

علوم زیستی ورزشی - بهار ۱۳۹۳
دوره ۶، شماره ۱ - ص: ۱-۱۹
تاریخ دریافت: ۲۹ / ۰۴ / ۹۱
تاریخ پذیرش: ۱۸ / ۱۰ / ۹۱

سازگاری‌های عصبی و عملکردی به تمرینی پلايومتریک در مقابل ترکیب پلايومتریک و دو سرعت در فوتبالیست‌های نوجوان

۱. ابودر کاوه‌ای - ۲. رضا قراخانو - ۳. حمید رجیبی

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشکده علوم انسانی گروه تربیت بدنی دانشگاه تربیت مدرس، ۲. دانشیار دانشکده علوم انسانی گروه تربیت بدنی، گرایش فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تربیت مدرس، ۳. دانشیار دانشکده تربیت بدنی، گرایش فیزیولوژی ورزشی دانشگاه خوارزمی تهران

چکیده

هدف از پژوهش حاضر مقایسه سازگاری‌های عصبی و عملکردی به تمرین پلايومتریک در مقابل ترکیب پلايومتریک و دو سرعت بود. در این پژوهش ۲۲ بازیکن نوجوان فوتبال با میانگین سن $14/28 \pm 0/82$ سال، وزن $41/118 \pm 7/5$ کیلوگرم، قد $154/5 \pm 9/36$ سانتی‌متر و چربی بدن $7/43 \pm 2/68$ درصد به صورت دسترس انتخاب و به صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند، گروه اول شامل ۸ نفر، تمرین پلايومتریک در کنار مهارت‌های فوتبال؛ گروه دوم شامل ۷ نفر، تمرین ترکیب پلايومتریک و دو سرعت (ترکیبی) در کنار مهارت‌های فوتبال؛ و گروه سوم شامل ۷ نفر فقط تمرین مهارت‌های فوتبال را به مدت شش هفته (۱۶ جلسه تمرین) انجام دادند. قبل و بعد از تمرین عملکرد بازیکنان با آزمون‌های دو سرعت ۵، ۱۰ و ۲۰ متر، چابکی (۱۰ متر زیگزاگ)، پرش از حالت ایستاده (CMJ) و بوسکو ۵ ثانیه ارزیابی شد. به منظور ارزیابی سازگاری‌های عصبی، قبل و بعد از دوره تمرین الکترومایوگرافی سطحی (SEMG) از عضلات پهن جانبی و داخلی در حالت ایستا و رفلکس هافمن از عضله نعلی در حالت استراحت انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون t زوجی و آنالیز واریانس یکسویه استفاده شد و سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. هر دو گروه پلايومتریک و ترکیبی کاهش‌های معناداری در زمان دو سرعت ۵ متر ($-3/17$ ، $-5/97$ درصد)، ۱۰ متر ($-2/33$ ، $-4/05$ درصد)، ۲۰ متر ($-1/64$ ، $-2/64$ درصد)، چابکی ($-1/99$ ، $-7/5$ درصد) و افزایش‌های معناداری در CMJ ($12/95$ ، $7/3$ درصد) و بوسکو ۵ ثانیه ($14/08$ ، $13/44$ درصد) نشان دادند. گروه کنترل تنها کاهش معناداری در زمان چابکی ($-5/4$ درصد) نشان داد. SEMG عضله پهن جانبی گروه پلايومتریک ($36/54$ درصد) و عضله پهن داخلی گروه ترکیبی ($15/06$ درصد) افزایش معناداری نشان دادند. رفلکس هافمن در هیچ یک از گروه‌ها تغییر معناداری نشان نداد. به هر حال، میزان تغییرات گروه پلايومتریک و ترکیبی تفاوت معناداری با هم نداشتند ($P \geq 0/05$). بنابراین، با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که سازوکار تأثیرات تمرین سرعت و پلايومتریک شبیه است و بدین دلیل تمرین پلايومتریک و ترکیب پلايومتریک و دو سرعت موجب سازگاری‌های عملکردی مشابهی می‌شوند، و این سازگاری‌های عملکردی در گروه‌های مورد بررسی احتمالاً منشأ عصبی دارد که ممکن است به فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر و شلیک عصبی سریع‌تر مربوط باشد، اما به نظر نمی‌رسد تغییرات رفلکس حرکتی در این سازگاری‌ها نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

الکترومایوگرافی سطحی، پلايومتریک، دو سرعت، رفلکس هافمن، فوتبال.

مقدمه

فوتبال رشته ورزشی با ماهیت متناوب است که به عوامل فیزیولوژیکی مختلفی نیاز دارد. به همین دلیل، در فوتبال امروزی ملاحظات فیزیولوژیکی به طور فزاینده برای عملکرد بهینه نه تنها در بزرگسالان، بلکه در نوجوانان نیز ضروری است. در حقیقت ظرفیت بازیکنان فوتبال برای تولید نیروی متنوع و اعمال انفجاری، مانند دو سرعت، تکل زدن، شوت زدن، چرخش و تغییر جا تأثیر زیادی بر اجرای بازی فوتبال دارد. همچنین، ظرفیت تکرار نوبت‌های انفجاری تعیین‌کننده مهمی برای عملکرد بازیکنان است (۲۲). برای مثال، هر چند دو سرعتی با شدت بالا فقط ۳ درصد از کل مسافت طی شده را در بازی نوجوانان شامل می‌شود، حیاتی‌ترین حرکات بازی مانند کسب مالکیت توپ، توپ‌گیری یا گل زدن به آن وابسته‌اند (۴). به هر حال، تقریباً ۹۶ درصد دوهای سرعتی کمتر از ۳۰ متر و ۴۹ درصد آن کمتر از ۱۰ متر است. بنابراین، اجرای دو سرعتی در مسافت‌های ۱۰ متر یا کمتر از شاخص‌های کلیدی بازیکنان فوتبال است (۵، ۲۷). همچنین شتاب اولیه^۱، پرش و چابکی اعمال انفجاری متنوعی هستند که وقتی بازیکن در بازی سریع درگیر می‌شود، تعیین‌کننده‌اند. تجزیه و تحلیل بازی نیز اهمیت این کمیت‌ها را در فوتبال نشان داده است. در مجموع به نظر می‌رسد، چنین اعمال انفجاری عناصر جدایی‌ناپذیر برای موفقیت در فوتبال هستند و شاید تمرینات فوتبال به‌ویژه در افراد غیرنخبه نتواند تمام نیازها را برآورده کند، در حقیقت فشار لازم برای سازگاری در این متغیرها را فراهم نکنند، بنابراین باید به صورت مستقل با برنامه تمرینی مناسب تمرین داده شوند (۲۲).

