

تأثیر ۴ هفته تمرین مهارت پرش عمودی بر تغییرپذیری نیروهای عکس العمل زمین در اجرای پرش عمودی در مردان جوان فعال

مهدی خالقی تازجی^{۱*}، حیدر صادقی^۲، رغد معمار^۱، سید علی اصغر حسینی^۳

۱. استادیار بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲. استاد بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۳. استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: پرش عمودی در بسیاری از فعالیت های ورزشی دیده می شود و به عنوان یک مدل تحقیقی در بسیاری از مطالعات بیومکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر چهار هفته تمرین بر تغییرپذیری نیروهای عکس العمل در اجرای پرش عمودی در مردان جوان فعال بود. **روش تحقیق:** در این تحقیق نیمه تجربی ۲۰ مرد جوان به طور تصادفی در قالب دو گروه تمرین و کنترل شرکت کردند. داده های نیروی عکس العمل زمین قبل و بعد از برنامه تمرینی با استفاده از دستگاه صفحه نیرو سنج در اجرای پرش عمودی ثبت شد. با استفاده از روش نمودار اثر کلی، ضریب تغییرات ۱۰ نمودار نیروی عکس العمل زمین، قبل و بعد از تمرین برای هر آزمودنی محاسبه گردید. **یافته ها:** نتایج تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر تفاوت معنی داری را بین میزان ضریب تغییرات نیروی عکس العمل زمین در راستای عمودی و داخلی- خارجی در پیش آزمون و پس آزمون نشان نداد؛ در حالی که در راستای قدامی- خلفی میانگین ضریب تغییرات در پس آزمون بیشتر از پیش آزمون بود ($p=0/03$). **نتیجه گیری:** به نظر می رسد تغییرپذیری نمودار نیروی عکس العمل زمین از تمرین تأثیر می پذیرد. مطالعه تغییرپذیری در نمودار نیروی های عکس العمل زمین می تواند به عنوان شاخص عملکرد در پرش عمودی در نظر گرفته شود.

واژه های کلیدی: تغییرپذیری، نیروی عکس العمل زمین، پرش عمودی.

مقدمه

تغییرپذیری حرکتی رخ می دهد و این تغییرپذیری هم درون فردی و هم بین افراد مشاهده شده است (نوول و کارکاس^{۱۴}، ۱۹۹۳). سیستم های پیچیده مانند سیستم حرکتی انسان، جهت انجام مهارت از تغییرپذیری برای حل مشکلات پیش رو جهت اجرای هر چه بهتر مهارت استفاده می کنند. تغییرپذیری در نتیجه مشکل هماهنگی درجات آزادی بیان شده توسط برنشتاین تعریف می گردد (ویتینگ^{۱۵}، ۱۹۸۳). تغییر در ساختار یا عملکرد سیستم های بیولوژیکی یک فرد در نتیجه تقابل با مشکلات ایجاد شده بوسیله تکلیف، محیط و وضعیت روانی فرد در هنگام اجرای حرکت می باشد که منجر به ایجاد تغییرپذیری می گردد. کنترل تعداد زیاد درجات آزادی سیستم های عصبی-عضلانی و اسکلتی - عضلانی در بحث تغییرپذیری مهم می باشد. از یک دیدگاه، تغییرپذیری نشان دهنده خطا در نقشه، اجرا و خروجی حرکت می باشد؛ که این دیدگاه تغییرپذیری را برای اجرای مهارت هماهنگ حرکتی مضر می داند. از دیدگاه دیگر، برخی تغییرپذیری را برای سازماندهی حرکت و اجرا مفید می دانند. این دیدگاه از مطالعه رفتار سیستم های پویای غیر خطی آشفته استخراج شده که در حرکت انسان به کار برده شده است. در این دیدگاه، اعتقاد بر این است که تغییرپذیری یک ویژگی ضروری رفتار سیستم از ویژگی های دینامیک غیرخطی از درون سیستم عصبی- حرکتی می باشد (کلسو و دینگ^{۱۶}، ۱۹۹۳). محققین در گذشته تغییرپذیری در نمودارهای حرکت را به عنوان خطای می دانستند اما تحقیقات اخیر از این پدیده به عنوان پویایی سیستم عصبی مرکزی برای رسیدن به ثبات و پایداری نام می برند (لاتاش^{۱۷}، ۲۰۰۸). با مروری بر مطالعات مشاهده می شود که در ارتباط با تغییرپذیری مهارت های ورزشی، تحقیقات محدودی، تاثیر این پدیده در تمرینات ورزشی برای رسیدن به بهترین عملکرد را مورد توجه قرار داده اند (وان در استین و بانگرز^{۱۸}، ۲۰۰۱؛ دونسکیا^{۱۹}، ۲۰۰۷؛ کانگ^{۲۰}، ۲۰۰۷). نتایج مطالعات قبلی و همچنین تجربیات عملی نشان می دهد که برنامه های تمرینی مختلف انفجاری و قدرتی به طور موثری می تواند قابلیت پرش عمودی را افزایش دهد (استرجیو^{۲۱}، ۲۰۰۴).

پرش عمودی در بسیاری از فعالیت های ورزشی مشاهده می شود و به عنوان یکی از قابلیت های جسمانی مهم ورزشکار، در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است (میلر و ایست^۱، ۱۹۷۶؛ پرلاتسکی و زاتسیورسکی^۲، ۱۹۹۴؛ تومیکا^۳ و دیگران، ۲۰۰۱؛ هاریسون^۴ و دیگران، ۲۰۰۷؛ تمفمو^۵ و دیگران، ۲۰۰۹). عملکرد پرش عمودی و توانایی تولید توان مورد نیاز برای لحظه جدا شدن از زمین، به عوامل بسیاری مانند تارهای عضلانی کند و تند انقباض، فعال سازی عضلات اندام تحتانی و انتقال انرژی هماهنگ ناشی از توان مفصل از پروگسیمال به دیستال بستگی دارد (پاناتسکوپولوس^۶ و دیگران، ۲۰۱۴). از این رو، دستیابی به حداکثر ارتفاع در پرش عمودی نه تنها به تکنیک حرکت، بلکه به ظرفیت سیستم عصبی-عضلانی جهت تولید نیرو نیز بستگی دارد (بابرت و ون سوئست^۷، ۲۰۰۱). بنابراین عملکرد پرش عمودی به خروجی مکانیکی دستگاه عصبی-عضلانی و الگوی حرکتی بستگی دارد (پارک^۸، ۲۰۰۵).

