علوم زیستی ورزشی _ بهار ۱۳۹۳
دورهٔ۶، شمارهٔ ۱ – ص : ۱- ۱۹
تاریخ دریافت : ۲۹ / ۰۴ / ۹۱
تاریخ پذیرش : ۱۸ / ۱۰ / ۹۱

سازگاری‌های عصبی و عملکردی به تمرنی پلایومتریک در مقابل ترکیب پلایومتریک و دو سرعت در فوتبالیست‌های نوجوان

۱. ابوذر کاوه‌ای _ ۲. رضا قراخانلو[۱] _ ۳. حمید رجبی

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

چکیده

هدف از پژوهش حاضر مقایسهٔ سازگاری‌های عصبی و عملکردی به تمرین پلایومتریک در مقابل ترکیب پلایومتریک و دو سرعت بود. در این پژوهش ۲۲ بازیکن نوجوان فوتبال با میانگین سن ۱۴/۲۸±۰/۸۲ سال، وزن ۴۱/۱۸±۷/۵ کیلوگرم، قد ۱۵۴/۵±۹/۳۶ سانتی‌متر و چربی بدن ۷/۴۳±۲/۶۸ درصد به‌صورت دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند، گروه اول شامل ۸ نفر، تمرین پلایومتریک در کنار مهارت‌های فوتبال؛ گروه دوم شامل ۷ نفر، تمرین ترکیب پلایومتریک و دو سرعت (ترکیبی) در کنار مهارت‌های فوتبال؛ و گروه سوم شامل ۷ نفر فقط تمرین مهارت‌های فوتبال را به‌مدت 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. به‌منظور ارزیابی سازگاری‌های عصبی، قبل و بعد از دورهٔ تمرین الکترومایوگرافی سطحی (SEMG) از عضلات پهن جانبی و داخلی در حالت ایستا و رفلکس هافمن از عضلهٔ نعلی در حالت استراحت انجام گرفت. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون t زوجی و آنالیز واریانس یکسویه استفاده شد و سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. هر دو گروه پلایومتریک و ترکیبی کاهش‌های معناداری در زمان دو سرعت ۵ متر (۵/۹۷-، ۳/۸۷- درصد)، ۱۰ متر (۴/۰۵-، ۲/۳۳- درصد)،۲۰ متر (۲/۶۴-، ۱/۶۴- درصد)، چابکی (۸/۹۹-، ۷/۵- درصد) و افزایش‌های معناداری درCMJ (۱۲/۹۵، ۷/۳ درصد) و بوسکو ۵ ثانیه (۱۴/۰۸، ۱۳/۴۴ درصد) نشان دادند. گروه کنترل تنها کاهش معناداری در زمان چابکی (۵/۴- درصد) نشان داد. SEMG عضلهٔ پهن جانبی گروه پلایومتریک (۳۶/۵۴ درصد) و عضلهٔ پهن داخلی گروه ترکیبی (۱۵/۰۶ درصد) افزایش معناداری نشان دادند. رفلکس هافمن در هیچ یک از گروه‌ها تغییر معناداری نشان نداد. به هر حال، میزان تغییرات گروه پلایومتریک و ترکیبی تفاوت معناداری با هم نداشتند ($P\geq$ ۰/۰۵). بنابراین، با توجه به نتایج به‌نظر می‌رسد که سازوکار تأثیرات تمرین سرعت و پلایومتریک شبیه است و بدین دلیل تمرین پلایومتریک و ترکیب پلایومتریک 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 به‌نظر نمی‌رسد تغییرات رفلکس حرکتی در این سازگاری‌ها نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

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

---

۱. نویسندهٔ مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۳۲۷۹۵۳۶۱ Email:ghara_re@modares.ac.ir

مقدمه

فوتبال رشتهٔ ورزشی با ماهیت متناوب است که به عوامل فیزیولوژیکی مختلفی نیاز دارد. به همین دلیل، در فوتبال امروزی ملاحظات فیزیولوژیکی به‌طور 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 تعیین‌کنندهٔ مهمی برای عملکرد بازیکنان است (۲۲). برای مثال، هر چند دو سرعتی با شدت بالا فقط ۳ درصد از کل مسافت طی‌شده را در بازی نوجوانان شامل می‌شود، حیاتی‌ترین حرکات بازی مانند کسب مالکیت توپ، توپ‌گیری یا گل زدن به آن وابسته‌اند (۴). به هر حال، تقریبا 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 (۲۷،۵). همچنین شتاب اولیه[1]، پرش و چابکی اعمال انفجاری متنوعی هستند که وقتی بازیکن در بازی سریع درگیر می‌شود، تعیین‌کننده‌اند. تجزیه‌وتحلیل بازی نیز اهمیت این کمیت‌ها را در فوتبال نشان داده است. در مجموع به‌نظر 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 به‌صورت مستقل با برنامهٔ تمرینی مناسب تمرین داده شوند (۲۲).

