



Review Article

The Effects of Different Protocols of Plyometric Exercises as Post-Activation Potentiation on Power Performance in Athletes: A Systematic Review on PAP Studies

Iman Niroomand¹, Hamid Rajabi^{2*}, Sadegh Amani³

1. MSc of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Professor of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 31/05/2024, **Revised:** 12/03/2025, **Accepted:** 22/03/2025

* Corresponding Author: Hamid Rajabi, E-mail: hrajabi@khu.ac.ir

How to Cite: Niroomand, I; Rajabi, H; Amani Shalamzari, S. (2024). The Effects of Different Protocols of Plyometric Exercises as Post-Activation Potentiation on Power Performance in Athletes: A Systematic Review on PAP Studies. *Sport Physiology*, 16(62): 122-138. (In Persian).

Extended Abstract

Background and Purpose

Enhancing muscular power capacity in competitive sports that require strength, power, and speed is of great importance. Research has shown that warming up using post-activation potentiation (PAP) can significantly improve athletic performance. Unlike traditional warm-ups, which involve low-intensity aerobic movements and stretching, the PAP method employs maximum or near-maximum intensity speed, plyometric, or resistance exercises. The mechanisms behind PAP include improved neural conduction, increased motor unit recruitment, reduced synaptic inhibition, and mechanical adaptations such as optimized muscle-tendon junction angles. These neuromuscular adaptations are particularly effective in explosive movements like jumping and throwing. Among PAP implementation methods, plyometric exercises are considered a practical and efficient option due to their lack of special equipment requirements, lower fatigue induction, and activation of fast-twitch motor units. However, research findings in this area are inconsistent. Some studies confirm performance improvements, while others report fatigue or no significant effects due to inappropriate exercise volume or intensity. For example, high-volume exercises (such as 70 seconds of continuous tension) may lead to fatigue, whereas protocols with higher repetitions (e.g., 20 jumps) have shown favorable results. This study systematically reviews existing research to examine the variables of volume, intensity, and rest intervals in plyometric exercises, aiming to determine the optimal combination for enhancing power performance. The ultimate goal is to provide practical strategies for designing effective warm-up protocols in strength-speed sports.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Methods & Materials

This systematic review examined research articles published in English between 2007 and 2023, sourced from Scopus, Web of Science, and PubMed up to August 2023, using keywords such as "*post activation potentiation*," "*PAP*," and "*muscle power*." Only peer-reviewed journal articles were included, excluding conference abstracts. Additional manual searches on Google Scholar ensured no relevant studies were missed. Inclusion criteria required participants aged 18–35 with at least two years of training, excluding studies using electrical stimulation or isokinetic dynamometers, and focusing on explosive power performance (e.g., jumps, throws). Two researchers independently extracted and coded data, categorizing plyometric exercises by volume (>20 or <20 reps), intensity (bodyweight-only vs. weighted), and rest intervals (<5 min, 5–10 min, >10 min) between conditioning and main activities. From 1,974 initially identified studies, 20 duplicates and 1,856 irrelevant studies were excluded, leaving 98 for full-text screening, with 24 meeting final eligibility criteria.

Findings

After an initial screening of 1,974 identified studies, duplicate and irrelevant articles were removed, leaving 98 studies for full-text evaluation. Ultimately, 24 eligible studies meeting the inclusion criteria—participants aged 18–35 years, at least two years of training experience, no use of electrical stimulation or isokinetic dynamometer devices, and assessment of explosive power movements—were analyzed. These studies, published between 2007 and 2021, included a total of 309 participants, with sample sizes ranging from 5 to 34 individuals.

The findings revealed that a post-activation potentiation (PAP)-based warm-up protocol using plyometric exercises could enhance athletes' performance if three key factors were considered. First, regarding exercise volume, performing movements with fewer than 20 repetitions demonstrated more positive effects compared to higher repetitions. Second, in terms of exercise intensity, bodyweight plyometric exercises (without additional resistance) were sufficient to induce adequate stimulation and improve power performance. Third, concerning rest intervals, a recovery period of less than 5 minutes between plyometric exercises and the main activity had the most beneficial impact on athletic performance.

Conclusion

This systematic review examined the impact of plyometric exercises used for post-activation potentiation (PAP) on athletes' explosive power performance (e.g., vertical jump height, discus/hammer throw distance). The analysis included 24 studies (309 participants), focusing on competitive athletes with at least two years of training experience. Key findings highlighted the influence of exercise volume, intensity, and rest intervals on PAP effectiveness.

Low-volume plyometrics (<20 reps) as a conditioning activity (CA) enhanced power performance more than high-volume protocols. Excessive repetitions (>20) led to fatigue (e.g., phosphagen depletion, hydrogen ion accumulation), masking PAP benefits. Studies suggest that <10 seconds of tension per set optimizes PAP, whereas prolonged efforts (>70 seconds) impair performance.

Bodyweight plyometrics (no external load) consistently improved power output. Adding resistance reduced movement velocity (inverse force-velocity relationship) and increased fatigue, diminishing

PAP effects. Dynamic contractions in plyometrics may preferentially recruit high-threshold motor units, but excessive loading risks muscle damage (e.g., Z-line disruption) and central fatigue.

A 5-minute rest between plyometrics and the main activity balanced PAP potentiation and fatigue recovery. Shorter rests (<5 min) favored fatigue, while longer rests (>10 min) diminished PAP effects. Unlike heavy resistance training, plyometrics induced faster metabolic recovery (e.g., lactate clearance), justifying shorter rest periods. Athlete fitness level may further modulate optimal recovery timing.

Several limitations warrant consideration when interpreting these findings. The inherent heterogeneity in plyometric exercise selection across studies - encompassing variations in jump types, contact surfaces, and movement amplitudes - introduces some degree of programming ambiguity. Additionally, the reviewed literature demonstrates relative paucity in addressing potential individual response variability based on training status, fiber type distribution, or sex-specific considerations. These areas represent valuable targets for future investigative efforts.

In summary, the preponderance of evidence supports the implementation of plyometric-based PAP protocols characterized by restrained volume (below twenty repetitions), bodyweight resistance, and five-minute recovery intervals as a reliable means of enhancing acute power performance. These findings provide sports practitioners with an evidence-based framework for optimizing warm-up strategies in power-dependent disciplines, while simultaneously highlighting important avenues for continued research into individualized protocol refinement. The consistent demonstration of performance enhancements across diverse athletic populations underscores the practical value of these recommendations for competitive training environments.

Article Message

Preparatory activities used as warm-up protocols in major athletic events to prime the neuromuscular and skeletal systems for optimal explosive performance should be carefully and intelligently selected. Among various speed and strength exercises, plyometric movements are likely a safer option for muscle potentiation. Additionally, these movements require less equipment and space compared to traditional strength and speed exercises.

Once plyometric exercises are chosen as a preparatory activity, it is advisable to perform them with fewer than 20 repetitions using body weight only. Moreover, a rest period of approximately 5 minutes after these exercises is likely sufficient for muscle potentiation.

Keywords: Post Activation Potentiation, Power, Plyometric Exercise, Warm-up

Acknowledgments

We would like to express our sincere gratitude to all those who contributed to and supported this study.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest in writing this article.



فیزیولوژی ورزشی

وبگاه نشریه: <https://spj.ssric.ac.ir>



نوع مقاله: مروری

تأثیر پروتکل‌های مختلف حرکات پلايومتریک به عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی روی عملکرد توانی ورزشکاران: مروری نظام‌مند بر مطالعات ظرفیت‌سازی پس‌فعالی

ایمان نیرومند^۱ , حمید رجبی^{۲*} , صادق امانی شلمزاری^۳ 

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱ تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

*نویسنده مسئول: حمید رجبی، ایمیل: hrajabi@khu.ac.ir

نحوه ارجاع‌دهی: نیرومند، ایمان، رجبی، حمید و امانی شلمزاری، صادق. (۱۴۰۳). تأثیر پروتکل‌های مختلف حرکات پلايومتریک به عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی روی عملکرد توانی ورزشکاران: مروری نظام‌مند بر مطالعات ظرفیت‌سازی پس‌فعالی. فیزیولوژی ورزشی، ۱۶(۶۲): ۱۲۲-۱۳۸.

