Archive of SID

پژوهش‌های فیزیولوژی و مدیریت در ورزش
دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۹
ص ص : ۱۶۴- ۱۴۹

# تأثیر چهار هفته تمرین پلایومتریک بر میزان هم‌فعالی عضلات موافق و مخالف اندام تحتانی دختران فعال در مراحل مختلف پرش عمقی

سمیه احمدآبادی*[۱] – حمید رجبی [۲] – رضا قراخانلو[۳] – سعید طالبیان مقدم [۴]
*۱. استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران ۲. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران ۳. استاد فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران۴.استاد فیزیوتراپی، دانشکدهٔ توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران*
(تاریخ دریافت : ۱۳/ ۰۱ / ۱۳۹۸ ، تاریخ تصویب : ۱۷ / ۰۲ / ۱۳۹۹)

**چکیده**

**زنان ورزشکار به‌دلیل هم‌فعالی کمتر بیشتر از مردان دچار آسیب‌دیدگی لیگامنت‌های زانو می‌شوند. هدف پژوهش حاضر تعیین اثر ۴ هفته تمرین پلایومتریک بر میزان هم‌فعالی عضلات اندام تحتانی دختران فعال در مراحل مختلف پرش عمقی بود. تعداد ۲۰ نفر از دانشجویان دختر تربیت بدنی (میانگین سن ۰/۶۳±۲۱/۸ سال، قد ۰/۰۵±۱/۶۴ متر، وزن ۹/۲۶ ± ۵۶/۹۸ کیلوگرم) به‌صورت تصادفی به دو گروه تجربی پلایومتریک (ده نفر) و کنترل (ده نفر) تقسیم شدند. گروه تجربی، تمرین پلایومتریک را ۴ هفتهٔ متوالی هر هفته دو جلسه انجام داد. در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، الکترومیوگرافی سطحی از عضلات درشت‌نی قدامی، دوقلوی داخلی، دوسررانی و راست‌رانی به‌عمل آمد. میزان هم‌فعالی عضلات ران و ساق پای برتر در حین ۳ مرحله پرش عمقی از ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر محاسبه شد. از آنالیز کوواریانس برای بررسی اثر تمرین در سطح معناداری $p\leq$۰/۰۵ استفاده شد. نتایج تحلیل کوواریانس تک‌متغیره با کنترل اثر پیش‌آزمون نشان داد که بین گروه تجربی و کنترل از لحاظ پس‌آزمون هم‌فعالی عضلات ران و ساق پا به‌ترتیب در مرحلهٔ ۲ (پیش فعالیت ۱۴/ ۰=P و ۰/۰۷= P)، مرحلهٔ ۳ (تماس ۰/۴۱ = P و ۰/۱۱= P) و مرحلهٔ ۴ (پرواز ۰/۶۵= P و ۰/۱۲= P) تفاوت معناداری دیده نشد. در گروه پلایومتریک میزان هم‌فعالی عضلات ران، روند افزایشی و عضلات ساق روند کاهشی را نشان داد. حرکات پلایومتریک رو به عقب فعالیت عضلات خلفی پا را افزایش دهد و به ثبات ACL کمک کند.**

**واژه‌های کلیدی**

**الکترومیوگرافی، پرش عمقی، تمرین پلایومتریک، دختران فعال، هم‌فعالی.**

* نویسندهٔ مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۴۰۳۷۴۷۰
Email:s.ahmadabadi@cfu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

**مقدمه**

تمرین پلایومتریک به‌عنوان شیوهٔ تمرینی بسیار مهم قادر است توان و قدرت عضلانی را ۱۰۰-۲۰ درصد افزایش دهد (۲، ۱). این افزایش در ابتدای دورهٔ تمرینی در نتیجهٔ سازوکارهای عصبی تمرین و بهبود در توانایی فراخوانی واحدهای حرکتی (۳) و در انتهای دورهٔ تمرینی به‌دلیل عوامل متعددی از جمله هایپرتروفی عضلانی، فراخوانی واحد حرکتی، نرخ فعالیت نورونی (۴) ایجاد می‌شود. سازوکار دقیقی که به موجب آن تمرین پلایومتریک سبب کاهش خطر آسیب‌دیدگی زانو می‌شود، هنوز مشخص نیست (۵)، اما به‌نظر می‌رسد تمرین پلایومتریک از طریق پیش‌آماده‌سازی[1] مسیرهای کنترلی سبب افزایش کنترل عصبی عضلانی مفصل زانو در حین فرود می‌شود و از این طریق ضمن استحکام، خطر آسیب زانو را به حداقل می‌رساند (۶). ویلکرسون[2] (۲۰۰۴) گزارش کرد که تمرین پلایومتریک به‌عنوان راهبرد مؤثری از طریق بهبود عصبی عضلانی موجب کاهش خطر آسیب لیگامنت متقاطع قدامی (ACL[3]) در زنان بسکتبالیست دانشگاهی می‌شود (۵).

به‌منظور حفظ ثبات مفصل زانو و اجرای صحیح حرکت، فعالیت همزمان[4] عضلات موافق- مخالف (هم‌فعالی[5]) الزامی است (۸، ۷). در حقیقت، هم‌انقباضی[6] یا هم‌فعالی عضله، شیوهٔ اصلی سیستم عصبی برای تثبیت[7] وضعیت اندام است (۹). عضلات چهارسرانی و همسترینگ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل کنترل‌کنندهٔ حرکت در زانو مطرح می‌شوند (۱۰). روش تقسیم همسترینگ به چهارسر رانی به‌منظور محاسبهٔ هم‌فعالی از سال ۱۹۵۰ تاکنون توسط محققان مختلف استفاده شده است (۷). بسیاری از محققان این نسبت را با مقدار بیشتر از ۰/۶ ابزاری برای پیش‌بینی آسیب‌دیدگی مفصل زانو در شده‌اند (۱۱). در همین زمینه، ددینسکی[8] (۲۰۱۷) (۱۲) بیان می‌کند که نسبت هم‌فعالی ضعیف همسترینگ به چهارسرانی، فاکتور خطر قابل اصلاحی است که مقدار ACL زنان را تا حد بسیار زیادی افزایش می‌دهد و میزان مناسب آن باید بیشتر از ۰/۶ باشد. در طی باز کردن زانو، عضلات همسترینگ به‌عنوان عضلهٔ مخالف چهارسرانی، به ACL برای جلوگیری از نیروی پایین‌کشندهٔ عضلهٔ درشت‌نی قدامی کمک می‌کنند (۱۲). افزایش فعالیت عضلهٔ مخالف به‌عنوان مکانیسم ترمز[9] عمل می‌کند و موجب کاهش تنش‌های بیش‌ازحد به ACL می‌شود (۷). به‌نظر می‌رسد ارزیابی نسبت‌های قدرت عضلات اندام تحتانی بین عضلهٔ موافق و مخالف نقش مهمی در پیشگیری از جراحت‌ها و اصلاح حرکت ایفا کند (۱۳).

میزان نیروهای عکس‌العمل زمین در پریدن و فرود در فعالیت‌های مختلف ورزشی، متفاوت است. بیشترین میزان این نیروها در مرحلهٔ فرود از یک پرش بر مفصل وارد می‌شود که به آسیب‌دیدگی‌هایی در اندام تحتانی می‌انجامد. زانو تا حد زیادی مسئول کاهش انرژی وارده به اندام تحتانی در حین فرود از یک پرش است. در نتیجه این مفصل بیشتر در معرض آسیب‌دیدگی در حین فرود قرار دارد (۱۴). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که میزان آسیب‌دیدگی زانوی زنان ورزشکار در مقایسه با مردان ورزشکار بسیار بیشتر است (۱۵، ۲)، به‌گونه‌ای که زنان، چهار تا هشت برابر بیشتر به آسیب ACL دچار می‌شوند و ۷۰ درصد این آسیب حین فرود آمدن از پرش اتفاق می‌افتد (۱۶). علت آن را شاید بتوان چنین توجیه کرد که فعالیت عضلات چهارسرانی در زنان ورزشکار در حین فرود، نسبت به گروه عضلانی مخالف آن (همسترینگ)

1. Preparation
2. Wilkerson
3. Anterior Cruciate Ligament(ACL)
4. simultaneous
5. Coactivation
6. Cocontraction
7. Stabilization
8. Dedinsky
9. Braking Mechanism

www.SID.ir

Archive of SID

بسیار بیشتر است. این فراخوانی نامتقارن عضلات چهارسرانی، نیروی برشی قدامی را در زوایای کم فلکشن زانو افزایش می‌دهد و در حین فرود و حرکات چرخشی، زنان را با خطر آسیب‌دیدگی بیشتر مواجه می‌کند (۱۷). میر[1] و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی میزان قدرت عضلات چهارسرانی و همسترینگ در مردان و زنان سالم و آسیب‌دیدهٔ ACL، دریافتند زنان ورزشکاری که از آسیب ACL رنج می‌برند، قدرت عضلات همسترینگ آنها نسبت به مردان و زنان سالم کمتر است. در مقابل، زنان ورزشکاری که ACL آنها سالم است، قدرت عضلات چهارسرانی آنها در مقایسه با مردان ورزشکار مشابه، کمتر است (۱۸). در تأیید این موضوع نیز، ریمن[2] (۲۰۰۲) بیان می‌کند که فرود موفق از یک پرش، نیازمند هم‌انقباضی گروه‌های عضلانی همسترینگ و چهارسرانی، افزایش سفتی عضلانی و در نتیجهٔ آن ثبات مفاصل در اندام تحتانی است (۱۹).

