Journal of
Sport Biomechanics

Winter 2027. Vol 12. Issue 4

Research Paper

Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation Combined with Resistance Training on Muscle Strength and Body Composition in Strength Athletes

Seyed Mohammad Esmaeil Hassani Tabatabaei[1], **Javad Almasi***[1]

1. Department of Physical Education and Sport Sciences, Ha. C. Islamic Azad University, Hamadan, Iran.

Scan to read online

Citation: Hassani Tabatabaei SME, Almasi J. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation Combined with Resistance Training on Muscle Strength and Body Composition in Strength Athletes. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):986–1002. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.986

Article Info:

Received: 21 July 2026

Accepted: 16 November 2026

Published: 23 November 2026

Keywords:

Neuromuscular electrical stimulation, Resistance training, Muscular strength, Body composition, Strength athletes

ABSTRACT

Objective Muscular strength and body composition are important determinants of physical performance in strength athletes. This study aimed to examine the effects of eight weeks of resistance training with concurrent neuromuscular electrical stimulation (NMES) on muscular strength and body composition in strength athletes.

Methods This quasi-experimental study included 30 male strength athletes (20–30 years) randomly assigned to resistance training with or without NMES. Both groups trained three times weekly for eight weeks, with NMES applied concurrently during selected exercises in the intervention group. Muscular strength and body composition were assessed using 1RM tests and bioelectrical impedance analysis, respectively. Postintervention outcomes were compared using ANCOVA adjusted for baseline values ($p < 0.05$).

Results Both groups showed significant improvements in muscular strength and body composition outcomes following the intervention ($p < 0.05$). Compared with resistance training alone, resistance training combined with NMES resulted in significantly greater increases in squat and bench press 1RM strength and lean body mass, as well as a greater reduction in body fat percentage ($p < 0.05$).

Conclusion Eight weeks of resistance training with concurrent NMES was associated with greater improvements in selected muscular strength and body composition outcomes than resistance training alone in male strength athletes. These findings suggest that NMES may be a useful adjunct to resistance training, although further research is needed to establish its effectiveness under different training and stimulation conditions.

*** Corresponding Author:**

Javad Almasi

almasi.javad@iau.ac.ir

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, adaptation, and reproduction in any medium or format, provided the original author(s) and the source are credited.

© 2027 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

Introduction

Neuromuscular electrical stimulation (NMES) is a noninvasive technique that delivers controlled electrical impulses through surface electrodes to activate peripheral motor nerves and elicit muscle contractions. It has been widely used in rehabilitation to improve muscle strength, limit muscle atrophy, and facilitate the recovery of motor function. NMES has also been investigated as a means of improving muscle strength and functional capacity in athletic and clinical populations, including patients undergoing dialysis (1). Beyond rehabilitation, NMES has been explored as an adjunct to conventional exercise training. Electrically evoked muscle contractions may provide an additional neuromuscular stimulus and contribute to improvements in muscle strength and functional performance (2). Previous studies have reported improvements in muscle strength and, under certain conditions, muscle hypertrophy following NMES interventions. A systematic review and meta-analysis also suggested that NMES may produce strength gains comparable to those achieved through conventional resistance training under specific training conditions (3). However, these findings do not necessarily establish that adding NMES to resistance training produces greater adaptations than resistance training alone.

Resistance training is a well-established approach to improving muscular strength, muscle hypertrophy, and physical performance (4). Its effectiveness depends on the appropriate manipulation of training variables, including intensity, volume, frequency, exercise selection, and recovery intervals. Resistance training induces neuromuscular and morphological adaptations that contribute to increased force-generating capacity and muscle size. In addition, regular resistance exercise may provide broader metabolic and health-related benefits (5–8). Improvements in body composition, including increases in lean mass and reductions in body fat, have also been reported following appropriately designed resistance training programs (9). Combining NMES with resistance training has attracted interest as a potential approach to augmenting neuromuscular adaptations. Unlike voluntary contractions, electrically evoked contractions involve recruitment patterns that depend on electrode placement, stimulation intensity, and other stimulation parameters. These characteristics may provide an additional training stimulus when NMES is applied concurrently with voluntary resistance exercise. Some studies have reported greater improvements in muscular strength or body composition following combined NMES and resistance training than following resistance training alone (10, 11). However, findings have been inconsistent, and the extent to which concurrent NMES provides additional benefits remains uncertain. Although NMES has been investigated in rehabilitation and exercise settings, its additional effects when applied simultaneously with resistance training in resistance-trained athletes remain insufficiently established. This distinction is important because adaptations observed in untrained or clinical populations may not be directly generalizable to individuals with substantial resistance training experience. Furthermore, the potential benefits of concurrent NMES may differ across strength-related and body composition outcomes. Therefore, this study aimed to examine the effects of eight weeks of resistance training with concurrent NMES on muscular strength and body composition in male strength athletes, compared with resistance training alone.