در میان انواع تمرینات مورد استفاده برای افزایش قابلیت‌های سرعتی و توانی در فوتبال، تمرین پلايومتریک برنامه تمرینی مناسبی است که شواهد نشان می‌دهد اعمال انفجاری و توانایی تولید نیروی عضلات را در سرعت‌های زیاد (تولید توان) در حرکات پویا بهبود می‌بخشد (۲۲). ترکیب پیاپی اعمال اکسنتریک و کانسنتریک متداول‌ترین نوع عملکرد عضله را شکل می‌دهد که چرخه کشش کوتاه شدن^۲ (SSC) نامیده می‌شود (۷) و فعالیت‌های انفجاری در فوتبال نیز اغلب به انقباض عضلانی درگیر در چرخه کشش کوتاه شدن نیاز دارند (۲۲). سازوکار تمرینی در این چرخه توانایی سیستم عصبی و عضلانی- تاندونی را برای تولید نیروی حداکثر در کوتاه‌ترین زمان افزایش می‌دهد. در حقیقت استفاده از تمرین پلايومتریک پلی میان قدرت و سرعت

1. Initial acceleration
2. Stretch-Shortening Cycle

است و در سنين مختلف نيز کاربرد دارد (۱۹). در بیشتر برنامه‌های آماده‌سازی ورزشکاران پلايومتریك با ديگر روش‌های تمرینی (اغلب تمرین با وزنه) ترکیب می‌شود. برای مثال به‌نظر می‌رسد ترکیب پلايومتریك و تمرین با وزنه تأثیر بیشتری در افزایش عملکرد ورزشکاران نسبت به تمرین پلايومتریك تنها دارد (۱۸، ۱۹).

سواز و همکاران (۲۰۱۲) اخیراً در پژوهشی نشان دادند که پروتکل ترکیبی پلايومتریك و قدرتی موجب بهبود نسبی بیشتری در توان، سرعت جابه‌جایی و دو سرعت نسبت به پلايومتریك و قدرتی تنها می‌شود (۲۶). همچنین با توجه به شباهت‌های سازوکار عضلانی و عصبی تمرینات سرعتی با تمرینات پلايومتریك به‌نظر می‌رسد سازوکارهای مشابهی بر اثر این دو نوع تمرین ایجاد شود. مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی نشان دادند که تمرین دو سرعت کوتاه‌مدت تأثیرات مشابه یا حتی بیشتر در اجرای ورزشکاران و عملکرد عضله نسبت به تمرین پلايومتریك مرسوم دارد (۱۸). هر چند در مورد اثرپذیری تمرینات پلايومتریك توافق همگانی وجود دارد، در خصوص سازوکارهای اثر این نوع تمرین به‌ویژه از منظر عصبی سؤال‌های بسیاری بی‌پاسخ مانده‌اند. پارامترهای نورولوژیکی قابل اندازه‌گیری مانند سرعت هدایت عضلانی، الکترومایوگرافی، فراخوانی واحد حرکتی و رفلکس هافمن همگی در پاسخ به فعالیت بدنی امکان تغییر دارند و سازوکارهای احتمالی بهبود عملکرد در نتیجه تمرین پلايومتریك شامل استفاده بهتر از انرژی الاستیکی عضله، کاهش حساسیت اندام وتري گلژی، تغییر در جابه‌جایی موقت فعال‌سازی عضله برای کارایی حرکتی بیشتر، فراخوانی ترجیحی واحدهای حرکتی سریع‌تر، شلیک عصبی سریع‌تر و تحریک‌پذیری نوروون حرکتی است (۵، ۶، ۷). همچنین دو سرعت با شدت حداکثر به‌شدت نیازمند سطوح بالای فعال‌سازی عصبی است. شواهد مستقیم مبنی بر اینکه آیا سطح فعال‌سازی از طریق تمرین دو سرعتی تغییر می‌کند، متغیر است، همچنین مطالعات تمرینی هنوز به این موضوع نپرداخته‌اند (۲۵).

به هر حال بی‌شک کنترل عصبی حرکت شامل بخش‌های مرکزی و محیطی است، که نقش کلیدی در تولید نیروی بیشتر در حرکات نوع چرخه کشش کوتاه شدن دارند. اهمیت خاص کنترل عصبی در فعال‌سازی عضله در مرحله قبل از برخورد پا با زمین (پیش‌فعال‌سازی)^۱ و تسهیل رفلکس^۲ در مرحله آخر برون‌گرا و نزدیک درون‌گرا است (۱۹).

1. Pre-Activation
2. Reflex facilitation

مک‌کارتی و همکاران (۲۰۱۲) اخیراً نشان دادند که توانمندسازی^۱ نیروی کانسنتریک و شتاب تنها در ابتدای SSC رخ می‌دهد (۲۰). بنابراین، فرض می‌شود که تمرین پلايومتریک و دو سرعت موجب تغییر در عملکرد و اجرای عضله انسان در بخش عصبی می‌شود. برای مثال ویلک و همکاران (۱۹۹۳) اظهار کردند که افزایش عملکرد عضلانی در نتیجه تمرین پلايومتریک مربوط به سازگاری‌های عصبی است تا تغییرات ریخت‌شناسی (۶). دیالو و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که تمرین پلايومتریک کوتاه‌مدت در پسران دوازده ساله به‌طور معناداری عملکرد پرش را افزایش می‌دهد که به‌دلیل رخ ندادن هایپرتروفی عضلانی در این سن، فرض شد که افزایش عملکرد به‌واسطه فاکتورهای عصبی ایجاد شده است (۱۰). در این تحقیق از الکترومایوگرافی سطحی^۲ طی حداکثر انقباض ارادی یا در پرش‌های عمودی به‌منظور پیدا کردن تغییرات در فعالیت عضلانی استفاده شد (۱۹). هر چند در مبانی نظری، تحریک‌پذیری نورو حرکتی^۳ به‌طور متداول با استفاده از رفلکس هافمن ارزیابی می‌شود (۲۵، ۱۵)، ولی این روش به‌ندرت در مطالعات پلايومتریک انسانی استفاده شده است (۱۹). از این رو، دانش فعلی ما در مورد تغییرات ناشی از تمرین پلايومتریک در بهبود عملکرد عصبی به‌ویژه در دوران قبل از پایان رشد محدود است (۳۰، ۱۹).

بیشتر پژوهش‌های پیشین اثر تمرین پلايومتریک با اثر تمرین قدرتی یا ترکیب این دو را بر عملکرد و فعالیت عضلانی مقایسه کرده‌اند. در بیشتر این پژوهش‌ها در صورت مقایسه تمرین پلايومتریک با ترکیب پلايومتریک و تمرین باوزنه، تغییر معنادار بیشتری در عملکرد و فعالیت عضلانی بعد از ترکیب پلايومتریک و قدرتی گزارش شده است (۱۹). راتامس و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر ۱۰ هفته تمرین مقاومتی و ترکیب همزمان پلايومتریک و دو سرعت را بر عملکرد زنان ورزشکار بررسی کردند، تمرین ترکیبی پلايومتریک و دو سرعت (دو بار در هفته) شامل ۴ تا ۵ حرکت پلايومتریک در هر نوبت تمرینی (پرش و جهش با یک و دو پا) و دو سرعت در مسافت‌های ۴۰ و ۶۰ یارد بود، نشان داده شد که ارتفاع پرش و زمان‌های دو سرعت ۲۰-۴۰ و ۶۰ متر بهبود می‌یابد (۲۳). مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که تغییرات عملکردی در نتیجه تمرین پلايومتریک و دو سرعت ممکن است منشأ عصبی عضلانی متفاوتی داشته باشد. به‌ویژه، به‌نظر می‌رسد بهبود حرکات انفجاری در نتیجه تمرین دو سرعت تاحدی مربوط به افزایش قدرت و توان عضلات بازکننده پا باشد. در مقایسه، بهبود

1. Potentiation
2. Surface Electromyography
3. Motoneuron excitability

حرکات انفجاری در نتیجه تمرین پلايومتریك همسو با افزایش قدرت و توان عضلات بازکننده پا نبود. بنابراین، این احتمال وجود دارد که تمرین پلايومتریك اغلب از طریق بهبود هماهنگی عضلانی عملکرد را بهبود بخشد (۱۸). از این رو، پژوهش حاضر برای مقایسه تمرین پلايومتریك و ترکیب پلايومتریك و دو سرعت بر عملکرد و فعالیت عصبی عضله در بازیکنان نوجوان فوتبال طراحی شده است.