در میان انواع تمرینات مورد استفاده برای افزایش قابلیت‌های سرعتی و توانی در فوتبال، تمرین پلایومتریک برنامهٔ 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 چرخهٔ کشش کوتاه شدن[2] (SSC) نامیده می‌شود (۷) و فعالیت‌های انفجاری در فوتبال نیز اغلب به انقباض عضلانی درگیر در چرخهٔ 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 پلایومتریک پلی میان قدرت و سرعت

1. Initial acceleration
2. Stretch-Shortening Cycle

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

سواز و همکاران (۲۰۱۲) اخیرا در پژوهشی نشان دادند که پروتکل ترکیبی پلایومتریک و قدرتی موجب بهبود نسبی بیشتری در توان، سرعت جابه‌جایی و دو سرعت نسبت به پلایومتریک و قدرتی تنها می‌شود (۲۶). همچنین با توجه به شباهت‌های سازوکار عضلانی و عصبی تمرینات سرعتی با تمرینات پلایومتریک 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 پلایومتریک مرسوم دارد (۱۸). هر چند در مورد اثرپذیری تمرینات پلایومتریک 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 نتیجهٔ تمرین پلایومتریک شامل استفادهٔ بهتر از انرژی الاستیکی عضله، کاهش حساسیت اندام وتری گلژی، تغییر در جابه‌جایی موقت فعال‌سازی عضله برای کارایی حرکتی بیشتر، فراخوانی ترجیحی واحدهای حرکتی سریع‌تر، شلیک عصبی سریع‌تر و تحریک‌پذیری نورون حرکتی است (۷،۶، ۵). 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 می کند، 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 چرخهٔ کشش کوتاه شدن دارند. اهمیت خاص کنترل عصبی در فعال‌سازی عضله در مرحلهٔ قبل از برخورد پا با زمین (پیش‌فعال‌سازی)[1] و تسهیل رفلکس[2] در مرحلهٔ آخر برونگرا و نزدیک درونگرا است (۱۹).

1. Pre-Activation
2. Reflex facilitation

مک‌کارتی و همکاران (۲۰۱۲) اخیرا نشان دادند که توانمندسازی[1] نیروی کانسنتریک و شتاب تنها در ابتدای *SSC* رخ می‌دهد (۲۰). بنابراین، فرض می‌شود که تمرین پلایومتریک و دو سرعت موجب تغییر در عملکرد و اجرای عضلهٔ انسان در بخش عصبی می‌شود. برای مثال ویلک و همکاران (۱۹۹۳) اظهار کردند که افزایش عملکرد عضلانی در نتیجهٔ تمرین پلایومتریک مربوط به سازگاری‌های عصبی است تا تغییرات ریخت‌شناسی (۶). دیالو و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که تمرین پلایومتریک 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 به‌واسطهٔ فاکتورهای عصبی ایجاد شده است (۱۰). در این تحقیق از الکترومایوگرافی سطحی[2] طی حداکثر انقباض ارادی یا در پرش‌های عمودی به‌منظور پیدا کردن تغییرات در فعالیت عضلانی استفاده شد (۱۹). هر چند در مبانی نظری، تحریک‌پذیری نورون حرکتی[3] به‌طور متداول با استفاده از رفلکس هافمن ارزیابی می‌شود (۲۵، ۱۵)، ولی این روش به‌ندرت در مطالعات پلایومتریک انسانی استفاده شده است (۱۹). ازاین‌رو، دانش فعلی ما در مورد تغییرات ناشی از تمرین پلایومتریک در بهبود عملکرد عصبی به‌ویژه در دوران قبل از پایان رشد محدود است (۳۰، ۱۹).