در آسیب‌دیدگی مچ پا، یکی از عوامل اساسی، ناتوانی در کنترل دقیق وضعیت پا قبل از تماس است. در حرکت پلانتار فلکشن، عضلهٔ درشت‌نی قدامی ( مخالف) مهم‌ترین مخالف عضلهٔ دوقلو (موافق) محسوب می‌شود که این هم‌فعالی موجب ثبات مفصل مچ پا می‌شود (۲۰، ۶). به‌نظر می‌رسد افزایش هماهنگی در فعالیت عضلات موافق (دوقلو) و مخالف (درشت‌نی قدامی) در لحظهٔ فرود قبل از تماس پا با زمین، محافظت و ثبات بیشتر مفصل را در مقابل آسیب فراهم می‌کند (۲۱).

پژوهش‌های مختلفی (۱۷، ۱۲، ۱۱) به بررسی هم‌فعالی عضلات موافق و مخالف (خم‌کننده- بازکننده و دورکننده- نزدیک‌کننده) در طی پرش‌ها و فرودهای مختلف پرداختند و بیان کردند که حفظ ثبات مفصل نیازمند هم‌فعالی و افزایش فعالیت عضلهٔ مخالف است. برخی دیگر از پژوهش‌ها نیز بیان می‌کنند که کاهش هم‌فعالی به‌عنوان سازگاری عصبی عضلانی، نشان‌دهندهٔ افزایش فعالیت نورونی وابرانی عضلهٔ موافق و کاهش فعالیت عضلهٔ مخالف است. برای مثال، در حرکت باز کردن زانو، در مراحل اولیهٔ تمرین، کاهش ۲۰ درصدی هم‌فعالی همسترینگ نشان‌دهندهٔ این نکتهٔ مهم است که توانایی باز کردن قوی زانو به نحوهٔ غیرفعال کردن مؤثر عضلات همسترینگ (عضلهٔ مخالف) و نه مقدار نیروی تولیدی عضلهٔ چهارسرانی وابسته است (۲۲). به‌نظر می‌رسد که نقش هم‌فعالی در ثبات مفصل و بهبود عملکرد حرکتی هنوز مبهم و نامشخص است (۲۳).

از طرف دیگر، پژوهش‌های کمی (۲۴-۲۷) به بررسی اثر تمرین پلایومتریک بر الگوی فعالیت عضلات و هم‌فعالی در حین فعالیت‌های پرش و فرود پرداخته‌اند. برای مثال، پتوشک[3] (۲۰۱۱) با مقایسهٔ اثر دو روش تمرینی پلایومتریک و مقاومتی به مدت ۶ هفته بر هم‌فعالی عضلات ران، هیچ تفاوت معناداری بین هم‌فعالی عضلات همسترینگ- چهارسرانی بین گروه تمرین پلایومتریک و گروه کنترل مشاهده نکرد، درحالی‌که این تفاوت در گروه مقاومتی معنادار بود (۲۶). در تحقیقی دیگر مهدی‌پور[4] (۲۰۰۸) نیز در بررسی اثر مقایسه‌ای ۶ هفته تمرین پلایومتریک و تمرین ایزوتونیک بر فعالیت EMG عضلات ران پای دانشجویان تربیت بدنی، تفاوت معناداری در فعالیت EMG عضلات ران مشاهده نکرد (۲۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد که سؤالات بسیاری در مورد نقش تمرین پلایومتریک بر هم‌فعالی عضلات و سازوکار محافظتی آن در پیشگیری از آسیب ACL بی‌پاسخ مانده است. ازاین‌رو پژوهش حاضر قصد دارد تا اثر یک دورهٔ ۴ هفته‌ای تمرین پلایومتریک را بر هم‌فعالی عضلات دو مفصل زانو

1. Myer
2.Riemann
3. Petushek
4. Mehdipour

www.SID.ir

Archive of SID

(راست‌رانی (موافق) و دوسررانی (مخالف)) و مچ پا (دوقلوی داخلی (موافق) و درشت‌نی قدامی (مخالف)) در حین مراحل مختلف پرش عمقی تک‌پا از پله‌ای به ارتفاع ۲۰ cm در دختران فعال بررسی کند. فرض بر این است که تمرین عصبی عضلانی پلایومتریک از طریق افزایش فعالیت عضلات موافق موجب کاهش هم‌فعالی عضلات ران و ساق پا در حرکت پرش عمقی می‌شود.

روش‌شناسی

با توجه به اینکه تمرینات پلایومتریک نیازمند سطح مناسبی از آمادگی جسمانی است، آزمودنی‌های پژوهش، از بین دانشجویان تربیت بدنی انتخاب شدند که واحدهای آمادگی جسمانی و دوومیدانی را با موفقیت گذرانده و سطح نسبتاً مناسبی از آمادگی بدنی را دارا بودند. همچنین در عضویت تیم‌های باشگاهی و دانشگاهی نبوده و در شش ماههٔ قبل از پژوهش نیز هیچ‌گونه آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی نداشته‌اند. بر این اساس، ۲۰ نفر از دانشجویان دختر دورهٔ کارشناسی رشتهٔ تربیت بدنی دانشگاه شهید بهشتی در این پژوهش شرکت کردند. از آنجا که آزمودنی‌ها در زمان پژوهش دروس شنا و تنیس روی میز داشتند و جلسهٔ تمرین پلایومتریک در روزهای غیر از کلاس‌های مذکور انجام گرفت، در نتیجه فعالیت‌های بدنی دیگر، تداخلی در تمرین پلایومتریک ایجاد نمی‌کردند.

پیش از پیش‌آزمون، یک جلسهٔ آشنایی با محیط آزمایشگاه، ابزارهای مورد استفاده و انجام آزمون و مهارت پرش عمقی درنظر گرفته شد. آزمودنی‌ها به‌صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شده و به‌صورت تصادفی به دو گروه تجربی پلایومتریک (ده نفر) و کنترل (ده نفر) تقسیم شدند.

ابتدا هدف و روند انجام پژوهش به‌طور کامل برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد. اگرچه پژوهش حاضر کد اخلاق ندارد، همهٔ موارد اخلاقی در تمام مراحل پژوهش رعایت شد. پس از آشنایی آزمودنی‌ها با مراحل انجام پژوهش، رضایت‌نامهٔ فردی توسط آنها تکمیل شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد که ۴۸ ساعت قبل از شرکت در پژوهش، فعالیت بدنی سنگین نداشته باشند و به مدت ۲۴ ساعت قبل از آن، از نوشیدن چای، قهوه و داروهای آرام‌بخش خودداری کنند. همچنین به‌منظور کنترل اثر تغذیه حدود ۲۰ دقیقه قبل از پیش‌آزمون، به هر آزمودنی یک عدد کیک و آبمیوه داده شد.

به‌منظور تعیین دقیق پای برتر از سه آزمون ضربه زدن به توپ (۲۸)، آزمون بالا رفتن[1] از پله و آزمون تعادل-استراحت[2] استفاده شد (۲۹). پایی که حداقل در دو آزمون استفاده شد، به‌عنوان پای برتر مشخص و در پیش و پس‌آزمون، اندازه‌گیری از آن صورت گرفت. پس از انجام این آزمون‌ها مشخص شد که پای برتر همهٔ آزمودنی‌ها به‌جز یک نفر، پای راست است.