چکیده

رسیدن به حداکثر توان عضلانی برای اجرای بهترین عملکرد توانی و سرعتی در بسیاری از رویدادهای ورزشی مهم است. نشان داده شده است که ظرفیت‌سازی پس‌فعالی (PAP) در حین گرم کردن مناسب، توان و سرعت ورزشکار را افزایش می‌دهد؛ البته میزان تأثیر فعالیت آماده‌ساز، به پروتکل شدت و حجم آن حرکت و همچنین فاصله استراحت بین آن حرکت و اجرای فعالیت اصلی بستگی دارد. این مطالعه مروری نظام‌مند، تأثیر پروتکل‌های مختلف از نظر حجم، شدت و زمان استراحت بعد از انجام تمرین پلايومتریک را به عنوان یک فعالیت آماده‌ساز (CA) بر عملکرد توان ورزشکاران بررسی کرده است. این مطالعه از تمام اصول بررسی‌های مطالعه مروری نظام‌مند پیروی کرده است. معیارهای واجد شرایط شامل مطالعات متقاطع، تصادفی، غیر تصادفی و متوازن بودند که اثرات ظرفیت‌سازی پس‌فعالی داوطلبانه ناشی از فعالیت پلايومتریک را بر عملکرد توان مشاهده کردند و متغیرهای تمرینی حجم، شدت و زمان استراحت از فعالیت آماده‌ساز تا فعالیت اصلی را گزارش کردند. تجزیه و تحلیل روی ۲۴ مطالعه در پایگاه‌های Scopus، Web of Science و PubMed تا ماه آگوست سال ۲۰۲۳ صورت گرفت که توسط دو محقق به‌طور جداگانه انتخاب شدند. روش تجزیه و تحلیل، استخراج متغیرهای تمرین پلايومتریک (حجم، شدت و فاصله استراحت) از هر مطالعه و مقایسه آن‌ها در ارتباط با رسیدن به ظرفیت‌سازی پس‌فعالی، خستگی یا اثر خنثی بود. این مطالعه مروری نظام‌مند نشان داد که داشتن پروتکل گرم کردن ظرفیت‌سازی پس‌فعالی که با استفاده از حرکات پلايومتریک انجام شود، اثرات مثبت بر عملکرد توانی ورزشکاران ایجاد می‌کند. همچنین تمرین پلايومتریک به عنوان PAP زمانی که با حجم کم (>۲۰ تکرار) و تنها با وزن بدن (مقاومت کم) انجام شود و پس از آن و قبل از انجام حرکت اصلی تا ۵ دقیقه استراحت وجود داشته باشد، تأثیر مثبت بیشتر و مطمئن‌تری بر عملکرد توانی ورزشکاران مشاهده می‌شود؛ بنابراین به ورزشکاران توانی پیشنهاد می‌شود که از حرکات پلايومتریک کم حجم و با وزن بدن که حدود ۵ دقیقه استراحت تا فعالیت اصلی داشته باشد، به عنوان فعالیت آماده‌ساز استفاده کنند.

واژگان کلیدی: ظرفیت‌سازی پس‌فعالی، گرم کردن، عملکرد توانی، حرکات پلايومتریک.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

به حداکثر رساندن ظرفیت توان عضلانی، در بسیاری از رویدادها و ورزش‌های رقابتی که قرار است بهترین عملکرد قدرتی، توانی یا سرعتی به نمایش گذاشته شود، حیاتی است (۱). پژوهشگران نشان داده‌اند، اجرای فعالیت آماده‌ساز^۱ هنگام گرم کردن پدیده‌ای است که می‌تواند منجر به افزایش توان عضلانی و متعاقب آن عملکرد بهتر شود (۲). نام این پدیده، ظرفیت‌سازی پس‌فعالی^۲ (PAP) است که از سال ۱۹۸۹ میلادی به‌عنوان روش گرم کردن و آماده‌سازی عضلانی برای عملکردهای شدید مدنظر پژوهشگران قرار گرفت (۳، ۴).

برای بهره‌مندی از پدیده ظرفیت‌سازی پس‌فعالی به انجام حرکات توانی، قدرتی یا سرعتی نیاز است که با مدل گرم کردن مقدماتی سنتی (حرکات کم شدت) مغایرت دارد. حرکات مقدماتی سنتی معمولاً شامل فعالیت‌های هوازی شدت پایین و مجموعه‌ای از حرکات کششی عضلات اصلی به طور ایستا و پویا است که مدت این گرم کردن‌ها کاملاً متفاوت است و دارای هیچ‌گونه ساختارهای نظام‌مندی نیست (۵)؛ ولی گرم کردن با روش ظرفیت‌سازی پس‌فعالی به انجام حرکت یا حرکاتی در تولید نیروی حداکثر یا نزدیک به حداکثر و توان بالا نیاز دارد؛ به همین دلیل، در این روش از گرم کردن از حرکات سرعتی، پرشی یا مقاومتی استفاده می‌شود (۶). در مجموع، به نظر می‌رسد روش‌های گرم کردن سنتی با استفاده از حرکات کششی، آماده‌سازی بهینه عصبی و عضلانی را به‌ویژه برای ورزش‌های قدرتی و توانی-سرعتی فراهم نمی‌کند و باید روش‌های نوین‌تر مانند ظرفیت‌سازی پس‌فعالی جایگزین شود.

سازوکارهای متفاوتی برای پدیده ظرفیت‌سازی پس‌فعالی مطرح شده است که مهم‌ترین آن‌ها، شواهد مربوط به افزایش در سرعت هدایت تکانه عصبی به عضله، افزایش تعداد واحدهای حرکتی فراخوان‌شده، هم‌زمانی بیشتر واحدهای حرکتی (۷)، برانگیختگی‌های بیشتر به واحدهای حرکتی و کاهش مهار پیش‌سیناپسی (۸) و بهبود تعامل رشته‌های عضله (فسفریله شدن سر میوزین) هستند (۹). یکی دیگر از سازوکارهای احتمالی برای مشارکت در به وجود آمدن ظرفیت‌سازی پس‌فعالی، تغییرات مکانیکی (تغییر زاویه آپونئوروز) است (۸). در مجموع، به نظر می‌رسد ظرفیت‌سازی پس‌فعالی به‌وسیله تغییرات عصبی عضلانی ممکن است به افزایش عملکرد در حرکاتی کمک کند که نیازمند سرعت، قدرت و توان هستند (۱۰). به‌هرحال، برای استفاده از مزایای ظرفیت‌سازی پس‌فعالی، اجرایی بودن پروتکل‌های این پدیده در رویدادهای ورزشی اهمیت بسیاری دارد؛ برای مثال، گزارش‌های متعددی وجود دارد که انجام حداکثر انقباض ایزومتریک و انجام حرکات قدرتی به‌عنوان فعالیت‌های آماده‌ساز، منجر به تحریک عصبی عضلانی شده است (۱۱، ۱۲)؛ اما در بسیاری از زمین‌های مسابقه و رویدادهای ورزشی، تجهیزات حرکات قدرتی حداکثر یا نزدیک به حداکثر دردسترس نیست؛ از این‌رو فعالیت‌هایی که نیاز به تجهیزات خاصی نداشته باشند، کاربردی‌تر به نظر می‌رسند. در همین راستا، در بسیاری از مطالعات، از حرکات پلائیومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز استفاده کرده‌اند و تحریک و فعال‌سازی عصبی عضلانی را پس از این حرکات نشان داده‌اند (۱۷-۱۳). همچنین مطالعه فراتحلیلی که در سال ۲۰۱۶ به چاپ رسید، حرکات پلائیومتریک را حرکات دردسترس‌تر و با خستگی کمتر و با درجه فعال‌سازی بیشتری نسبت به حرکات قدرتی برای بهره‌مندی از پدیده توانمندسازی پس‌فعالی معرفی کرد (۱۸). در آن مطالعه فراتحلیل، نشان داده شد که پس از انجام حرکات پلائیومتریک به‌عنوان توانمندسازی پس‌فعالی، نیاز به استراحت کمتری بود تا عضله به حداکثر توان خود برسد. همچنین اشاره شد، حرکات پلائیومتریک به دلیل اینکه حرکات توانی هستند و در کمترین زمان ممکن موجب جابه‌جایی وزن بدن می‌شوند، فراخوانی واحدهای حرکتی نوع تندانقباض عضلات را در بر دارند که با سازوکارهای