بیشتر پژوهش‌های پیشین اثر تمرین پلایومتریک با اثر تمرین قدرتی یا ترکیب این دو را بر عملکرد و فعالیت عضلانی مقایسه کرده‌اند. در بیشتر این پژوهش‌ها در صورت مقایسهٔ تمرین پلایومتریک با ترکیب پلایومتریک و تمرین باوزنه، تغییر معنادار بیشتری در عملکرد و فعالیت عضلانی بعد از ترکیب پلایومتریک و قدرتی گزارش شده است (۱۹). راتامس و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر ۱۰ هفته تمرین مقاومتی و ترکیب همزمان پلایومتریک و دو سرعت را بر عملکرد زنان ورزشکار بررسی کردند، تمرین ترکیبی پلایومتریک و دو سرعت (دو بار در هفته) شامل ۴ تا ۵ حرکت پلایومتریک 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 نتیجهٔ تمرین پلایومتریک و دو سرعت ممکن است منشأ عصبی عضلانی متفاوتی داشته باشد. به‌ویژه، به‌نظر می‌رسد بهبود حرکات انفجاری در نتیجهٔ تمرین دو سرعت تاحدی مربوط به افزایش قدرت و توان عضلات بازکنندهٔ پا باشد. در مقایسه، بهبود

1. Potentiation
2. Surface Electromyography
3. Motoneuron excitability

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

روش تحقیق

آزمودنی‌ها

۳۰ نوجوان فوتبالیست ۱۳ تا ۱۵ ساله که سابقهٔ ۹ ماه تمرین منظم فوتبال در سطح تیم منتخب دانش‌آموزی شهرستان دلفان را داشتند، به‌صورت در دسترس در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی به سه گروه ۱۰ نفره تقسیم شدند، و شش هفته تمرین پلایومتریک به‌همراه مهارت‌های فوتبال (گروه اول، پلایومتریک، قد ۸/۸۵±۱۵۰/۱۲سانتی‌متر، وزن۸/۲۲±۳۸/۳۱ کیلوگرم، چربی بدن ۳/۰۵±۷/۸۳ درصد)، ترکیب پلایومتریک و دو سرعت به‌همراه مهارت‌های فوتبال (گروه دوم، ترکیبی، قد ۶/۶۸±۱۵۶/۳۵ سانتی‌متر، وزن۵/۵۸±۴۲/۸۱ کیلوگرم، چربی بدن۲/۲±۶/۹۶ درصد) و گروه دیگر تمرین مهارت‌های فوتبال (گروه دوم،کنترل، قد ۱۱/۳±۱۵۷/۶۴ سانتی‌متر، وزن۸/۴۳±۴۲/۸۴ کیلوگرم، چربی بدن۳/۰۱±۷/۴۳ درصد) را اجرا کردند. هیچ کدام از آزمودنی‌ها تمرین پلایومتریک را به‌صورت مستقل شش ماه قبل از شرکت در تحقیق انجام نداده بودند. آزمودنی‌ها از روش‌های اجرای آزمون‌ها و خطرهای احتمالی مطلع شدند و رضایت‌نامهٔ کتبی توسط آزمودنی‌ها و والدینشان امضا شد. پس از شروع برنامهٔ تمرینی ۳ آزمودنی از گروه کنترل،۳ آزمودنی از گروه ترکیبی و ۲ آزمودنی از گروه پلایومتریک بنابر دلایل مختلف (البته به‌جز آسیب‌دیدگی) قادر به ادامهٔ همکاری نبودند. گروه‌ها از نظر سن ، قد، وزن و درصد چربی بدن اختلاف معناداری نداشتند ($P> ۰/۰۵$).

طرح تجربی و برنامهٔ تمرینی

قبل و بعد از شش هفته تمرین، از همهٔ آزمودنی‌ها آزمون‌های توان، چابکی، سرعت، الکترومایوگرافی سطحی از عضلهٔ پهن جانبی و پهن داخلی در حالت ایستا و رفلکس هافمن از عضلهٔ نعلی در حالت استراحت گرفته شد. هر دو گروه تمرینی شش هفته (۱۶ جلسه تمرین) به‌طور دقیق تمرین کردند. مدت زمان هر جلسهٔ تمرینی ۹۰ دقیقه (برنامهٔ تمرینی و تمرین مهارت‌های فوتبال) بود. تمامی آزمون‌های عملکردی شامل سرعت، توان و چابکی

در یک روز و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسهٔ تمرینی و آزمون‌های الکترومایوگرافی ۴۸ ساعت بعد از آن انجام گرفت. تمامی آزمودنی‌ها در یک دورهٔ 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 تجزیه‌وتحلیل استفاده می‌شد. در تمامی آزمون‌ها برای افزایش انگیزهٔ آزمودنی‌ها که حداکثر تلاش خود را داشته باشند، به‌صورت زبانی تشویق می‌شدند. همچنین در حالت ایستاده، آزمودنی‌ها فعالیت با شدت کم را به‌منظور حفظ آمادگی فیزیولوژیکی برای اجرای آزمون بعدی انجام می‌دادند.