یکی از اهداف مهم در پرش عمودی، دستیابی به حداکثر سرعت عمودی در لحظه جدا شدن از زمین است، زیرا ارتفاع کسب شده توسط مرکز ثقل بدن ناشی از سرعت عمودی و وضعیت بدن در لحظه جدا شدن از زمین می باشد (دوولینگ و واموس^۹، ۱۹۹۳). نمودار نیرو- زمان شامل اطلاعات کینتیکی و زمانی است که می تواند به صورت عینی در انتخاب مناسب ترین نمودار برای بهینه سازی انواع مختلف حرکات ورزشکار مورد استفاده قرار گیرد (هاکمو^{۱۰}، ۱۹۸۴). با استفاده از نمودار نیرو- زمان و توان- زمان یک پرش عمودی، می توان شاخص های مهمی مانند مدت زمان فازهای مشخص (متغیرهای زمانی)، پیک های نمودار، شیب ها و نواحی نمودار (متغیرهای کینتیکی) را اندازه گیری کرد. در چندین مطالعه نشان داده شده است که مقدار قابل توجهی از واریانس عملکرد پرش عمودی می تواند با ویژگی های زمانی، کینماتیکی یا کینتیکی توضیح داده شود (رابرتسون و فلمینگ^{۱۱}، ۱۹۸۷؛ جاریک^{۱۲} و دیگران، ۱۹۸۹؛ ادسون^{۱۳}، ۲۰۰۸).

در سطوح مختلف سازمان دهی حرکت توسط سیستم عصبی،

1. Miller & East
2. Prilutsky & Zatsiorsky
3. Tomika
4. Harison
5. Temfemo
6. Panoutsopoulos
7. Bobbert & Van Soest

8. Park
9. Dowelling & Vamos
10. Hochmuth
11. Robertson & Fleming
12. Jaric
13. Oddsson
14. Newell & Corcos

15. Whiting
16. Kelso & Ding
17. Latash
18. Van der Steen & Bongers
19. Dounskaia
20. Kang
21. Stergiou

پرش عمودی در بسیاری از فعالیت های ورزشی دیده می شود و به عنوان یک مدل تحقیقی در بسیاری از مطالعات بیومکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. زیرا نسبتا ساده و یادگیری آن آسان می باشد. پارک (۲۰۰۵) سه پرش عمودی مخالف، اسکات و ایستاده را با ۱۵ تکرار مورد بررسی قرار داد. پس از ثبت پارامترهای کینماتیکی، کینتیکی و هماهنگی در مفاصل ران، زانو و مچ پا، با استفاده از آزمونهای آماری تغییرپذیری درون آزمودنی و بین آزمودنی را می توان محاسبه نمود. نحوه محاسبه تغییرپذیری با استفاده از روش های مرسوم خطی (روش مجزا) بود. تغییرپذیری در برخی از پارامترها با بهبود عملکرد پرش رابطه داشت.

با توجه به اهمیت پرش عمودی به عنوان یک مهارت ورزشی و آزمون ارزیابی آمادگی جسمانی ورزشکاران، سوال اصلی مطالعه حاضر این است که آیا تمرین چهار هفته ای منتخب باعث تغییرپذیری پارامترهای نیروی عکس العمل زمین در حین رسیدن فرد به اوج عملکرد می گردد و تغییرپذیری رخ داده به چه صورت خواهد بود؟ آیا رابطه ای بین میزان تغییرپذیری و عملکرد پرش عمودی وجود دارد؟ از این رو، هدف از این مطالعه تاثیر چهار هفته تمرین مهارت پرش عمودی بر تغییرپذیری پارامترهای نیروی عکس العمل زمین در اجرای پرش عمودی در مردان جوان فعال با استفاده از روش نمودار اثر کلی محاسبه تغییرپذیری است.

روش تحقیق

تعداد ۲۰ مرد جوان فعال بصورت تصادفی انتخاب و در دو گروه تمرین (سن: $21/20 \pm 1/47$ سال، قد: 170 ± 6 سانتی متر، وزن: $65/21 \pm 10/90$ کیلوگرم) و کنترل (سن: $19/18 \pm 0/69$ سال، قد: $177/78 \pm 7/17$ سانتی متر، وزن: $67/77 \pm 11/59$ کیلوگرم) با تعداد ۱۰ نفر در هر گروه قرار گرفتند. آزمودنی ها سابقه هیچ گونه آسیب دیدگی به ناحیه سر، اختلال تعادلی، آسیب دیدگی در زانو و مچ پا را نداشتند. قبل از شرکت در مطالعه پرسشنامه سلامت پزشکی تکمیل و در صورت وجود آسیب، آزمودنی از شرکت در آزمون ها حذف می شد.

تمرین پرش همراه با مقاومت جهت بهبود قدرت و توان اندام تحتانی (جیمز^۱ و دیگران، ۲۰۰۳؛ کانگ، ۲۰۰۷) و همچنین تمرینات پلايومتریک یا انفجاری که تاثیر بسزایی بر سازگاری سیستم عصبی-عضلانی، دارد به عنوان موثرترین تمرینات بر عملکرد پرش عمودی گزارش شده است.

تمرین حرکتی از دیرباز به عنوان فرآیندی که همراه با حذف و کاهش درجه آزادی اضافه است، مورد بررسی قرار گرفته و عنوان شده است، تغییرپذیری حرکتی به دنبال تمرین تغییر می کند (ام سی براید^۲ و دیگران، ۲۰۰۲). به نظر می رسد اجرای با ثبات و پایدار مهارت ورزشی، بویژه در مهارت هایی که نیاز به تکرار آن است، مهم می باشد.