-
1. Conditioning Activity
 2. Post Activation Potentiation

ظرفیت‌سازی پس‌فعالی همخوانی دارد (۱۸)؛ بنابراین به نظر می‌رسد، در بین انواع حرکاتی که در پروتکل گرم کردن با هدف ظرفیت‌سازی پس‌فعالی استفاده می‌شود، حرکات پلايومتریک به‌دلیل خستگی کمتر، نیاز نداشتن به تجهیزات ورزشی و نیاز به فضای کمتر، حرکات بهینه‌تری به شمار می‌آیند.

مرور پژوهش‌ها درباره موضوع اثر بخشی حرکات پلايومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز نشان می‌دهد که چالش‌ها و ناهم‌سویی‌هایی در نتایج وجود دارد. در بیشتر مطالعات، حرکات پلايومتریک منجر به تحریک عصبی‌عضلانی و بهبود عملکرد شده است، اما در تعدادی از پژوهش‌ها، خستگی عضله (کاهش عملکرد) مشاهده شده یا استفاده از این حرکات روی عملکرد بی‌تأثیر بوده است (۱۹، ۱۲)؛ برای مثال، اسفورمس^۱ و همکاران گزارش کردند که انجام حرکات پلايومتریک به‌عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی که مدت تنش عضله در حین اجرای حرکت نزدیک به ۷۰ ثانیه (حجم حرکت بالا) می‌رسد، احتمال رخ دادن خستگی بیشتر از تحریک و ظرفیت‌سازی عضله می‌شود (۱۲). درمقابل، کرت^۲ و همکاران به این نتیجه رسیدند که انجام حرکت پلايومتریک در حجم‌های بیشتر (< تکرار ۲۰) منجر به افزایش عملکرد توانی ورزشکاران می‌شود (۲۰)؛ بنابراین ما فرض را بر این گرفتیم که اگر متغیر حجم، شدت و زمان استراحت در هر حرکت پلايومتریک کمتر یا بیشتر از نقطه تحریک آن باشد، می‌تواند منجر به تحریک نشدن یا خستگی شود. همچنین تقریباً اکثر مطالعاتی که هرکدام به طور جداگانه از یک نوع حرکت پلايومتریک استفاده کرده بودند، از پروتکل‌های مختلف آن حرکت استفاده نکرده بودند. همچنین از آنجاکه مطالعات مروری نظام‌مند در موضوعات مختلف توانسته است جواب فرضیه‌های پژوهشگران را دهد، ما نیز برای دست یافتن به پاسخ در این پژوهش، از روش مرور نظام‌مند استفاده کرده‌ایم و قصد داریم با مقایسه کردن تقریباً تمام مطالعاتی که از حرکات پلايومتریک به‌عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی قبل از انجام فعالیت‌های توانی (حرکات پرشی و پرتابی) استفاده کرده‌اند، به بهترین پروتکل (از نظر حجم، شدت و زمان استراحت) حرکات پلايومتریک به‌عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی دست یابیم.

روش پژوهش

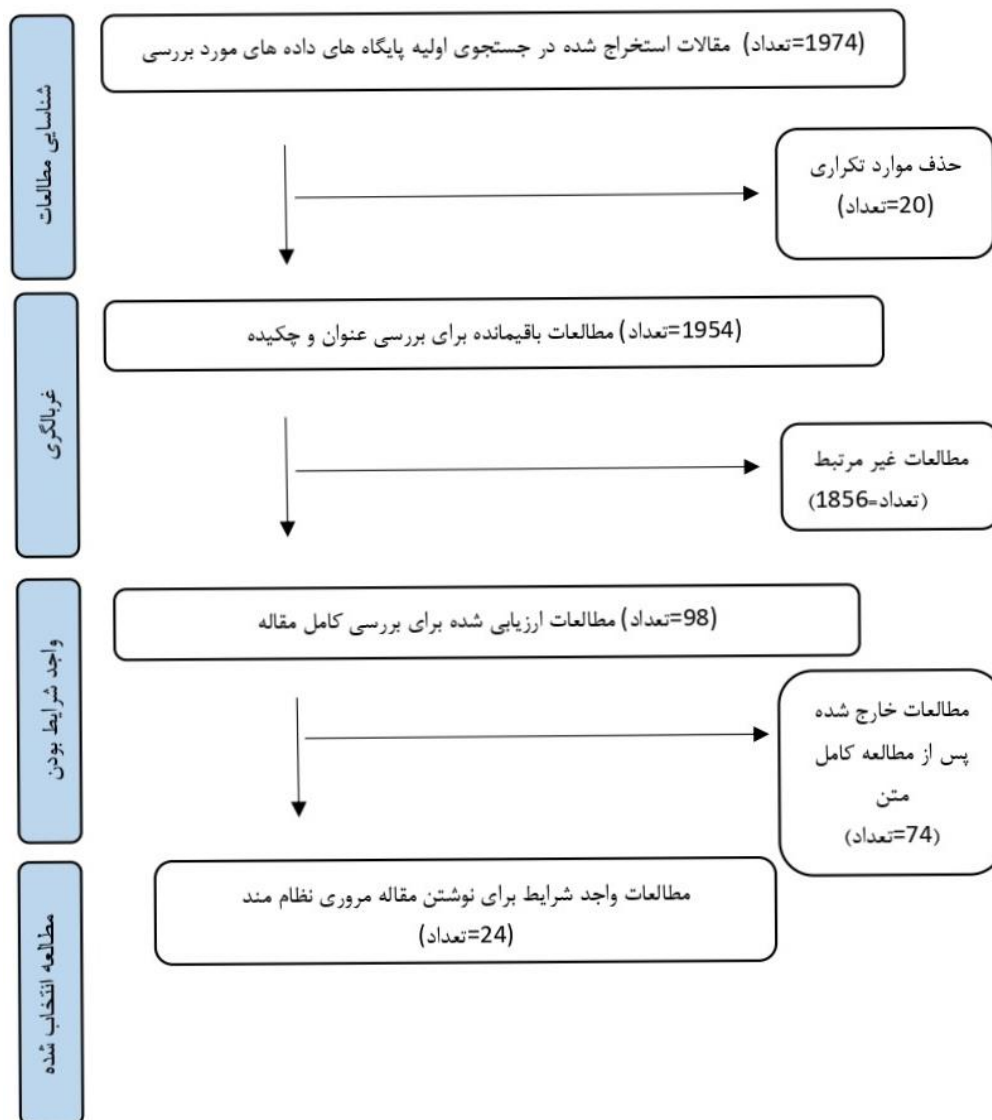
مقاله مروری نظام‌مند حاضر شامل مقالات پژوهشی منتشرشده به زبان انگلیسی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ است. عنوان‌ها و چکیده‌ها در پایگاه‌های داده اسکوپوس^۳، وب آو ساینس^۴ و پابمد^۵ تا آگوست ۲۰۲۳ برای بررسی همه مطالعات پدیدۀ ظرفیت‌سازی پس‌فعالی جستجو شدند. کلمات کلیدی به‌کاررفته عبارت بودند از:

(TITLE-ABS-KEY ("post activation potentiation" OR "post-activation potentiation" OR "PAP") AND TITLE-ABS-KEY ("muscle power" OR "power"))

تنها مقالات انگلیسی که در مجلات معتبر منتشر شده بودند، انتخاب شدند و نقل‌قول‌هایی از همایش‌های علمی مدنظر قرار نگرفت. برای جلوگیری از پنهان بودن هر مطالعه مرتبطی، مطالعات واجد شرایط به شکل دستی از گوگل اسکالر^۶ جستجو و برداشت شدند. مطالعات تصادفی‌شده و غیرتصادفی‌شده که به زبان انگلیسی منتشر شده بودند و شرایط ورود را داشتند، انتخاب شدند. معیارهای ورود عبارت بودند از: ۱- سن افراد بین ۱۸ تا ۳۵ سال باشد؛ ۲- ورزشکاران حداقل دو سال سابقه تمرین داشته باشند؛ ۳- از محرک‌های الکتریکی به‌عنوان مداخله استفاده نشده باشد؛ ۴- برای ارزیابی عملکرد یا برای پروتکل

1. Esformes
2. Kurt
3. Scopus
4. Web of Science
5. PubMed
6. Google Scholar

مداخله، از وسیله دینامومتریک ایزوکینتیک استفاده نشده باشد؛ ۵- عملکردهای پرشی و پرتابی و حرکات توانی انفجاری مرتبط، ارزیابی شده باشد.



شکل ۱- چگونگی انتخاب مقالات
Figure 1 - How to select articles

استخراج داده

دو محقق (ا.ن. و ح.ر.) به طور جداگانه متغیرهای تعدیل کننده متفاوت را از هر مقاله به طور دقیق مطالعه و کدگذاری کردند. متغیرهای مستقل به شکل زیر طبقه بندی شدند:

حرکات پلايومتریک را از نظر حجم به دو دسته بیشتر از ۲۰ تکرار و کمتر از ۲۰ تکرار در نظر گرفتیم.

(۱) حجم: ۲۰ تکرار > و ۲۰ تکرار <

شدت حرکات پلايومتریک به حرکات فقط با وزن بدن (شدت کم) و حرکات پلايومتریک با استفاده از وزنه (شدت بالا) در نظر گرفته شدند.

(۲) شدت: وزن بدن (شدت کم)، وزنه (شدت بالا)
استراحت‌های بین فعالیت آماده‌ساز (CA^1) و فعالیت اصلی (MA^2) به دسته‌های کمتر از ۵ دقیقه، بین ۵ تا ۱۰ دقیقه و بیشتر از ۱۰ دقیقه تقسیم بندی شدند.

(۳) فاصله استراحت: ۱۰ دقیقه >، ۵ تا ۱۰ دقیقه، ۵ دقیقه >

ویژگی‌های مطالعات انتخاب شده

براساس راهبرد انتخاب ذکر شده در شکل (۱)، ۱۹۷۴ مطالعه یافت شد. پس از غربالگری، ۲۰ مطالعه تکراری حذف شدند و ۱۸۵۶ مطالعه که از نظر عنوان و چکیده مرتبط نبودند، کنار گذاشته شدند؛ در نتیجه، ۹۸ مطالعه باقی ماند و ۲۴ مطالعه با استفاده از معیارهای ورود و واجد شرایط بودن پس از غربالگری کامل متن مطالعات، انتخاب شدند. در جدول (۱) ویژگی آزمودنی‌ها خلاصه شده است. در مجموع، ۲۴ مطالعه (با ۳۹ اندازه اثر) شامل ۳۰۹ شرکت‌کننده مدنظر قرار گرفتند که این مطالعات بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۱ منتشر شده بودند. حجم نمونه مطالعات انتخابی از ۵ (۲۵) تا ۳۴ (۱۳) شرکت‌کننده متغیر بود. این مطالعات کارآزمایی تصادفی و غیرتصادفی بودند.

جدول ۱- ویژگی آزمودنی‌ها در هر مطالعه وارد شده

Table 1- Characteristics of subjects in each included study

Heigh (cm) قد	Weight (kg) وزن	Age (y) سن	Gender (n) جنسیت (تعداد)	Country کشور	Year سال	Authors نویسندگان
182.2 ± 6.7	79.0 ± 10.6	21.9 ± 2.0	مرد (34)	اسپانیا	2019	بانا رایا و همکاران (13)
177 ± 0.05	73.7 ± 9.0	23 ± 2.3	مرد (11)	سنگاپور	2019	دنی لوم و همکاران (14)
169.8 ± 6.4	63.3 ± 9.5	21.3 ± 1.5	مرد (20)	هند	2020	هریس و همکاران (16)
172.2 ± 5.1	64.8 ± 7.9	18.6 ± 0.9	مرد (14)	هند	2018	شارما و همکاران (24)
179 ± 4	76.1 ± 8.2	25.1 ± 7.1	مرد (8)	یونان	2016	یوگدانیس و همکاران (26)
171.6 ± 7.0	69.9 ± 13.3	23.0 ± 2.9	زن (6)	ایالات متحده	2017	سون و همکاران (27)
1.97 ± 0.09	92.5 ± 9.2	23.7 ± 1.1	مرد (19)	برزیل	2018	دی سوسا فورتنس و همکاران (28)
	82.9 ± 9.2	20.9 ± 2.3	مرد (13)	ترکیه	2018	کرت و همکاران (29)
184 ± 7	101 ± 11.9	22.4 ± 3.4	مرد (20)	ایرلند	2014	توبین و همکاران (30)
182.5 ± 6.4	83.8 ± 8.4	19.6 ± 0.5	مرد (9)	فلسطین اشغالی	2016	دلو لاکونو و همکاران (31)
169.3 ± 5.4	61.4 ± 5.95	18.8 ± 0.8	زن، مرد (5)	یونان	2015	مارگاریتو پلوس و همکاران (25)
176.4 ± 5.8	73.7 ± 9.22	20.6 ± 2.6	مرد (5)	برزیل	2011	لیما و همکاران (32)
176.8 ± 6.7	76.98 ± 86	22.5 ± 1.7	مرد (20)	ایالات متحده	2010	چاتنگ و همکاران (33)
182.4 ± 4.3	82.7 ± 9.2	22 ± 3	مرد (13)	انگلستان	2010	اسفورمس و همکاران (12)
183.7 ± 4.1	76.9 ± 8.0	22.8 ± 2.7	مرد (12)	اسپانیا	2007	دی ویلا و همکاران (34)
169.4 ± 5.3	66.07 ± 6.42	18.94 ± 7.4	زن (17)	ایالات متحده آمریکا	2011	استیج و همکاران (35)
176.7 ± 5.0	72.1 ± 8.0	18.3 ± 0.7	مرد (12)	انگلستان	2009	تیل و همکاران (36)

1. Conditioning activity

2. Main activity

Heigh (cm) قد	Weight (kg) وزن	Age (y) سن	Gender (n) جنسیت (تعداد)	Country کشور	Year سال	Authors نویسندگان
184±2	113.4±15	26 ± 3	مرد (6)	یونان	2013	کارام پاتسوس و همکاران (37)
173.5 ± 5.5	71.5 ± 6.5	22.5 ± 2	مرد (8)، زن (8)	یونان	2009	ترزیس و همکاران (38)
182 ± 7	110.4 ± 9.4	24 ± 4	مرد (10)	یونان	2012	ترزیس و همکاران (39)
177.3 ± 11.4	81.5±15.1	19.9±1.7	مرد (8)، زن (9)	یونان	2017	کونتو و همکاران (40)
183.5 ± 8.5	89 ± 13.5	22 ± 5	مرد (3)، زن (2)	آلمان	2016	کومل و همکاران (41)
172.1 ± 6.0	70.2 ± 8.3	20.5 ± 1.5	زن (19)	ایالات متحده	2011	آندریوز و همکاران (42)
178.4 ± 7.4	73.6 ± 10.7	20.9 ± 1.6	مرد (10)	تایوان	2013	چن و همکاران (23)