روش تحقیق

آزمودنی ها

۳۰ نوجوان فوتبالیست ۱۳ تا ۱۵ ساله که سابقه ۹ ماه تمرین منظم فوتبال در سطح تیم منتخب دانش آموزی شهرستان دلفان را داشتند، به صورت در دسترس در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمودنی ها به صورت تصادفی به سه گروه ۱۰ نفره تقسیم شدند، و شش هفته تمرین پلايومتریك به همراه مهارت های فوتبال (گروه اول، پلايومتریك، قد $150/12 \pm 8/85$ سانتی متر، وزن $38/31 \pm 8/22$ کیلوگرم، چربی بدن $7/83 \pm 3/05$ درصد)، ترکیب پلايومتریك و دو سرعت به همراه مهارت های فوتبال (گروه دوم، ترکیبی، قد $156/35 \pm 6/68$ سانتی متر، وزن $42/81 \pm 5/58$ کیلوگرم، چربی بدن $6/96 \pm 2/2$ درصد) و گروه دیگر تمرین مهارت های فوتبال (گروه دوم، کنترل، قد $157/64 \pm 11/3$ سانتی متر، وزن $42/84 \pm 8/43$ کیلوگرم، چربی بدن $7/43 \pm 3/01$ درصد) را اجرا کردند. هیچ کدام از آزمودنی ها تمرین پلايومتریك را به صورت مستقل شش ماه قبل از شرکت در تحقیق انجام نداده بودند. آزمودنی ها از روش های اجرای آزمون ها و خطرهای احتمالی مطلع شدند و رضایت نامه کتبی توسط آزمودنی ها و والدینشان امضا شد. پس از شروع برنامه تمرینی ۳ آزمودنی از گروه کنترل، ۳ آزمودنی از گروه ترکیبی و ۲ آزمودنی از گروه پلايومتریك بنابر دلایل مختلف (البته به جز آسیب دیدگی) قادر به ادامه همکاری نبودند. گروه ها از نظر سن، قد، وزن و درصد چربی بدن اختلاف معناداری نداشتند ($P > 0/05$).

طرح تجربی و برنامه تمرینی

قبل و بعد از شش هفته تمرین، از همه آزمودنی ها آزمون های توان، چابکی، سرعت، الکترومیوگرافی سطحی از عضله پهن جانبی و پهن داخلی در حالت ایستا و رفلکس هافمن از عضله نعلی در حالت استراحت گرفته شد. هر دو گروه تمرینی شش هفته (۱۶ جلسه تمرین) به طور دقیق تمرین کردند. مدت زمان هر جلسه تمرینی ۹۰ دقیقه (برنامه تمرینی و تمرین مهارت های فوتبال) بود. تمامی آزمون های عملکردی شامل سرعت، توان و چابکی

در یک روز و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی و آزمون‌های الکترومایوگرافی ۴۸ ساعت بعد از آن انجام گرفت. تمامی آزمودنی‌ها در یک دوره آشناسازی با انجام آزمون‌ها (دو جلسه) شرکت کردند. برای آزمون‌های عملکردی هر آزمودنی ۲ تلاش را انجام می‌داد (استراحت بین هر تلاش ۲ دقیقه) که بهترین تلاش برای تجزیه و تحلیل استفاده می‌شد. در تمامی آزمون‌ها برای افزایش انگیزه آزمودنی‌ها که حداکثر تلاش خود را داشته باشند، به صورت زبانی تشویق می‌شدند. همچنین در حالت ایستاده، آزمودنی‌ها فعالیت با شدت کم را به منظور حفظ آمادگی فیزیولوژیکی برای اجرای آزمون بعدی انجام می‌دادند.

تمرین پلایومتریک

پروتکل تمرینی پلایومتریک از مطالعه مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) انتخاب و با توجه به شرایط آزمودنی‌ها و انجام مطالعه مقدماتی تاحدی تعدیل شد. هر دور پرش شامل ۶ پرش متوالی از روی مانع و با حداکثر ارتفاع و حداقل زمان تماس پا با زمین انجام می‌گرفت. فاصله مانع از همدیگر یک متر بود. هر دور DJ^۱ شامل ۶ ریپاند بعد از پرش سقوطی از یک جعبه ۴۰ سانتی متری بود، مکث بین هر ریپاند حدود ۵ ثانیه و استراحت بین دوره‌ها ۳ دقیقه بود (۱۸). برنامه تمرینی پلایومتریک به جای بخشی از تمرین مهارت‌های فوتبال (شامل تکنیک‌ها و بازی در فضاهای کوچک) که گروه کنترل انجام می‌داد، درون برنامه تمرین فوتبال گنجانده شده بود. مدت زمان تمرین پلایومتریک حدود ۲۵ دقیقه بود. بعد از تمرین پلایومتریک تمرین گروه کنترل، پلایومتریک و ترکیبی یکسان بود.

جدول ۱. برنامه تمرین گروه پلایومتریک

تکرار × دور	تمرین	هفته
۶ × ۶	۴۰-cm Hurdle Jumps	۱
۶ × ۶	۶۰-cm Hurdle Jumps	۲
۸ × ۶	۶۰-cm Hurdle Jumps	۳
۱۰ × ۶	۶۰-cm Hurdle Jumps	۴
۴ × ۶	۴۰-cm Drop Jumps	۵
۴ × ۶	۴۰-cm Drop Jumps	۶

1. Drop jump

تمرین ترکیبی

به دلیل اینکه تمرین پلايومتریك نیروی دوطرفه و دو سرعت نیروی یکطرفه تولید می کند، غیرممکن است که حجم این دو تمرین برابر باشد. سعی کردیم که حجم برنامه ترکیبی بیشتر از گروه پلايومتریك نباشد، از این رو، برنامه تمرینی شامل نصف برنامه تمرینی گروه پلايومتریك و برنامه دو سرعت بود که برنامه دو سرعت به صورت تعدیل شده از پژوهش مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) انتخاب شده بود که تقریباً حجم برنامه پلايومتریك و سرعتی را یکسان کرده بودند. استراحت بین تکرارها در دو سرعت ۱/۵ دقیقه و استراحت بین تکرارها ۳ دقیقه بود. برنامه تمرینی ترکیبی به جای بخشی از تمرین مهارت های فوتبال که گروه کنترل انجام می داد درون برنامه تمرین فوتبال گنجانده شده بود. بعد از تمرین ترکیبی، تمرین گروه کنترل، پلايومتریك و ترکیبی یکسان بود. تمرین فوتبال شامل انواع تکنیک ها (پاس های کوتاه و بلند با قسمت های مختلف پا، دریبل همراه با عبور از بین موانع، انواع کنترل توپ با قسمت های مختلف بدن و شوت زدن از فواصل مختلف)، اصول دفاع یک در مقابل یک، جاگیری، بازی در فضاهای کوچک (دو در مقابل دو، چهار در مقابل دو) و تاکتیک (استراتژی های سیستم سه پنج دو و مرور کارهای تاکتیکی در این سیستم) بود.