برای انجام پیش و پس‌آزمون، از مهارت پرش عمقی تک‌پا با پای برتر با استفاده از پله‌ای با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ( ۲۵) استفاده شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های گذشته (۳۰، ۲۱)، الگوی فعالیت عضلات در ارتفاع قبل از ۴۰ سانتی‌متر (۳۰)، یکسان است، ازاین‌رو ارتفاع پله در این پژوهش با توجه به پرش تک‌پا، سطح آزمودنی‌ها و همچنین مطالعهٔ راهنما (۳۱)، ۲۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. از طرفی برای اینکه مهارت به‌صورت کاملاً طبیعی اجرا شود، دست‌های آزمودنی باز و از او خواسته شد از دست‌های خود برای اجرای پرش استفاده نکند و روی کمر خود قرار دهد (۳۲).

1. Step-up

2. Balance- recovery

www.SID.ir

Archive of SID

از الکترومیوگرافی سطحی برای ثبت اطلاعات فعالیت عضلات راست‌رانی[1]، دوسررانی[2]، دوقلوی داخلی[3] و درشت‌نی قدامی[4] استفاده شد. ابتدا محل نصب الکترود با استفاده از روش سنیام[5] (۳۳) تعیین و سپس سطح پوست با الکل، کاغذ سمباده و حذف موهای زائد، تمیز شد. سپس الکترودهای سطحی دوقطبی ژل اندودشدهٔ نقره یا کلراید نقره با فاصلهٔ ۲ سانتی‌متر مرکز به مرکز موازی با جهت تارهای عضلانی بر روی عضلات پای برتر قرار داده شد. سپس نصب کابل‌ها به الکترودها و آمپلی‌فایر انجام گرفت. یک الکترود مرجع خنثی به قوزک خارجی پای برتر نصب شد. کابل‌ها به دستگاه الکترومیوگرافی مگاوین[6] ( ام ای[7] 6000) وصل شد و این دستگاه داخل کیفی که روی کمر آزمودنی بسته شده بود، قرار گرفت. دستگاه الکترومیوگرافی مگاوین مدل ام تی- ام ۶ تی ۸۱۶[8]، ۱۶ کاناله، با فرکانس ۱۰۰۰هرتز، قابلیت اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی ۱۶ عضله را به‌طور همزمان به‌صورت بی‌سیم داراست که در این پژوهش به‌دلیل بررسی میزان فعالیت چهار عضلهٔ اندام تحتانی فقط از چهار کانال آن استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از نویز حاصل از حرکت سیم‌ها، تمامی آنها با چسب به بدن بسته و محکم شدند (۶). پس از ثبت اطلاعات در حافظهٔ دستگاه، این اطلاعات به نرم‌افزار دستگاه مگاوین مدل بی ۱۳ منتقل شد و تجزیه‌وتحلیل اطلاعات انجام گرفت. ابتدا ریشهٔ دوم مجذور الکترومیوگرافی خام[9] محاسبه و از تقسیم میانگین دامنهٔ سیگنال عضلهٔ مخالف دوسررانی به عضلهٔ موافق راست‌رانی، میزان هم‌فعالی عضلات ران و از تقسیم میانگین دامنهٔ سیگنال عضلهٔ درشت‌نی قدامی به عضلهٔ موافق دوقلوی داخلی، میزان هم‌فعالی ساق پا به‌دست آمد (۱۴). شایان ذکر است که میزان هم‌انقباضی در مراحل مختلف براساس زمان‌های به‌دست‌آمده از ارگوجامپ[10] تفکیک شدند.

برای محاسبهٔ مدت زمان رهایی از پله تا فرود (پیش‌فعالیت)، تماس و پرواز از دستگاهی به نام ارگوجامپ استفاده شد (۳۴). این دستگاه دارای دو صفحهٔ حساس است که از طریق کابل به زمان‌سنج دیجیتالی وصل است. یک صفحه روی پله و صفحهٔ دیگر روی زمین و در تماس با دیوارهٔ پله قرار گرفت. روند انجام آزمون با دستگاه به این ترتیب بود که ابتدا آزمودنی به‌صورت تک‌پا با پای برتر و دست‌ها به کمر، بر روی پله و روی صفحه قرار می‌گرفت و با شنیدن محرک صوتی (صدای بوق) خود را به سمت زمین رها می‌کرد و به محض تماس پا با صفحهٔ دوم روی زمین، بلافاصله به سمت بالا پرش می‌کرد و سپس فرود می‌آمد. هر پرش عمقی به چهار مرحلهٔ ایستادن روی سکو (۱)، پیش‌فعالیت (۲)، تماس (۳) و پرواز (۴) تقسیم شد که در این تحقیق، مراحل (۲)، (۳) و (۴) بررسی شد. مرحلهٔ پیش‌فعالیت (۲) از لحظهٔ جدا شدن از پله تا لحظهٔ تماس با صفحهٔ دوم (روی زمین) ، مرحلهٔ تماس (۳) به‌صورت مدت زمان تماس با صفحهٔ دوم و مرحلهٔ پرواز (۴) از لحظهٔ جدا شدن از صفحهٔ دوم تا تماس مجدد با صفحهٔ دوم مشخص شد.

پس از ثبت اطلاعات الکترومیوگرافی و ارگوجامپ و با توجه به نتایج ۳ تکرار پرش، تکراری که بالاترین میزان زمان پرواز را داشت (۳۵)، به‌عنوان پرش اصلی انتخاب می‌شد و تجزیه‌وتحلیل ارگوجامپ و الکترومیوگرافی براساس آن انجام می‌گرفت. به این ترتیب که برای تعیین زمان‌های تجزیه‌وتحلیل سیگنال الکترومیوگرافی از

1. Rectus Femoris
2. Biceps Femoris
3. Gastrocnemius Medial
4. Tibialis Anterior
5. Seniam
6. Megawin
7. ME
8 . MT-M6T16
9. Root Mean Square(RMS)
10. Ergo Jump

www.SID.ir

Archive of SID

زمان‌های پیش‌فعالیت، زمان تماس با زمین و زمان پرواز ارگوجامپ استفاده شد.

زمان شروع حرکت پرش توسط ارگوجامپ و زمان شروع فعالیت عضله توسط الکترومیوگرافی با استفاده از الگوریتم دی فابیو[1](میانگین فعالیت در هنگام استراحت + ۳ انحراف استاندارد) تعیین شد (۳۶). همچنین، برای مدت زمان فعالیت عضلات، زمان شروع فعالیت عضلات از زمان اتمام مدت پرواز کم شد.

پژوهش‌های متعدد نشان دادند که تمرینات پلایومتریک به مدت ۲ (۱) و ۴ هفته (۳۹- ۳۷،۱) قادر است تأثیرات مثبت و معناداری بر میزان فعالیت الکتریکی عضلات اندام تحتانی و تغییرات عملکردی در عضلات ایجاد کند. به همین دلیل در پژوهش حاضر مدت زمان دورهٔ تمرینی ۴ هفته درنظر گرفته شد. آزمودنی‌های گروه تجربی، ۴ هفته، هر هفته ۲ جلسه در مجموع ۸جلسه تمرینات پلایومتریک را انجام دادند. برنامهٔ چهار هفته تمرین پلایومتریک در جدول ۱ ارائه شده است. در زمانی‌که گروه تمرین در حال انجام تمرینات پلایومتریک بودند، گروه کنترل بدون فعالیت در محل تمرین حاضر بودند.

هر جلسهٔ تمرین شامل ۱۵ دقیقه گرم کردن، ۴۵ دقیقه حرکات اصلی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. گرم کردن شامل ۵ دقیقه دویدن آهسته و حرکات کششی کل بدن با تأکید بیشتر بر پاها و سرد کردن شامل ۳ دقیقه دویدن آهسته و حرکات کششی بود.

در طراحی برنامهٔ تمرین پلایومتریک، الگوی افزایش شدت بار براساس افزایش ارتفاع پله و در سطح متوسط تا شدید اجرا شد. در طراحی برنامهٔ تمرینی از حرکات پرشی در جهت‌های مختلف به‌صورت تک‌پا در هر دو طرف با هر دو پا استفاده شد که این حرکات برای دوره‌های بازتوانی ACL به‌کار می‌رود (۴۰). در این حرکات پرشی تک‌پا، آزمودنی نیاز دارد تا در حین پرش و فرود، زانو را در راستای پنجهٔ پا حفظ کند و بدن را در وضعیت متعادل و باثبات نگه‌دارد. نکتهٔ مهم در مورد برنامهٔ تمرینی این بود که تمرین در جهت‌های مختلف و با هر دو پا اجرا شد، اما در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از پرش یکطرفه (با پای برتر) و در یک جهت ( رو به جلو) استفاده شد. برای هر سه ثانیه انقباض، ۳۰ ثانیه استراحت درنظر گرفته شد (۴۱) و از آزمودنی‌ها خواسته شد تا حداکثر تلاش خود را در هر حرکت انجام دهند.

