

تأثیر یک جلسه تمرین پلايومتریك و قدرتی با وزنه بر شاخص‌های زیست شیمیایی، التهابی و عملکردی آزردهی عضلانی در دختران والیبالیست

افشار جعفری^{۱*} - زهرا عابدی^۲ - محمدعلی حسینپور فیضی^۳

۱. دکترای فیزیولوژی ورزشی مولکولی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۲. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۳. دکترای بیولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۲، تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۲/۱۷)

چکیده

با توجه به نگرانی‌ها و تناقضات مربوط به آزردهی عضلانی ناشی از تمرینات پلايومتریك، تحقیق حاضر به منظور مقایسه‌ی تأثیر یک جلسه تمرین پلايومتریك و قدرتی با وزنه بر برخی از شاخص‌های آزردهی عضلانی تأخیری در دختران والیبالیست انجام شد. بنابراین، ۱۴ دختر والیبالیست ۲۸-۱۷ ساله در قالب یک طرح نیمه تجربی دو گروهی با اندازه‌گیری مکرر به طور تصادفی در یک جلسه تمرین قدرتی با وزنه (شش دوره پرس پا و باز کردن زانو با ۷۰٪ یک تکرار بیشینه) یا پلايومتریك (شش دوره پرس عمقی و جانبی با ۷۰٪ ارتفاع پرس بیشینه) تا سرحد واماندگی شرکت کردند. شاخص‌های مربوط به آزردهی عضلانی طی چهار مرحله (۱۰ روز و ۳۰ دقیقه قبل، بلافاصله و ۴۸ ساعت پس از جلسه‌ی تمرین) اندازه‌گیری شد. داده‌ها به صورت میانگین و انحراف استاندارد با استفاده از تحلیل واریانس مکرر و پس‌آزمون بونفرونی در سطح معنی‌داری پنج درصد بررسی شد. احساس درد، تورم، کراتین‌کیناز، لاکتات‌دهیدروژناز و پروتئین واکنشگر-C سرمی در هر دو گروه متعاقب تمرین به طور معنی‌دار افزایش یافت و تا ۴۸ ساعت بالاتر از مقادیر پایه بود ($P < 0.05$). اما انعطاف‌پذیری، قدرت هم‌طول بیشینه و اوج توان عضلات پایین‌تنه در هر دو گروه به طور معنی‌دار کاهش یافت و تا ۴۸ ساعت کمتر از مقادیر اولیه بود ($P < 0.05$). با توجه به میزان بازگشت به حالت اولیه برخی از شاخص‌ها متعاقب تمرین پلايومتریك می‌توان به دختران والیبالیست توصیه کرد که بدون نگرانی از این نوع تمرین استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی

تمرین قدرتی، پلايومتریك، آزردهی عضلانی، پروتئین واکنشگر-C، کراتین کیناز.

مقدمه

(۸،۱۴،۲۱). با این حال، درباره‌ی پاسخ‌های زیست‌شیمیایی، التهابی و عملکردی ناشی از انجام تمرینات پلايومتریک و قدرتی با وزنه، تحقیقات محدود و متناقضی انجام شده است (۴،۸،۱۵،۲۱). لذا، با در نظر گرفتن اهمیت این دو نوع تمرین برای توسعه‌ی توان انفجاری بازیکنان رشته‌ی والیبال و تأثیر پدیده‌ی آزرده‌ی عضلانی تأخیری بر روند تمرینات بدنی، عملکرد و کسب موفقیت‌های ورزشی، مطالعه‌ی حاضر به منظور مقایسه‌ی اثرات یک جلسه تمرین پلايومتریک و قدرتی با وزنه بر تغییرات برخی از شاخص‌های زیست‌شیمیایی (کراتین‌کیناز تام و لاکتات‌دهیدروژناز سرمی)، التهابی (احساس درد، تورم و پروتئین واکنش‌گر-C سرمی) و عملکردی مرتبط با آزرده‌ی عضلانی تأخیری (انعطاف‌پذیری، قدرت هم‌طول و اوج توان عضلانی پایین‌تنه) در دختران والیبالیست انجام شد.

روش تحقیق

طرح حاضر، طبق مفاد کمیته‌ی اخلاق در پژوهش شمال غرب کشور به صورت نیمه تجربی دو گروهی با اندازه‌گیری مکرر طی چهار مرحله (۱۰ روز و ۳۰ دقیقه قبل، بلافاصله و ۴۸ ساعت بعد از انجام تمرینات) انجام شد. جامعه‌ی مورد مطالعه شامل دختران والیبالیست سالم، غیرسیگاری و با سابقه‌ی شرکت در رقابت‌های استانی و کشوری بود که پس از توزیع آگهی مشارکت داوطلبانه (در سطح باشگاه‌های ورزشی) و توضیح روش تحقیق در جلسه‌ی هماهنگی، ۲۰ نفر والیبالیست با دامنه‌ی سن ۱۷-۲۸ سال از بین افراد داوطلب انتخاب شدند. همه‌ی آزمودنی‌های داوطلب، فرم‌های رضایت‌نامه و پرسشنامه‌ی سلامت فردی را در جلسه‌ی هماهنگی تکمیل نمودند. با توجه به نتایج مربوط به پرسشنامه‌ی سلامت دو نفر از آزمودنی‌های هر گروه به دلیل آسیب‌دیدگی کنار گذاشته شدند. سایر آزمودنی‌ها با توجه به سن، سابقه‌ی ورزشی و