از آنجایی که بررسی یک یا چند پارامتر به صورت مجزا نمی تواند تحلیل مناسبی از حرکت انسان را بیان نماید؛ لازم است تا جایی که امکان دارد بررسی سیستم های دخیل در اجرای یک مهارت خاص بصورت یکپارچه انجام شود. بررسی پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی حرکت در روش های مرسوم با استفاده از روش های مجزا^۳ یا پیوسته^۴ انجام می شود. در روش مجزا، پارامترهای لحظه ای مانند مقدار زاویه مفصل در یک زمان خاص (مثل زاویه زانو در هنگام تماس پا در لحظه فرود)، زمان یک رویداد (مثل زمان حداکثر پرونیشن پا در لحظه تماس پاشنه در دویدن) و مقدار پیک در یک مورد خاص (حداکثر نیروی عکس العمل زمین در هنگام فاز حمایت در راه رفتن)، مورد بررسی قرار می گیرد. در این روش، محاسبه تغییرپذیری با استفاده از ویژگی های آماری مانند دامنه، واریانس، انحراف استاندارد، ضریب تغییر و چارک متوسط صورت گرفته است (استرجیو، ۲۰۰۴). روش پیوسته (مانند نمودارهای سری زمانی، نمودار زاویه-زاویه و ...) نماینده ای از حرکت و تغییرپذیری حرکتی به عنوان عملکردی از زمان و یا دیگر پارامترهای حرکت می باشد و می تواند ویژگی های زمانی و فضایی حرکت را نشان دهد (همیل^۵ و دیگران، ۲۰۰۰). از این رو، در این مطالعه از روش پیوسته محاسبه تغییرپذیری استفاده شده است که درک بهتری از پیچیدگی سیستم عصبی-عضلانی در هنگام اجرای مهارت را به دنبال دارد. در ارتباط با عملکرد ورزشی و بررسی تغییرپذیری، نتایج چندانی گزارش نشده است.

1. James
2. McBride
3. Discrete methods

4. Continuous methods
5. Hamill

می‌کند. آزمودنی در مرحله پیش آزمون ۲۰ پرش عمودی را با حداکثر توان انجام داد. برای حفظ پیوستگی و همچنین جلوگیری از تاثیر خستگی، آزمودنی در هر ۶ ثانیه یک پرش و با اعلام آزمونگر اجرا کرد. داده‌های نیروی عکس العمل زمین در حین اجرای پرش عمودی ثبت و ذخیره شد. از بین ۲۰ اجرای آزمودنی، نمودار نیروهای عکس العمل زمین حین ۱۰ اجرای پرش عمودی برای آنالیز بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

پروتکل تمرین: پس از ثبت اطلاعات پیش آزمون، از گروه تمرین خواسته شد تا در برنامه تمرینی منتخب شرکت کنند. مدت زمان و تعداد جلسات پروتکل تمرین منتخب ۴ هفته و ۱۲ جلسه (هفته ای ۳ جلسه) بود. هدف از اجرای پروتکل تمرینی افزایش میزان پرش عمودی آزمودنی‌ها بود. بنابراین سعی شد اجزاء پروتکل تمرین طوری انتخاب شود که کیفیت پروتکل در بهبود میزان پرش عمودی، لحاظ گردد. انتخاب این پروتکل تمرین با توجه به جدیدترین تحقیقات در ارتباط با بهبود پرش عمودی و همچنین نظر کارشناسان علم تمرین صورت گرفت (کاتزمانیدیس^۷، ۲۰۰۶؛ کوبو^۸ و دیگران، ۲۰۰۷؛ فاگنباوم^۹ و دیگران، ۲۰۰۷؛ دی ویلارال^{۱۰} و دیگران، ۲۰۰۹؛ ارباتزی^{۱۱} و دیگران، ۲۰۱۰). از این رو، اجزای پروتکل تمرینی حرکاتی بود که با پرش عمودی رابطه مستقیمی دارد. تمرین اجرا شده از نوع تمرینات پلیومتریک فزاینده با تاکید بر ویژگی تمرین بود طوری که افزایش بار، هم با افزایش تکرار و هم با افزایش میزان مقاومت تا انتهای پروتکل تمرین، همراه بود. مدت زمان یک جلسه اجرای پروتکل تمرینی حدود ۴۰ دقیقه بود که ۵ دقیقه به برنامه گرم کردن و ۵ دقیقه به برنامه سرد کردن و ۳۰ دقیقه به بدنه اصلی تمرین اختصاص داده شد. جدول ۱ تمرینات مربوط به یک جلسه از پروتکل تمرینی را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. پس از اتمام پروتکل تمرین آزمودنی‌های گروه تمرین و گروه کنترل برای بار دوم به آزمایشگاه بیومکانیک دعوت و پروتکل پرش عمودی همانند پیش آزمون اجرا شد و داده‌های نیروی عکس العمل زمین و موقعیت مارکر تروکانتر به عنوان پس آزمون ثبت گردید.