تمرین پلایومتریک

پروتکل تمرینی پلایومتریک از مطالعهٔ مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) انتخاب و با توجه به شرایط آزمودنی‌ها و انجام مطالعهٔ 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. فاصلهٔ موانع از همدیگر یک متر بود. هر دور DJ[1] شامل ۶ ریباند بعد از پرش سقوطی از یک جعبهٔ ۴۰ سانتی‌متری بود، مکث بین هر ریباند حدود ۵ ثانیه و استراحت بین دوره‌ها ۳ دقیقه بود (۱۸). برنامهٔ تمرینی پلایومتریک به‌جای بخشی از تمرین مهارت‌های فوتبال (شامل تکنیک‌ها و بازی در فضاهای کوچک) که گروه کنترل انجام می‌داد، درون برنامهٔ 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. برنامهٔ تمرین گروه پلایومتریک

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

1. Drop jump

تمرین ترکیبی

به‌دلیل اینکه تمرین پلایومتریک نیروی دوطرفه و دو سرعت نیروی یکطرفه تولید می‌کند، غیرممکن است که حجم این دو تمرین برابر باشد. سعی کردیم که حجم برنامهٔ ترکیبی بیشتر از گروه پلایومتریک نباشد، ازاین‌رو، برنامهٔ تمرینی شامل نصف برنامهٔ تمرینی گروه پلایومتریک و برنامهٔ دو سرعت بود که برنامهٔ دو سرعت به‌صورت تعدیل‌شده از پژوهش مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) انتخاب شده بود که تقریباً حجم برنامهٔ پلایومتریک و سرعتی را یکسان کرده بودند. استراحت بین تکرارها در دو سرعت ۱/۵ دقیقه و استراحت بین تکرارها ۳ دقیقه بود.برنامهٔ تمرینی ترکیبی به جای بخشی از تمرین مهارت‌های فوتبال که گروه کنترل انجام می‌داد درون برنامهٔ تمرین فوتبال گنجانده شده بود. بعد از تمرین ترکیبی، تمرین گروه کنترل، پلایومتریک و ترکیبی یکسان بود. تمرین فوتبال شامل انواع تکنیک‌ها (پاس‌های کوتاه و بلند با قسمت‌های مختلف پا، دریبل همراه با عبور از بین موانع، انواع کنترل توپ با قسمت‌های 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 (استراتژی‌های سیستم سه پنج دو و مرور کارهای تاکتیکی در این سیستم) بود.

جدول۲. برنامهٔ تمرین گروه ترکیبی

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

شیوه‌های اندازه‌گیری

چابکی و سرعت

برای اندازه‌گیری 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 timmer, Takie Kiki, Japan) اندازه‌گیری شد. چشم الکترونیکی به ارتفاع یک متر

در خط شروع، ۵، ۱۰ و ۲۰متر 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 (زاویهٔ زانو تقریبا ۹۰ درجه) که چرخهٔ 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) به‌مدت ۵ ثانیه اجرا کنند (۳).

فعالیت عصبی عضلهٔ *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 درجهٔ 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 زاویهٔ ۶۰ درجه که به‌نظر می‌رسد در ایجاد حرکت در این آزمون‌ها به‌طور پایه مشارکت دارد، استفاده شد. الکترودها در محور طولی عضلات قرار داده می‌شدند. الکترود عضلهٔ پهن جانبی در یک چهارم فاصله از میانهٔ خط جانبی مفصل زانو تا خط فوقانی قدامی لگن خاصره قرار گرفت و الکترود عضلهٔ پهن داخلی در یک‌پنجم فاصله از خط فوقانی قدامی لگن خاصره تا میانهٔ مفصل قرار داده شد (۱۱). فعالیت عصبی به‌صورت میکروولت ثبت و فعالیت آمپلی‌تود *EMG* به‌وسیلهٔ دستگاه (*E B Neuro system, Italy*) پردازش شد.

رفلکس هافمن

برای ثبت رفلکس هافمن از روش مینوال و همکاران (۱۹۹۳) و از عضلات پشت ساق استفاده شد. الکترود ثبات فعال در وسط خطی که چین حفرهٔ پشت زانو را به بخش قوزک داخلی متصل می‌کند، قرار داده شد. الکترود مرجع[1] روی تاندون آشیل قرار گرفت. عصب تی‌بیال خلفی در ناحیهٔ چین حفرهٔ پشت زانو به‌طوری‌که الکترود تحریک فعال[2] (کاتد) در بالا قرار داشت، تحریک شد. زمان رفلکس هافمن بر حسب هزارم ثانیه اندازه‌گیری شد (۱۵).