Methods

This quasi-experimental study employed a two-group pretest–posttest design. Thirty male strength athletes aged 20–30 years, each with at least two years of resistance training experience, were recruited through convenience sampling and randomly allocated to two equal groups: resistance training with concurrent neuromuscular electrical stimulation (NMES; n = 15) and resistance training alone (n = 15). Both groups completed an eight-week resistance training program consisting of three sessions per week at an intensity of 70–80% of one-repetition maximum (1RM). Each training session included a standardized warm-up, progressive load adjustments of 2.5–5%, and rest intervals between exercises and sets. In the intervention group, NMES was applied concurrently with resistance exercises using an E-WANE device. Electrical stimulation was delivered through surface

electrodes at a frequency of 50 Hz and a pulse width of 300 μs, with 6-second stimulation periods followed by 24-second rest intervals. Stimulation intensity was individually adjusted according to participant tolerance. Height and body mass were measured using standard anthropometric instruments, and body mass index was calculated. Data were analyzed using SPSS software (version 26). Descriptive statistics were calculated, and analysis of covariance (ANCOVA) was used to compare postintervention outcomes between groups, adjusting for baseline values. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

Analysis of covariance (ANCOVA), adjusting for baseline values, revealed significant between-group differences in all five measures of muscular strength, including the bench press, dumbbell shoulder press, lat pulldown, Romanian dumbbell deadlift, and leg extension (Table 1; $p \leq 0.05$). These findings indicate that postintervention muscular strength differed significantly between the resistance training plus neuromuscular electrical stimulation (NMES) group and the resistance-training-only group after adjustment for baseline values. Body composition outcomes, including body mass index (BMI) and waist-to-hip ratio (WHR), were also assessed. However, the available statistical information is insufficient to establish the direction, magnitude, or statistical significance of the between-group differences in these outcomes (Fig. 1 and 2).

Discussion

The present study examined the effects of eight weeks of resistance training with concurrent neuromuscular electrical stimulation (NMES) on muscular strength and body composition in male strength athletes. The findings indicated significant between-group differences in five measures of muscular strength after adjustment for baseline values. These results suggest that adding NMES to resistance training may influence strength-related adaptations compared with resistance training alone. However, the direction and magnitude of these differences must be considered when evaluating the practical benefits of the combined intervention. The potential effects of concurrent NMES may be explained, in part, by differences in neuromuscular activation during electrically stimulated contractions. NMES activates peripheral motor nerves through externally applied electrical currents, producing muscle contractions that differ from voluntary contractions in their

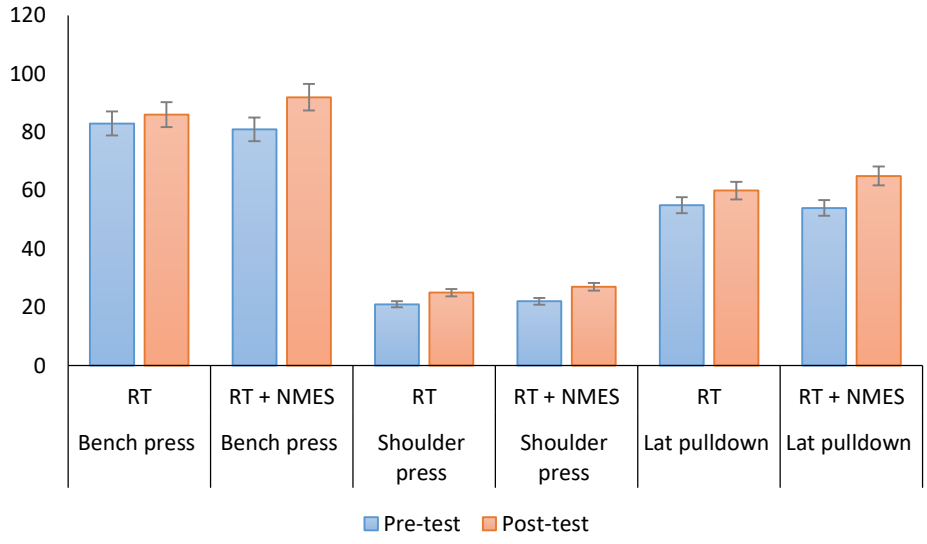


Fig. 1. Mean changes in study variables following the resistance training and neuromuscular electrical stimulation (NMES) protocols.

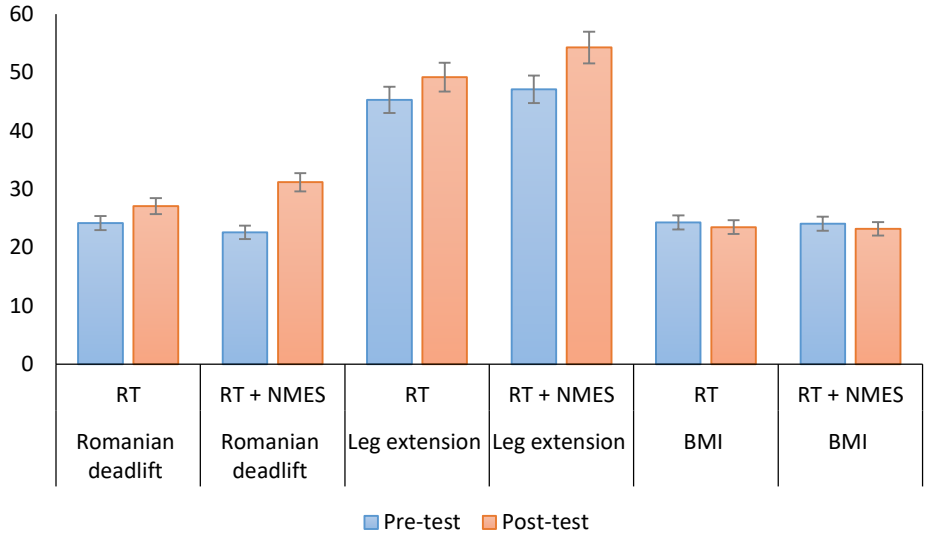


Fig. 2. Mean changes in study variables following the resistance training and neuromuscular electrical stimulation (NMES) protocols.