توان عضلانی^۱ از جمله عوامل اصلی کسب موفقیت در بسیاری از رشته‌های ورزشی مانند والیبال و بسکتبال به شمار می‌رود. ورزشکاران و مربیان معمولاً به منظور ارتقای توان عضلانی از تمرینات قدرتی با وزنه^۲ یا پلايومتریک^۳ استفاده می‌کنند (۱،۱۳،۲۲). هر چند، بیشتر محققین معتقدند که تمرینات پلايومتریک در رابطه با ارتقای توان عضلانی نسبت به سایر تمرینات توانی مؤثرتر است (۹،۱۵،۱۸،۱۹). اما در برخی از مطالعات اشاره شده که عضلات اسکلتی در حین انقباضات پلايومتریک به دلیل تولید تنش بیشتر در مرحله‌ی کشش از چرخه‌ی کشش-کوتاه‌شدگی^۴ (SSC) مشابه تمرینات مقاومتی برون‌گرا ممکن است باعث بروز آسیب‌های ساختمانی ریز و پاسخ‌های التهابی به شکل آزرده‌ی عضلانی تأخیری^۵ و پیامدهای بعدی آن شود (۱۵،۱۶). آزرده‌ی عضلانی تأخیری حالت ناخوشایندی است که معمولاً ۱۲ الی ۳۶ ساعت پس از فعالیت‌های بدنی غیرمرسوم یا انقباضات نسبتاً شدید و برون‌گرا با علایمی مانند سفتی همراه با درد و تورم یا کاهش برخی از توانمندی‌های جسمانی مانند افت انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی همراه است (۱۲،۱۴). به علاوه، برخی محققین معتقدند که غلظت برخی آنزیم‌های سرمی از جمله کراتین‌کیناز تام^۶، لاکتات‌دهیدروژناز^۷ و شاخص التهابی پروتئین واکنشگر-C^۸ خون محیطی همراه با بروز این پدیده افزایش می‌یابند

1. Muscular Power
5. Delayed onset muscle soreness: DOMS
2. Strength weight training
6. Creatine Kinase: CK
3. Plyometric
7. Lactate dehydrogenase: LDH
4. Stretch-shortening cycle: SSC
8. C-reactive protein: CRP

بیشترین وزنه ای که آزمودنی‌ها بتواند بین ۶ الی ۹ تکرار قبل از واماندگی جابجا کنند و با کمک فرمول برزسکی^۱ تعیین شد.

(۰/۰۲۷۸ × تعداد تکرار تا خستگی) - (۱/۰۲۷۸) / وزنه

جا به جا شده (کیلوگرم) = یک تکرار بیشینه

در حالی که تمرین پلايومتریک با بارکاری نسبتاً برابر در محل سالن بدنسازی با کفپوش ورزشی به صورت شش دوره پرس عمقی و جانبی (با شدت ۷۰٪ ارتفاع پرس بیشینه) تا سرحد واماندگی انجام شد. علاوه بر ثبت زمان و تکرار فعالیت هر یک آزمودنی‌ها، زمان استراحت بین هر مرحله تمرینات قدرتی با وزنه و پلايومتریک به طور یکسان چهار الی پنج دقیقه در نظر گرفته شد. میزان بار کاری گروه پلايومتریک با استفاده از وزن آزمودنی‌ها، فاصله‌ی خط میانی کشکک تا قوزک و میانگین یک تکرار بیشینه آزمودنی‌ها در حرکات پرس پا و باز کردن زانو (طبق فرمول برزسکی) محاسبه و تعیین شد (۷،۱۳،۱۵).

همزمان با اندازه‌گیری شاخص‌های عملکردی مرتبط با آزدگی عضلانی تأخیری (انعطاف‌پذیری عضلات پشت وپایین تنه، قدرت هم‌طول بیشینه و اوج توان عضلات پایین تنه)، نمونه‌های خونی به منظور تعیین شاخص‌های زیست‌شیمیایی (کراتین کیناز تام و لاکتات دهیدروژناز) و التهابی (تورم، احساس درد و پروتئین واکنشگر-C) از ورید پیش‌آرنجی^۲ طی چهار مرحله تهیه شد. تغییرات کراتین کیناز تام و لاکتات دهیدروژناز سرمی با استفاده از کیت‌های شرکت پارس به کمک دستگاه اتوانالایزر (RA ۱۰۰۰) و تغییرات پروتئین واکنشگر-C سرمی نیز با استفاده از کیت پارس آزمون و روش کمی ایمونوتوربیدیمتری با حساسیت بالا^۳ اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری‌های پایه (۱۰ روز قبل از شروع مطالعه) مانند قد، وزن، شاخص توده‌ی بدنی (نسبت وزن به کیلوگرم به مجذور قد به متر)، انعطاف‌پذیری، قدرت هم‌طول بیشینه و توان عضلانی پایین تنه به طور تصادفی در دو گروه همگن هشت نفری تمرین پلايومتریک و قدرتی با وزنه جایگزین شدند. در نهایت، به دلیل عدم همکاری دونفر از آزمودنی‌ها، تمام بررسی‌ها روی دو گروه هفت نفری انجام شد.

به عبارتی، داده‌های مربوط به ۱۴ نفر که تا پایان مطالعه با محقق همکاری کردند؛ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۱). هیچ یک از آزمودنی‌ها طی یک ماه گذشته (قبل از شروع طرح تحقیق) از هیچ گونه دارو یا مکمل ضدالتهابی مانند کافئین، ایبوپروفن و... استفاده نکرده بودند. با این حال، از آزمودنی‌های خواسته شد تا دو روز قبل و بعد از قراردادهای تمرینی از انجام هرگونه فعالیت‌های ورزشی سنگین (بوئژه تمرینات غیرمرسوم یا مقاومتی با انقباضات برون‌گرا) خودداری کنند. در ضمن، رژیم غذایی روزانه با استفاده از پرس‌شنامه‌ی یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته کنترل می‌شد و آخرین وعده‌ی غذایی آزمودنی‌ها (صبحانه) نیز مشابه بود (۱۰). تمام مراحل اجرایی تحقیق در شرایط استاندارد (رطوبت نسبی ۵۵٪، دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد) در فاصله‌ی روزهای ۱۲ الی ۲۰ عادت ماهانه (مرحله لوتئال: مرحله ای که میزان ترشحات هورمون‌های استروژن و پروژسترون و عملکردهای ورزشی نسبتاً بالاست) طی ساعت ۹ الی ۱۱ صبح انجام شد.