روش‌های آماری

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توزیع طبیعی را نشان داد. بنابراین، برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون‌های پارامتریک 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. اندازهٔ اثر (ES)[3] برای هر یک از متغیرها محاسبه شده است (۱۸). اختلاف معنادار آماری نیز در سطح $P\leq ۰/۰۵$ 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 ($P> ۰/۰۵$).

گروه‌های پلایومتریک و ترکیبی به‌ترتیب در آزمون‌های دو سرعت ۵ متر (۵/۹۷، ES=۱/۶- درصد، ۳/۸۷، ES=۱- درصد)، دو سرعت ۱۰ متر (۴/۰۵، ES=۰/۹- درصد، ۲/۳۳، ES=۰/۵- درصد)، دو سرعت ۲۰ متر (۲/۶۴، ES=۰/۵۵- درصد، ۱/۶۴، ES=۰/۳- درصد)، چابکی (۸/۹۹، ES=۲/۱۷ ،٪۵/۸۵-، ES=۷/۵۰-) CMJ، (۱۲/۹۵، ES=۰/۳۶٪ ،۷/۳۰، ES=۰/۷۵٪)، بوسکو ۵ ثانیه (۱۴/۰۸، ES=۰/۶۶٪، ۱۳/۴۴، ES=۰/۹۳٪) بهبود معناداری را نشان دادند. آمپلی‌تود عضلهٔ پهن جانبی تنها در گروه پلایومتریک (۳۶/۵۴،ES=۱/۲۲ درصد) و آمپلی‌تود عضلهٔ پهن داخلی تنها در گروه ترکیبی (۱۵/۰۶، ES=۰/۳۸ درصد)

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

افزایش معناداری را نشان دادند. گروه کنترل تنها در آزمون چابکی (ES=۳/۷۵، ۴/۷۲- 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	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	درصد تغییرات	ارزش *P*
سرعت ۵ متر (ثانیه)	پلایومتریک	۱/۳۴ ± ۰/۰۵	۱/۲۶ ± ۰/۰۲	– ۵/۹۷	۰/۰۰۲
	ترکیبی	۱/۲۹± ۰/۰۵	۱/۲۴± ۰/۰۵	- ۳/۸۷	۰/۰۴۱
	کنترل	۱/۳۲ ± ۰/۰۸	۱/۳۱ ± ۰/۰۷	- ۰/۷۵	۰/۶۶
سرعت ۱۰ متر (ثانیه)	پلایومتریک	۲/۲۲± ۰/۱	۲/۱۳± ۰/۰۵	– ۴/۰۵	۰/۰۱۳
	ترکیبی	۲/۱۴ ± ۰/۱	۲/۰۹ ± ۰/۰۸	- ۲/۳۳	۰/۰۲۳
	کنترل	۲/۱۸± ۰/۱	۲/۱۶± ۰/۰۷	- ۰/۹۱	۰/۷۰
سرعت ۲۰ متر (ثانیه)	پلایومتریک	۳/۷۸ ± ۰/۱۸	۳/۶۸ ± ۰/۱۲	- ۲/۶۴	۰/۰۲۷
	ترکیبی	۳/۶۴ ± ۰/۲	۳/۵۸ ± ۰/۱۹	- ۱/۶۴	۰/۰۰۱
	کنترل	۳/۷۰ ± ۰/۲	۳/۷۳± ۰/۱۵	۰/۸۱	۰/۴۸
چابکی (ثانیه)	پلایومتریک	۵/۵۶± ۰/۲۳	۵/۰۶± ۰/۱۹	– ۸/۹۹	۰/۰۰۱
	ترکیبی	۵/۴۶ ± ۰/۰۷	۵/۰۵± ۰/۳	- ۷/۵۰	۰/۰۰۱
	کنترل	۵/۵۵± ۰/۰۸	۵/۲۵± ۰/۱۷	- ۵/۴۰	۰/۰۱۴
CMJ (سانتی‌متر)	پلایومتریک	۲۷/۶۴± ۹/۷۱	۳۱/۲۲± ۸/۰۲	۱۲/۹۵	۰/۰۴۱
	ترکیبی	۲۳/۰۱ ± ۲/۲۵	۲۴/۶۹ ± ۱/۸۳	۷/۳۰	۰/۰۲۴
	کنترل	۲۲/۱۴ ± ۲/۸۶	۲۲/۱۱ ± ۲/۰۵	- ۰/۱۳	۰/۹۷
بوسکو ۵ ثانیه (وات برکیلوگرم)	پلایومتریک	۳۲/۸۷± ۶/۹۳	۳۷/۵± ۷/۷۲	۱۴/۰۸	۰/۰۴۳
	ترکیبی	۲۸/۷۱ ± ۴/۱۵	۳۲/۵۷ ± ۴/۱۵	۱۳/۴۴	۰/۰۲۵
	کنترل	۳۲/۴۲± ۶/۹۷	۳۳± ۵/۷۷	۱/۷۸	۰/۵۹