نتایج

پس از انجام جستجوی پیشرفته در دیتابیس‌های PubMed، Scopus و Web of Science، ۱۹۷۴ مطالعه جمع‌آوری شد که با حذف مطالعات تکراری و مطالعاتی که عنوان آنها مرتبط نبود، ۹۸ مطالعه باقی ماند. سپس با خواندن کامل این ۹۸ مقاله و با در نظر گرفتن داشتن معیارهای مدنظر (۱- تجربه تمرینی بیشتر از دو سال افراد شرکت‌کننده، ۲- سن افراد بین ۱۸ تا ۳۵ سال، ۳- از محرک‌های الکتریکی به عنوان مداخله استفاده نشده باشد، ۴- برای ارزیابی عملکرد یا برای پروتکل مداخله، از وسیله دینامومتریک ایزوکینتیک استفاده نشده باشد؛ ۵- عملکردهای پرشی و پرتابی و حرکات توانی انفجاری مرتبط ارزیابی شده باشند) ۲۴ مطالعه باقی ماند.

درمجموع، ۲۴ مطالعه (با ۳۹ اندازه اثر) که شامل ۳۰۹ شرکت‌کننده بود، مدنظر قرار گرفتند. این مطالعات بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۱ منتشر شدند. حجم نمونه مطالعات انتخابی از ۵ (۲۵) تا ۳۴ (۱۳) شرکت‌کننده متغیر بودند. این مطالعات کارآزمایی تصادفی و غیرتصادفی بودند. از هر مطالعه، میانگین ویژگی‌های توصیفی ورزشکاران (قد، وزن، سن، جنسیت و تعداد شرکت‌کنندگان)، متغیرهای مستقل (نوع حرکت پلايومتریک، تعداد تکرار و ست، شدت و فاصله استراحت حرکات پلايومتریک) و متغیر وابسته (تأثیر مثبت، خستگی یا اثر خنثی بر عملکرد توانی) استخراج شده و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج مطالعات نشان داد که پروتکل گرم‌کردنی به نام توانمندسازی پس‌فعالی که با استفاده از حرکات پلايومتریک انجام شود، اثرات مثبت بر عملکرد توانی ورزشکاران ایجاد می‌کند. همچنین در جدول (۲) نتایج اثرگذاری توانمندسازی پس‌فعالی با توجه به مقایسه متغیرهای اثرگذار بر پروتکل حرکت پلايومتریک (حجم، شدت و زمان استراحت) در سه دسته توانمندشده یا اثر مثبت، خستگی یا اثر منفی و بی‌اثر بودن پروتکل مشخص شده‌اند. نتایج و مقایسه یافته‌ها در ارتباط با حجم حرکت پلايومتریک که به بیشتر از ۲۰ تکرار و کمتر از ۲۰ تکرار تقسیم شده بودند، نشان داد که انجام حرکات پلايومتریک برای توانمندسازی پس‌فعالی با اجرای این حرکات در تکرار کمتر از ۲۰، به تحریک منجر شد و اثرگذاری مثبت آن بر اکثر مطالعات تأییدشده بود. در ارتباط با شدت حرکات پلايومتریک که به دو دسته وزن بدن و بیشتر از وزن بدن تقسیم شده بود، مقایسه نتایج نشان داد، در اکثر مطالعاتی که حرکت پلايومتریک بدون استفاده از مقاومت اضافی‌تر و فقط با وزن بدن خود ورزشکار انجام شده بود، شدت به اندازه کافی برای تحریک و توانمندسازی وجود داشت. در ارتباط با مقایسه فاصله‌های زمان استراحت ورزشکاران که به سه دسته تا ۵ دقیقه، از ۵ تا ۱۰ دقیقه و بیشتر ۱۰ دقیقه طبقه‌بندی شدند، جمع‌بندی یافته‌ها حاکی از این بود که زمان استراحت تا قبل از ۵ دقیقه می‌تواند اثر مثبت بیشتری داشته باشد؛ به عبارت دیگر، فاصله زمانی استراحت تا ۵ دقیقه برای توانمندسازی پس از انجام حرکات توانی پلايومتریک کافی است.

جدول ۲- نتایج به‌دست‌آمده از پروتکل‌های مختلف حرکات پلايومتریک به‌عنوان توانمندسازی پس‌فعالی بر عملکرد توان ورزشکاران از هر مطالعه واردشده

Table 2- The results of the different protocols of plyometric exercises as PAP on power performance in athletes from each included study

Result نتیجه	Main Activity حرکت اصلی	Rest Interval فاصله استراحتی	Intervention Intensity شدت مداخله	Intervention volume حجم مداخله	Intervention Type نوع حرکت مداخله	Study مطالعه
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	بانا رایا و همکاران (2019A)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	5 تا 10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	بانا رایا و همکاران (2019B)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	<10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	بانا رایا و همکاران (2019C)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش عمودی معکوس	دنی لوم و همکاران (2020A)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	+وزن بدن	<20	پرش عمودی معکوس	دنی لوم و همکاران (2020B)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	>20	پرش عمودی + پرش از مانع + پرش سقوطی	هریس و همکاران (2021)
بی‌اثر	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	>20	پرش عمودی + پرش از مانع + پرش سقوطی	شارما و همکاران (2018A)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	5 تا 10 دقیقه	وزن بدن	>20	پرش عمودی + پرش از مانع + پرش سقوطی	شارما و همکاران (2018B)
توانمندشده	پرش بلند	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش‌های عمودی برگشتی دوبا	بوگدانیس و همکاران (2017)
توانمندشده	پرش عمودی	>5 دقیقه	+وزن بدن	<20	پرش عمودی	سون و همکاران (2017)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	>20	پرش	دی سوسا فورتنس و همکاران (2018)
توانمندشده	پرش عمودی	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	کرت و همکاران (2018)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	>20	پرش عمودی + پرش از مانع + پرش سقوطی	توبین و همکاران (2014)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	5 تا 10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی عمودی	دلو لاکونو و همکاران (2016)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	5 تا 10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی عمودی	دلو لاکونو و همکاران (2016)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش تاک	مارگاریتوپلوس و همکاران (2015)

Study مطالعه	Intervention Type نوع حرکت مداخله	Intervention volume حجم مداخله	Intervention Intensity شدت مداخله	Rest Interval فاصله استراحتی	Main Activity حرکت اصلی	Result نتیجه
لیما و همکاران (2011A)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی معکوس	خستگی
لیما و همکاران (2011B)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	5 تا 10 دقیقه	پرش عمودی معکوس	بی‌اثر
لیما و همکاران (2011C)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	<10 دقیقه	پرش عمودی معکوس	توانمندشده
چانتنگ و همکاران (2010A)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی	توانمندشده
چانتنگ و همکاران (2010 B)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی	توانمندشده
اسفورمس و همکاران (2010)	ترکیب چند حرکت پرشی	>20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی معکوس	خستگی
دی‌ویلا و همکاران (2007A)	پرش عمودی معکوس	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی معکوس	توانمندشده
دی ویلا و همکاران (2007B)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی معکوس	توانمندشده
دی ویلا و همکاران (2007C)	پرش عمودی معکوس	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش سقوطی	توانمندشده
دی ویلا و همکاران (2007D)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش سقوطی	توانمندشده
استیج و همکاران (2011A)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرش عمودی معکوس	خستگی
استیج و همکاران (2011B)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	5 تا 10 دقیقه	پرش عمودی معکوس	خستگی
تیل و همکاران (2009)	پرش تاک	<20	وزن بدن	5 تا 10 دقیقه	پرش عمودی	بی‌اثر
کارام پاتسوس و همکاران (2013)	پرش عمودی معکوس	<20	وزن بدن	5 تا 10 دقیقه	پرتاب چکش	توانمندشده
ترزیس و همکاران (2009)	پرش سقوطی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	عملکرد پرتابی	توانمندشده
ترزیس و همکاران (2012)	پرش عمودی معکوس	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	عملکرد پرتابی	توانمندشده
کونتو و همکاران (2017A)	شنای پرشی	<20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرتاب وزنه	توانمندشده
کونتو و همکاران (2017B)	پرش عمودی معکوس	>20	وزن بدن	>5 دقیقه	پرتاب وزنه	توانمندشده