آزمودنی‌ها قبل از اجرای تمرینات اصلی، به منظور گرم کردن ۱۰-۵ دقیقه حرکات کششی و نرمشی خاص پایین تنه انجام می‌دادند. تمرینات قدرتی با وزنه شامل شش دوره تمرین بازکردن زانو و پرس پا (با ۷۰٪ یک تکرار بیشینه) تا سرحد واماندگی بود. میزان یک تکرار بیشینه در حرکات بازکردن زانو و پرس پا، ۱۰ روز قبل از اجرای قراردادهای ورزشی و با استفاده از جابجایی

1. Brzycki
2. Antecubital vein
3. Immunoturbidimetric

روش‌های آماری

چگونگی وضعیت توزیع داده‌ها (به شکل میانگین و انحراف استاندارد) با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف) بررسی شد و داده‌های با توزیع طبیعی با کمک آزمون‌های تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر، پس‌آزمون بونفرونی و t مستقل و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS/PASW^۷ تحت ویندوز نسخه ۱۹ در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد.

نتایج و یافته‌های تحقیق

میانگین و انحراف استاندارد همه‌ی شاخص‌های مورد مطالعه طی چهار مرحله اندازه‌گیری در جدول ۲ نشان داده شده است. شاخص‌های زیست‌شیمیایی کراتین‌کیناز و لاکتات دهیدروژناز سرمی به همراه شاخص‌های التهابی پروتئین واکنشگر-C سرمی، تورم و احساس درد پس از انجام تمرینات پلايومتریک و قدرتی با وزنه به طور معنی‌دار افزایش یافت ($P < 0/05$). اما، شاخص‌های عملکردی انعطاف‌پذیری پشت و پایین تنه، قدرت هم‌طول عضلات پشت و جلوی ران و اوج توان عضلانی پایین تنه بلافاصله پس از انجام تمرینات به طور معنی‌دار کاهش پیدا کردند ($P < 0/05$). با این حال، روند تغییرات شاخص‌های قدرت هم‌طول عضلات پشت و جلوی ران همراه با اوج توان عضلانی پایین تنه و لاکتات دهیدروژناز سرمی در هر دو گروه طوری بود که ۴۸ ساعت پس از قراردادهای تمرینی به مقادیر اولیه نزدیک شدند. اما افت انعطاف‌پذیری عضلات پشت و پایین تنه و افزایش شاخص‌های تورم، احساس درد، پروتئین واکنشگر-C و کراتین‌کیناز تام سرمی به صورت پیش‌رونده تا ۴۸ ساعت پس از قراردادهای تمرینی ادامه یافت. با این حال، هیچ

تورم عضلات پایین تنه با اندازه‌گیری دور ران راست و با استفاده از متر نواری منعطف تعیین شد. برای این کار از آزمودنی در حالت نشسته (روی صندلی) خواسته می‌شد تا پایش را در حالت شل و به موازات سطح زمین نگه دارد. سپس، نقطه‌ی میانی بین سر کشک و تاج خاصره به عنوان دور ران اندازه‌گیری و ثبت می‌شد (۱۳،۱۵).

احساس درد^۱ یا درک آزدگی با استفاده از مقیاس درجه‌بندی ترسیمی شدت درد تالاگ^۲ اندازه‌گیری شد. وضعیت آزمودنی را در هفت حالت از مقیاس صفر تا ۱۲ و بر اساس گفته‌های خود آزمودنی حین خم کردن فعالانه‌ی زانو ثبت می‌شد (۱۲،۱۴،۱۵). میزان انعطاف‌پذیری یا دامنه‌ی حرکتی عضلات پشت و پایین تنه با استفاده از آزمون نشستن و رساندن دست‌ها به انگشتان پا^۳ تعیین شد (۱۴).

قدرت هم‌طول بیشینه‌ی پایین تنه‌ی (عضلات جلو و پشت ران) در دو حالت ایستاده (پشت به دیوار با بدن قائم و صاف) و خوابیده (روی دستگاه بدن‌سازی تقویت عضلات پشت ران) به کمک دستگاه نیروسنج دیجیتالی یا گامی^۴ در وضعیت زانوهای نسبتاً خمیده (۱۳۰ تا ۱۴۰ درجه) طی مدت پنج ثانیه اندازه‌گیری شد (۱۲،۱۴،۱۵).

اوج توان عضلانی پایین تنه نیز با استفاده از آزمون پرش عمودی تعیین شد (۷). به طوری که میزان پرش عمودی (به سانتی‌متر) با استفاده از فرمول سایر^۵ و همکاران به برونده اوج توان بی‌هوازی^۶ یا اوج توان عضلانی پایین تنه با واحد وات تبدیل شد (۲۵).