پروتکل پرش عمودی ارتفاع: آزمون پرش عمودی در آزمایشگاه بیومکانیک بعد از آموزش نحوه اجرا به آزمودنی‌ها، گرفته شد. پرش عمودی یک مهارت نسبتاً ساده است و تاثیر متغیر محل یادگیری بین افراد بسیار کم می‌باشد. با این حال، برای همسان سازی آزمودنی‌ها حین برنامه گرم کردن و قبل از اجرای پروتکل اصلی، چندین مرتبه پرش عمودی اجرا شد. قبل از اجرای پروتکل، آزمودنی به مدت ۵ دقیقه برنامه گرم کردن شامل حرکات کششی، رکاب زدن و چندین پرش عمودی را اجرا کرد. در مطالعات معمولاً سه نوع پرش عمودی شامل پرش ارتفاع مخالف^۱ (CMJ)، اسکات پرش^۲ (SJ) و فرود-پرش^۳ (LJ) معرفی و بررسی شده است. در این مطالعه از پرش ارتفاع مخالف استفاده شد زیرا به پرش عمودی مورد استفاده در موقعیت‌ها و فعالیت‌های ورزشی شباهت بیشتری دارد است. همچنین از این نوع پرش به عنوان آزمون ارزیابی توان انفجاری اندام تحتانی استفاده می‌شود. به منظور اندازه‌گیری، یک مارکر رفلکسی روی تروکانتر بزرگ استخوان ران قرار داده شد. از داده‌های این مارکر جهت محاسبه میزان پرش عمودی آزمودنی به عنوان شاخص عملکرد وی استفاده شد (گلر^۴، ۲۰۱۴). داده‌های این مارکر در صفحه ساجیتال با استفاده از دوربین‌هایی^۵ با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰ هرتز ثبت شد. ثبت داده‌های نیروی عکس العمل زمین توسط صفحه نیرو^۶ با فرکانس نمونه برداری ۵۰۰ هرتز صورت گرفت. جهت اجرای پروتکل پرش، آزمودنی در مرکز صفحه نیرو قرار می‌گرفت، طوری که هر دو پای وی روی صفحه نیرو باشد. در ابتدا آزمودنی به صورت ایستاده و در حالت معمولی قرار داشت. آزمودنی پرش را با حرکت بدن و مرکز ثقل به سمت پایین همراه با خم کردن ران و زانو شروع کرد. سپس با حداکثر توان خود و با یک حرکت انفجاری، به سمت بالا برای دستیابی به حداکثر ارتفاع تلاش می‌کرد. دقیقاً در بالای سر آزمودنی، نشانه‌ای قرار داده شد تا آزمودنی سعی کند دست‌های خود را به آن نشانه برساند. همچنین از تشویق کلامی نیز استفاده شد. این دو عمل به اجرای حداکثر پرش عمودی در آزمودنی کمک

1. Counter movement jump
2. Squat jump
3. Landing jump
4. Gheller
5. High speed camera (kinematrix model, MIE medical research, England)
6. Force plate (AMTI model, 40×60, Bertec, England)

7. Kotzamanidis
8. Kubo
9. Faigenbaum
10. De Villarreal
11. Arabatzi

جدول ۱. یک جلسه برنامه تمرینی

نوع حرکت	(مقاومت/تکرار×ست)
اسکات عمیق	(۴×۵)
اسکات عمیق	(۴×۵/۱۰ kg)
اسکات پرش	(۴×۴/۲۰ kg)
اسکات عمیق	(۴×۴/۲۰ kg)
اسکات پرش	(۴×۴/۱۵kg)
اسکات عمیق	(۴×۴/۱۵kg)
اسکات پرش	(۴×۴/۱۰ kg)
اسکات عمیق	(۴×۴/۱۰ kg)
اسکات پرش	(۴×۴/۱۰ kg)
اسکات عمیق	(۴×۴/۱۰ kg)
اسکات قیچی	(۴×۴/۱۰ kg)
پرش عمیق از جعبه	(۳×۸)
پرش تک پا	(۳×۵ leg)
پرش عمودی حداکثر	(۳×۸)

زمین صفر می گردد که به عنوان پایان پرش عمودی در نظر گرفته می شود. حداکثر فاصله دستیابی پرش عمودی به عنوان شاخص عملکرد با استفاده از جابجایی عمودی مارکر تروکانتر بزرگ ران محاسبه شد. هنگامی که آزمودنی به صورت ایستاده قرار گیرد، موقعیت مارکر ران در پایین ترین مقدار و هنگامی آزمودنی در اوج پرش باشد، در بالاترین مقدار قرار دارد. میزان جابجایی عمودی این مارکر به عنوان میزان پرش عمودی آزمودنی در پیش آزمون و پس آزمون ثبت شد. پس از انتخاب ۱۰ نمودار نیروی عکس العمل، با استفاده از روش اسپلاین مکعب^۶ نمودار نیرو از نظر زمانی با توجه به میانگین زمان کل پرش ها، نرمال سازی و جهت تشکیل سری زمانی و محاسبه ضریب تغییرات ثبت شد.

محاسبه تغییرپذیری: محاسبه میزان تغییرپذیری نیروی عکس العمل در اجرای پرش عمودی با استفاده از روش نمودار اثر کلی انجام شد. نمودار اثر کلی از چندین سری زمانی طبیعی شده با زمان (کوشش ها) ساخته می شود؛ در حالی که میانگین و فاصله اطمینان^۷ (CI) برای هر i امین نقطه در سری زمانی محاسبه می گردد. معادله میانگین i امین نقطه و معادله فاصله اطمینان حول i امین نقطه به صورت زیر می باشد:

پردازش داده ها: از بین خروجی اطلاعات صفحه نیرو، داده های نیروی عکس العمل زمین در سه راستای عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی استخراج شد. نویز داده های نیرو با استفاده از فیلتر باترورث^۱ از نوع پایین گذر^۲ و مرتبه دوم با فرکانس قطع^۳ ۱۵ هرتز در محیط متلب^۴ حذف شد. ابتدا و انتهای حرکت پرش با توجه به نمودار نیروی عکس العمل عمودی مشخص گردید. قبل از شروع پرش، آزمودنی به صورت کاملاً ایستاده روی صفحه نیرو قرار داشت؛ در این حالت نمودار نیروی عکس العمل عمودی معادل وزن آزمودنی است. با توجه به نمودار نیروی عکس العمل عمودی در پرش عمودی مخالف، در ابتدا آزمودنی با خم کردن زانو و ران مرکز جرم را به پایین برد که فاز اکسنتریک پرش نامیده می شود، به همین دلیل در ابتدا نمودار نیروی F_z کاهش می یابد. شروع حرکت پرش نقطه ای در نظر گرفته شد که مقدار نیروی عکس العمل عمودی به میزان ۲/۵ درصد وزن بدن کاهش یافت (لینتورن^۵، ۲۰۰۱). این نقطه به عنوان نقطه شروع حرکت در نظر گرفته شد. پس از فاز اکسنتریک، فاز کانسنتریک اتفاق می افتد که نمودار شروع به افزایش می کند تا لحظه ای که تماس آزمودنی از صفحه نیرو قطع می شود. در این حالت میزان نیروی عکس العمل عمودی

1. Butterworth
2. Low pass band
3. Cut off frequency

4. MATLAB
5. Linthorne
6. Cubic spline

7. Confidence interval

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$CI = Y \pm \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - Y^2}$$