**جدول ۱. برنامهٔ ۴ هفته تمرین پلایومتریک**

| هفته | حرکت | لی‌لی پای راست (۱۰متر) | لی‌لی پای چپ (۱۰متر) | پرش عمودی تک‌پا جلوی پله با تعویض پا | پرش پای راست از پله از روبرو | پرش پای چپ از پله از روبرو | پرش پای راست از پله از پهلو | پرش پای چپ از پله از پهلو | پرش پای راست از پله رو به عقب | پرش پای چپ از پله رو به عقب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اول | cm۱۰ | ۲ | ۲ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ |
| دوم | cm۱۵ | ۲ | ۲ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ |
| سوم | cm۲۰ | ۲ | ۲ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ |
| چهارم | cm۲۵ | ۲ | ۲ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ | ۲×۱۰ |

برنامهٔ تمرین به این شکل اجرا شد که برای دو حرکت لی‌لی با پای راست و چپ، آزمودنی مسافت ۱۰ متر را به‌صورت رفت‌وبرگشت یک‌بار با پای راست و یک‌بار با پای چپ لی می‌زد و برای سایر حرکات، پرش به شکل‌های مختلف به‌صورت دومرتبه با ۱۰ تکرار انجام می‌گرفت. در تمام مدت تمرین اصلی، طبق پروتکل ۳ ثانیه فعالیت، ۳۰

1. Fabio De Algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

ثانیه استراحت، با درنظر گرفتن مدت زمان هر فعالیت، میزان استراحت متناسب با آن برای هر فرد اعمال می‌شد. شکل‌های ۱ تا ۳، به‌ترتیب پرش تک‌پا از پهلو، روبه‌رو و رو به عقب را نشان می‌دهد که طبق برنامهٔ تمرینی، با پای راست و چپ اجرا شد.

شکل ۱. پرش تک پا از پهلو

شکل ۲. پرش تک پا از روبرو

شکل ۳. پرش تک پا رو به عقب

مشابه با پیش‌آزمون، پس از اتمام دورهٔ تمرین، از آزمودنی‌ها پس‌آزمون به‌عمل آمد. از آمار توصیفی برای توصیف متغیرها و از آنالیز کوواریانس تک‌متغیره ($P\leq ۰/۰۵$) برای تحلیل نتایج استفاده شد. قبل از اجرای تحلیل کوواریانس تک‌متغیره پیش‌فرض‌های این روش آماری شامل طبیعی بودن توزیع متغیر، تجانس واریانس گروه‌ها، مستقل بودن گروه‌ها و تجانس رگرسیون داده‌ها بررسی و تأیید شد.

## نتایج

جدول ۲، اطلاعات فردی گروه‌های تجربی و کنترل را نشان می‌دهد. ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، توزیع نرمال داده‌ها تعیین شد. در ادامه، نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که میانگین متغیرهای قد، وزن، سن، درصد چربی و شاخص تودهٔ بدنی[1] آزمودنی‌ها در هر دو گروه تفاوت معناداری ندارد.

**جدول ۲. اطلاعات فردی گروه‌های تجربی و کنترل و سطح معناداری آزمون تی**

| گروه | قد (متر) | وزن (کیلوگرم) | سن (سال) | درصد چربی | BMI ($\frac{kg}{m2}\frac{kg}{m2}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| تجربی | ۱/۶۵± ۰/۰۵ | ۵۷/۳۳±۸/۸۴ | ۲۱/۸±۰/۶۳ | ۲۹/۳۹±۶/۷۳ | ۲۱/۱ |
| کنترل | ۱/۶۳ ± ۰/۰۵ | ۵۶/۶۵± ۱۰/۳۹ | ۲۱/۵±۰/۹۷ | ۲۷/۸۴±۸/۵۳ | ۲۱/۳ |
| تی | ۰/۷۴ | ۰/۲ | ۰/۸۱ | ۰/۵۴ | ۰/۱۵ |
| سطح معناداری | ۰/۴۷ | ۰/۸۴ | ۰/۴۲ | ۰/۵۹ | ۰/۸۷ |

بر طبق فرمول هم‌فعالی، از تقسیم دامنهٔ سیگنال آر ام اس عضلهٔ دوسررانی (مخالف) به راست‌رانی (موافق)، هم‌فعالی ران و از تقسیم دامنهٔ سیگنال آر ام اس عضلهٔ درشت‌نی قدامی (مخالف) به دوقلوی داخلی (موافق)، هم‌فعالی ساق پا به‌دست آمد. میانگین و انحراف استاندارد میزان هم‌فعالی عضلات ران و ساق پا در مراحل مختلف پرش عمقی (پیش‌فعالیت =۲، تماس=۳، پرواز =۴) در جدول ۳ نشان داده شده است.

1. Body mass index

www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد هم‌فعالی دو گروه به تفکیک زمان، مرحلهٔ پرش در عضلات ران و ساق**

| | | پیش‌آزمون | | | پس‌آزمون | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مرحلهٔ | | | مرحلهٔ | | |
| | | پیش فعالیت | تماس | پرواز | پیش فعالیت | تماس | پرواز |
| عضلات ران | تمرین پلایومتریک | ۰/۶۷±۰/۷۹ | ۰/۰±۷۳/۶۲ | ۰/۰±۷۸/۷۵ | ۰/۰±۸۶/۷۱ | ۰/۰±۹۱/۷۸ | ۰/۰±۸۸/۷۴ |
| | کنترل | ۰/۱±۷۸/۳۸ | ۰/۰±۶۰/۸۲ | ۰/۰±۵۳/۶۶ | ۱/۱±۵۴/۹۴ | ۱/۱±۳۲/۲۴ | ۱/۱±۱۸/۱۹ |
| عضلات ساق | تمرین پلایومتریک | ۴/۴۳±۵ /۷ | ۲/۱±۳۶/۴۸ | ۱/۰±۲۸/۶۹ | ۳/۲±۲۰/۰۸ | ۱/۰±۳۱/۷۵ | ۱/۰±۰۴/۶۳ |
| | کنترل | ۴/۴±۷۴/۷۰ | ۲/۲±۳۹/۲۷ | ۱/۱±۶۹/۵۷ | ۱۵/۲۳±۷۵/۸۷ | ۲/۲±۸۴/۶۷ | ۱/۰±۶۳/۸۶ |

با توجه به نتایج جدول ۳، میانگین هم‌فعالی عضلات ران در گروه پلایومتریک در پیش‌آزمون و پس‌آزمون کمتر از یک است. با توجه به نسبت هم‌فعالی، کمتر از یک بودن نسبت، بدین‌معناست که میزان فعالیت عضلهٔ مخالف (دوسررانی) کمتر از عضلهٔ موافق (راست‌رانی) است. همچنین از پیش‌آزمون به پس‌آزمون، میزان هم‌فعالی عضلات ران در گروه پلایومتریک افزایش بسیار جزئی (مرحلهٔ ۲(۹ درصد)، ۳ (۲۴ درصد)، ۴ (۱۳ درصد)) پیدا کرده است، این در حالی است که در گروه کنترل، افزایش قابل ملاحظه‌ای (مرحله ۲(۹۸٪)، ۳(۱۲۰٪)، ۴(۱۲۲٪)) دیده می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۳، در هر دو گروه پلایومتریک و کنترل، در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، بیشترین میزان هم‌فعالی عضلات ساق، مربوط به مرحلهٔ پیش‌فعالیت و کمترین میزان مربوط به مرحلهٔ پرواز است. میزان هم‌فعالی عضلات ساق در گروه پلایومتریک، در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، بیشتر از یک است. بدان‌معنا که میزان فعالیت عضلهٔ مخالف (درشت‌نی قدامی) بیشتر از عضلهٔ موافق (دوقلوی داخلی) است و این نسبت پس از تمرین کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که کاهش مشابهی (۴۴ درصد) در مراحل ۲ و ۳ دیده می‌شود و بیانگر افزایش فعالیت عضلهٔ دوقلوی داخلی (موافق) نسبت به مخالف آن است. در گروه کنترل نیز میزان هم‌فعالی بیشتر از یک است، ولی این نسبت در پس‌آزمون، در مراحل ۲(۲۳۲ درصد) و ۳(۱۸ درصد) افزایش و در مرحلهٔ ۴(۵ درصد) کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد هم‌فعالی عضلات ساق در گروه کنترل الگوی منظمی نداشته باشد.