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

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

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به مقایسهٔ تمرین پلایومتریک و ترکیب پلایومتریک 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 پلایومتریک و ترکیبی مشاهده شد. همچنین، آمپلی‌تود عضلهٔ پهن جانبی در گروه پلایومتریک و آمپلی‌تود عضلهٔ 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 پلایومتریک نسبت به گروه کنترل مشاهده شد. تغییرات گروه ترکیبی تفاوت معناداری با گروه کنترل نشان نداد. به هر حال، تغییرات گروه پلایومتریک و ترکیبی تفاوت معناداری با هم نداشتند.

تا آنجا که می‌دانیم پژوهشی اثر تمرین پلایومتریک را با ترکیب پلایومتریک و دو سرعت مقایسه نکرده است. این مسئله مقایسهٔ نتایج را مشکل می‌کند. چندین پژوهش قبلی نشان دادند که تمرین پلایومتریک به‌دلیل استفاده از چرخهٔ کشش کوتاه شدن می‌تواند توانایی دویدن 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) نشان‌دهندهٔ کارایی برنامهٔ پلایومتریک برای بهبود اعمال انفجاری ویژه بود. درصد تغییرات در عملکرد شتاب اولیه بعد از دورهٔ 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 پلایومتریک می‌تواند اجرای دو سرعت را بهبود بخشد (۹). مک‌دونالد و همکاران (۲۰۱۲) افزایش دو سرعت (۱۰ درصد) در مسافت ۵ تا ۱۰ متر در نتیجهٔ شش هفته تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک نشان دادند. سوهایل و همکاران (۲۰۱۰) کاهش معناداری را در زمان دو سرعت ۵ متر در بازیکنان بالغ فوتبال در پی هشت هفته تمرین پلایومتریک در فصل مسابقات نشان دادند (۵). تغییرات گروه پلایومتریک نسبت به گروه کنترل معنادار نبود. در مقابل کیوین و همکاران (۲۰۰۹) اثر دو شیوهٔ تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک نشان ندادند (۵). سواز و همکاران (۲۰۱۲) بهبود معناداری را در عملکرد دو سرعت در پی هفت هفته تمرین پلایومتریک مشاهده نکردند (۲۶). همچنین مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۷) بهبودی در دو ۲۰ متر سرعت با تمرین پلایومتریک را نشان ندادند که برنامهٔ تمرینی پژوهش حاضر بسیار مشابه برنامهٔ آنها بود. این اختلافات ممکن است به‌دلیل 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 به‌دلیل پایین بودن توانایی مهارتی، فشار جسمانی زیادی به بازیکنان در زمان بازی فوتبال وارد نمی‌شود، بنابراین تمرین پلایومتریک می‌تواند اثر بیشتری بر این گروه داشته باشد. تمرین پلایومتریک به‌طور متداول به‌منظور اثر بر اجرای دو سرعت با تمرین وزنه، تمرین ویژهٔ رشته‌های ورزشی و تحریک الکتریکی ترکیب شده است. در صورت ترکیب تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک و وزنه استفاده کرده بودند، مطابق است. به هر حال، مقدار تغییرات دو سرعت گروه ترکیبی با گروه پلایومتریک متفاوت نبود. شایان توجه است که استفاده از کفش‌های ورزشی *Meridian Elyte* طی ترکیب تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک به تنهایی، به همان خوبی ترکیب وزنه و پلایومتریک اجرای دو سرعت را بهبود می‌بخشد که نتایج یافته‌های پژوهش ما این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