جدول ۲. برنامه تمرین گروه ترکیبی

تکرار × دور	تمرین	تکرار × دور	تمرین	هفته
۲×۲	۱۰ متر سرعت	۳×۶	۴۰-cm hurdle jumps	۱
۲×۲	۲۰ متر سرعت	۳×۶	۴۰-cm hurdle jumps	۲
۲×۲	۳۰ متر سرعت	۴×۶	۶۰-cm hurdle jumps	۳
۲×۲	۳۰ متر سرعت	۵×۶	۶۰-cm hurdle jumps	۴
۲×۲	۴۰ متر سرعت	۲×۶	۴۰-cm drop jumps	۵
۲×۲	۵۰ متر سرعت	۲×۶	۴۰-cm drop jumps	۶

شیوه های اندازه گیری

چابکی و سرعت

برای اندازه گیری سرعت از آزمون دو سرعت ۵، ۱۰ و ۲۰ متر استفاده شد. زمان دو ۵، ۱۰ و ۲۰ متر با استفاده از دستگاه مربوط (running timer, Takie Kiki, Japan) اندازه گیری شد. چشم الکترونیکی به ارتفاع یک متر

در خط شروع، ۵، ۱۰ و ۲۰ متر قرار داده شدند و آزمودنی در حالت ایستاده پشت خط شروع قرار می‌گرفت و با صدای شلیک تپانچه با تمام تلاش می‌دوید.

برای اندازه‌گیری چابکی از آزمون ۱۰ متر زیگزاگ که شامل چهار تغییر ۶۰ درجه‌ای بود استفاده شد. زمان چابکی با استفاده از سیستم اندازه‌گیری دو سرعت اندازه‌گیری شد. این آزمون به این دلیل انتخاب شده بود که شتاب، کاهش شتاب و کنترل تعادل شکل اصلی چابکی هستند (۲۲).

توان

برای اندازه‌گیری توان از دو آزمون پرش از حالت ایستاده، بوسکو ۵ ثانیه استفاده شد. ارتفاع پرش از زمان پرواز پرش محاسبه شد (۸). زمان پرواز و توان ۵ ثانیه‌ای بوسکو با استفاده از تشک پرش (*Ergo Jump Test*, *Satrap Company, Iran*) اندازه‌گیری شد. در پرش از حالت ایستاده آزمودنی‌ها پرش را با حرکت سریع به سمت پایین شروع می‌کردند (زاویه زانو تقریباً ۹۰ درجه) که چرخه کشش کوتاه شدن آهسته (۲۵۰ میلی‌ثانیه $SSC \geq$) را فعال کنند (۲۲، ۱۹). در آزمون بوسکو، به آزمودنی‌ها گفته می‌شد تا حد امکان، توالی پرش را مداوم و بی‌وقفه (حداکثر پرش و حداقل تماس پا) به مدت ۵ ثانیه اجرا کنند (۳).

فعالیت عصبی عضله SEMG

بعد از آماده کردن دقیق پوست (تراشیدن مو، سایش و تمیز کردن با الکل) (۲۹)، فعالیت عصبی عضله هنگام انقباض ایزومتریک بیشینه در ۶۰ درجه فلکشن زانو برای عضلات چهارسر ران با دستگاه اکستنشن زانو که بار دستگاه غیر قابل حرکت بود، انجام می‌گرفت. پایایی این انقباض در این زاویه قبلاً نشان داده شده است (۱۱). عمل ایزومتریک عضله ۳ ثانیه طول می‌کشید و هر آزمودنی ۳ تکرار را انجام می‌داد و استراحت بین تکرارها ۱ دقیقه بود. مشابهت فعالیت عضلانی در زمان آزمون و نوع تمرین (اصل ویژگی) می‌تواند در تفسیر دقیق سازگاری‌ها کمک‌کننده باشد، اما چون از آزمون‌های متنوع متداول در بازی فوتبال استفاده شد، حرکت ایزومتریک در زاویه ۶۰ درجه که به نظر می‌رسد در ایجاد حرکت در این آزمون‌ها به‌طور پایه مشارکت دارد، استفاده شد. الکترودها در محور طولی عضلات قرار داده می‌شدند. الکترودهای عضله پهن جانبی در یک چهارم فاصله از میانه خط جانبی مفصل زانو تا خط فوقانی قدامی لگن خاصره قرار گرفت و الکترودهای عضله پهن داخلی در یک پنجم فاصله از خط فوقانی قدامی لگن خاصره تا میانه مفصل قرار داده شد (۱۱). فعالیت عصبی به‌صورت میکروولت ثبت و فعالیت آمپلی‌تود *EMG* به‌وسیله دستگاه (*E B Neuro system, Italy*) پردازش شد.

رفلكس هافمن

برای ثبت رفلكس هافمن از روش مینوال و همکاران (۱۹۹۳) و از عضلات پشت ساق استفاده شد. الكترود ثبات فعال در وسط خطی که چین حفره پشت زانو را به بخش قوزک داخلی متصل می‌کند، قرار داده شد. الكترود مرجع^۱ روی تاندون آشیل قرار گرفت. عصب تی‌بیال خلفی در ناحیه چین حفره پشت زانو به طوری که الكترود تحریک فعال^۲ (کاتد) در بالا قرار داشت، تحریک شد. زمان رفلكس هافمن بر حسب هزارم ثانیه اندازه‌گیری شد (۱۵).

روش‌های آماری

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توزیع طبیعی را نشان داد. بنابراین، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون‌های پارامتریك استفاده شد. برای بررسی اثر تمرین بر متغیرهای وابسته، از آزمون t زوجی استفاده شد. برای اختلاف میانگین تغییرات قبل و بعد بین گروه‌ها از آزمون آنالیز واریانس یکسویه و در صورت معنادار بودن از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. اندازه اثر (ES)^۳ برای هر یک از متغیرها محاسبه شده است (۱۸). اختلاف معنادار آماری نیز در سطح $P \leq 0.05$ تعیین شد.

نتایج و یافته‌های تحقیق

نتایج پیش‌آزمون، پس‌آزمون و درصد تغییرات به تفکیک گروه‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. سه گروه در پیش‌آزمون اختلاف معناداری نداشتند ($P > 0.05$).

گروه‌های پلايومتریك و ترکیبی به ترتیب در آزمون‌های دو سرعت ۵ متر ($ES=1/6$ ، $-5/97$ درصد، $ES=1$ ، $3/87$ درصد)، دو سرعت ۱۰ متر ($ES=0/9$ ، $-4/05$ درصد، $ES=0/5$ ، $-2/33$ درصد)، دو سرعت ۲۰ متر ($ES=0/55$ ، $-2/64$ درصد، $ES=0/3$ ، $-1/64$ درصد)، چابکی ($ES=2/17$ ، $-8/99$ ، $ES=5/85$ ، $-1/4/08$ ، $ES=0/36$ ، $12/95$ ، $ES=0/75$ ، $7/30$ ، $ES=0/66$ ، $14/08$ ، $ES=0/93$ ، $13/44$ ٪) بهبود معناداری را نشان دادند. آمپلی‌تود عضله پهن جانبی تنها در گروه پلايومتریك ($ES=1/22$ ، $36/54$ درصد) و آمپلی‌تود عضله پهن داخلی تنها در گروه ترکیبی ($ES=0/38$ ، $15/06$ درصد)

1. Reference electrode
2. Active electrode
3. Effect Size

افزایش معناداری را نشان دادند. گروه کنترل تنها در آزمون چابکی ($ES=3/75$ ، $4/72$ - درصد) بهبود معناداری را نشان داد.