تغییرپذیری در سری زمانی مربوطه میباشد. ضریب تغییر (CV) معمولاً مقدار تغییرپذیری را در سری زمانی با استفاده از نمودار اثر کلی متوسط محاسبه می کند:

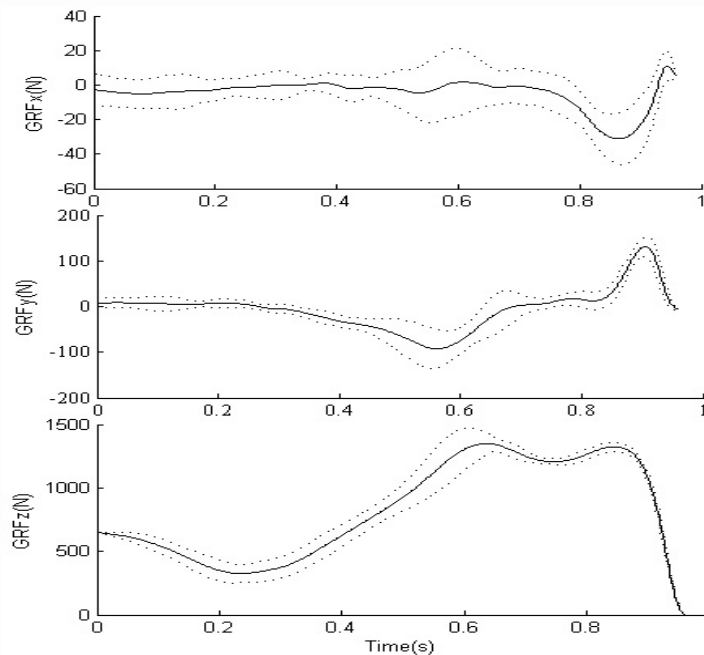
Y تعداد کوشش های میانگین گرفته شده و X مقدار واقعی سری زمانی برای هر i امین نقطه کوشش است. CI جهت ساخت نمودارهای انحراف استاندارد حول نمودار اثر کلی استفاده می شود. فاصله بین دو نمودار انحراف استاندارد نشان دهنده

$$CV = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|}$$

شده در محیط نرم افزار متلب نوشته و اجرا شد. نمودار یک میانگین اثر کلی و انحراف استاندارد نیروهای عکس العمل زمین حین پرش عمودی ۱۰ پرش یک آزمودنی را نشان می دهد.

روش های آماری: از روش های آماری شامل آزمون t وابسته و آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر در سطح معنی داری $p < 0.05$ برای استخراج نتایج استفاده شد.

S انحراف استاندارد کل نمودار اثر کلی، X_i امین نقطه از نمودار اثر کلی متوسط و N تعداد نقاط در نمودار اثر کلی متوسط است. CV نسبت انحراف استاندارد کل نمودار اثر کلی متوسط در سراسر سری زمانی متوسط می باشد. CV روشی جهت محاسبه تغییرات در سری زمانی نسبت به میانگین فراهم می کند (استرجیو، ۲۰۰۴). کدهای محاسبه میزان ضریب تغییر در سری های زمانی داده های نیروی عکس العمل با توجه به روش بیان



شکل ۱. میانگین و انحراف استاندارد اثر کلی نیروهای عکس العمل زمین در راستای داخلی- خارجی، قدامی- خلفی و عمودی

در حین اجرای ۱۰ پرش

یافته ها

مطالعه میزان جابجایی مرکز جرم (مارکر تروکانتر ران) در راستای عمودی می باشد را نشان می دهد.

جدول ۲ داده های مربوط به میزان پرش عمودی که در این

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد پرش عمودی در پیش آزمون و پس آزمون

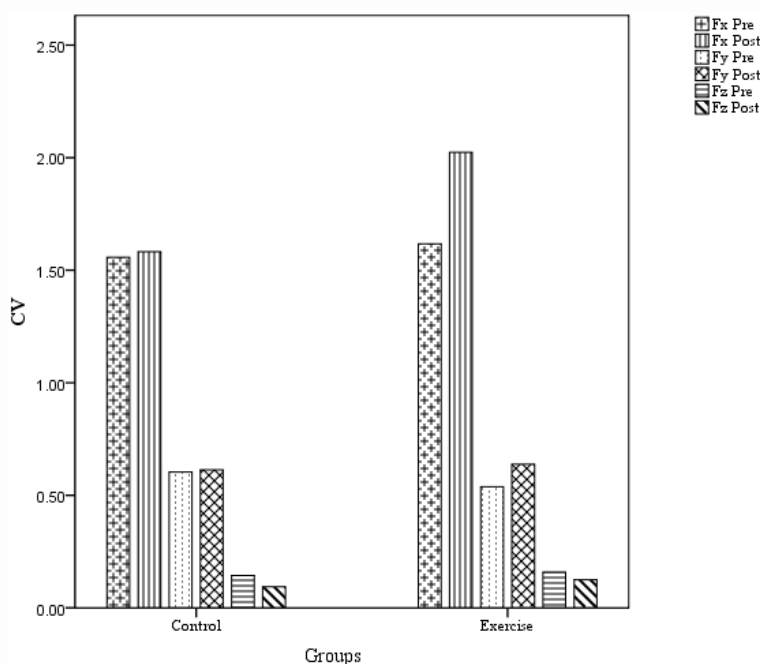
معنی داری.	جابجایی عمودی مارکر ران (سانتی متر)	گروه	
		پیش آزمون	پس آزمون
۰/۶۷	۴۳/۳۷±۳/۷۱	پیش آزمون	کنترل
	۴۳/۵۸±۳/۵۴	پس آزمون	
۰/۰۰۱*	۴۴/۰۷±۳/۹۸	پیش آزمون	تمرین
	۴۷/۹۲±۳/۴۴	پس آزمون	

*معنی داری در سطح $p < 0.05$.