در مجموع، نکتهٔ جالب توجه در گروه پلایومتریک روند افزایش میزان هم‌فعالی عضلات ران و روند کاهشی میزان هم‌فعالی عضلات ساق پس از ۴ هفته تمرین پلایومتریک است.

به‌منظور بررسی اثر متغیر تمرین (۴ هفته تمرین پلایومتریک) بر میزان هم‌فعالی عضلات ران و ساق پا از آزمون تحلیل واریانس تک‌متغیره استفاده شد. همچنین به‌منظور حذف اثر احتمالی پیش‌آزمون بر نتایج، پیش‌آزمون هم‌فعالی عضلات ران و ساق در مراحل مختلف پرش به‌طور جداگانه به‌عنوان متغیر کووریت در مدل وارد شد. سپس، پس‌آزمون به‌عنوان متغیر وابسته، متغیر تمرین (گروه پلایومتریک و کنترل) و متغیر مرحله (پیش‌فعالیت، تماس، پرواز) به‌عنوان متغیر مستقل در مدل وارد شدند. در ادامه، نتایج تحلیل کوواریانس تک‌متغیره پس‌آزمون هم‌فعالی عضلات ران و ساق پای برتر در جدول ۴ ارائه می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۴، اثر پیش‌آزمون متغیر هم‌فعالی عضلات ران در مرحلهٔ ۲ (sig: ۰/۰۰)، با اطمینان ۹۹٪ (p<۰/۰۱) معنادار بود و اثر آن به‌درستی توسط مدل

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش حذف شد. نتایج آنالیز کوواریانس تک‌متغیره با کنترل اثر پیش‌آزمون نشان داد که بین دو گروه تجربی و کنترل از لحاظ پس‌آزمون هم‌فعالی عضلات ران در مرحلهٔ ۲ (پیش‌فعالیت)، مرحلهٔ ۳ (تماس) و مرحلهٔ ۴ (پرواز) تفاوت معناداری وجود ندارد و در نتیجه ۴ هفته تمرین پلایومتریک اثر معناداری بر هم‌فعالی عضلات ران در مراحل مختلف پرش عمقی ندارد.

با توجه به نتایج جدول ۴، نتایج آنالیز کوواریانس تک‌متغیره با کنترل اثر پیش‌آزمون نشان داد که بین گروه تجربی و کنترل از لحاظ پس‌آزمون هم‌فعالی عضلات ساق پا در مرحلهٔ ۲ (پیش فعالیت)، مرحلهٔ ۳ (تماس) و مرحلهٔ ۴ (پرواز) تفاوت معناداری وجود ندارد. بنابراین ۴ هفته تمرین پلایومتریک اثر معناداری بر هم‌فعالی عضلات ساق در مراحل مختلف پرش عمقی ندارد. هرچند در مرحلهٔ ۲، متغیر گروه در هم‌فعالی ساق پا، نزدیک به معناداری (۰/۰۷) است و با توجه به میانگین عضلات ساق بین دو گروه پلایومتریک (۳/۲۰) و کنترل (۱۵/۷۵) در مرحلهٔ پیش‌فعالیت، به‌نظر می‌رسد که تمرین میزان هم‌فعالی را در گروه پلایومتریک نسبت به گروه کنترل کاهش داده است.

**جدول ۴. نتایج تحلیل کوواریانس تک‌متغیرهٔ پس‌آزمون هم‌فعالی عضلات ران و ساق پای برتر**

| متغیر هم‌فعالی | مرحله | منابع تغییر | مجموع مجذورات | درجات آزادی | F | سطح معناداری | مجذور اتا |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عضلات ران | پیش‌فعالیت | پیش‌آزمون | ۲۰/۳۸ | ۱ | ۱۹/۰۶ | *۰/۰۰ | ۰/۵۲ |
| | | تمرین (گروه) | ۲/۴۴ | ۱ | ۲/۲۸ | ۰/۱۴ | ۰/۱۲ |
| | تماس | پیش‌آزمون | ۰/۰۷ | ۱ | ۰/۰۶ | ۰/۸ | ۰/۰ |
| | | تمرین (گروه) | ۰/۸ | ۱ | ۰/۷ | ۰/۴۱ | ۰/۰۴ |
| | پرواز | پیش‌آزمون | ۱/۱۱ | ۱ | ۱/۱۴ | ۰/۳ | ۰/۰۶ |
| | | تمرین (گروه) | ۰/۲۱ | ۱ | ۰/۲۱ | ۰/۶۵ | ۰/۰۱ |
| عضلات ساق | پیش فعالیت | پیش‌آزمون | ۸۰۶/۹۹ | ۱ | ۳/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۱۶ |
| | | تمرین (گروه) | ۹۵۹/۳۳ | ۱ | ۳/۷۳ | ۰/۰۷ | ۰/۱۸ |
| | تماس | پیش‌آزمون | ۰/۲۴ | ۱ | ۰/۰۶ | ۰/80 | ۰/۰ |
| | | تمرین (گروه) | ۱۱/۵۴ | ۱ | ۲/۸۴ | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ |
| | پرواز | پیش‌آزمون | ۰/۱۳ | ۱ | ۰/۲۱ | ۰/۶۴ | ۱۰ |
| | | تمرین (گروه) | ۱/۵۳ | ۱ | ۲/۵۵ | ۰/۱۲ | ۰/۱۳ |

همچنین با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یکراهه (ANOVA) و آزمون تعقیبی بنفرونی به‌طور جداگانه برای هر گروه، مشخص شد که در گروه پلایومتریک، بین مراحل مختلف پرش عمقی، از نظر هم‌فعالی عضلات ران در پیش‌آزمون و پس‌آزمون تفاوت معناداری دیده نشد. در گروه کنترل نیز تفاوت معناداری از نظر میزان هم‌فعالی ران بین مراحل پرش عمقی واکنشی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون دیده نشد. همچنین، با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یکراهه و آزمون تعقیبی بنفرونی به‌طور جداگانه برای هر گروه مشخص شد که در گروه پلایومتریک تفاوت معناداری از نظر هم‌فعالی عضلات ساق، در پیش‌آزمون بین مراحل ۲ و ۳ (P<۰/۰۵, sig: ۰/۰۳) و بین مراحل ۲ و ۴ (P< ۰/۰۱ ,sig: ۰/۰۰) و پس‌آزمون بین مراحل ۲ و ۳ (P<۰/۰۵, sig: ۰/۰۱ ) و مراحل ۲ و ۴ (۰/۰۰ , P<۰/۰۱sig:) وجود دارد. در پیش‌آزمون، مرحلهٔ ۲ (۱۱۴ درصد) بیشتر از مرحلهٔ ۳ و (۳۴۰ درصد) بیشتر از مرحلهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

۴ و در پس‌آزمون، مرحلهٔ ۲، (۱۴۳ درصد) بیشتر از مرحلهٔ ۳ و (۲۰۰ درصد) بیشتر از مرحلهٔ ۴ است.

در گروه کنترل بین مراحل پرش عمقی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون از نظر هم‌فعالی ساق تفاوت معناداری دیده نشد.

**بحث**

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر ۴ هفته تمرین پلایومتریک بر میزان هم‌فعالی دوسررانی – راست‌رانی (هم‌فعالی ران) و درشت‌نی قدامی- دوقلوی داخلی (هم‌فعالی ساق) در حین مراحل مختلف پرش عمقی تک‌پای برتر در دختران فعال بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۴ هفته تمرین پلایومتریک بر هم‌فعالی عضلات ران گروه پلایومتریک در هر سه مرحلهٔ پرش عمقی، اثر معناداری ایجاد نکرد. هرچند این متغیر در مقایسه با افزایش چشمگیر در گروه کنترل، در گروه پلایومتریک افزایش جزئی را نشان داد. همچنین این میزان هم‌فعالی در پس‌آزمون گروه تمرین پلایومتریک نسبت به گروه کنترل در هر ۳ مرحلهٔ پرش عمقی کمتر از یک بود. در مورد هم‌فعالی ساق پا نیز اگرچه بین دو گروه تفاوت معناداری دیده نشد، میزان هم‌فعالی عضلات ساق پا در گروه پلایومتریک کاهش نشان داد و در گروه کنترل، به‌جز مرحلهٔ ۴، افزایش چشمگیری دیده شد. علی‌رغم غیرمعنادار بودن اثر تمرین بر هم‌فعالی، به‌نظر می‌رسد که ۴ هفته تمرین پلایومتریک موجب افزایش هم‌فعالی عضلات ران و کاهش هم‌فعالی عضلات ساق پا می‌شود.