Table 1. Comparison of muscle strength and body composition between groups

Variable	Group	Pre-test	Post-test	Difference	Within-group P	Between-group P
Bench press	RT	83.20 ± 4.40	86.10 ± 3.10	3.90	0.012	<0.001
	RT + NMES	81.30 ± 5.90	92.40 ± 4.20	11.10	<0.001	
Shoulder press	RT	21.10 ± 3.20	25.30 ± 3.10	4.20	0.018	<0.001
	RT + NMES	22.40 ± 3.10	27.60 ± 3.40	5.20	<0.001	
Lat pulldown	RT	55.20 ± 6.50	60.10 ± 6.30	5.90	0.021	<0.001
	RT + NMES	54.10 ± 6.20	65.30 ± 6.70	11.20	<0.001	
Romanian deadlift	RT	24.20 ± 3.80	27.10 ± 3.70	2.90	0.026	<0.001
	RT + NMES	22.60 ± 3.60	31.20 ± 4.00	9.63	<0.001	
Leg extension	RT	45.30 ± 6.10	49.20 ± 5.90	3.91	0.019	<0.001
	RT + NMES	47.10 ± 5.80	54.30 ± 6.20	7.27	<0.001	
BMI	RT	24.32 ± 2.10	23.50 ± 1.7	-0.82	0.041	<0.001
	RT + NMES	24.10 ± 2.20	23.20 ± 1.4	-0.90	0.009	

Note: * Indicates a statistically significant within-group difference. # Indicates a statistically significant between-group difference.

recruitment characteristics (12, 13). Motor unit recruitment during NMES depends on several factors, including electrode placement, stimulation intensity, tissue properties, and nerve excitability. Consequently, electrically evoked contractions may produce spatially restricted recruitment patterns and greater local fatigue under certain conditions (14, 15). When applied concurrently with resistance exercise, NMES may modify the overall neuromuscular stimulus. Nevertheless, whether these changes translate into additional strength gains depends on the interaction between electrical stimulation, voluntary muscle activation, mechanical loading, and recovery.

Improvements in muscular strength following resistance training are generally attributed to neural and morphological adaptations, including changes in voluntary muscle activation, intermuscular coordination, muscle size, and force-generating capacity (16, 17). Concurrent NMES may influence some of these processes by providing an additional electrically evoked stimulus during exercise. However, the present study did not directly assess motor unit recruitment, muscle activation, or

muscle morphology. Therefore, the underlying mechanisms responsible for the observed between-group differences cannot be established. Furthermore, the effects of NMES are likely to depend on stimulation parameters, exercise characteristics, training status, and individual tolerance (18). The interpretation of body composition outcomes requires particular caution. Resistance training can influence lean mass and fat mass, although these adaptations are also affected by nutritional intake, energy balance, and habitual physical activity (19). In addition, body composition estimates obtained using bioelectrical impedance analysis are sensitive to hydration status and measurement conditions. Accordingly, changes in body composition should not automatically be attributed to NMES without considering these potential sources of variation. The available results do not yet provide sufficient verified information to determine whether concurrent NMES produced additional improvements in body composition compared with resistance training alone. The interpretation of the findings also requires consideration of the study design and statistical analysis. Baseline-adjusted analysis of covariance provides a framework for comparing postintervention outcomes between groups when the relevant assumptions are satisfied (20). Nevertheless, statistical significance does not necessarily indicate a meaningful improvement in athletic performance. The magnitude and precision of between-group differences, together with their practical relevance, should be considered before drawing conclusions regarding the effectiveness of concurrent NMES. Previous research has suggested that combining NMES with voluntary exercise may provide additional strength-related benefits under certain conditions (21), although differences in training protocols and participant characteristics may contribute to inconsistent findings.

Several limitations should be acknowledged. The relatively small sample consisted exclusively of male strength athletes aged 20–30 years, limiting the generalizability of the findings to other populations. The intervention lasted eight weeks, and no follow-up assessment was conducted to determine whether the observed differences persisted after training. In addition, the study did not include direct measurements of neuromuscular activation or muscle morphology, preventing identification of the physiological mechanisms underlying the results. Future studies should incorporate more detailed neuromuscular assessments, standardized body composition measurements, and longer follow-up periods to clarify the potential additional benefits of NMES during resistance training.

Conclusion

Eight weeks of resistance training with concurrent neuromuscular electrical stimulation (NMES) resulted in significant between-group differences in muscular strength outcomes after adjustment for baseline values. These findings suggest that concurrent NMES may influence strength adaptations in resistance-trained male athletes. However, the magnitude and practical relevance of these differences require further evaluation. The available evidence from this study is insufficient to establish additional benefits for body composition or to identify the underlying neuromuscular mechanisms. Further well-controlled studies are needed before concurrent NMES can be recommended as a routine adjunct to resistance training in strength athletes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of Islamic Azad University, Hamadan Branch (IR.IAU.H.REC.1402.121). Written informed consent was obtained from all participants prior to participation.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Seyed Mohammad Esmaeil Hassani Tabatabaei: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Javad Almasi: Conceptualization, Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing.

All authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

اثر تحریک الکتریکی عصبی–عضلانی در حین تمرین مقاومتی بر قدرت عضلانی و ترکیب بدن ورزشکاران قدرتی

سید محمد اسماعیل حسنی طباطبایی[۱]، جواد الماسی*[۱]

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

Scan to read online

Citation: Hassani Tabatabaei SME, Almasi J. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation Combined with Resistance Training on Muscle Strength and Body Composition in Strength Athletes. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):986-1002. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.986

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۳۰ تیر ۱۴۰۵

پذیرش: ۲۵ آبان ۱۴۰۵

انتشار: ۲ آذر ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی، تمرین مقاومتی، قدرت عضلانی، ترکیب بدن، ورزشکاران قدرتی

چکیده

هدف قدرت عضلانی و ترکیب بدن از شاخص‌های مهم عملکرد جسمانی و ورزشی در ورزشکاران قدرتی محسوب می‌شوند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی بر قدرت عضلانی و ترکیب بدن ورزشکاران قدرتی انجام شد.