داخلی- خارجی در بین دو گروه در پیش آزمون و پس آزمون تفاوت معنی داری ایجاد نگردید. نتایج نشان داد اثر زمان قدامی- خلفی ($F(1,18)=7/5, p=0/03$) و تعامل زمان با گروه در راستای قدامی- خلفی ($F(1,18)=5/1, p=0/03$) معنی دار است. این بدین معناست که به دنبال برنامه تمرینی منتخب تغییرپذیری در راستای قدامی- خلفی در بین دو گروه در پیش آزمون و پس آزمون تفاوت معنی داری دارد. شکل ۲ میانگین ضریب تغییرات در سه راستای نیروی عکس العمل در دو گروه کنترل و تمرین را نشان می دهد.

نتایج آزمون آماری t همبسته تفاوت معنی دار بین میزان پرش عمودی قبل و بعد از برنامه تمرینی در گروه تمرین را نشان داد. بنابراین پروتکل تمرینی منتخب منجر به بهبود پرش عمودی گردیده است.

با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر تاثیر برنامه تمرینی منتخب بر تغییرپذیری نمودار نیروی عکس العمل در سه راستای عمودی، داخلی- خارجی و قدامی- خلفی مورد بررسی قرار گرفت. اثر زمان و تعامل زمان با گروه در راستای عمودی و داخلی- خارجی معنی دار نبود. به عبارت دیگر به دنبال برنامه تمرینی منتخب، در مقدار تغییرپذیری راستای عمودی و



شکل ۲. میانگین ضریب تغییرات نیروهای عکس العمل زمین در سه راستای داخلی- خارجی، قدامی- خلفی و عمودی دو گروه در پیش آزمون و پس آزمون.

ایجاد انعطاف پذیری درون سیستم عصبی، امکان یادگیری یک الگوی حرکتی جدید را از طریق سازگاری (انطباق) پارامترهای مناسب می دهد. (۳) تغییرپذیری امکان انعطاف جهت انتخاب یا تغییر به وضعیت جدید الگوی حرکتی فراگیری شده قبلی را با استفاده از تغییر مقیاس پارامترها، می دهد طوری که جاذب های مختلف می تواند قابل دسترسی باشد. (۴) تغییرپذیری اغتشاشات تصادفی ایجاد می کند که امکان پایدار نمونه برداری الگوهای حرکتی مختلف (مانند رفتار انفجاری) را می دهد به گونه ای که مناسب ترین الگوی حرکتی می تواند انتخاب گردد (کلسو و دینگ، ۱۹۹۳؛ وان امریک و وان وگان^۱، ۲۰۰۰).

مطالعات در ارتباط با تغییرپذیری پرش عمودی اندک می باشد. با این حال، مطالعه تغییرپذیری حرکتی در بین محققان بیومکانیک ورزش رو به افزایش است (پراتونی^۲ و دیگران، ۲۰۱۳). درک ساختار یک سیگنال برای تعیین ماهیت آن مهم است و برای محاسبه میزان تغییرپذیری، باید ساختار سیگنال هم مورد بررسی قرار گیرد. محاسبه تغییرپذیری با استفاده از روش های پیوسته به درک بیشتر ماهیت سیگنال و نهایتاً پیچیدگی سیستم حرکتی انسان کمک می کند. ساختار تغییرپذیری ممکن است در طول اجرای حرکت تغییر کند و برای تکالیف مختلف ممکن است ویژگی های سازماندهی سیستم عصبی- حرکتی در حال تغییر باشد (نویل و اسلیفکین^۳، ۱۹۹۸). به علاوه، براون^۴ و دیگران (۲۰۱۲) تغییرپذیری در حین پرش- فرود تک پا را در افراد دارای ناپایداری مزمن مچ پا و افراد سالم مورد بررسی قرار دادند. کینماتیک اندام تحتانی و نیروهای عکس العمل زمین در راستای قدامی، خارجی و داخلی در حین فرود از ارتفاع ۵۰ درصدی حداکثر پرش ارتفاع ثبت شد. میانگین نمودار اثر کلی ۱۰ پرش رسم و ضریب تغییر برای حرکات مچ پا، زانو، ران و تنه در سه صفحه حرکتی محاسبه شد و مشخص گردید که سابقه آسیب مچ پا، یک محدودیت برای سیستم حرکتی است و افراد با ناپایداری مچ پا، کاهش در تغییرپذیری مفصل ران و زانو دارند. این حالت نشان دهنده اختلاف در برنامه ریزی مرکزی حرکتی می باشد که نهایتاً کارآیی فرود را کاهش می دهد.

با توجه به شکل ۱ مشاهده می شود که میانگین ضریب تغییرات به طور کلی در راستای عمودی کمتر از دو راستای دیگر است، در حالی که میانگین ضریب تغییرات در راستای داخلی- خارجی بالاترین مقدار را دارد. میانگین ضریب تغییرات در دو راستای داخلی- خارجی و قدامی- خلفی در پس آزمون بیشتر از پیش آزمون می باشد. البته همان طور که گفته شد این اختلاف تنها در محور قدامی- خلفی از نظر آماری معنی دار می باشد.

بحث

هدف این مطالعه بررسی تاثیر ۴ هفته تمرین بر تغییرپذیری نیروهای عکس العمل در حین اجرای پرش عمودی در مردان جوان فعال بود. نتایج نشان دهنده تاثیر مثبت برنامه تمرینی بر عملکرد پرش عمودی به دنبال تمرین می باشد. این مسئله هم مورد بررسی قرار گرفت که آیا تغییرپذیری نیروهای عکس العمل با بهبود عملکرد پرش عمودی، تحت تاثیر قرار می گیرد؟ نتایج اختلاف معنی دار در میزان ضریب تغییرات و میزان تغییرپذیری بدنبال برنامه تمرینی منتخب در راستای قدامی- خلفی را نشان داد؛ در حالی که این اختلاف در راستای داخلی- خارجی و عمودی معنی دار نبود.