1. Perceived Pain
2. Talag pain Scale
3. Wells & Dillon test
4. Dynamometer, YAGAMI, TY-300i, Nagoya, Japan
5. Sayers
6. Peak Anaerobic Power output: PAPW

گونه تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده اندازه‌گیری مشاهده نشد ($P > 0.05$).
در دو گروه پلايومتریک و قدرتی با وزنه در طی مراحل

جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها به تفکیک گروه‌های مورد مطالعه

| گروه‌ها | سن | شاخص توده‌ی بدن |
|--------------------|--------------|-----------------|
| تمرین پلايومتریک | ۲۲/۷۱ ± ۳/۲۵ | ۲۰/۳۹ ± ۱/۶۴ |
| تمرین قدرتی باوزنه | ۲۲/۵۷ ± ۲/۵۰ | ۲۱/۹۵ ± ۲/۹ |

جدول ۲. مقایسه‌ی شاخص‌های آزردهی عضلانی تأخیری پس از یک جلسه تمرین پلايومتریک و قدرتی با وزنه

| شاخص‌ها و گروه‌ها | مراحل اندازه‌گیری | ۱۰ روز قبل از تمرین | ۳۰ دقیقه قبل از تمرین | بلافاصله پس از ۴۸ ساعت پس از تمرین |
|--|-------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|
| کراتین کیناز تام سرم (واحد/لیتر) | پلايومتریک | ۶۸ ± ۷/۱۳ | ۶۶/۱۴ ± ۶/۸۸ | ۱۰۶/۱۴ ± ۱۰/۶۴* |
| | قدرتی | ۶۷/۸۵ ± ۶/۰۴ | ۶۸/۴۲ ± ۵/۳۸ | ۹۶/۴۲ ± ۵/۰۸* |
| لاکتات دهیدروژناز سرم (واحد/لیتر) | پلايومتریک | ۲۷۴/۱۴ ± ۱۵/۰۳ | ۲۷۸/۱۴ ± ۱۶/۱۵ | ۳۴۹/۷۱ ± ۱۵/۰۵* |
| | قدرتی | ۲۸۴/۱۴ ± ۱۱/۳۱ | ۲۸۷/۸۵ ± ۱۰/۵۷ | ۳۶۵/۰۰ ± ۵/۹۲* |
| پروتئین واکنشگر - C سرم (میلی گرم/لیتر) | پلايومتریک | ۰/۳۵ ± ۰/۰۷۵ | ۰/۳۷ ± ۰/۰۶۸ | ۰/۶۰ ± ۰/۱۲۳* |
| | قدرتی | ۰/۳۷ ± ۰/۰۷۷ | ۰/۳۸ ± ۰/۰۷۹ | ۰/۵۸ ± ۰/۰۹۳* |
| محیط‌دور ران (سانتی متر) | پلايومتریک | ۴۶/۷۱ ± ۰/۶۸ | ۴۶/۷۸ ± ۰/۶۳ | ۴۸/۰۷ ± ۰/۶۴† |
| | قدرتی | ۴۶/۵۷ ± ۲/۰۷ | ۴۶/۵۰ ± ۱/۹۰ | ۴۷/۸۵ ± ۲/۱۱* |
| احساس درد (واحد مقیاس تالاگ) | پلايومتریک | ۰/۰ (بدون درد) | ۰/۰ (بدون درد) | ۱/۲۸ ± ۰/۴۷* |
| | قدرتی | ۰/۰ (بدون درد) | ۰/۰ (بدون درد) | ۲/۰۰ ± ۰/۴۳* |
| انعطاف‌پذیری پشت و پایین تنه (سانتی متر) | پلايومتریک | ۱۹/۱۴ ± ۳/۱۶ | ۱۹/۱۴ ± ۳/۲۴ | ۱۸/۹۲ ± ۳/۰۳* |
| | قدرتی | ۱۷/۸۵ ± ۱/۶۶ | ۱۸/۰۰ ± ۱/۷۸ | ۱۶/۵۱ ± ۱/۸۴* |
| قدرت هم‌طول جلو ران (کیلوگرم) | پلايومتریک | ۸۱/۱۴ ± ۲۲/۹۰ | ۸۱/۷۱ ± ۲۲/۵۸ | ۷۱/۷۷ ± ۲۰/۷۵* |
| | قدرتی | ۸۰/۲۸ ± ۲۶/۰۸ | ۸۰/۸۱ ± ۲۶/۳۹ | ۷۲/۸۷ ± ۲۳/۸۱* |
| قدرت هم‌طول پشت ران (کیلوگرم) | پلايومتریک | ۳۳/۷۸ ± ۴/۱۸ | ۳۳/۶۰ ± ۴/۰۲ | ۲۹/۶۲ ± ۲/۴۶* |
| | قدرتی | ۳۶/۱۴ ± ۳/۳۵ | ۳۶/۱۲ ± ۳/۲۶ | ۳۳/۹۳ ± ۴/۳۸* |
| پرش سارجنت (سانتی متر) | پلايومتریک | ۳۳/۵۷ ± ۴/۶۴ | ۳۳/۱۴ ± ۴/۵۹ | ۳۱/۳۴ ± ۴/۱۰* |
| | قدرتی | ۳۱/۱۴ ± ۴/۲۵ | ۳۱/۲۸ ± ۴/۰۲ | ۲۷/۹۵ ± ۴/۱۰* |
| اوج توان عضلانی پایین تنه (وات) | پلايومتریک | ۲۴۳۷ ± ۳۳۵ | ۲۴۰۶ ± ۳۳۳ | ۲۲۹۶ ± ۳۰۰* |
| | قدرتی | ۲۴۷۴ ± ۳۳۸ | ۲۴۸۷ ± ۳۳۰ | ۲۲۸۴ ± ۳۳۵* |