روش‌ها در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۳۰ ورزشکار مرد قدرتی (۲۰ تا ۳۰ سال) به‌صورت تصادفی به دو گروه تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عصبی‌عضلانی و تمرین مقاومتی به‌تنهایی تقسیم شدند. هر دو گروه به‌مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته تمرین کردند و در گروه مداخله، تحریک الکتریکی هم‌زمان با برخی تمرینات اعمال شد. قدرت عضلانی با آزمون یک تکرار بیشینه و ترکیب بدنی با روش امپدانس بیوالکتریکی ارزیابی شد. نتایج پس‌آزمون با استفاده از تحلیل کوواریانس و کنترل مقادیر پیش‌آزمون مقایسه شدند ($p<۰/۰۵$).

یافته‌ها یافته نتایج نشان داد هر دو گروه پس از مداخله در شاخص‌های قدرت عضلانی و ترکیب بدن بهبود معناداری داشتند ($p<۰/۰۵$). بااین‌حال، میزان افزایش قدرت عضلانی در حرکات اسکوات و پرس سینه و کاهش درصد چربی بدن در گروه تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی به‌طور معناداری بیشتر از گروه تمرین مقاومتی تنها بود. همچنین، افزایش توده بدون چربی در گروه مداخله در مقایسه با گروه تمرین مقاومتی تنها تفاوت معناداری نشان داد.

نتیجه‌گیری بر اساس یافته‌های پژوهش، افزودن تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی به تمرین مقاومتی می‌تواند موجب بهبود بیشتر برخی شاخص‌های قدرت عضلانی و ترکیب بدن در ورزشکاران قدرتی شود؛ بنابراین، استفاده هم‌زمان از این دو روش، در صورت رعایت اصول علمی و تنظیم مناسب شدت تحریک، می‌تواند به‌عنوان رویکردی مکمل در برنامه‌های تمرینی ورزشکاران قدرتی مورد توجه قرار گیرد.

* **نویسنده مسئول:**

جواد الماسی

almasi.javad@iau.ac.ir

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, adaptation, and reproduction in any medium or format, provided the original author(s) and the source are credited.

© 2027 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

مقدمه

تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی (NMES) یک روش درمانی غیرتهاجمی است که با استفاده از جریان‌های الکتریکی کنترل‌شده، انقباضات عضلانی را شبیه‌سازی می‌کند. این تکنیک با قرار دادن الکترودهایی روی پوست، جریان الکتریکی را به اعصاب محیطی منتقل کرده و باعث انقباض عضلات می‌شود، به‌طوری‌که عملکرد آن مشابه سیگنال‌های عصبی طبیعی است که از مغز به عضلات ارسال می‌شود. این روش در زمینه‌های مختلف پزشکی و توان‌بخشی کاربرد دارد. از جمله مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به تقویت عضلات ضعیف، جلوگیری از آتروفی عضلانی در بیماران بی‌حرکت، بازتوانی عملکرد حرکتی در بیماران سکته مغزی یا آسیب‌های نخاعی و کاهش اسپاسم عضلانی اشاره کرد. همچنین، این روش در ورزشکاران برای بهبود عملکرد عضلانی و در بیماران دیالیزی برای افزایش قدرت عضلانی و ظرفیت عملکردی استفاده می‌شود. با توجه به مزایای متعدد این روش در حال تبدیل‌شدن به یکی از ابزارهای مؤثر در توان‌بخشی عصبی–عضلانی است و تحقیقات بیشتری برای بهینه‌سازی پروتکل‌های درمانی و بررسی اثرات بلندمدت آن در حال انجام است (۱). تحریکات الکتریکی یکی از روش‌های تمرینی است که اخیراً به‌منظور تقویت عضلات مختلف در رشته‌های ورزشی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر علاوه بر تقویت عضلات به روش ورزش و تمرین ارادی، روش‌های خاص الکتریکی هم ابداع و ادعا شده است که می‌تواند موجب تغییرات خاص عضلانی در راستای تقویت و تحمل عضلانی شوند. در مطالعه‌ی علی‌رغم فواید تحریک الکتریکی در کاهش وزن بدن و توده چربی، بهبودی قوام و تون عضله را نیز در افراد سالم گزارش داده اند (۲). مطالعات نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی می‌تواند باعث افزایش قدرت عضلانی، هیپرتروفی عضلات و بهبود عملکرد حرکتی شود. به‌ویژه در افرادی که به دلیل آسیب یا بیماری قادر به انجام تمرینات قدرتی فعال نیستند، تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی می‌تواند به حفظ یا حتی افزایش قدرت عضلانی کمک کند. به‌عنوان‌مثال، در یک مطالعه سیستماتیک و متاآنالیز، مشخص شد که تمرین با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی منجر به افزایش قدرت عضلانی مشابه با تمرینات قدرتی سنتی می‌شود، زمانی که حجم تمرین برابر باشد (۳). تمرینات مقاومتی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش قدرت عضلانی، بهبود عملکرد ورزشی و اصلاح ترکیب بدن در ورزشکاران قدرتی محسوب می‌شود. بااین‌حال، پژوهشگران همواره به دنبال روش‌هایی هستند که بتوانند اثربخشی این نوع تمرینات را افزایش داده و سازگاری‌های عصبی – عضلانی بیشتری ایجاد کنند (۴). تمرین مقاومتی و تمرین قدرتی اصطلاحات مترادفی هستند که برای نشان دادن بخشی از تمرینات ورزشی استفاده می‌شوند که برای تقویت قدرت عضلانی، قدرت عضلانی و استقامت عضلانی موضعی برای ورزش عمومی یا ورزش‌های رقابتی طراحی شده‌اند. تمرین مقاومتی یک روش تخصصی شرطی‌سازی است که شامل استفاده از حالت‌های مختلف تمرین با طیف وسیعی از بارهای مقاومتی، از وزن بدن گرفته تا هالتر است متغیرهای اصلی تمرین مقاومتی عبارت‌اند از حجم، شدت، میزان مقاومت یا بار، تواتر تمرین، فاصله استراحت، نوع و ترتیب تمرین، سرعت اجرای حرکت، عمل عضلانی و دامنه حرکت است. تمرین مقاومتی برای حفظ و به دست آوردن توده عضلانی و قدرت مؤثر شناخته شده است. در مورد سلامت روحی و جسمی، این نوع تمرین در سایه ورزش‌های استقامتی قرار گرفت که به دلیل تأثیرات مثبت آن بر سلامت قلب و عروق و ظرفیت عملکردی شناخته می‌شود. این بازاندیشی با کشف میوکین‌ها، گروهی از سیتوکین‌ها، پپتیدهای کوچک و پپتیدهای پروتئوگلیکان که با انقباض سلول‌های ماهیچه‌ای اسکلتی ترشح می‌شوند، شروع به تغییر کرد. اثرات پاراکرین، اتوکرین و غدد درون‌ریز این میوکین‌ها شناسایی شد (۵). این منجر به درک جدیدی از اهمیت فعالیت عضلانی برای سلامت انسان شد. همانطور که در این بررسی بحث شد، میوکین‌ها اثرات مثبتی بر فرآیندهای متابولیکی، قلبی عروقی، ذهنی و ایمنی دارند. تمرین مقاومتی روش‌های