Result نتیجه	Main Activity حرکت اصلی	Rest Interval فاصله استراحتی	Intervention Intensity شدت مداخله	Intervention volume حجم مداخله	Intervention Type نوع حرکت مداخله	Study مطالعه
بی‌اثر	پرتاب وزنه	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پريدن (جست زدن)	کونتو و همکاران (2017C)
توانمندشده	پرش سقوطی	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش‌های واکنشی تکراری	کومل و همکاران (2016)
بی‌اثر	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش عمودی معکوس	آندریوز و همکاران (2011)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	>5 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	چن و همکاران (2013A)
توانمندشده	پرش عمودی معکوس	5 تا 10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	چن و همکاران (2013B)
بی‌اثر	پرش عمودی معکوس	<10 دقیقه	وزن بدن	<20	پرش سقوطی	چن و همکاران (2013C)

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش، مطالعه مروری نظام‌مند است که تأثیر متغیرهای مهم تمرینی (حجم، شدت و زمان استراحت) حرکات پلايومتريک را بر عملکرد توان (ارتفاع پرش، مسافت طی شده از پرتاب دیسک و چکش) ورزشکاران بررسی کرده است. آزمودنی‌ها حداقل دو سال تجربه تمرینی داشتند و اکثر آن‌ها ورزشکاران رقابتی بودند که قطعاً کوچکترین جزئیات را برای دستیابی به عملکرد بهتر در نظر می‌گیرند. نتایج کلی این مطالعه مروری روی ۲۴ مطالعه با ۳۰۹ شرکت‌کننده نشان داد که حرکات پلايومتريک به‌عنوان PAP به طور درخور توجهی بر عملکرد توان (ارتفاع پرش عمودی، مسافت پرتاب چکش و دیسک) تأثیر داشته است. علاوه بر این، نتایج زیرگروه‌های متغیرهای مختلف حرکات پلايومتريک (شدت، حجم و زمان استراحت تا حرکت اصلی) نشان داد که این متغیرها در اندازه تأثیر حرکات پلايومتريک به‌عنوان توانمندسازی پس‌فعالی، نقش داشتند.

در تمرینات پلايومتريک، حجم با محاسبه بار، شمارش تعداد تکرارها و ست‌ها اندازه‌گیری می‌شود. یافته‌های مطالعات گذشته نشان داد که حجم کم تمرین پلايومتريک به‌عنوان CA (فعالیت آماده‌ساز) به تقویت بیشتر نسبت به یک CA با حجم زیاد منجر می‌شود؛ بنابراین به نظر می‌رسد، حرکات پلايومتريک با حجم کم، اثر ظرفیت‌سازی پس‌فعالی مؤثر و بیشتری بر عملکرد انفجاری مثل پرتاب دیسک یا چکش (مسافت طی‌شده) و حرکات پرشی (ارتفاع یا مسافت پرش) داشته باشد. درمقابل، برخی مطالعات نشان دادند که حرکات پلايومتريک با حجم زیاد احتمالاً باعث خستگی درخور توجهی می‌شود که ممکن است نمایش اثرات ظرفیت‌سازی پس‌فعالی را پنهان کند (۲۴، ۱۲) یا حتی با افزایش نسبت میزان خستگی به میزان ظرفیت‌سازی، کاهش عملکرد را به همراه داشته باشد (۱۲). مجموعه این مطالعات نشان می‌دهد که پس از انجام تمرینات پلايومتريک با حجم کم، احتمالاً میزان ظرفیت‌سازی غالب‌تر از اندازه خستگی است (۳۴، ۲۳، ۱۴، ۱۳). به نظر می‌رسد، افزایش کوتاه‌مدت در رسیدن به حداکثر ظرفیت توان عضلانی پس از انجام تمرینات پلايومتريک در حجم کم (کمتر از ۲۰ تکرار) به‌عنوان انقباض‌های آماده‌ساز، باعث فسفوریلاسیون زنجیره‌های سبک تنظیمی میوزین عضلانی و فعال‌سازی (بیداری) سیستم عصبی می‌شود و افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی مرتبه بیشتر را به همراه خواهد داشت (۴۴، ۴۳)؛ درحالی‌که انجام انقباض‌های آماده‌ساز

در حجم زیاد (بیش از ۲۰ تکرار)، ممکن است باعث تخلیه سوبسترا (۴۵)، تجمع یون‌های هیدروژن (۱۷، ۱۶) یا اختلال مکانیکی در ساختار میوفیبریلار شود (۴۷، ۴). که خستگی عصبی-عضلانی را پدیدار کند و احتمالاً اثرات مفید حرکات پلايومتریک به‌عنوان انقباض‌های آماده‌ساز را پنهان کند. در تأیید این موضوع، وندروورت^۱ و همکاران گزارش کردند که ظرفیت‌سازی در مدت زمان تحت‌تنش بیش از ۱۰ ثانیه، تاحدی توسط خستگی سرکوب می‌شود (۲۱). به دلیل تکرارهای زیاد (بیش از ۲۰ تکرار) که بیش از ۱۰ ثانیه طول می‌کشد، ذخیره فسفاژن کاهش می‌یابد و یون هیدروژن می‌تواند تولید شود که منجر به خستگی می‌شود. در مطالعه دیگری نیز گزارش شد که انجام انقباض ارادی حداکثر باید به مدت ۱۰ تا ۳۰ ثانیه (۴۵) انجام شود و تمرینات پلايومتریک طولانی مدت (۷۰ ثانیه) تأثیر منفی بر عملکرد دارد (۱۲)؛ بنابراین با توجه به یافته‌ها، در صورت استفاده از حرکت پلايومتریک به‌عنوان PAP، ورزشکاران بهتر است حرکات را در کل کمتر از ۲۰ تکرار انجام دهند.