* $P < 0.05$ مراحل سه و دو † $P < 0.05$ مراحل چهار و دو

بحث و نتیجه‌گیری

پلايومتریک شدید باعث کاهش ۲۴ الی ۴۸ ساعته‌ی دامنه‌ی حرکتی و ارتفاع پرش عمودی (توان عضلانی) می‌شود، اما هیچ‌گونه تأثیری بر قدرت هم‌طول بیشینه ۲۴ الی ۴۸ ساعت بعد ندارد (۴). در حالی که توفاس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی مردان غیرورزشکار پس از اجرای دو سری تمرین پلايومتریک پرش از روی جعبه‌ی ۵۰ سانتی‌متری مستقر روی تشک‌های ورزشی (هشت

یافته‌های تحقیق حاضر مبنی بر افت بلافاصله و ۴۸ ساعته‌ی شاخص‌های عملکردی آزردهی عضلانی متعاقب تمرین قدرتی با وزنه و پلايومتریک با نتایج برخی مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد (۸، ۱۴، ۱۵، ۲۳). هر چند در مواردی هم در تناقض است. به طوری که کاتزینکولا^۱ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که یک وهله فعالیت حاد

مرحله‌ی ۱۲ تایی) اشاره داشتند که دامنه‌ی حرکتی و قدرت هم‌طول بیشینه تغییری نمی‌کند (۲۶).

به هر حال، نتایج مطالعه‌ی حاضر می‌تواند تأییدی بر این نکته اشاره باشد که احتمالاً پارگی‌های ریز (سارکوپلاسمی و سارکولمایی) ناشی از بخش برون‌گرایی تمرینات پلائیومتریک و قدرتی با وزنه ممکن است با تجمع کلسیم درون سلولی (تشدید فرآیند پروتئولیز)، هجوم نوتروفیل‌ها و نفوذ منوسیت‌ها (تولید پروستاگلاندین E₂، هیستامین و برادی‌کینین) باعث تورم، سفتی، تحریک پایانه‌های عصبی آوران گروه چهار موجود در بین تارهای عضلانی (بروز درد و حساسیت عضلانی) و در نهایت افت برخی توانمندی‌های جسمانی (دامنه‌ی حرکتی، قدرت و توان عضلانی) شود. به عبارتی، ایجاد حلقه‌ی معیوب درد (پدیده‌ی دردناکی) در عضلات درگیر موجب کاهش تمایل فرد برای مقابله با اسپاسم عضلانی (کوتاه‌شدگی خود به خودی) یا اعمال نیروی بیشینه در کل دامنه‌ی حرکتی خواهد شد (۲۳، ۱۴).

با این حال، تناقضات ممکن است ناشی از عوامل متعددی مانند سن، آمادگی قبلی، وضعیت مکان ورزشی، گروه‌های عضلانی درگیر، شدت، مدت تمرین، تکنیک‌ها و زمان اندازه‌گیری ... باشد. به عنوان مثال، مارگینسون^۱ و همکاران (۲۰۰۵) با هدف مقایسه بین مردان ۲۰ تا ۲۹ ساله و پسران ۹ تا ۱۰ ساله اشاره داشتند که اجرای دو سری تمرین پلائیومتریک (۸ مرحله‌ی ۱۰ تایی) طی دو هفته‌ی متوالی سبب کاهش قدرت هم‌طول عضله چهارسر رانی و ارتفاع پرش عمودی می‌شود، البته، میزان کاهش در کودکان نسبت به افراد بزرگسال کمتر می‌باشد (۱۷). به هر حال، باید اذعان داشت که شدت تمرینات در برخی از تحقیقات قبلی بدون توجه به تفاوت‌های فردی در نظر گرفته شده است. در حالی که شدت تمرین پلائیومتریک

در تحقیق حاضر مشابه جامورتاس^۲ و همکاران (۲۰۰۰) در حدود ۷۰ درصد اوج ارتفاع پرش برای همه یکسان در نظر گرفته شد (۱۵). به علاوه، محققان معتقدند که استفاده از تمرینات نسبتاً شدید و ماندگار روی سطوح سخت مانند کفپوش ورزشی در مقایسه با تمرین روی تشک ورزشی و یا در داخل آب می‌تواند در بروز و تداوم علایم آزدگی عضلانی تأخیر مؤثرتر باشد. زیرا، تمرین پلائیومتریک روی سطوح سخت باعث طولانی‌تر شدن مرحله‌ی کشش و برون‌گرایی چرخه‌ی کشش - کوتاه‌شدگی می‌شود (۴، ۱۵). در این راستا، نتایج ایمپلیزری^۳ و همکاران (۲۰۰۸) حاکی است که میزان آزدگی عضلانی ناشی از تمرینات پلائیومتریک روی چمن و ماسه به طور قابل توجهی کمتر از سطوح سخت می‌باشد (۱۱). به علاوه، نتایج تحقیق برن^۴ و همکاران (۲۰۰۲) در راستای بررسی اثر انواع تمرینات پلائیومتریک بر برخی از شاخص عملکردی آزدگی عضلانی (توان عضلانی) حاکی است که میزان افت پرش عمودی متعاقب یک سری پرش اسکات (۱۰ مرحله‌ی ۱۰ تایی) نسبت به پرش عمودی معکوس و پرش عمقی بیشتر است (۳). با این حال، برخی محققین مانند چن^۵ و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند میزان آزدگی عضلانی در اندام‌ها و گروه‌های عضلانی متعاقب انجام تمرینات برون‌گرا متفاوت است. طبق گزارش این گروه تحقیقاتی، افت دامنه‌ی حرکتی و قدرت هم‌طول عضلات خم‌کننده و بازکننده‌ی آرنج در مقایسه با زانو بیشتر بوده و بازگشت به حالت اولیه عضلات اندام فوقانی نیز دیرتر رخ می‌دهد (۵). البته، براساس گزارش چن و همکاران، این پدیده ممکن است ناشی از بکارگیری بیشتر عضلات اندام تحتانی در فعالیت‌های روزانه و بروز