تمرینی مختلفی را برای تحریک عضلات اسکلتی ارائه می‌دهد که کم‌وبیش محبوب هستند. به‌عنوان‌مثال، تمرینات مقاومتی با هدف ترویج هایپرتروفی عضلانی، باعث رشد عضلانی توسط یک محرک برای افزایش رشد فیبر عضلانی می‌شود که منجر به ساخت عضلات می‌شود، بنابراین ما حتی می‌توانیم اثرات سلامتی عضله در حال کار خود را فقط با حرکت دادن آن به روش مناسب افزایش دهیم (۶، ۷). همچنین، نتایج بیشتر تحقیقات حاکی است دستیابی به تودهٔ عضلانی و قدرت بیشتر همراه با کاهش درصد چربی بدن از طریق تمرینات قدرتی امکان‌پذیر است. در این راستا، محققان همواره به دنبال بهترین راهکار از طریق دستکاری و تغییر متغیرهای تمرینی نظیر شدت، مدت، حجم و بار تمرینی برای دستیابی به سازگاری‌های تمرینی مناسب بوده اند. مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی، به‌ویژه زمانی که بر اساس اصول علمی و تحت نظارت متخصصان اجرا شوند، ایمن بوده و نه‌تنها منجر به افزایش تراکم استخوان، قدرت عضلانی و استقامت می‌شوند، بلکه تأثیرات مثبت قابل‌توجهی بر بهبود عملکرد شناختی ورزشکاران دارد. این تمرینات با افزایش هماهنگی بین مغز و عضلات، کارایی حرکتی و توانایی‌های شناختی را ارتقا می‌دهند و از این طریق به تقویت کارکردهای اجرایی مانند حافظه کاری، کنترل رفتار و انعطاف‌پذیری شناختی کمک می‌کند. در سال‌های اخیر، تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی به‌عنوان یکی از روش‌های نوین در علوم ورزشی و توان‌بخشی مورد توجه قرار گرفته است (۸). این روش با ایجاد انقباضات عضلانی از طریق تحریک الکتریکی اعصاب محیطی می‌تواند واحدهای حرکتی بیشتری را فعال کرده و در نتیجه موجب افزایش قدرت، بهبود هماهنگی عصبی–عضلانی و رشد عضلانی شود. برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی در کنار تمرینات مقاومتی ممکن است باعث افزایش بیشتر قدرت عضلانی، افزایش توده بدون چربی و کاهش درصد چربی بدن شود؛ بااین‌حال، نتایج پژوهش‌ها در این زمینه همواره یکسان نبوده و در برخی مطالعات تفاوت معناداری میان تمرین مقاومتی به‌تنهایی و تمرین همراه با تحریک الکتریکی گزارش نشده است. از سوی دیگر، ورزشکاران قدرتی برای دستیابی به سطوح بالاتر عملکرد به روش‌های تمرینی پیشرفته و مکمل نیاز دارند تا بتوانند سازگاری‌های فیزیولوژیک مطلوب‌تری به دست آورند. در این میان، ترکیب تحریک الکتریکی عصبی–عضلانی با تمرین مقاومتی به‌عنوان رویکردی نوین می‌تواند از طریق افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی با آستانه بالا و تحریک بیشتر فیبرهای تند انقباض، به بهبود قدرت عضلانی و تغییرات مطلوب در ترکیب بدن کمک کند (۹). اگرچه تمرکز عمده مطالعات بر فعالیت‌های هوازی است، ولی شواهد نوظهوری نیز از تأثیر مثبت تمرینات مقاومتی و قدرتی در تقویت عملکردهای شناختی حکایت دارد که در برخی موارد اثرات مستقلی نسبت به تمرینات ترکیبی نشان داده اند (۱۰). قدرت عضلانی و ترکیب بدن نقش مهمی در عملکرد ورزشکاران قدرتی دارند. تمرین مقاومتی به‌عنوان ستون اصلی ارتقای این شاخص‌ها شناخته می‌شود، اما در سال‌های اخیر، روش‌های مکملی همچون تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی توجه ویژه‌ای یافته‌اند. تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی با اعمال جریان الکتریکی کنترل شده به فیبرهای عضلانی، منجر به فعال‌سازی واحدهای حرکتی متفاوت از انقباضات ارادی می‌شود و می‌تواند موجب افزایش قدرت و هایپرتروفی گردد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که ترکیب تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی با تمرین مقاومتی منجر به بهبود بیشتر قدرت و ترکیب بدن نسبت به تمرین مقاومتی به‌تنهایی می‌شود (۱۱). با وجود رشد مطالعات در حوزه تحریک الکتریکی در توان‌بخشی و آمادگی جسمانی، تحقیقات محدودی به بررسی اثر به‌کارگیری هم‌زمان تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی در حین تمرینات مقاومتی در ورزشکاران قدرتی پرداخته‌اند و هنوز شواهد کافی درباره میزان اثربخشی آن بر شاخص‌های قدرت و ترکیب بدن این گروه از ورزشکاران وجود ندارد. از این‌رو با انجام تحقیق حاضر می‌توان انتظار داشت که ضمن پاسخ به برخی ابهامات موجود، پیشنهادات کاربردی متناسبی در راستای نحوهٔ انجام تمرینات مقاومتی جهت دست‌یابی به فواید بیشتر آن ارائه داد. با بررسی اثر تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی در حین تمرین مقاومتی بر قدرت عضلانی و ترکیب بدن ورزشکاران قدرتی می‌تواند به روشن شدن نقش این روش تمرینی و ارائه