جدول ۳. داده‌های توصیفی آزمون‌های عملکردی قبل و بعد از تمرین و سطح معناداری (میانگین و انحراف معیار)

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درصد تغییرات	ارزش P
	پلائیومتریک	$1/34 \pm 0/05$	$1/26 \pm 0/02$	- 5/97	0/002
سرعت ۵ متر (ثانیه)	ترکیبی	$1/29 \pm 0/05$	$1/24 \pm 0/05$	- 3/87	0/041
	کنترل	$1/32 \pm 0/08$	$1/31 \pm 0/07$	- 0/75	0/66
	پلائیومتریک	$2/22 \pm 0/1$	$2/13 \pm 0/05$	- 4/05	0/013
سرعت ۱۰ متر (ثانیه)	ترکیبی	$2/14 \pm 0/1$	$2/09 \pm 0/08$	- 2/33	0/023
	کنترل	$2/18 \pm 0/1$	$2/16 \pm 0/07$	- 0/91	0/70
	پلائیومتریک	$3/78 \pm 0/18$	$3/68 \pm 0/12$	- 2/64	0/027
سرعت ۲۰ متر (ثانیه)	ترکیبی	$3/64 \pm 0/2$	$3/58 \pm 0/19$	- 1/64	0/001
	کنترل	$3/70 \pm 0/2$	$3/73 \pm 0/15$	0/81	0/48
	پلائیومتریک	$5/56 \pm 0/23$	$5/06 \pm 0/19$	- 8/99	0/001
چابکی (ثانیه)	ترکیبی	$5/46 \pm 0/07$	$5/05 \pm 0/3$	- 7/50	0/001
	کنترل	$5/55 \pm 0/08$	$5/25 \pm 0/17$	- 5/40	0/014
	پلائیومتریک	$27/64 \pm 9/71$	$31/22 \pm 8/02$	12/95	0/041
CMJ (سانتی‌متر)	ترکیبی	$23/01 \pm 2/25$	$24/69 \pm 1/83$	7/30	0/024
	کنترل	$22/14 \pm 2/86$	$22/11 \pm 2/05$	- 0/13	0/97
پوسکو ۵ ثانیه	پلائیومتریک	$32/87 \pm 6/93$	$37/5 \pm 7/72$	14/08	0/043
(وات برکیلوگرم)	ترکیبی	$28/71 \pm 4/15$	$32/57 \pm 4/15$	13/44	0/025
	کنترل	$32/42 \pm 6/97$	$33 \pm 5/77$	1/78	0/59

جدول ۴. داده‌های توصیفی آزمون‌های الکتروفیزیولوژی قبل و بعد از تمرین و سطح معناداری (میانگین و انحراف معیار)

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درصد تغییرات	سطح معناداری
عضله EMG	پلايومتریک	۲۸۷/۳۲ ± ۸۵/۹۵	۳۹۲/۳۱ ± ۸۰/۷۶	۳۶/۵۴	۰/۰۵
پهن جانبی (میکروولت)	ترکیبی	۳۵۶/۰۵ ± ۱۴۵/۷۳	۳۷۲/۹۵ ± ۱۲۴/۱۳	۵/۰۲	۰/۳۴
کنترل	کنترل	۲۳۶/۶۵ ± ۴۲/۳۷	۲۵۱/۳ ± ۱۱۰/۰۴	۶/۱۹	۰/۶۸
عضله EMG	پلايومتریک	۳۰۵/۶۳ ± ۵۷/۶۰	۲۸۰/۶۸ ± ۷۲/۲۷	- ۸/۱۶	۰/۴۹
پهن داخلی (میکروولت)	ترکیبی	۲۱۸/۷ ± ۸۴/۹۹	۲۵۱/۶۴ ± ۸۹/۵۲	۱۵/۰۶	۰/۰۱۹
کنترل	کنترل	۲۴۷/۰۴ ± ۷۷/۹	۲۲۷/۴۲ ± ۸۷/۶۹	- ۷/۹۴	۰/۵۳
رفلکس هافمن (هزارم ثانیه)	پلايومتریک	۲۴/۷۶ ± ۱/۸۳	۲۵/۰۲ ± ۰/۶۴	۱/۰۵	۰/۵۳
ترکیبی	ترکیبی	۲۵/۹۸ ± ۱/۶	۲۶/۲۴ ± ۱/۴۴	۱	۰/۲۹
کنترل	کنترل	۲۵/۲۱ ± ۲/۱۱	۲۶/۱۲ ± ۲/۱۹	۳/۹۸	۰/۲۴

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به مقایسه تمرین پلايومتریک و ترکیب پلايومتریک و دو سرعت بر عملکرد و فعالیت عصبی عضله در بازیکنان نوجوان فوتبال پرداخته شد. پیشرفت‌های معناداری در سرعت ۵، ۱۰ و ۲۰ متر، چابکی، CMJ و توان در دو گروه پلايومتریک و ترکیبی مشاهده شد. همچنین، آمپلی‌تود عضله پهن جانبی در گروه پلايومتریک و آمپلی‌تود عضله پهن داخلی در گروه ترکیبی افزایش معناداری را نشان دادند. گروه کنترل تنها در چابکی پیشرفت معناداری را نشان داد. تفاوت معناداری در بهبود ارتفاع پرش و افزایش آمپلی‌تود گروه پلايومتریک نسبت به گروه کنترل مشاهده شد. تغییرات گروه ترکیبی تفاوت معناداری با گروه کنترل نشان نداد. به هر حال، تغییرات گروه پلايومتریک و ترکیبی تفاوت معناداری با هم نداشتند.