2. Jamurtas

3. Impellizzeri

4. Byrne

5. Chen

1. Marginson

و تا ۴۸ ساعت بعد همچنان بیشتر از مقادیر پایه‌ی قبل از تمرین است (۴،۱۲،۱۴). در این راستا، کاتزینکولا و همکاران اشاره داشتند که سطوح آنزیم کراتین‌کیناز سرمی متعاقب یک وهله تمرین پلايومتریک شدید تا ۴۸ ساعت افزایش می‌یابد و اوج افزایش لاکتات دهیدروژناز ۲۴ ساعت پس از تمرین است (۴). نتایج جامورتاس و همکاران (۲۰۰۰) نیز حاکی است که هر دو نوع تمرین قدرتی برون‌گرا و پلايومتریک سبب افزایش معنی‌دار سطوح کراتین‌کیناز سرمی در ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از تمرین می‌شود و تفاوتی بین این دو نوع تمرین وجود ندارد (۱۵). در حالی که نتایج فاتورس^۳ و همکاران (۲۰۰۳) حاکی است که زمان اوج افزایش آنزیم لاکتات دهیدروژناز سرمی متعاقب تمرینات مقامتی و پلايومتریک (۲۴ در مقابل ۴۸ ساعت) متفاوت است (۸). به علاوه، نتایج مطالعه‌ی توفاس و همکاران طی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از یک جلسه تمرین پلايومتریک حاکی است که افزایش لاکتات دهیدروژناز و کراتین‌کیناز به ترتیب پس از ۴۸ و ۷۲ ساعت به اوج خواهد رسید (۲۶). در حالی که میلیاس^۴ و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی آسیب عضلانی ناشی از تمرینات برون‌گرای خم‌کننده‌ی آرنج نشان دادند که افزایش لاکتات دهیدروژناز پس از ۹۶ ساعت به اوج می‌رسد (۲۰). به هر حال، نتایج بیشتر تحقیقات حاکی است که سطوح آنزیم‌های سرمی متعاقب تمرینات مقامتی و پلايومتریک با یک دامنه‌ی ۲۴ الی ۹۶ ساعته افزایش می‌یابند و تفاوت موجود در میزان و زمان اوج افزایش این آنزیم‌ها ممکن است ناشی از اعمال انواع تمرینات (با شدت، مدت و گروه‌های عضلانی مختلف) و وضعیت آمادگی یا سابقه‌ی تمرینی آزمودنی‌ها باشد (۴،۱۵،۱۶،۱۷،۲۱). به عنوان مثال، میاما^۵ و نوساکا^۶

سازگاری ناشی از تکرار فعالیت^۱ باشد (۵). به هر حال، زمان اوج افت شاخص‌های عملکردی آزدگی عضلانی تأخیری پس از انجام تمرینات پلايومتریک و زمان بازگشت آنها در مطالعات قبلی به طور متفاوت بین ۲۴ الی ۷۲ ساعت گزارش شده است. به عنوان، مثال، در برخی مطالعات اشاره شده که افت قدرت عضلانی از یک ساعت پس از انجام تمرین شروع شده و تا ۲۴ ساعت پس از تمرین ادامه می‌یابد. اما، برخی از محققین بیشترین میزان افت قدرت عضلات درگیر در فاصله‌ی زمانی بین ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تمرین گزارش کرده اند و حتی در برخی از گزارش‌ها اشاره شده که افت قدرت عضلانی متعاقب تمرینات مقامتی (بویژه برون‌گرا) ممکن است تا شش روز ادامه پیدا کند (۳،۴،۱۵،۱۶،۱۷،۲۱). البته، نتایج مطالعه‌ی حاضر با در نظر گرفتن محدودیت عدم اندازه‌گیری پاسخ‌های زمانی^۲ بیشتر از ۴۸ ساعت حاکی است که شاخص‌های عملکردی قدرت و توان عضلانی (به غیر از دامنه‌ی حرکتی) پس از ۴۸ ساعت به مقادیر اولیه نزدیک می‌شوند. اما نتایج گروه کاتزینکولا (۲۰۱۰) حاکی است که میزان توان عضلانی (ارتفاع پرش اسکات و عمودی معکوس) تا ۷۲ ساعت پس از تمرینات پلايومتریک همچنان کمتر از مقادیر اولیه می‌باشد (۴). به هر حال، این موضوع ممکن است با پاسخ‌های تأخیری ناشی از آسیب‌های سارکولمایی و سارکوپلاسمایی (انتشار مواد پروتئینی درون سلولی به فضای خارج سلولی و آبشارهای التهابی) در ارتباط باشد. به طوری که نتایج حاضر در تأیید برخی مطالعات قبلی حاکی است که آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات دهیدروژناز سرمی به عنوان شاخص‌های زیست‌شیمیایی فشار مکانیکی-متابولیکی و آزدگی عضلانی بلافاصله پس از تمرینات پلايومتریک و قدرتی با وزنه به طور معنی‌دار افزایش یافته