آزمون چابکی در پژوهش حاضر به‌دلیل 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 وکل مسافت طی‌شده ۴۰ تا ۵۰ متر بود که برای فوتبال مناسب به‌نظر نمی‌رسد (۲۲). هر سه گروه کاهش معناداری در زمان آزمون چابکی نشان دادند (گروه پلایومتریک ۸/۹۹- درصد، ترکیبی۷/۵۰- درصد و کنترل ۵/۴- درصد). میزان تغییرات بین گروه‌ها معنادار نبود.کاهش زمان آزمون چابکی در گروه کنترل ممکن است به‌دلیل اثر تمرین مهارتی فوتبال یا اثر یادگیری باشد، به‌دلیل اینکه چابکی به غیر از جنبهٔ بدنی یک جنبهٔ شناختی (فرایند تصمیم‌گیری) را نیز شامل می‌شود (۱۹). باید خاطرنشان 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 پلایومتریک با نتایج آنها (۹/۶- درصد) مطابق بود. بیشتر حرکات چابکی نیازمند انتقال سریع عمل درونگرای عضله به برونگرا در عضلات بازکنندهٔ پاست (عملکرد چرخهٔ کشش کوتاه شدن عضله). بنابراین، اظهار شده است که تمرین پلایومتریک می‌تواند زمان تماس پا با زمین را از طریق برون‌ده نیروی عضلانی و کارایی حرکت کاهش دهد، ازاین‌رو تأثیر مثبتی بر اجرای چابکی دارد. بیشتر پژوهش‌های قبلی بهبود در اجرای چابکی را نشان دادند که دامنهٔ این بهبودها از ۱/۵ تا ۱۰/۲ درصد بوده است (۱۹). زمانی‌که پلایومتریک با تمرین وزنه و تمرین ویژهٔ رشته‌های ورزشی ترکیب می‌شود، بهبودهای نسبتا مشابهی (۲/۷ تا ۷/۶ درصد) نسبت به تمرین پلایومتریک به‌تنهایی حاصل می‌شود (۱۹) که نتایج ما در گروه ترکیبی این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

در آزمون‌های توانی شامل CMJ و بوسکو ۵ ثانیه، گروه پلایومتریک و ترکیبی افزایش معناداری را نشان دادند. فراتحلیلی به‌تازگی نشان داده که تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک در نوجوانان نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند (۲۲). تمرین پلایومتریک منحصراً بر چرخهٔ کشش کوتاه شدن عضله استرس وارد می‌کند و فعالیت‌های انفجاری در فوتبال اغلب به انقباض عضلانی درگیر در

چرخهٔ کشش کوتاه‌شدن نیاز دارند (۲۲). ازاین‌رو، در پژوهش حاضر آزمون‌های توانی که این چرخه را درگیر می‌کند، مورد توجه قرار گرفته بود. افزایش در ارتفاع *CMJ* در گروه پلایومتریک (۱۲/۹۵ درصد) با نتایج قبلی بعد از تمرین پلایومتریک در نوجوانان مطابق بود (۲۲). سزار و همکاران (۲۰۰۹) افزایش در ارتفاع *CMJ* در پی هشت هفته تمرین پلایومتریک در بازیکنان نزدیک بلوغ را نشان دادند. جانسون و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی مروری نشان دادند تمرین پلایومتریک ارتفاع پرش کودکان ۷ تا ۱۴ ساله را افزایش می‌دهد (۱۶). همچنین، مک‌کی و هنسچک (۲۰۱۲) نشان دادند که تمرین پلایومتریک عملکرد حرکتی (مانند پرش) را در کودکان قبل از بلوغ بهبود می‌بخشد (۲۱). میزان تغییرات گروه پلایومتریک در ارتفاع *CMJ* نسبت به گروه کنترل معنادار بود ($P\leq ۰/۰۰۷$). به‌طور عمده در برنامهٔ آماده‌سازی ورزشکاران پلایومتریک با دیگر روش‌های تمرینی، اغلب تمرین با وزنه ترکیب می‌شود (۱۹). مارکوویچ و همکاران در پژوهش مروری (۲۰۱۰) نشان دادند که ترکیب پلایومتریک و وزنه تأثیر بیشتری نسبت به تمرین پلایومتریک تنها بر اجرای پرش عمودی دارد. به‌دنبال ترکیب پلایومتریک و وزنه میانگین بهبود *CMJ* ۷/۸ درصد مشاهده شده بود، درحالی‌که میانگین بهبود زمانی‌که پلایومتریک به‌تنهایی به‌کار گرفته شده بود، ۶/۹ درصد بوده است. تغییرات گروه ترکیبی در ارتفاع *CMJ* (۷/۳۰ درصد) نسبت به گروه پلایومتریک متفاوت نبود. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مارکوویچ و همکاران مغایر است. متفاوت نبودن ارتفاع *CMJ* گروه ترکیبی و پلایومتریک شاید به‌دلیل مشابه بودن تمرین پلایومتریک و دو سرعت و همچنین برابری نسبی حجم این دو برنامهٔ تمرینی باشد. هر سه گروه پژوهش حاضر در آزمون بوسکو ۵ ثانیه افزایش داشتند که این افزایش فقط در گروه پلایومتریک (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 پلایومتریک و ترکیب پلایومتریک و دو سرعت را بر آزمون بوسکو ۵ در بازیکنان نزدیک بلوغ فوتبال بررسی می‌کند. تمرین پلایومتریک موجب افزایش نسبی توان عضلانی از دامنهٔ ۲/۴ تا ۳۱/۳ درصد می‌شود. بیشتر پژوهش‌ها در زمینهٔ مقایسهٔ پلایومتریک با ترکیب پلایومتریک و وزنه، تغییر نسبی بیشتری در توان بعد از ترکیب پلایومتریک و وزنه گزارش کرده‌اند. نتایج پژوهش حاضر در گروه ترکیبی با این پژوهش‌ها که ترکیب پلایومتریک و وزنه را به‌کار گرفته بودند، مطابق نبود. این تفاوت شاید به‌دلیل ماهیت مشابه روش تمرین پلایومتریک و دو سرعت باشد. در پژوهش حاضر هر سه گروه در فعالیت عصبی عضلهٔ پهن جانبی افزایش داشتند که این افزایش تنها در گروه پلایومتریک معنادار بود. آمپلی‌تود سیگنال