راهکارهای مؤثر برای بهینه‌سازی برنامه‌های تمرینی در ورزشکاران کمک کند. نتایج این تحقیق می‌تواند مورد استفاده محققین نیز قرار گیرد. از این‌رو انجام مطالعه‌ای با هدف هشت هفته تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی بر قدرت عضلانی و ترکیب بدن ورزشکاران قدرتی ضروری به نظر می‌رسید.

روش‌ها

آزمودنی‌ها

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی بود و با استفاده از طرح آزمون مقدماتی و نهایی، پیش آزمون و پس‌آزمون، با دو گروه آزمایش و کنترل اجرء شد. مدل تحقیق تاثیر سنجی و نوع تحقیق کاربردی است. جامعه آماری این پژوهش شامل: ۳۰ ورزشکار مرد قدرتی ۲۰ تا ۳۰ سال، با حداقل دو سال سابقه تمرین مقاومتی بود. معیار خروج شامل آسیب اسکلتی – عضلانی یا بیماری عصبی – عضلانی بود. نمونه‌ها به صورت در دسترس انتخاب و به طور تصادفی در دو گروه قرار گرفتند.

پروتکل تمرینی

برنامه تمرین مقاومتی به مدت هشت هفته و با فراوانی سه جلسه در هفته اجرا شد. در ابتدای هر جلسه، آزمودنی‌ها ۵ تا ۱۰ دقیقه فعالیت هوازی سبک و حرکات گرم‌کردن پویا انجام دادند. سپس تمرینات مقاومتی با شدت تعیین‌شده بر اساس درصدی از یک تکرار بیشینه اجرا شد. ترتیب حرکات از تمرینات چند مفصلی و عضلات بزرگ به سمت تمرینات تک مفصلی و عضلات کوچک‌تر تنظیم شد. بین ست‌های تمرینی ۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه و بین حرکات اصلی ۲ تا ۳ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. شدت تمرین در محدوده ۷۰ تا ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه قرار داشت و افزایش بار تمرینی به صورت تدریجی و متناسب با توانایی آزمودنی‌ها انجام می‌شد. در صورتی که آزمودنی قادر بود تمام تکرارهای تعیین‌شده را با دامنه حرکتی مناسب و بدون اختلال در تکنیک اجرا کند، بار تمرینی جلسه بعد به میزان تقریبی ۲٫۵ تا ۵ درصد افزایش می‌یافت. در صورت ناتوانی در تکمیل تکرارهای هدف یا افت کیفیت اجرای حرکت، بار تمرینی ثابت نگه داشته می‌شد یا متناسب با توانایی فرد کاهش می‌یافت. در گروه تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی، برنامه تمرینی از نظر حرکات، ترتیب، شدت، تعداد ست‌ها و تکرارها با گروه تمرین مقاومتی به‌تنهایی یکسان بود و تنها تفاوت بین دو گروه، اعمال تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی در گروه مداخله بود. بار تمرینی بر اساس ارزیابی عملکرد و اصول افزایش تدریجی مقاومت تنظیم می‌شد. گروه آزمایش در حین اجرای حرکات منتخب تحت تحریک الکتریکی با فرکانس ۳۰–۵۰ Hz و شدت متناسب با آستانه تحمل فرد قرار گرفت. در گروه مداخله، تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی با استفاده از دستگاه E-WANE ساخت کشور چین و به صورت هم‌زمان با اجرای تمرینات مقاومتی انجام شد. هدف از به‌کارگیری این روش، افزودن تحریک الکتریکی محیطی به انقباضات ارادی عضلات درگیر در تمرین مقاومتی و بررسی اثر احتمالی آن بر سازگاری‌های مرتبط با قدرت عضلانی و ترکیب بدن بود. عضلات هدف بر اساس عضلات درگیر در برنامه تمرین مقاومتی تعیین شدند. پیش از شروع مداخله، آزمودنی‌ها برای آشنایی با نحوه اجرای تمرین و تحریک الکتریکی راهنمایی شدند. الکترودهای سطحی دستگاه در نواحی مربوط به عضلات هدف قرار گرفتند و تحریک الکتریکی در جریان اجرای تمرینات مقاومتی اعمال شد. تنظیم شدت تحریک متناسب با تحمل هر آزمودنی و پاسخ انقباضی عضله انجام شود. همچنین، در طول اجرای جلسات، وضعیت آزمودنی‌ها و میزان تحمل آن‌ها نسبت به تحریک الکتریکی مورد پایش قرار گرفت و در صورت بروز درد یا ناراحتی قابل توجه، تنظیمات تحریک تعدیل یا اجرای آن متوقف شد. گروه مداخله تمرینات مقاومتی را همراه با تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی دریافت