پژوهش‌های گذشته بیان کرده‌اند که هم‌فعالی عضلانی از طریق فعالیت‌های تکراری همانند تمرین و فعالیت‌های روزانه کاهش می‌یابد (۲۲). از طرفی هم‌فعالی عضلهٔ مخالف (همسترینگ) برای ثبات مفصل زانو، توزیع یکسان فشارهای وارده بر مفصل و تنظیم مقاومت مکانیکی آن الزامی است. همچنین باراتا (۴۲) (۱۹۸۸) بیان می‌کند که در افراد غیرفعال یا عضلات آتروفی‌شده، کاهش هم‌فعالی عضلهٔ همسترینگ میزان خطر آسیب لیگامنت‌های مفصل زانو را افزایش می‌دهد. در پژوهش حاضر، هم‌فعالی عضلات ران در نتیجهٔ تمرین پلایومتریک کمی افزایش نشان داد، هرچند تفاوت معنادار نبود، اما به‌نظر می‌رسد که ۴ هفته تمرین پلایومتریک توانسته است از طریق افزایش فعالیت عضلهٔ دوسررانی به‌عنوان عضلهٔ مخالف، میزان هم‌فعالی ران را افزایش دهد و از این طریق به حفظ ثبات مفصل کمک کند. همراستا با این نتیجه، آرابانتزی[1](۲۰۰۰) نیز با مقایسهٔ میزان EMG همسترینگ بین دو گروه ورزشکار تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده در طی پرش عمقی تفاوتی بین گروه‌ها از نظر فعالیت همسترینگ مشاهده نکرد (۴۳). ویتاسالو[2](۱۹۹۸) هم در تحقیق مشابه، تفاوت معناداری مشاهده نکرد (۴۴). همچنین باراتا[3](۱۹۸۸) بیان کرد ورزشکارانی که به‌طور مرتب عضلات همسترینگ خود را تمرین می‌دهند، پاسخ هم‌فعالی مشابهی با آزمودنی‌های نرمال نشان می‌دهند (۴۲). پتوشک[4](۲۰۱۱) نیز با بررسی اثر ۶ هفته تمرین پلایومتریک بر میزان هم‌فعالی عضلات ران تفاوت معناداری را بین گروه تمرین و کنترل مشاهده نکرد (۲۶). با این حال اگرچه میزان هم‌فعالی در گروه تمرین پلایومتریک در پس‌آزمون کمی افزایش نشان می‌دهد، میزان این هم‌فعالی در هر سه مرحله کمتر از یک بود، درحالی‌که در گروه کنترل بیشتر از یک است. در پژوهش حاضر، در مرحلهٔ فرود، عضلهٔ دوسررانی به‌عنوان عضلهٔ مخالف راست‌رانی، از طریق مهار متقابل، فعالیت کامل عضلهٔ راست‌رانی را در پیش‌آزمون تخریب کرد (۴۵)،

1. Arabantzi
2. Viitasalo
3. Baratta
4. Petushek

www.SID.ir

Archive of SID

اما عمل عضلهٔ دوسررانی پس از ۴ هفته تمرین پلایومتریک به‌طور معناداری تغییر یافت و اگرچه نسبت به پیش‌آزمون فعالیت آن کمی افزایش یافت، اما در مقایسه با گروه کنترل، سطح فعالیت آن کمتر بود. با بهبود در یادگیری مهارت، میزان هم‌فعالی عضلهٔ مخالف کاهش می‌یابد (۹). هم‌فعالی عضلهٔ مخالف (دوسررانی) برای کمک به لیگامنت‌ها در حفظ ثبات مفصل، توزیع فشار وارده بر مفصل و تنظیم مقاومت مکانیکی مفصل الزامی است (۴۲).

بین هیچ‌یک از متغیرهای هم‌فعالی عضلات ران پا در سه مرحلهٔ پرش عمقی بین دو گروه تجربی و کنترل و به‌طور جداگانه بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون هر گروه اختلاف معنادار دیده نشد. به‌نظر می‌رسد نبود تفاوت معنادار بین گروه‌ها ممکن است به‌دلیل توان آماری اندک و تعداد کم آزمودنی باشد (۴۶). درحالی‌که از نظر هم‌فعالی ساق پا در گروه پلایومتریک بین مرحلهٔ پیش‌فعالیت با مراحل تماس و پرواز در پیش‌آزمون و پس‌آزمون تفاوت معناداری دیده شد و این میزان در مرحلهٔ پیش‌فعالیت بسیار بیشتر از دو مرحلهٔ دیگر بود، درحالی‌که این تفاوت در گروه کنترل مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد که سطوح بالاتر هم‌فعالی قبل از تماس با زمین به مفصل اجازه می‌دهد تا خود را برای فرود بهتر آماده سازد و از طریق افزایش سفتی مفصل، به حفظ ثبات مفصل کمک کند (۴۶).

یک دلیل احتمالی برای گرایش به افزایش هم‌فعالی عضلات ران و کاهش هم‌فعالی عضلات ساق در پژوهش حاضر، وجود حرکات رو به عقب در برنامهٔ تمرینی است، زیرا آزمودنی‌ها حرکات رو به عقب را کمتر انجام می‌دهند و با آنها ناآشناترند، در نتیجه با اجرای تمرینات پرشی رو به عقب، می‌توان موجب تقویت و افزایش سطح فعالیت این دو عضله (دوسررانی، دوقلوی داخلی) (۴۷) شده، آنها را تقویت کرد و موجب افزایش هم‌فعالی ران و کاهش هم‌فعالی ساق شد (۲۳).

براساس نتایج مطالعات تمرین پلایومتریک تأثیرات متفاوتی بر میزان هم‌فعالی عضلات اندام تحتانی می‌گذارد. کوروگانتی[1] (۲۰۰۶) مشاهده کرد که پس از ۶ هفته تمرین قدرتی ایزوکینتیک میزان هم‌فعالی عضلات ران افراد مسن تغییری نکرد (۴۸)، درحالی‌که چیمرا (۲۰۰۴) گزارش کرد که زنان ورزشکار کالج ملی پس از ۶ هفته تمرین پلایومتریک، تمایل به افزایش هم‌فعالی عضلات اندام تحتانی نشان دادند (۲۴). افزایش فعالیت عضلهٔ مخالف (آنتاگونیست) به‌عنوان مکانیسم ترمز عمل می‌کند که تنش اضافی وارد بر ACL را کاهش می‌دهد (۷). از طرف دیگر، نیروی ایجادشده به‌وسیلهٔ هم‌انقباضی عضلهٔ مخالف، از نیروی خالص تولیدشده توسط عضلهٔ موافق می‌کاهد (۶). همسترینگ نقش پررنگ‌تری در کاهش سرعت اندام نسبت به چهارسررانی بازی می‌کند که ممکن است به‌دلیل تودهٔ بزرگ عضلهٔ چهارسررانی باشد (۷). بازوچی[2] (۲۰۰۸) بیان می‌کند که ورزشکاران ماهر باید الگوی فعالیت عضلانی ویژه‌ای را با سطح کم هم‌فعالی عضله نشان دهند (۲۲). همچنین، سطح کاهش‌یافتهٔ هم‌فعالی عضلانی ممکن است بیانگر دستیابی به مهارت حرکتی باشد (۹). همراستا با این نظریات، در این پژوهش، گروه پلایومتریک، افزایش کمی در هم‌فعالی ران در مقایسه با افزایش زیاد هم‌فعالی در گروه کنترل نشان دادند، هرچند تفاوت معنادار مشاهده نشد، اما به‌نظر می‌رسد افزایش کمتر هم‌فعالی در گروه پلایومتریک، احتمالاً نشان‌دهندهٔ مهارت حرکتی بیشتر این گروه در ایجاد ثبات مفصلی در اثر تمرینات پلایومتریک باشد. همچنین در مورد هم‌فعالی عضلات ساق پا، اگرچه تفاوت معناداری مشاهده نشد، در مرحلهٔ پیش‌فعالیت، متغیر گروه پلایومتریک، نزدیک به معناداری (۰/۰۷) است و با توجه به

1. Kuruganti

2. Bazzucchi

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین هم‌فعالی عضلات ساق بین دو گروه پلایومتریک و کنترل در مرحلهٔ پیش‌فعالیت، به‌نظر می‌رسد که تمرین میزان هم‌فعالی را در گروه پلایومتریک نسبت به گروه کنترل کاهش داده است (۴۹). کاهش میزان هم‌فعالی ساق، احتمالاً بیانگر افزایش فعالیت عضلهٔ دوقلوی داخلی به‌عنوان عضلهٔ موافق است تا به ACL برای جلوگیری از نیروی پایین‌کشندهٔ عضلهٔ درشت‌نی قدامی(۱۲) کمک کنند. همراستا با این نتیجه، مهدی‌پور (۲۰۰۸) نیز افزایش فعالیت عضلهٔ دوقلوی داخلی را در نتیجهٔ ۶ هفته تمرین پلایومتریک مشاهده کرد (۲۷).