3. Fatouros
4. Milias
5. Miyama

1. Repeated bout effect
2. Time course response

است با اعمال فشار مکانیکی- متابولیکی و تشدید پروتئولیز سلولی موجب ترشح کالپاین^۳، فعال‌سازی عامل نسخه‌برداری کاپابی (NF-kB) و سایر عوامل پیش‌التهابی مانند عامل نکروز-آلفا و اینترلوکین-۶ موضعی (درون عضلانی) یا خارج سلولی شود (۲۴). افزایش اینترلوکین-۶ خارج سلولی نیز در فاصله‌ی ۱۲ الی ۳۶ ساعت با تحریک هیپاتوسیت‌ها موجب افزایش پروتئین واکنشگر-C، هجوم ثانویه لکوسیت‌ها (نوتروفیل‌ها و منوسیت‌ها) به محل آسیب، بروز تورم و احساس درد عضلانی می‌شود (۱۴،۲۳،۲۴). به هر حال، تداوم افزایش ۴۸ ساعته‌ی شاخص‌های التهابی در مطالعه‌ی حاضر ممکن است ناشی از تأثیر پاسخ‌های زیست‌شیمیایی متعاقب تمرینات ومانده‌ساز پلايومتریک و مقاومتی با وزنه باشد. زیرا، میلیاس و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی آسیب عضلانی ناشی از تمرین برون‌گرا در خم‌کننده‌های آرنج نشان دادند که تفاوت معنی‌داری در مقادیر پروتئین واکنشگر-C در ۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از تمرین وجود ندارد (۲۰). به عبارتی، احتمالاً فشار تمرینات غیروامانده‌ساز گروه تحقیقاتی میلیاس به حدی نبوده که باعث تغییرات ساختار عضلانی و بروز پاسخ‌های التهابی مانند افزایش پروتئین واکنشگر-C خون آزمودنی‌ها شود (۲۰،۱۳،۲۴).

با توجه به اینکه پاسخ شاخص‌های زیست‌شیمیایی و التهابی دختران والیبالیست پس از انجام تمرینات پلايومتریک و قدرتی باوزنه در محدوده‌ی نرمال و طبیعی مربوط به ورزشکاران سالم قرار داشت، به مریبان و بازیکنان والیبالیست می‌توان توصیه کرد که بدون نگرانی از بروز آسیب جدی و التهاب عضلانی به منظور پیشبرد و توسعه‌ی توان انفجاری از این تمرینات استفاده نمایند. البته، با توجه به میزان بازگشت به حالت اولیه مقادیر

نوساکا^۱ (۲۰۰۴) با بررسی پنج مرحله پرش عمقی ۲۰ تایی از ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری طی دو سری تمرین (با فاصله‌ی هشت هفته) نشان دادند که افزایش سطوح کراتین‌کیناز سرمی بلافاصله، یک، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تمرین سری اول پایین‌تر از سری دوم است (۲۱).

به هر حال، برخی محققین معتقدند که همواره یکسری پاسخ التهابی تنظیم‌کننده موضعی و سیستمیک در راستای ترمیم یا بهبودی آسیب‌های ریز ساختاری ناشی از تمرینات بدنی نسبتاً شدید آغاز می‌شود (۴،۵،۸،۲۳،۲۴). نتایج مطالعه‌ی حاضر نیز ضمن تأیید برخی از یافته‌های قبلی حاکی است که شاخص‌های التهابی تورم دور ران، احساس درد و پروتئین واکنشگر-C سرمی بلافاصله پس از تمرینات قدرتی با وزنه و پلايومتریک افزایش یافته و تا ۴۸ ساعت بعد همچنان بالاتر از مقادیر اولیه‌ی قبل از تمرینات است. البته، میزان پروتئین واکنشگر-C سرمی پایین‌تر از مقادیر طبیعی مربوط به افراد سالم است (۳ میلی‌گرم/لیتر). در این راستا، کاتزینکولا و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که پروتئین واکنشگر-C سرمی بلافاصله پس از تمرین افزایش یافته و پس از ۲۴ ساعت به اوج می‌رسد، اما پس از گذشت ۴۸ ساعت به مقادیر پایه نزدیک می‌شود (۴). در حالی که دیوسیت^۲ و همکاران (۲۰۰۷) اوج افزایش پروتئین واکنشگر-C را ۴۸ ساعت پس از تمرین اعلام کرد (۶). به هر حال، نتایج مطالعات قبلی حاکی است که اوج افزایش پروتئین واکنشگر-C سرمی با یک تأخیر ۱۶ الی ۲۴ ساعته متعاقب فعالیت‌های ورزشی رخ می‌دهد. ظهور و افزایش این شاخص نیز به شدت، مدت، نوع فعالیت‌های ورزشی و نوع انقباضات عضلانی (درون‌گرا در برابر برون‌گرا) یا آسیب‌های ریز بافتی بستگی دارد (۴،۶،۱۴). به هر ترتیب، فعالیت‌های ورزشی شدید و ومانده‌ساز ممکن

1. Nosaka
2. Dousset

3. Calpain

سپاس‌گزاری

این مقاله براساس پایان‌نامه‌ی سرکار خانم زهرا عابدی کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی از دانشکده‌ی تربیت‌بدنی و علوم ورزشی و با حمایت مالی اداره‌ی تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز تهیه شده است. لذا از همکاری مسئولان محترم دانشگاه تبریز و کلیه‌ی دختران والیبالیست شرکت‌کننده‌ی در مطالعه‌ی حاضر، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌گردد.

برخی از شاخص‌های آزدگی عضلانی تاخیری پس از انجام تمرینات پلايومتریک به مریبان و دختران والیبالیست توصیه می‌شود تا در راستای ارتقاء و حفظ توان انفجاری پاها از تمرینات پلايومتریک استفاده نمایند. در نهایت، با توجه به ادامه‌ی روند افزایش شاخص‌های آسیب و التهاب عضلانی تا ۴۸ ساعت پس از تمرین، به مریبان و بازیکنان والیبال توصیه می‌شود زمان مناسبی برای فرآیند بازگشت به حالت اولیه یا ترمیم بافتی در نظر گرفته شود.