در برخی مطالعات، برای افزایش فشار مکانیکی و احتمالاً توانمندسازی بیشتر، از مقاومت اضافی در حرکات پلايومتریک استفاده شده است. از بررسی مطالعات گذشته، به نظر می‌رسد که اگر ورزشکاران تمرینات پلايومتریک را فقط با وزن بدن خود و بدون استفاده از مقاومت اضافی انجام دهند، میانگین افزایش عملکرد توان به شکل مطمئن‌تری به دست می‌آید. احتمالاً استفاده کردن از بار در تمرینات پلايومتریک که به روش‌های مختلف اعمال می‌شود، کاهش سرعت حرکت را به دنبال خواهد داشت (ارتباط معکوس نیروی عضلانی و سرعت انقباض) که با ماهیت عملکردهای توانی همخوانی ندارد. همچنین وارد کردن مقاومت بیشتر در برابر نیروی عضلانی، احتمالاً خستگی بیشتری ایجاد می‌کند که در مجموع هرگونه برتری روش حرکات پلايومتریک با مقاومت اضافی را با تردید مواجه می‌کند. تیلین^۲ و همکاران گزارش کردند که حرکت پلايومتریک به‌عنوان حرکتی پویا در دستیابی به ظرفیت‌سازی یا خستگی می‌تواند با حرکات ایزومتریک متفاوت باشد (۸). آن‌ها مستند کردند که خستگی اولیه در طول پروتکل دینامیکی ترجیحاً منشأ محیطی داشت (۱) - اختلال در چرخه پل‌های عرضی، ۲ - کاهش ظرفیت تولید نیرو به دلیل کاهش دامنه پتانسیل عمل و کاهش سرعت هدایت، ۳ - اختلال دوگانه تحریک-انقباض). در مقابل، خستگی می‌تواند در انقباضات ایزومتریک در منشأ مرکزی و سپس محیطی رخ دهد؛ بنابراین خستگی در انقباضات ایزومتریک و دینامیک با پاسخ‌های متفاوت رخ می‌دهد و منطقی است که در نظر بگیریم آن‌ها اثرات متفاوتی بر سازوکارهای PAP دارند. از طرفی، در میان سازوکارهای القاکننده PAP، افزایش فعال‌سازی واحد حرکتی مرتبه بالاتر در طول فعالیت‌های بعدی ممکن است پس از انقباضات دینامیکی بیشتر باشد که این واحدهای حرکتی حساسیت بیشتری به خستگی دارند (۴۸، ۲۱). همچنین استفاده از بار در حرکات پلايومتریک احتمالاً می‌تواند باعث آسیب‌های ریزعضلانی از جمله اختلالات سلولی و درون‌سلولی، به ویژه در پروتئین‌های خط Z شود تا اثرات انقباض‌های آماده‌ساز را کاهش دهد (۴۷)؛ بنابراین به نظر می‌رسد که تنها با خود حرکت پلايومتریک و بدون استفاده از هر مقاومت اضافی‌تر و با در نظر گرفتن فاکتور سرعت حرکت در آن، می‌توان تحریک‌پذیری واحد حرکتی و در نتیجه فعال‌سازی و همگام‌سازی واحد حرکتی را افزایش داد و بازداری پیش‌سیناپسی را کاهش داد (۱۴).

یکی دیگر از متغیرهای کاربردی برای بهره‌مندی از اثرات ظرفیت‌سازی پس‌فعالی حرکات پلايومتریک، زمان استراحت پس از انجام حرکت پلايومتریک و تا قبل از حرکت اصلی است. یافته‌های مطالعات مرتبط با این موضوع نشان داد که فاصله استراحت متوسط نزدیک به ۵ دقیقه بین تمرین پلايومتریک و فعالیت اصلی برای القای تقویت بیشتر کافی است که در حقیقت

1. Vandervoort

2. Tillin

بازتابی از تعامل ماندگاری اثرات انقباض‌های آماده‌ساز و خستگی است. اگر زمان بازیابی کافی نباشد، فعالیت آماده‌ساز ممکن است به جای تقویت، خستگی بیشتری ایجاد کند. از طرفی، اگر زمان استراحت بیش از حد باشد، باعث تحلیل رفتن سازوکار ظرفیت‌سازی پس‌فعالی می‌شود. در تأیید این موضوع، گوووا^۱ و همکاران گزارش کردند که بازه زمان بازیابی ۸ تا ۱۲ دقیقه بین فعالیت آماده‌ساز و فعالیت اصلی تأثیر مفیدی داشته است (۴۹)؛ البته مطالعه گوووا و همکاران شامل هر دو تمرین پلايومتریک و تمرین مقاومتی به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز بود (۴۹). همچنین ویلسون^۲ و همکاران گزارش کردند، دوره‌های استراحت ۷ تا ۱۰ دقیقه‌ای برای نشان دادن اثرات ظرفیت‌سازی، بهینه هستند (۵۰)؛ بنابراین با توجه به مجموع مطالعات به نظر می‌رسد که فاصله استراحت مطلوب، صرف نظر از اینکه حرکات پلايومتریک یا حرکات مقاومتی را به‌عنوان انقباض‌های آماده‌ساز استفاده کرده باشند، بین ۷ تا ۱۰ دقیقه است.

همان‌طور که اشاره شد، شاید سازوکارهای متفاوت خستگی بین حرکات پلايومتریک و حرکات مقاومتی، تا اندازه‌ای در تعیین زمان دقیق بین انقباض‌های آماده‌ساز و عملکرد اصلی نقش داشته باشد؛ برای مثال، شارما^۳ و همکاران گزارش کردند که تجمع نشانگرهای فیزیولوژیک (لاکتات، آمونیوم و اسید اوریک) و کاهش غلظت ATP یا PCR که به حالت انرژی ناپایدار و خستگی منجر می‌شود، بعد از انجام تمرینات مقاومتی سنگین بیشتر از انجام تمرینات پلايومتریک است. همچنین آن‌ها دریافتند که علائم خستگی مانند لاکتات خون پس از انجام تمرین پلايومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز سریع‌تر از انجام تمرینات مقاومتی سنگین کاهش می‌یابد (۲۴)؛ بنابراین با توجه به یافته‌های موجود، می‌توان فرض کرد که ورزشکاران پس از انجام تمرین پلايومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز، به زمان ریکاوری کمتری برای تکمیل ذخایر فسفوکراتین و همچنین بازگشت از حالت ناپایدار انرژی نیاز دارند؛ بنابراین فاصله استراحت حدود ۵ دقیقه می‌تواند زمان بهبودی مطلوب پس از انجام حرکت پلايومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز باشد. به‌هرحال، سطح آمادگی ورزشکاران (میزان تحمل خستگی و سرعت ریکاوری) از موضوعاتی است که می‌تواند مدت زمان مطلوب بین حرکات آماده‌ساز و عملکرد اصلی را تحت‌تأثیر قرار دهد که باید در مطالعات آینده مدنظر قرار بگیرد.

درمجموع، مرور نظام‌مند کنونی شواهدی را ارائه می‌کند که نشان می‌دهد، زمانی که شرکت‌کنندگان حرکات پلايومتریک را به‌عنوان ظرفیت‌سازی پس‌فعالی با حجم کم (۲۰ تکرار)، بدون مقاومت اضافی (با وزن بدن) و زمان استراحت متوسط (حدود ۵ دقیقه) انجام می‌دهند، اثرات مثبت بیشتری ایجاد می‌شود.

پیام مقاله

فعالیت آماده‌سازی که به‌عنوان پروتکل گرم کردن در رویدادهای مهم ورزشی به‌منظور بیداری دستگاه عصبی و عضله اسکلتی برای رسیدن به بهترین رکورد انفجاری استفاده می‌شود، بهتر است هوشمندانه و با دقت انتخاب شود. حرکات پلايومتریک در بین انواع حرکات سرعتی و قدرتی، احتمالاً حرکات مطمئن‌تری برای ظرفیت‌سازی عضله هستند. علاوه بر این، این حرکات به تجهیزات و فضای زیادی نسبت به حرکات قدرتی و سرعتی نیاز ندارند. پس از انتخاب حرکات پلايومتریک به‌عنوان فعالیت آماده‌ساز، بهتر است این حرکات با حجم کمتر از ۲۰ تکرار و با وزن بدن انجام شود و همچنین استراحت حدود ۵ دقیقه پس از انجام این حرکات، احتمالاً برای توانمندسازی عضله کافی است.

-
1. Gouvea
 2. Wilson
 3. Sharma

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند که در نگارش مقاله هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم از تمامی کسانی که در انجام دادن این مطالعه ما را یاری کردند، قدردانی و سپاسگزاری کنیم.