آوریلون(۲۰۱۸) (۵۰) یکی از دلایل غیرمعنادار بودن هم‌فعالی بین دو گروه را در نتیجهٔ تفاوت زیاد بین افراد از لحاظ میزان فعالیت عضلات مطرح می‌کند. در پژوهش حاضر نیز این تفاوت بارز بین آزمودنی‌ها برحسب انحراف استاندارد کاملاً دیده می‌شود.

از طرفی یکی دیگر از دلایل احتمالی عدم کاهش معنادار در میزان هم‌فعالی ممکن است سطح مناسب آمادگی بدنی آزمودنی‌ها، مدت کوتاه تمرین یا نوع تمرینات این پژوهش یا سن آزمودنی‌ها باشد، زیرا پژوهش‌هایی که کاهش میزان هم‌فعالی را پس از تمرین مشاهده کردند، اغلب از تمرینات ایزومتریک (۵۱) یا ایزوکینتیک (۵۲، ۴۸، ۷) استفاده کرده‌اند، هرچند رواس[2](۲۰۱۸) نیز پس از ۶ هفته تمرینات مختلف، تفاوت معناداری را در میزان هم‌فعالی عضلات اندام تحتانی مشاهده نکرد (۴۹). لاتاش[3] (۲۰۱۸) مطرح می‌کند که میزان هم‌فعالی در افراد جوان سالم بیشتر از افراد مسن‌تر است و همین مسئله به جوانان در اجرای مهارت‌های سخت کمک می‌کند (۲۳).

مسئلهٔ دیگر اینکه در انجام حرکت جدید، از الگوی متداول فعالیت عضلات موجود استفاده نمی‌شود، اما پس از تمرین، سیستم عصبی مرکزی به شیوهٔ بسیار مؤثری، الگوی فعالیت عضله را برای ایجاد استفادهٔ بهینه از سیستم عضلانی تغییر می‌دهد (۲۲). تمریناتی که در آن، سطح هم‌فعالی عضلانی کاهش یافته، معمولاً تمرین، کاملاً شبیه آزمون اندازه‌گیری بوده است. به‌طور مثال، بازوچی از دینامومتر ایزوکینتیکی هم برای تمرین و هم برای آزمون استفاده کرده است. به‌عبارت دیگر، الگوی به‌کارگیری عضلات در تمرین و آزمون یکسان یا مشابه بوده است. اما در پژوهش حاضر، شیوهٔ به‌کارگیری عضلات در تمرین و آزمون نه کاملاً اما تا حد بسیار زیادی متفاوت بود. شاید به همین دلیل، میزان هم‌فعالی پس از تمرین اندکی افزایش یافته است. همچنین روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ هم‌فعالی و شیوه‌های مورد استفاده برای نرمال‌سازی الکترومیوگرافی توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده و همین مسئله موجب سخت شدن مقایسهٔ اطلاعات می‌شود (۱۱). در این پژوهش، نسبت میانگین دامنهٔ سیگنال آر ام اس عضلهٔ مخالف به موافق به‌عنوان ملاک هم‌فعالی درنظر گرفته شد.

## نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش حاضر نشان داد که اگرچه چهار هفته تمرین پلایومتریک در جهت‌های مختلف، موجب تفاوت معناداری از نظر میزان هم‌فعالی عضلات ران و ساق پا بین گروه پلایومتریک و کنترل نشد، میزان هم‌فعالی عضلات ساق پا را تا حدی کاهش داد و به‌نظر می‌رسد برای دستیابی به نتایج معنادار نیاز به تمرینات طولانی‌تر از چهار هفته است. همچنین انجام حرکات پلایومتریک رو به عقب در این پژوهش به‌نظر می‌رسد میزان فعالیت عضلهٔ دوسررانی و دوقلوی داخلی را افزایش می‌دهد و به ACL

1.Avrillon
2. Ruas
3. latash

www.SID.ir

Archive of SID

از طریق کاهش اثر پایین‌کشندهٔ عضلهٔ درشت‌نی قدامی کمک می‌کند. همچنین به‌نظر می‌رسد چهار هفته تمرین پلایومتریک با کاهش یا افزایش در میزان هم‌فعالی مفاصل مچ پا و ران، موجب دستیابی مفصل به مقدار بهینهٔ هم‌فعالی می‌شود تا از این طریق بتواند ثبات مفصل را در نتیجهٔ تمرینات، فراهم سازد. شواهد متعدد نشان می‌دهند که تمرینات عصبی عضلانی الگوی فراخوانی عضلات را تغییر می‌دهد و با کاهش نیروهای وارده در لحظهٔ فرود، موجب بهبود تعادل و کاهش آسیب‌دیدگی ACL در زنان می‌شود. پژوهش‌های آتی می‌تواند با استفاده از EMG این تمرینات را شناسایی کند و با تسهیل فعالیت متعادل عضلات ران و همچنین ساق پا موجب پیشگیری از آسیب اندام تحتانی به‌خصوص آسیب ACL و دستیابی به میزان بهینهٔ هم‌فعالی عضلات در اطراف هر مفصل شود.

**منابع و مآخذ**


1. Rezaimanesh D, Amiri-Farsani P, Saidian S. The effect of a ٤week plyometric training period on lower body muscle EMG changes in futsal players. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2011;3138:15-42.
2. Lopes JC, Palomares EM, Rizzo DT. Training of Shock (Pliometry) in Combat Modalities. Weber Educational Research & Instructional Studies. 2017;3(1):732-6.
3. Frontera WRea. Exercise in rehabilitation medicine: Human Kinetics; 1999.
4. Pousson M, Amiridis I, Cometti G, Van Hoecke J. Velocity-specific training in elbow flexors. European journal of applied physiology and occupational physiology. 1999;80(4):367-72.
5. Wilkerson GB, Colston MA, Short NI, Neal KL, Hoewischer PE, Pixley JJ. Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program. Journal of Athletic Training.2004;39(1):17.
6. M S, A H. Evaluation of extra and intra muscular neural adaptation after isokinetic strenght training in lower limb. Research on Sport Sciences.2010;293(7);129-41.
7. Wright J, Ball N, Wood L. Fatigue, H/Q ratios and muscle coactivation in recreational football players. Isokinetics and Exercise Science. 2009;17(3):161-7.
8. De Oliveira CF, Soares DP, Bertani MC, Rodrigues LJ. Effects of Fast-Walking on Muscle Activation in Young Adults and Elderly Persons. Journal of Novel Physiotherapy and Rehabilitation. 2017; January (20):9-12.
9. Suzuki M, Shiller DM, Gribble PL, Ostry DJ. Relationship between cocontraction, movement kinematics and phasic muscle activity in single-joint arm movement. Experimental Brain Research. 2001;140(2):171-81.
10. Najafi M, Najafi S, Talebian s. Assessment of motor units recruitment at the knee extensor muscles. Modern Rehabilitation.2010;4(3):48-52.
11. Coombs R, Garbutt G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. J Sports Sci Med. 2002;1(3):56-62.
12. Dedinsky R, Baker L, Imbus S, Bowman M, Murray L. Exercises that facilitalte optimal hamstring and quadriceps Co-Activation to help decrease acl injury risk in healthy females: A systemtic review of the A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE. Int J Sports Phys Ther.2017;12(1):3.