کرد؛ درحالی‌که گروه مقایسه همان برنامه تمرین مقاومتی را بدون تحریک الکتریکی انجام داد. به این ترتیب، تفاوت اصلی بین دو گروه، استفاده از تحریک الکتریکی در کنار تمرین مقاومتی بود (جدول ۱).

پروتکل تحریک الکتریکی عصبی–عضلانی

در این پژوهش، تحریک الکتریکی عصبی–عضلانی به روش سطحی و همزمان با اجرای تمرینات مقاومتی اعمال شد. عضلات هدف شامل عضله سینه‌ای بزرگ، دلتوئید، پشتی بزرگ، چهارسر رانی و همسترینگ بودند. الکترودهای سطحی در نواحی مناسب عضلات هدف قرار گرفتند و تحریک با استفاده از جریان پالسی دوفازی متعادل، با فرکانس ۵۰ هرتز و پهنای پالس ۳۰۰ میکروثانیه انجام شد. چرخه تحریک شامل ۶ ثانیه انقباض و ۲۴ ثانیه استراحت بود و زمان افزایش و کاهش تدریجی شدت جریان و حدود ۱ تا ۲ ثانیه تنظیم شد. شدت تحریک برای هر شرکت‌کننده به‌صورت فردی و تا سطح ایجاد انقباض عضلانی قوی و قابل‌تحمل، بدون بروز درد غیرقابل‌تحمل، تنظیم گردید. تحریک الکتریکی در طول اجرای تمرینات مقاومتی و با هدف همراه‌سازی انقباضات ناشی از تحریک با فعالیت ارادی عضلات اعمال شد.

جمع‌آوری داده‌ها

فرایند جمع‌آوری داده‌ها بر اساس اهداف پژوهش و مطابق با پروتکل اجرایی مطالعه انجام شد. پیش از آغاز پژوهش، اطلاعات مورد نیاز با استفاده از روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری متناسب با متغیرهای مورد بررسی گردآوری شد. قد و وزن بدن آزمودنی‌ها در ابتدای پژوهش و پیش از اجرای مداخله اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قد، از قدسنج استاندارد با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ سانتی‌متر استفاده شد. آزمودنی‌ها بدون کفش، در وضعیت ایستاده، با زانوهای صاف، پاشنه‌های چسبیده به سطح زمین و سر در وضعیت طبیعی قرار گرفتند و قد آن‌ها بر حسب سانتی‌متر ثبت شد. وزن بدن با استفاده از ترازوی دیجیتال کالیبره‌شده با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ کیلوگرم، در حالی که آزمودنی‌ها بدون کفش و با پوشیدن لباس سبک در وضعیت ایستاده قرار داشتند، اندازه‌گیری و بر حسب کیلوگرم ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها برای تمامی آزمودنی‌ها تحت شرایط مشابه انجام شد. در نهایت، شاخص توده بدنی با تقسیم وزن بدن بر مجذور قد بر حسب متر محاسبه و بر حسب کیلوگرم بر متر مربع گزارش شد.

جدول ۱. برنامه تمرین مقاومتی هشت هفته‌ای اجرا شده

هفته تمرین	شدت تمرین (درصد ۱RM)	تعداد ست	تعداد تکرار در هر ست	استراحت بین ست‌ها	نحوه پیشرفت بار تمرینی
هفته اول	۷۰٪	۳	۱۰	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	آشنایی با بار تمرینی و تثبیت تکنیک
هفته دوم	۷۰٪	۳	۱۰	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	تثبیت اجرای صحیح حرکات
هفته سوم	۷۲٫۵٪	۳	۹ تا ۱۰	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	افزایش بار
هفته چهارم	۷۵٪	۳	۸ تا ۱۰	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	افزایش
هفته پنجم	۷۵٪	۳	۸ تا ۱۰	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	حفظ کیفیت اجرا و تکمیل تکرارها
هفته ششم	۷۷٫۵٪	۳	۸	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	افزایش تدریجی مقاومت
هفته هفتم	۸۰٪	۳	۸	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	اجرای بار بالاتر با حفظ تکنیک
هفته هشتم	۸۰٪	۳	۸	۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه	تثبیت بار و تکمیل دوره تمرینی

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. پس از محاسبه شاخص های توصیفی و بررسی نرمال بودن توزیع داده ها، برای مقایسه مقادیر پس‌آزمون بین دو گروه با کنترل مقادیر پیش‌آزمون از تحلیل کوواریانس استفاده شد. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. آزمون های دقیق اجراشده، مفروضه های آن‌ها و مقادیر آماری باید با خروجی اصلی نرم افزار تطبیق داده شوند.