منابع

1. Bapiran M, Rajabi H, Mmotamedi P. The effect of intensity and specificity of muscle pre-activation on maximum force, leg velocity and vertical jump performance in trained men. *Sport Physiology*. 2017;9(33):37-50.
2. Soltani Ichi M, Motamedi P, Rajabi H. Acute effects of plyometric training with changing of height landing on the electromyographic activity during preparatory phase land-jump. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2019;17(17):11-22.
3. Hicks A, Fenton J, Garner S, McComas AJ. M wave potentiation during and after muscle activity. *J Appl Physiol* (1985). 1989;66(6):2606-10.
4. Petrella RJ, Cunningham DA, Vandervoort AA, Paterson DH. Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989;58(4):395-9.
5. Ramezani H, Rajabi H, Motamedi P. The acute effect of the type and intensity of dynamic contraction on performance indicators and some electromyographic variables of vertical jump in track and field athletes. *Journal of Sport Biosciences*. 2017;9(2):285-300.
6. Turner AP, Bellhouse S, Kilduff LP, Russell M. Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):343-50.
7. basereh a, Rajabi DH. Application of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) in exercise respons and exercise adaptations. *Sport Physiology*. 2022;14(53):60-17.
8. Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med*. 2009;39(2):147-66.
9. Blazeovich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front Physiol*. 2019;10:1359.
10. Macintosh BR, Robillard ME, Tomaras EK. Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(3):546-50.
11. Bartolomei S, Fukuda DH, Hoffman JR, Stout JR, Merni F. The influence of isometric preload on power expressed during bench press in strength-trained men. *Eur J Sport Sci*. 2017;17(2):195-9.
12. Esformes JI, Cameron N, Bampouras TM. Postactivation potentiation following different modes of exercise. *J Strength Cond Res*. 2010;24(7):1911-6.
13. Baena-Raya A, Sánchez-López S, Rodríguez-Pérez MA, García-Ramos A, Jiménez-Reyes P. Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol*. 2020;120(2):317-24.
14. Lum D, Chen SE. Comparison of loaded countermovement jump with different variable resistance intensities on inducing post-activation potentiation. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2020;2(2):167-72.
15. Sozbir K, Karlı Ü. Acute effects of plyometric warm-up with different box heights on sprint and agility performance in national-level field hockey athletes. *Isokinetics and Exercise Science*. 2020;29.
16. Hamsa H, Khan M, Tanwar T, Irshad N, Numani S. Acute effects of weighted plyometric exercise on sprint, agility and jump performance in university football players. *Physical Activity Review*. 2021;9(1):1-8.
17. Yoshimoto T, Takai Y, Kanehisa H. Acute effects of different conditioning activities on running performance of sprinters. *Springerplus*. 2016;5(1):1203.
18. Seitz LB, Haff GG. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic review with meta-analysis. *sports med*. 2016;46(2):231-40.

19. Abbes Z, Chamari K, Mujika I, Tabben M, Bibi KW, Hussein AM, et al. Do thirty-second post-activation potentiation exercises improve the 50-m freestyle sprint performance in adolescent swimmers? *Front Physiol.* 2018;9:1464.
20. Kurt C. Influence of traditional and cluster set plyometric warm-ups on reactive strength index and leg stiffness in male rugby players. *Isokinetics and Exercise Science.* 2018;26(3):1-20.
21. Vandervoort AA, Quinlan J, McComas AJ. Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp Neurol.* 1983;81(1):141-52.
22. Tomlinson KA, Hansen K, Helzer D, Lewis ZH, Leyva WD, McCauley M, et al. The effects of loaded plyometric exercise during warm-up on subsequent sprint performance in collegiate track athletes: a randomized trial. *Sports (Basel).* 2020;8(7).
23. Chen ZR, Wang YH, Peng HT, Yu CF, Wang MH. The acute effect of drop jump protocols with different volumes and recovery time on countermovement jump performance. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):154-8.
24. Sharma SK, Raza S, Moiz JA, Verma S, Naqvi IH, Anwer S, et al. Postactivation potentiation following acute bouts of plyometric versus heavy-resistance exercise in collegiate soccer players. *Biomed Res Int.* 2018;2018:3719039.
25. Margaritopoulos S, Theodorou A, Methenitis S, Zaras N, Donti O, Tsolakis C. The effect of plyometric exercises on repeated strength and power performance in elite karate athletes. *Journal of Physical Education and Sport.* 2015;15:310-8.
26. Bogdanis GC, Tsoukos A, Veligekas P. Improvement of long-jump performance during competition using a plyometric exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(2):235-40.
27. Sevene T, DeBeliso M, Carson C, Berning J, Harris C, Adams K. Continuous weighted jumping: effects on vertical jump height. *European Journal of Physical Education and Sport Science.* 2017.
28. Fortes L, Paes P, Mortatti A, Perez A, Cyrino E, de Lima-Junior D, et al. Effect of different warm-up strategies on countermovement jump and sprint performance in basketball players. *Isokinetics and Exercise Science.* 2018;26:1-7.
29. Kurt C, Kafkas M, Kurtdere İ, Selalmaz O. Influence of traditional and cluster set plyometric warm-ups on reactive strength index and leg stiffness in male rugby players. *Isokinetics and Exercise Science.* 2018;26:1-8.
30. Tobin DP, Delahunt E. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(2):367-72.
31. Dello Iacono A, Martone D, Padulo J. Acute effects of drop-jump protocols on explosive performances of elite handball players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(11):3122-33.
32. Lima JB, Marin DP, Barquilha G, Silva LD, Puggina EF, Pithon-Curi TC, et al. Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Human Movement.* 2011;12:324-30.
33. Chattong C, Brown LE, Coburn JW, Noffal GJ. Effect of a dynamic loaded warm-up on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2010;24(7):1751-4.
34. Saez Saez de Villarreal E, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100(4):393-401.
35. Stieg J, Faulkinbury KJ, Brown LE, Coburn JW, Judelson DA. Acute effects of depth jump volume on vertical jump performance In Ncaa Di women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2010;24:1.
36. Till KA, Cooke C. The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(7):1960-7.
37. Karampatsos G. Acute effects of jumping and sprinting on hammer throwing performance. *Physical Education and Sport.* 2013;13:3-5.
38. Terzis G, Spengos K, Karampatsos G, Manta P, Georgiadis G. Acute effect of drop jumping on throwing performance. *J Strength Cond Res.* 2009;23(9):2592-7.
39. Terzis G, Karampatsos G, Kyriazis T, Kavouras SA, Georgiadis G. Acute effects of countermovement jumping and sprinting on shot put performance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(3):684-90.

40. Kontou EI, Berberidou FT, Pilianidis TC, Mantzouranis NI, Methenitis SK. Acute effect of upper and lower body postactivation exercises on shot put performance. *J Strength Cond Res.* 2018;32(4):970-82.
41. Kümmel J, Bergmann J, Prieske O, Kramer A, Granacher U, Gruber M. Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2016;8:1.
42. Andrews TR, Mackey T, Inkrott TA, Murray SR, Clark IE, Pettitt RW. Effect of hang cleans or squats paired with countermovement vertical jumps on vertical displacement. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2448-52.
43. Donaldson SK, Hermansen L, Bolles L. Differential, direct effects of H⁺ on Ca²⁺ -activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Pflugers Arch.* 1978;376(1):55-65.
44. Stout JR, Cramer JT, Zoeller RF, Torok D, Costa P, Hoffman JR, et al. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids.* 2007;32(3):381-6.
45. Ørtenblad N, Westerblad H, Nielsen J. Muscle glycogen stores and fatigue. *J Physiol.* 2013;591(18):4405-13.
46. Drinkwater EJ, Lane T, Cannon J. Effect of an acute bout of plyometric exercise on neuromuscular fatigue and recovery in recreational athletes. *J Strength Cond Res.* 2009;23(4):1181-6.
47. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11 Suppl):S52-69.
48. Kalantari A, Rajabi H, Motamedi P, Poursaadat L, Saremi A. The effect of supramaximal isometric conditioning contractions on muscle neural excitation and performance indices during bench press exercise, in trained men. *Journal of Arak University of Medical Sciences.* 2023;25(6):34-40.
49. Gouvêa AL, Fernandes IA, César EP, Silva WA, Gomes PS. The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *J Sports Sci.* 2013;31(5):459-67.
50. Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, Wilson SM, Jo E, Lowery RP, Ugrinowitsch C. Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res.* 2013;27(3):854-9.