منابع و مأخذ

1. Aagaard P. (2010). **The use of eccentric strength training to enhance maximal muscle strength, explosive force (RDF) and muscular power-consequences for athletic performance.** Open Sports Sciences Journal. 3: 52-55.
2. Barquilha G, Uchida MC, Santos VC, Moura NR, Lambertucci RH, Hatanaka E, et al. (2011). **Characterization of the effects of one maximal repetition test on muscle injury and inflammation markers .** WebmedCentral PHYSIOLOGY.. 2(3):WMC001717.
3. Byrne C, Eston R. (2002). **The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance.** Journal of sports sciences. 20(5): 417-25.
4. Chatzinikolaou A, Fatouros IG, Gourgoulis V, Avloniti A, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, et al. (2010). **Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise.** The Journal of Strength & Conditioning Research. 24(5):1389-98.
5. Chen TC, Lin KY, Chen HL, Lin MJ, Nosaka K. (2011). **Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles.** European journal of applied physiology. 111(2): 211-23.
6. Dousset E, Avela J, Ishikawa M, Kallio J, Kuitunen S, Kyrüläinen H, et al. (2007). **Bimodal recovery pattern in human skeletal muscle induced by exhaustive stretch-shortening cycle exercise.** Medicine & Science in Sports & Exercise. 39(3):453-460.
7. Ehrman JK editor. American College of Sports Medicine. (2010). **ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription 6th edition.** Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins. Pp 37, 337.
8. Fatouros, A. Chatzinikolaou, V. Gourgoulis, A.Z. Jamurtas, A. Beneka, I. Georgiadis, S. Tokmakidis. (2003). **Acute muscle soreness responses to plyometric and multijoint weight lifting exercises are related to intensity.** American College of Sports Medicine,

- 50th Annual Meeting, San Francisco, CA, USA, June 2003. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 35(5): s403.
9. Fatouros IG, Jamurtas AZ, Leontsini D, Taxildaris K, Aggelousis N, Kostopoulos N. (2000). **Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength.** *J Strength Con and Res*. 14(4): 470-479.
 10. Gibson RS. (2005). **Principles of nutritional assessment.** 2nd edition. New York: Oxford University Press. Pp 33-35.
 11. Impellizzeri FM, Castagna C, Rampinini E, Martino F, Fiorini S, Wisloff U. (2008). **Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness, jumping and sprinting ability in soccer players.** *Br J Sports Med*. 42(1):42-6.
 12. Jafari A, Kianmarz V, Roshdi R. (2010). **Effect of static stretching and LPG massage DOMS indices after one session of resistance exercise in non-athlete females.** *Research on Sport Sciences*. 25: 135-148. [Article in Persian]
 13. Jafari A, Saeidi S, Zekri R, Malekirad A. (2012). **Comparison of static and dynamic resistance exercise effects on some functional cardiovascular indices, plasma lactate and peripheral blood leukocytes in healthy untrained women.** *J Shahrekord Univ Med Sci*. 14(1): 66-76. [Article in Persian]
 14. Jafari A, Zamani Sani SH, Purrazi H. (2010). **Effect of resistance exercise with different loads (50% & 70% 1RM) on DOMS indices in non-athlete males.** *Research on Sport Sciences*. 26: 45-60. [Article in Persian]
 15. Jamurtas AZ, Fatouros IG, Buckenmeyer P, Kokkinidis E, Taxildaris K, Kambas A, et al. (2000). **Effects of plyometric exercise on muscle soreness and plasma creatine kinase levels and its comparison with eccentric and concentric exercise.** *J Strength Con and Res*. 14(1): 68-74.
 16. Jamurtas AZ, Theocharis V, Tofas T, Tsiokanos A, Yfanti C, Paschalis V, Koutedakis Y, Nosaka K. (2005). **Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage.** *Euro J Apply Physiology*. 95(2-3): 179-85.
 17. Marginson V, Rowlands AN, Gleeson NP, Eston RG. (2005). **Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys.** *J Appl Physiol*. 99:1174-1181.
 18. Markovic G. (2007). **Does plyometric training improve vertical jump height? A meta analytical review.** *J Sports Med*. 41: 349-355.
 19. Markovic G, Jukic I, Milanovic D, Metikes D. (2007). **Effect of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance.** *J Strength Con and Res*. 21(2): 543-549.
 20. Miliadis GA, Nomikos T, Fragopoulou E, Athanasopoulos S, Antonopoulou S. (2005). **Effects of eccentric exercise-induced muscle injury on blood levels of platelet**

- activating factor (PAF) and other inflammatory markers.** European journal of applied physiology. 95(5): 504-513.
21. Miyama M, Nosaka K. (2004). **Muscle damage and soreness following repeated bouts of consecutive drop jumps.** Advances in Exercise and Sports Physiological. 10:63-69.
 22. Moodi H, Ghiasi F, Afshar M, Akbari A, Harati H, Moodi M et al . (2009). **The effect of one kind of plyometric and aerobic exercises on chest expansion and respiratory volumes in high school students.** J Shahrekord Univ Med Sci. 11 (2): 22-29.
 23. Paulsen G, Cramer R, Benestad Hb, Fjeld Jg, Mørkrid L, Hallén J. (2010). **Time course of leukocyte accumulation in human muscle after eccentric exercise.** Medicine & Science in Sports & Exercise. 42(1):75-85.
 24. Peake JM, Suzuki K, Hordern M, Wilson G, Nosaka K, Coombes JS. (2005). **Plasma cytokine changes in relation to exercise intensity and muscle damage.** Eur J Appl Physiol. 95(5-6): 514-521.
 25. Sayers Sp, Harackiewicz Dv, Harman Ea, Frykman Pn, Rosenstein Mt. (1999). **Cross-validation of three jump power equations.** Medicine & Science in Sports & Exercise. 31(4): 572-577.
 26. Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, et al. (2008). **Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown.** The Journal of Strength & Conditioning Research. 22(2): 490-496.