www.SID.ir

Archive of SID

13. Jung HC, Lee S, Seo MW, Song JK. Isokinetic assessment of agonist and antagonist strength ratios in collegiate taekwondo athletes: a preliminary study. Sport Sciences for Health.2017;13(1):175-81.
14.Marquez G, Alegre LM, Jaen D, Martin-Casado L, Aguado X. Sex differences in kinetic and neuromuscular control during jumping and landing. Journal of musculoskeletal & neuronal interactions.2017;17(1):409-16.
15.Hurd WJ, Chmielewski TL, Snyder-Mackler L. Perturbation-enhanced neuromuscular training alters muscle activity in female athletes. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA. 2006;14(1):60-9.
16.Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.2000;8(3):41-50.
17.Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD, Ford KR. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. British journal of sports medicine. 2005;39(6):347-50.
18.Myer GD, Ford KR, Barber Foss KD, Liu C, Nick TG, Hewett TE. The Relationship of Hamstrings and Quadriceps Strength to Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes. Clin J Sport Med.2009;19(1):3-8.
19.Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. Journal of athletic training. 2002;37(1):71.
20.T A, M K, M T. Alternate activity of medial and lateral gastrocnemius muscles during a sustained sub maximal isometric plantar flexion. Contemporary Studies on Sport Management. 2012;3(2):19-32.
21.Hanaki S, McCaw ST. A Comparison Of The Lower Extremity Kinematics Between One-And Two-leg Landings. Medicine & Science in Sports & Exercise.2005;37(5):S66.
22.Bazzucchi I, Riccio ME, Felici F. Tennis players show a lower coactivation of the elbow antagonist muscles during isokinetic exercises. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology. 2008;18(5):752-9.
23.Latash ML. Muscle coactivation :definitions, mechanisms, and functions. J Neurophysiol. 2018;120(1):104-88.
24.Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, Straub SJ. Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. Journal of athletic training . 2004;39(1): 24.
25.Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. The American journal of sports medicine.1996; 24(6):765-73.
26.Petushek EJ, Fauth ML, Hsu BE ,Vogel C, Lutsch B, Feldmann CR, et al. The Effect of Resistance and Plyometric Training on Hamstring and Quadriceps Activation During

www.SID.ir

Archive of SID

Simulated Sports Movement. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2011; 25:S8-S9.

27.Mehdipour A, Ferdowsi M, Alijani A, Goharpey S. A study of electromyography of lower extremities and comparison of effects of plyometric and isotonic weight training. Human Movement.2008;9(2):103-6.

28.Wikstrom EA, Tillman MD, Schenker S, Borsa PA. Failed jump landing trials: deficits in neuromuscular control. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2008;18(1):55-61.

29.Schmid S, Moffat M, Gutierrez GM. Effect of knee joint cooling on the electromyographic activity of lower extremity muscles during a plyometric exercise. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology.2010;20(6):1075-81.

30.Ruan M, Li L. Approach run increases preactivation and eccentric phases muscle activity during drop jumps from different drop heights. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology. 2010;20(5):932-8.

31.Ahmadabadi S, Rajabi H, Gharakhanlo R, Talebian S. The effect of fatique due to plyometric training on activity pattern of rectus femoris muscle in different phases of deep jump on active girl. Journal of Modern Rehabilitation. 2014;8(4):11-20.

32.Sankey SP, Jones PA, Bampouras T. Effects of two plyometric training programmes of different intensity on vertical jump performance in high school athletes. Serbian journal of sports sciences.2008; 2(4): 123-30.

33.Freriks B, Hermens H, Disselhorst-Klug C, Rau G. The recommendations for sensors and sensor placement procedures for surface electromyography. Seniam.1999;13:54-8.

34.Di Giminiani R, Scrimaglio R. Center of gravity height calculation and average mechanical power during jump performance. Italian Journal of Sport Sciences.2006;13:78-84.

35.Häkkinen K, Alen M ,Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, et al. Muscle CSA, Force Production, and Activation of Leg Extensors during Isometric and Dynamic Actions in Middle-Aged and Elderly Men and Women. Journal of Aging and Physical Activity. 1998;6(3):232-47.

36.Konrad P. The abc of emg. A practical introduction to kinesiological electromyography. 2005;30:1-5.

37.Reyment C, Bonis M, Lundquist J, Tice BS. Effects of a four week plyometric training program on measurements of power in collegiate hockey players.2006.

38.Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Martino F, Fiorini S, Wisloff U. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. Br J Sports Med.2008;42(1):42-6.

39.Poomsalood S, Pakulanon S. effects of ٤-week plyometric training on speed, agility, and leg muscle power in male university basketball players: a pilot study. Kasetsart J(Soc Sci). 2015;606-36:598.

www.SID.ir

Archive of SID

40.Begalle RL, DiStefano LJ, Blackburn T, Padua DA. Quadriceps and hamstrings coactivation during common therapeutic exercises. Journal of athletic training. 2012;47(4):396-405.

41.Herrero JA, Izquierdo M, Maffiuletti NA, Garcia-Lopez J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. International journal of sports medicine. 2006;27(7): 533-9.

42.Baratta R, Solomonow M, Zhou B, Letson D, Chuinard R, D'ambrosia R. Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. The American journal of sports medicine.1988; 16(2):113-22.

43.Arabantzi F, Papadopoulos C, Prassas S, Komsis G, Gourgoulis V, editors. Electromyographic (EMG) activity of lower extremity musculature during drop jumping from different heights. ISBS-Conference Proceedings Archive ;2000.

44.Viitasalo JT, Salo A, Lahtinen J. Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. European journal of applied physiology and occupational physiology. 1998;78(5):432-40.

45.Fu SN, Hui-Chan CW. Modulation of prelanding lower-limb muscle responses in athletes with multiple ankle sprains. Medicine and science in sports and exercise. 2007; 39(10):1774-83.

46.Ambegaonkar JP. A comparison of knee muscle activation and knee joint stiffness between female dancers and basketball players during drop jumps: The University of North Carolina at Greensboro; 2007.

47.Jones SL, Caldwell GE. Mono-and biarticular muscle activity during jumping in different directions. J Appl Biomech.2003;19(3):205-22.

48.Kuruganti U, Parker P, Rickards J, Tingley M. Strength and muscle coactivation in older adults after lower limb strength training. International journal of industrial ergonomics. 2006;36(9):761-6.

49.Ruas CV, Brown LE, Lima CD, Haff GG, Pinto RS. Different Muscle Action Training Protocols on Quadriceps-Hamstrings Neuromuscular Adaptations. Int J Sports Med. 2018;39(50):355-65.

50.S Avrillon FH, G Guilhem Between-muscle differences in coactivation assessed using elastography. J Electromyogr Kinesiol.2018;43:88-94.

51.Carolan B, Cafarelli E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. Journal of applied physiology.1992;73(3):911-7.

52.Carcia CR, Martin RL. The influence of gender on gluteus medius activity during a drop jump. Physical Therapy in Sport.2007; 8(4); 169-76.

www.SID.ir

Archive of SID

# The Effect of 4 Weeks of Plyometric Training on Coactivation of Antagonist and Agonist Muscles in Lower Limb of Active Girls during Different Phases of Drop Jump

**Somayeh Ahmadabadi [1*] - Hamid Rajabi [2] - Reza Gharakhanlou [3] - Saeed Talebian Moghadam [4]**

**1.Assistant Professor of Exercise Physiology, Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran. 2. Professor of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran 3. Professor of Exercise Physiology, Department of Physical Education, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran 4. Professor of Physiotherapy, Faculty of Physical Therapy, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran**

**(Received: 2019/4/2;Accepted: 2020/5/16)**

## Abstract

Female athletes are more likely to have knee ligament injuries than men due to less coactivation. The aim of this study was to determine the effect of 4 weeks of plyometric training on the coactivation level of the lower limb muscles of active girls in different phases of drop jump. 20 female physical education students (mean age: 21.8±0.63 years, height: 1.64± 0.05 m, weight: 56.98± 9.26 kg) were randomly divided into two groups: experimental plyometrics (n=10) and control (n=10). The experimental group performed plyometric training twice a week for four consecutive weeks. In pretest and posttest, surface electromyography was performed on tibialis anterior, medial gastrocnemius, biceps femoris and rectus femoris. The coactivation level of dominant thigh and shin muscles was calculated during 3 phases of drop jump from 20 cm height. Analysis of covariance was used to investigate the effect of training at the significance level of $P \leq 0.05$. The results of univariate analysis of covariance with controlling the pretest effect showed no significant differences between experimental and control groups in posttest coactivation of thigh and shin muscles in phase 2 (pre-activity, P=0.14 and P=0.07), phase 3 (contact, P=0.41 and P=0.11) and phase 4 (fly, P=0.65 and P=0.12). In the plyometric group, the coactivation level of thigh and shin muscles showed increasing and decreasing trends respectively. Backward plyometric movements increase the activity level of leg dorsal muscles and help the ACL stability.

## Keywords

Active girls, coactivation, drop jump, electromyography, plyometric training.

* Corresponding Author: Email: s.ahmadabadi@cfu.ac.ir ;Tel: +989124037470

www.SID.ir