EMG در گروه پلایومتریک ۳۶/۵۴ درصد، ترکیبی ۵/۰۲ درصد و در گروه کنترل ۶/۱۹ درصد افزایش داشت که افزایش گروه پلایومتریک نسبت به گروه کنترل معنادار بود ($P\leq ۰/۰۴۶$). فعالیت عصبی در عضلهٔ 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 پلایومتریک و قدرتی موجب افزایش معناداری در فعالیت عضلهٔ بازکنندهٔ پا در حداکثر انقباض ایزومتریک می‌شود، همسوست (۱۴، ۱۳)، ولی با گزارش کایرولاینن و همکاران (۲۰۰۵) که نشان دادند تمرین پلایومتریک 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 پلایومتریک فعالیت عصبی عضلهٔ پهن جانبی و تمرین ترکیبی فعالیت عصبی عضلهٔ پهن داخلی را افزایش داد. تا آنجا که می‌دانیم هیچ پژوهشی چنین تغییراتی را گزارش نکرده است که ممکن است به‌دلیل ماهیت برنامهٔ تمرین اجراشده باشد که بیشتر عضلهٔ 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 شبکهٔ 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 پلایومتریک و ترکیبی در دو سرعت ۵، ۱۰ و ۲۰ متر، چابکی، *CMJ*، توان و قدرت همسو با افزایش معنادار در SEMG عضلهٔ پهن جانبی (گروه پلایومتریک) 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 دامنهٔ رفلکس هافمن و درصد تارهای کند تنش را نتیجهٔ تمرین تداخلی پلایومتریک بیان کردند (۲۵) با وجود تناقضات در پژوهش‌های صورت‌گرفته کورمی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی مروری اعلام کردند که حرکات چرخهٔ کشش کوتاه شدن یک رفلکس

کششی را فراخوانی می‌کنند که به افزایش نیروی عضلانی در خلال مرحلهٔ کانسنتریک کمک می‌کند، همچنین تمرین پلایومتریک موجب بهبود فعال‌سازی رفلکس کششی می‌شود (۷). عدم تغییر در رفلکس هافمن در پژوهش حاضر ممکن است به‌دلیل اندازه‌گیری آن در زمان استراحت باشد. اگارد و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که رفلکس هافمن بین ورزشکاران استقامتی و توانی در زمان استراحت احتمالاً به‌دلیل 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 پلایومتریک و ترکیب پلایومتریک و دو سرعت در کوتاه مدت اثر مشابهی بر عملکرد بازیکنان نوجوان فوتبال دارد و این سازگاری‌های ناشی از تمرین پلایومتریک و ترکیب پلایومتریک و دو سرعت هدفمند که به احتمال زیاد منشأ عصبی دارد، به فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر و شلیک عصبی سریع‌تر مربوط است، اگر در برنامهٔ تمرینی فوتبالیست‌های نوجوان گنجانده شود، پیامدهای عملکردی مثبتی به‌همراه 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,Vol50NO,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,Vol17NO,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,Vol35NO,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,Vol32NO,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,Vol78NO,6: pp:522-32.