تا آنجا که می‌دانیم پژوهشی اثر تمرین پلايومتریک را با ترکیب پلايومتریک و دو سرعت مقایسه نکرده است. این مسئله مقایسه نتایج را مشکل می‌کند. چندین پژوهش قبلی نشان دادند که تمرین پلايومتریک به دلیل استفاده از چرخه کشش کوتاه شدن می‌تواند توانایی دوییدن سریع را افزایش دهد (۵). پژوهش حاضر

بهبود دو سرعت در مسافت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ متر را نشان داد. کاهش معنادار در زمان دو سرعت ۵ متر (۵/۹۷- درصد) و ۱۰ متر (۴/۰۵- درصد) ۲۰ متر (۲/۶۴- درصد) نشان‌دهنده کارایی برنامه پلايومتريك برای بهبود اعمال انفجاری ویژه بود. درصد تغییرات در عملکرد شتاب اولیه بعد از دوره تمرین در پژوهش حاضر مطابق یافته‌های قبلی در شتاب اولیه در نوجوانان است (۲۲). دی ویلاریال و همکاران (۲۰۱۲) در فراتحلیلی نشان دادند که تمرین پلايومتريك می‌تواند اجرای دو سرعت را بهبود بخشد (۹). مک‌دونالد و همکاران (۲۰۱۲) افزایش دو سرعت (۱۰ درصد) در مسافت ۵ تا ۱۰ متر در نتیجه شش هفته تمرین پلايومتريك را نشان دادند (۱۷). سزار و همکاران (۲۰۰۹) بهبود زمان دو سرعت ۱۰ متر را در بازیکنان نزدیک بلوغ فوتبال در پی هشت هفته تمرین پلايومتريك نشان دادند. سوهایل و همکاران (۲۰۱۰) کاهش معناداری را در زمان دو سرعت ۵ متر در بازیکنان بالغ فوتبال در پی هشت هفته تمرین پلايومتريك در فصل مسابقات نشان دادند (۵). تغییرات گروه پلايومتريك نسبت به گروه کنترل معنادار نبود. در مقابل کیوین و همکاران (۲۰۰۹) اثر دو شیوه تمرین پلايومتريك را بر سرعت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر در بازیکنان بالغ فوتبال بررسی کردند که تغییر معناداری مشاهده نشد (۲۸). هیرو و همکاران نیز تغییر معناداری در دو ۲۰ متر سرعت با تمرین پلايومتريك نشان ندادند (۵). سواز و همکاران (۲۰۱۲) بهبود معناداری را در عملکرد دو سرعت در پی هفت هفته تمرین پلايومتريك مشاهده نکردند (۲۶). همچنین مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) بهبودی در دو ۲۰ متر سرعت با تمرین پلايومتريك را نشان ندادند که برنامه تمرینی پژوهش حاضر بسیار مشابه برنامه آنها بود. این اختلافات ممکن است به دلیل تفاوت در سطح آمادگی آزمودنی‌ها (دانشجویان تربیت بدنی در مقابل بازیکنان فوتبال) باشد. عامل دیگری که باید اضافه کرد، این است که احتمالاً در بازیکنان نوجوان به دلیل پایین بودن توانایی مهارتی، فشار جسمانی زیادی به بازیکنان در زمان بازی فوتبال وارد نمی‌شود، بنابراین تمرین پلايومتريك می‌تواند اثر بیشتری بر این گروه داشته باشد. تمرین پلايومتريك به‌طور متداول به‌منظور اثر بر اجرای دو سرعت با تمرین وزنه، تمرین ویژه رشته‌های ورزشی و تحریک الکتریکی ترکیب شده است. در صورت ترکیب تمرین پلايومتريك با تمرین وزنه (۶ تا ۱۲ هفته) اجرای دو سرعت از ۰/۲ تا ۳ درصد بهبود داشته است (۱۹) که نتایج این پژوهش در بهبود دو ۵، ۱۰ و ۲۰ متر در گروه ترکیبی با نتایج پژوهش‌هایی پیشین که از تمرین ترکیبی پلايومتريك و وزنه استفاده کرده بودند، مطابق است. به هر حال، مقدار تغییرات دو سرعت گروه ترکیبی با گروه پلايومتريك متفاوت نبود. شایان توجه است که استفاده از کفش‌های ورزشی *Meridian Elyte* طی ترکیب تمرین پلايومتريك و دو سرعت اثر مثبتی

بر اجرای دو سرعت ورزشکاران داشته است (۲۳). پژوهش مروری مارکوویچ و همکاران (۲۰۱۰) و فراتحلیل دی ویلاریال (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که تمرین پلايومتریك به تنهایی، به همان خوبی ترکیب وزنه و پلايومتریك اجرای دو سرعت را بهبود می‌بخشد که نتایج یافته‌های پژوهش ما این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

آزمون چابکی در پژوهش حاضر به دلیل زمان کوتاه (۴ تا ۵ ثانیه) انتخاب شده بود. پژوهش‌های پیشین در بازیکنان بالغ و نزدیک بلوغ از آزمون‌های چابکی متفاوتی استفاده کرده بودند، که ۷ تا ۱۹ ثانیه طول می‌کشید و کل مسافت طی شده ۴۰ تا ۵۰ متر بود که برای فوتبال مناسب به نظر نمی‌رسد (۲۲). هر سه گروه کاهش معناداری در زمان آزمون چابکی نشان دادند (گروه پلايومتریك ۸/۹۹- درصد، ترکیبی ۷/۵۰- درصد و کنترل ۵/۴- درصد). میزان تغییرات بین گروه‌ها معنادار نبود. کاهش زمان آزمون چابکی در گروه کنترل ممکن است به دلیل اثر تمرین مهارتی فوتبال یا اثر یادگیری باشد، به دلیل اینکه چابکی به غیر از جنبه بدنی یک جنبه شناختی (فرایند تصمیم‌گیری) را نیز شامل می‌شود (۱۹). باید خاطر نشان کرد که در پژوهش حاضر یک دوره آشناسازی قبل از پیش‌آزمون انجام گرفته بود. پژوهش دیگری از این تست چابکی استفاده کرده بود (۲۲) که نتایج ما در بهبود زمان آزمون چابکی (۸/۹۹- درصد) در گروه پلايومتریك با نتایج آنها (۹/۶- درصد) مطابق بود. بیشتر حرکات چابکی نیازمند انتقال سریع عمل درون‌نگرای عضله به برون‌گرا در عضلات بازکننده پاست (عملکرد چرخه کشش کوتاه شدن عضله). بنابراین، اظهار شده است که تمرین پلايومتریك می‌تواند زمان تماس پا با زمین را از طریق برون‌ده نیروی عضلانی و کارایی حرکت کاهش دهد، از این‌رو تأثیر مثبتی بر اجرای چابکی دارد. بیشتر پژوهش‌های قبلی بهبود در اجرای چابکی را نشان دادند که دامنه این بهبودها از ۱/۵ تا ۱۰/۲ درصد بوده است (۱۹). زمانی که پلايومتریك با تمرین وزنه و تمرین ویژه رشته‌های ورزشی ترکیب می‌شود، بهبودهای نسبتاً مشابهی (۲/۷ تا ۷/۶ درصد) نسبت به تمرین پلايومتریك به تنهایی حاصل می‌شود (۱۹) که نتایج ما در گروه ترکیبی این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

در آزمون‌های توانی شامل *CMJ* و بوسکو ۵ ثانیه، گروه پلايومتریك و ترکیبی افزایش معناداری را نشان دادند. فراتحلیلی به‌تازگی نشان داده که تمرین پلايومتریك اثر بیشتری بر *CMJ* نسبت به پرش از حالت اسکات دارد که پژوهش مارکوویچ و همکاران (۲۰۱۰) این یافته‌ها را تأیید کرده است (۱۹). بررسی‌های تمرین پلايومتریك در نوجوانان نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند (۲۲). تمرین پلايومتریك منحصراً بر چرخه کشش کوتاه شدن عضله استرس وارد می‌کند و فعالیت‌های انفجاری در فوتبال اغلب به انقباض عضلانی درگیر در