تغییرپذیری حرکتی برای یک مهارت هماهنگ حرکتی، هم مفید و هم مضر می باشد. از یک دیدگاه، تغییرپذیری نشان دهنده خطا در نقشه، اجرا و خروجی حرکت می باشد. از دیدگاه دیگر برخی تغییرپذیری را برای سازماندهی حرکت و اجرا مفید می دانند. این دیدگاه از مطالعه رفتار سیستم های پویای غیرخطی آشفته که در حرکت انسان بکار برده شده، استخراج گردیده است. در این دیدگاه، اعتقاد بر این است که تغییرپذیری یک ویژگی ضروری رفتار سیستم از ویژگی های دینامیک غیرخطی از درون سیستم عصبی- حرکتی می باشد (اشمیت^۱ و دیگران، ۱۹۷۹). به همین دلیل، تفسیر نتایج تغییرپذیری با مشکل روبروست. از دیدگاه سیستم های پویا چهار فایده برای تغییرپذیری عنوان شده است: (۱) تغییرپذیری پایداری الگوی حرکتی را حول یک جاذب مشخص می کند. مقدار تغییرپذیری زیاد نشان دهنده الگوی حرکتی ناپایدار می باشد؛ در حالی که مقدار تغییرپذیری کم نشان دهنده الگوی حرکتی پایدار می باشد. (۲) تغییرپذیری با

1. Schmidt
2. Van Emmerik & Van Wegan
3. Praton
4. Newell & Slifkin
5. Brown

حرکتی بیشتر گردد. به علاوه این که اکثر مطالعات تغییرپذیری در مهارت های نسبتا ساده ای مانند راه رفتن و دویدن متمرکز بوده است و در مهارت های پیچیده ورزشی مانند پرش کمتر مطالعه شده است (پراتونی و دیگران، ۲۰۱۳). از این رو، این احتمال وجود دارد که اختلاف میزان تغییرپذیری مشاهده شده بین دو گروه مطالعه حاضر، ناشی از پیچیدگی بیشتر مهارت پرش عمودی در مقایسه با مهارت های با پیچیدگی کمتر مانند راه رفتن و دویدن باشد. با توجه به این که تغییرپذیری به سیستم حرکتی انسان، توانایی انعطاف پذیری، تغییر الگوی حرکت با توجه به تغییرات محیط و انتخاب بهترین گزینه برای عملکرد بهتر را می دهد، می توان نتیجه گرفت که تغییرپذیری مشاهده شده به دنبال تمرین که منجر به یادگیری بیشتر در آزمودنی ها شده است، قابلیت سیستم حرکتی را در اجرای بهتر بهبود داده است.

نتیجه گیری: بررسی تغییرپذیری حرکتی به دنبال تمرین، درک بهتری از پیچیدگی مهارت را نشان می دهد. به نظر می رسد تغییرپذیری نمودار نیروی عکس العمل زمین از تمرین تاثیر می پذیرد و این تاثیر در راستای قدامی-خلفی بیشتر است. مطالعه تغییرپذیری در نمودار نیروی عکس العمل می تواند به عنوان شاخص عملکرد در پرش عمودی در نظر گرفته شود. مطالعات بیشتر جهت شناسایی تغییرپذیری با استفاده از روش های دینامیک غیرخطی جهت شناسایی بیشتر پیچیدگی های پرش عمودی پیشنهاد می شود.

قدردانی و تشکر

از همه آزمودنی ها و مسئول محترم آزمایشگاه دانشکده تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی که در انجام این مطالعه کمک کردند، تشکر و قدردانی می نمایم.

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان تغییرپذیری در محور y با افزایش معنی دار همراه است. در محور x شاهد افزایش تغییرپذیری بودیم، هر چند این مقدار از نظر آماری معنی دار نبود. این فرض وجود دارد که افزایش میزان تغییرپذیری در راستای x و y با توجه به این که آزمودنی ها برنامه تمرینی را اجرا کردند، می تواند دلیلی بر آمادگی سیستم عصبی-عضلانی جهت عملکرد بهتر در اجرای مهارت باشد (پراتونی و دیگران، ۲۰۱۳). احتمالا بر اثر تمرین، یادگیری رخ داده است، بدین شکل که آزمودنی ها دریافته اند جهت دستیابی به حداکثر پرش، از حرکت بدن در محور y بیشتر استفاده نمایند. سن و پیچیدگی مهارت حرکتی در میزان تغییرپذیری پارامترهای کینتیکی در حرکت پرش عمودی اثرگذار است. به همین دلیل، میزان تغییرپذیری پارامترهای کینتیکی پرش عمودی بین کودکان و بزرگسالان متفاوت است (فلوری^۱ و دیگران، ۲۰۱۴). در پرش عمودی مخالف بدون استفاده از دست، میزان تغییرپذیری مشابه است؛ ولی در پرش عمودی مخالف همراه با استفاده از دست بین کودکان و بزرگسالان اختلاف وجود دارد. چنین بنظر می رسد اختلاف معنی دار مشاهده شده در میزان تغییرپذیری در گروه تمرین، به دلیل اجرای ماهرانه تر پرش عمودی در گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل باشد.

ارزیابی تغییرپذیری در بحث آسیب ها متفاوت از ارزیابی تغییرپذیری در اجرای مهارت ورزشی می باشد. در تحقیقاتی که در رابطه آسیب انجام شده است، کاهش تغییرپذیری مفید فرض شده است؛ زیرا کاهش تغییرپذیری با پایداری بیشتر رابطه دارد و در نهایت منجر به احتمال آسیب کمتر می گردد. این در حالی است که بحث تغییرپذیری در مهارت های ورزشی باید متفاوت دیده شود، زیرا مهارت های ورزشی عمدتا از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند و این خود می تواند منجر به تغییرپذیری

منابع

- Arabatzis, F., Kellis, E., & De Villarreal, E. S. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting+ plyometric) training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440-8.
- Bobbert, M., & Van Soest, A. J. (2001). Why do people jump the way they do? *Exercise Sport Science*, 29(3), 95-102.
- Brown, C., Bowser, B., & Simpson, K. J. (2012). Movement variability during single leg jump landings in individuals with and without chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*, 27, 52-63.

