data collection:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero
- **Formal analysis:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero
- **Supervision:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero
- **Project administration:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero
- **Writing – original draft:** Ali Esmaeili
- **Writing – review & editing:** Ali Esmaeili, Amirali Jafarnezhadgero, Farhad Rezazadeh, Reza Noktehsanj

Citation: Esmaeili A, Jafarnezhadgero AA, Rezazadeh F, Noktehsanj R. Gender Differences in the Knee Joint Biomechanics and Ground Reaction Forces after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction during Gait: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2026; 25 (3): 299-318. doi: 10.66224/jrums.25.3.299. [Farsi]

1- PhD Candidate in Sports Biomechanics, Dept. of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, ORCID: 0000-0002-2739-4340
(Corresponding Author) Tel: 09105146214, E-mail: amiralijafarnezhad@gmail.com
2- Associate Prof., Dept. of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Assistant Prof., Dept. of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Assistant Prof., Dept. of Surgery and Orthopedics, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

CCBY-NC.4.0 DEED

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: doi: 10.66224/jrums.25.3.299]