چرخه کشش کوتاه شدن نیاز دارند (۲۲). از این رو، در پژوهش حاضر آزمون‌های توانی که این چرخه را درگیر می‌کند، مورد توجه قرار گرفته بود. افزایش در ارتفاع *CMJ* در گروه پلايومتریک (۱۲/۹۵ درصد) با نتایج قبلی بعد از تمرین پلايومتریک در نوجوانان مطابق بود (۲۲). سزار و همکاران (۲۰۰۹) افزایش در ارتفاع *CMJ* در پی هشت هفته تمرین پلايومتریک در بازیکنان نزدیک بلوغ را نشان دادند. جانسون و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی مروری نشان دادند تمرین پلايومتریک ارتفاع پرش کودکان ۷ تا ۱۴ ساله را افزایش می‌دهد (۱۶). همچنین، مک‌کی و هنسچک (۲۰۱۲) نشان دادند که تمرین پلايومتریک عملکرد حرکتی (مانند پرش) را در کودکان قبل از بلوغ بهبود می‌بخشد (۲۱). میزان تغییرات گروه پلايومتریک در ارتفاع *CMJ* نسبت به گروه کنترل معنادار بود ($P \leq 0/007$). به‌طور عمده در برنامه آماده‌سازی ورزشکاران پلايومتریک با دیگر روش‌های تمرینی، اغلب تمرین با وزنه ترکیب می‌شود (۱۹). مارکوویچ و همکاران در پژوهش مروری (۲۰۱۰) نشان دادند که ترکیب پلايومتریک و وزنه تأثیر بیشتری نسبت به تمرین پلايومتریک تنها بر اجرای پرش عمودی دارد. به‌دنبال ترکیب پلايومتریک و وزنه میانگین بهبود *CMJ* ۷/۸ درصد مشاهده شده بود، درحالی‌که میانگین بهبود زمانی‌که پلايومتریک به‌تنهایی به‌کار گرفته شده بود، ۶/۹ درصد بوده است. تغییرات گروه ترکیبی در ارتفاع *CMJ* (۷/۳۰ درصد) نسبت به گروه پلايومتریک متفاوت نبود. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مارکوویچ و همکاران مغایر است. متفاوت نبودن ارتفاع *CMJ* گروه ترکیبی و پلايومتریک شاید به‌دلیل مشابه بودن تمرین پلايومتریک و دو سرعت و همچنین برابری نسبی حجم این دو برنامه تمرینی باشد. هر سه گروه پژوهش حاضر در آزمون بوسکو ۵ ثانیه افزایش داشتند که این افزایش فقط در گروه پلايومتریک (۱۴/۰۸ درصد) و ترکیبی (۱۳/۴۴ درصد) معنادار بود. به هر حال، تغییرات آزمون بوسکو ۵ ثانیه در سه گروه تفاوت معناداری با هم نداشت. تا آنجا که می‌دانیم، این اولین پژوهشی است که تأثیر تمرین پلايومتریک و ترکیب پلايومتریک و دو سرعت را بر آزمون بوسکو ۵ در بازیکنان نزدیک بلوغ فوتبال بررسی می‌کند. تمرین پلايومتریک موجب افزایش نسبی توان عضلانی از دامنه ۲/۴ تا ۳۱/۳ درصد می‌شود. بیشتر پژوهش‌ها در زمینه مقایسه پلايومتریک با ترکیب پلايومتریک و وزنه، تغییر نسبی بیشتری در توان بعد از ترکیب پلايومتریک و وزنه گزارش کرده‌اند. نتایج پژوهش حاضر در گروه ترکیبی با این پژوهش‌ها که ترکیب پلايومتریک و وزنه را به‌کار گرفته بودند، مطابق نبود. این تفاوت شاید به‌دلیل ماهیت مشابه روش تمرین پلايومتریک و دو سرعت باشد. در پژوهش حاضر هر سه گروه در فعالیت عصبی عضله پهن جانبی افزایش داشتند که این افزایش تنها در گروه پلايومتریک معنادار بود. آمپلی‌تود سیگنال

EMG در گروه پلايومتریك ۳۶/۵۴ درصد، ترکیبی ۵/۰۲ درصد و در گروه کنترل ۶/۱۹ درصد افزایش داشت که افزایش گروه پلايومتریك نسبت به گروه کنترل معنادار بود ($P \leq ۰/۰۴۶$). فعالیت عصبی در عضله پهن داخلی تنها در گروه ترکیبی افزایش معنادار را نشان داد ($P \leq ۰/۰۱۹$). نتایج ما با یافته‌های قبلی که گزارش کرده بودند ترکیب تمرین پلايومتریك و قدرتی موجب افزایش معناداری در فعالیت عضله بازکننده پا در حداکثر انقباض ایزومتريك می‌شود، همسوست (۱۴، ۱۳)، ولی با گزارش کایرولاین و همکاران (۲۰۰۵) که نشان دادند تمرین پلايومتریك به‌طور معناداری حداکثر انقباض ارادی و فعالیت عضلانی پلانتار فلکسورها را افزایش می‌دهد، اما بر بازکننده‌های زانو تأثیر ندارد، مغایر است (۱۹). در پژوهش حاضر تمرین پلايومتریك فعالیت عصبی عضله پهن جانبی و تمرین ترکیبی فعالیت عصبی عضله پهن داخلی را افزایش داد. تا آنجا که می‌دانیم هیچ پژوهشی چنین تغییراتی را گزارش نکرده است که ممکن است به‌دلیل ماهیت برنامه تمرین اجرا شده باشد که بیشتر عضله پهن جانبی یا پهن داخلی را درگیر کرده باشد و واحدهای حرکتی بیشتری فراخوان شده باشند. تغییرات در آمپلی‌تود *EMG* که در پژوهش حاضر بررسی شد، ممکن است به تغییرات در تحریک اعصاب مرکزی یا فاکتورهای عضلانی مربوط باشد که این تغییرات شبکه تحریک عصبی به عضله را افزایش می‌دهد (۱۲). توضیح ساده در مورد اثر تمرین بر آمپلی‌تود *EMG* احتمالا این است که تمرین موجب فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر یا شلیک عصبی سریع‌تر می‌شود (۱۲، ۱). در پژوهش حاضر، درصد تغییرات عملکردی گروه پلايومتریك و ترکیبی در دو سرعت ۵، ۱۰ و ۲۰ متر، چابکی، *CMJ*، توان و قدرت همسو با افزایش معنادار در *SEMG* عضله پهن جانبی (گروه پلايومتریك) و پهن داخلی (گروه ترکیبی) است که نشان می‌دهد افزایش فعالیت عصبی عضله در بهبود عملکرد بازیکنان نقش دارد.