- De Villarreal, E. S. S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495-506.
- Dounskaia, N. (2007). *Kinematic invariants during cyclical arm movements*. *Biological Cybernetics*, 96(2), 147-163.
- Dowelling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(2), 95-110.
- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., & Kang, J. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boy's age 12 to 15 years. *Journal of Sports Science and Medicine*, 23(2), 495-506.
- Floria, p., Gomez-Landero, L. A., & Harrison, A. (2014). Variability in the application of force during the vertical jump in children and adults. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(6), 679-84.
- Gheller, R. G., Pupo, J. D., De Lima, L. A. P., De Moura, B. M., & Santos, S. G. D. (2014). Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 16(6), 658-668.
- Hamill, J., McDermott, W. J., & Haddad, J. M. (2000). Issues in quantifying variability from a dynamical systems perspective. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 407-418.
- Harrison, A., Ryan, W., & Hayes, K. (2007). Functional data analysis of joint coordination in the development of vertical jump performance. *Sports Biomechanics*, 6(2), 199-214.
- Hasson, C., Dugan, E. L., Doyle, T. L., Humphries, B., & Newton, R. U. (2004). Neuromuscular strategies employed to increase jump height during the initiation of the squat jump. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 14, 515-521.
- Hochmuth, G. (1984). *Biomechanics of athletic movement*. Berlin: Sportverlag.
- James, C. R., Bates, B. T., & Dufek, J. S. (2003). Classification and comparison of biomechanical response strategies for accommodating landing impact. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2):106-18.
- Jaric, S., Ristanovic, D., & Corcos, D. M. (1989). The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(5), 370-376.
- Kang, H. G. (2007). *Kinematic and motor variability and stability during gait: effects of age, walking speed and segment height*. PhD Thesis, The University of Texas at Austin.
- Kelso, J., & Ding, M. (1993). Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. *Variability and Motor Control*, 291-316.
- Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 441-5.

- Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., & Kanehisa, H. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1801-10.
- Latash, M. L. (2008). *Synergy*. Oxford University Press.
- Linthorne, N. P. (2001). *Analysis of standing vertical jumps using a force platform*. American Journal of Physical Therapy, 69(11), 198-204.
- McBride, J. M., Triplett McBride, T., Davie, A., Newton, R. U. (2002). *The effect of heavy vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 16(1), 82-75.
- Miller, D., & East, D. J. (1976). Kinematic and kinetic correlates of vertical jumping in women. In: *Komi PV, editor Biomechanics V-B Baltimore, MD: University Park Press*, 65-72.
- Newell, K. M., & Corcos, D. M. (1993). Issues in variability and motor control. *Variability and Motor Control*, 1-12.
- Newell, K. M., & Slifkin, A. B. (1998). The nature of movement variability. *Motor Behavior and Human Skill: A multidisciplinary Approach*, 143-60.
- Oddsson, L. (2008). What factors determine vertical jumping height? *5 International Symposium on Biomechanics in Sports (1987)*, 393-401.
- Panoutsopoulos, V., Papachatzis, N., & Kollias, I. A. (2014). Sport specificity background affects the principal component structure of vertical jump performance of identifying performance enhancement interventions. *Journal of Sports & Health Science*, 1-9.
- Park, G. (2005). *The use of intra-subject variability as a means of identifying performance*. MS.c Biomechanics, Thesis School of Health and Human Performance, Dublin City University.
- Pratoni, E., Hamill, J., Hayes, K., Van Emmerik, R. E., Wilson, C., & Rodano, R. (2013). Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports Biomechanics*, 12(2), 69-92.
- Prilutsky, B., & Zatsiorsky, V. M. (1994). Tendon action of two joint muscles: transfer of mechanical energy between joints during jumping, landing and running. *Journal of Biomechanics*, 27(1), 25-34.
- Robertson, D., & Fleming, D. (1987). Kinetics of standing broad and vertical jumping. *Canadian Journal Sports Sciences*, 12(1), 19-23.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. (1979). Motor output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86(5), 415-451
- Stergiou, N. (2004). *Innovative analysis of human movement*. Champaign. IL: Human Kinetic; 29-87.

Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S. H., & Ahmaidi, S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics growth in boys and girls. *European Journal of Pediatric*, 168(4), 457-464.

Tomika, M., Owings, T. M., & Grabiner, M. D. (2001). Lower extremity strength and coordination are independent contributors to maximum vertical jump height. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 181-187.

Van der Steen, M. M. C., & Bongers, R. M. (2001). Joint angle variability and covariation in a reaching with a rod task. *Experimental Brain Research*, 208, 411-422.

Van Emmerik, R. E., & Van Wegan, E. E. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 394-406.

Whiting, H. T. A. (1983). *Human motor actions: Bernstein reassessed*. North Holland: Elsevier.

Abstract

Effect of 4 weeks training on variability of ground reaction forces during vertical jump in active young men**Mehdi Khaleghi Tazeji^{1*}, Heydar Sadeghi², Raghad Mi'mar¹, Seyyed Ali Asghar Hosseini³**

1. Assistant Professor in Biomechanic & Sport Pathlogy, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Full Professor in Biomechanic & Sport Pathlogy, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Background and Aim: Vertical jump is seen in many sports activities and it use in many biomechanical researches. The purpose of this study was to investigate the effect of four weeks training on variability of ground reaction forces (GRF) during vertical jump in active young men. **Materials and Methods:** Twenty young men (exercise group: agd: 21.20 ± 1.47 yrs., height: 170 ± 6 cm, weight: 65.21 ± 10.92 kg and control group: age: 19.85 ± 0.69 yrs, height: 177 ± 71 cm, weight: 67.77 ± 11.59 kg) participated in this study. GRF data were recorded before and after training protocol using force plate during the vertical jump maneuver. Coefficient of variation (CV) was calculated in 10 GRF curves pre and post training protocol for each subject using mean ensemble curve method. **Results:** The results of ANOVA repeated measure showed no significant differences in CV in mediolateral and vertical GRFs but significant differences was observed in anteroposterior GRF ($p \leq 0.05$). **Conclusion:** It seems GRF variability is influenced by exercise. The variability in the GRF can be considered as an indicator of performance in the vertical jump.

Key words: Variability, GRF, Vertical jump.

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, vol. 5, no. 10, Fall & Winter 2017/2018

Received: Sep 16, 2016

Accepted: Jul 7, 2017