رفلکس هافمن در هر دو گروه تمرینی تغییر معناداری نشان نداد. روس و همکاران (۲۰۰۱) اظهار کردند که تمرین سرعتی و توانی رفلکس هافمن را از طریق کاهش فعال‌سازی نورون حرکتی به‌دلیل تغییر در مهار پیش‌سیناپسی یا افزایش تبدیل واحد حرکتی کند به تند کاهش می‌دهد. ویت و همکاران (۱۹۹۸) تغییرات در بازتاب هافمن را در پی چهار هفته تمرین جهشی بررسی کردند که به‌طور چشمگیری رفلکس هافمن طی جهش کاهش پیدا کرده بود (۳۱). آلمیدا و همکاران (۱۹۹۶) نیز کاهش در دامنه رفلکس هافمن و درصد تارهای کند تنش را نتیجه تمرین تداخلی پلايومتریك بیان کردند (۲۵) با وجود تناقضات در پژوهش‌های صورت‌گرفته کورمی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی مروری اعلام کردند که حرکات چرخه کشش کوتاه شدن یک رفلکس

کششی را فراخوانی می‌کنند که به افزایش نیروی عضلانی در خلال مرحله کانسنتریک کمک می‌کند، همچنین تمرین پلايومتریک موجب بهبود فعال‌سازی رفلکس کششی می‌شود (۷). عدم تغییر در رفلکس هافمن در پژوهش حاضر ممکن است به دلیل اندازه‌گیری آن در زمان استراحت باشد. آگارد و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که رفلکس هافمن بین ورزشکاران استقامتی و توانی در زمان استراحت احتمالاً به دلیل افزایش مهار پیش‌سیناپسی متفاوت نیست و به همین منظور رفلکس هافمن باید در انقباض واقعی اندازه‌گیری شود که احتمالاً مهار پیش‌سیناپسی کاهش می‌یابد (۲).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرین پلايومتریک و ترکیب پلايومتریک و دو سرعت در کوتاه مدت اثر مشابهی بر عملکرد بازیکنان نوجوان فوتبال دارد و این سازگاری‌های ناشی از تمرین پلايومتریک و ترکیب پلايومتریک و دو سرعت هدفمند که به احتمال زیاد منشأ عصبی دارد، به فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر و شلیک عصبی سریع‌تر مربوط است، اگر در برنامه تمرینی فوتبالیست‌های نوجوان گنجانده شود، پیامدهای عملکردی مثبتی به همراه خواهد داشت.

منابع و مآخذ

1. Aagaard P. (2004). "Making muscles stronger: Exercise, nutrition, drugs". Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions, Vol4 NO,2: pp:165-74.
2. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P (2002). "Neural adaptation to resistance training: Changes in evoked V-wave and H-reflex responses". Journal of Applied Physiology, Vol92 NO,6: pp:2309-18.
3. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV (1983). "A simple method for measurement of mechanical power in jumping". European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, Vol50 NO,2: pp:273-82.
4. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G (2003). "Activity Profile of Young Soccer Players During Actual Match Play". Journal of Strength and Conditioning Research, Vol17 NO,4: pp:775-80.
5. Chelly MS, Ghenem MA, Abid K, Hermassi S, Tabka Z, Shephard RJ (2010). "Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power,

- jump-and sprint performance of soccer players".** Journal of Strength and Conditioning Research, Vol24NO,10: pp:2670-6.
6. Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, Straub SJ (2004). **"Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes"**. Journal of Athletic Training, Vol39NO,1: pp:24-31.
7. Cormie P, Mcguigan MR, Newton RU. (2011). **"Developing Maximal Neuromuscular Power"**. Sports Medicine, Vol41NO,1: pp:17-38.
8. Cronin JB, Hansen KT (2005). **"Strength and power predictors of sports speed"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 19NO,2: pp:349-57.
9. De Villarreal ES, Requena B, Cronin JB (2012). **"The effects of plyometric training on sprint performance"**. A meta-analysis. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 26NO,2: pp:575-84.
10. Diallo, O. Dore, E. Duche P, et al (2001). **"Effects of plyometric training followed by a reduced training program on physical performance in prepubescent soccer players"**. J Sports Med Phys Fitness, Vol 41: pp:342-8.
11. Fauth ML, Petushek EJ, Feldmann CR, Hsu BE, Garceau LR, Lutsch BN, et al (2010). **"Reliability of surface electromyography during maximal voluntary isometric contractions, jump landings, and cutting"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 24NO,4: pp:1131-7.
12. Felici F (2006). **"Neuromuscular responses to exercise investigated through surface EMG"**. Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol 16NO,6: pp:578-85.
13. Hakkinen K, Komi PV, Alen M (1985). **"Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles"**. Acta Physiologica Scandinavica, Vol125NO,4: pp:587-600.
14. Hakkinen K, Pakarinen A, Kyrolainen H, Cheng S, Kim DH, Komi PV (1990). **"Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training"**. International Journal of Sports Medicine, Vol 11NO,2: pp:91-8.

15. Holtermann A, Roeleveld K, Engstrøm M, Sand T (2007). **"Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development"**. European Journal of Applied Physiology, Vol 101NO,3: pp:301-12.
16. Johnson BA, Salzberg CL, Stevenson DA (2011). A systematic review: **"Plyometric training programs for young children"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol25NO,9: pp:2623-33.
17. MacDonald CJ, Lamont HS, Garner JC (2012). **"A comparison of the effects of 6 weeks of traditional resistance training, plyometric training, and complex training on measures of strength and anthropometrics"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol26NO,2: pp:422-31.
18. Markovic G, Jukic I, Milanovic D, Metikos D (2007). **"Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 21NO,2: pp:543-9.
19. Markovic G, Mikulic P (2010). **"Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training"**. Sports Medicine, Vol 40NO,10: pp:859-95.
20. McCarthy JP, Wood DS, Bolding MS, Roy JLP, Hunter GR (2012). **"Potentiation of concentric force and acceleration only occurs early during the stretch-shortening cycle"**. Journal of Strength and Conditioning Research, Vol26NO,9: pp:2345-55.
21. McKay D, Henschke N (2012). **"Plyometric training programmes improve motor performance in prepubertal children"**. British Journal of Sports Medicine, Vol 46NO,10: pp:727-8.
22. Meylan C, Malatesta D (2009). **"Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players"**. Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, Vol 23NO,9: pp:2605-13.
23. Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, French DN, Rubin MR, Gómez AL, et al (2007). **"The effects of ten weeks of resistance and combined plyometric/sprint training with the Meridian Elyte athletic shoe on**

- muscular performance in women".** Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 21NO,3: pp:882-7
24. Rimmer E, Sleivert G (2000). "**Effects of a Plyometrics Intervention Program on Sprint Performance**". Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 14NO,3: pp:295-301.
25. Ross A, Leveritt M, Riek S (2001). "**Neural influences on sprint running training adaptations and acute responses**". Sports Medicine, Vol 31NO,6: pp:409-25.
26. Sáez de Villarreal E, Requena B, Izquierdo M, Gonzalez-Badillo JJ (2012). "**Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training**". Journal of Science and Medicine in Sport, Vol 705: p:5.
27. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U (2005). "**Physiology of soccer: An update**". Sports Medicine, Vol 35NO,6: pp:501-36.
28. Thomas K, French D, Hayes PR (2009). "**The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players**". Journal of Strength and Conditioning Research, Vol 23NO,1: pp:332-5.
29. Urabe Y, Kobayashi R, Sumida S, Tanaka K, Yoshida N, Nishiwaki GA, et al (2005). "**Electromyographic analysis of the knee during jump landing in male and female athletes**". Knee, Vol 12NO,2: pp:129-34.
30. Van Praagh E, Doré E (2002). "**Short-term muscle power during growth and maturation**". Sports Medicine, Vol 32NO,11: pp:701-28.
31. Voigt M, Chelli F, Frigo C (1998). "**Changes in the excitability of soleus muscle short latency stretch reflexes during human hopping after 4 weeks of hopping training**". European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, Vol 78NO,6: pp:522-32.