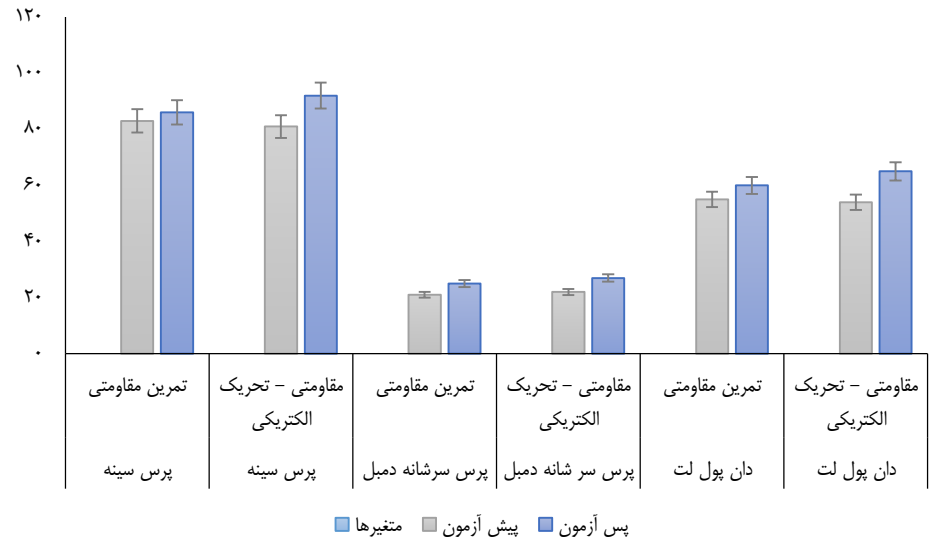
یافته‌ها

نتایج تحلیل کوواریانس برای شاخص‌های قدرت عضلانی و ترکیب بدن در جدول ۲ ارائه شده‌اند. بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس انجام شده برای بررسی تأثیر مداخله بر میزان پرس سینه با کنترل اثر پیش‌آزمون، یافته‌ها نشان داد که اثر پیش‌آزمون بر نمرات پس‌آزمون متغیر پرس سینه معنادار است ($p<۰/۰۰۱$). این بدان معناست که سطح اولیه حرکت پرس سینه در پیش آزمون تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج پس از مداخله داشته است. نتایج نشان می‌دهد که اعمال مداخله موجب تغییر چشمگیر در میزان رکورد پرس سینه شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مداخله تأثیر معناداری بر رکورد پرس سینه داشته و این تغییر مستقل از تأثیر پیش‌آزمون رخ داده است. بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس مربوط به پرس سرشانه با دمبل، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، یافته‌ها نشان می‌دهد که پیش‌آزمون تأثیر معناداری بر نمرات پس‌آزمون داشته است ($p<۰/۰۰۱$)، این موضوع بیانگر آن است که مقدار اولیه پرس سرشانه با دمبل پیش از مداخله نقش قابل توجهی در تغییرات مشاهده شده داشته و در تحلیل نهایی کنترل شده است (شکل ۱). همچنین، اثر گروه یا مداخله نیز معنادار گزارش شد که نشان می‌دهد تفاوت بین گروه‌ها حتی پس از حذف اثر پیش‌آزمون نیز قابل توجه بوده است؛ به عبارت دیگر، مداخله اعمال شده توانسته است به‌طور چشمگیری سطح پرس سرشانه با دمبل را تحت تأثیر قرار دهد و این تغییر مستقل از مقادیر اولیه بوده است. بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر زیر بغل سیم‌کش یافته‌ها نشان می‌دهد که پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، هر دو منبع تغییرات یعنی پیش‌آزمون و گروه تأثیر معناداری بر نمرات پس‌آزمون داشته‌اند.

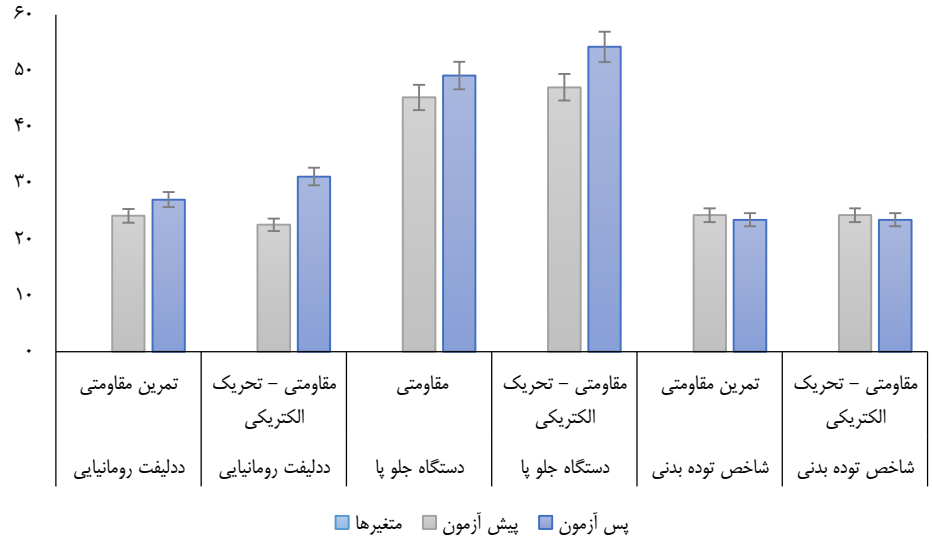
جدول ۲. مقادیر میانگین، انحراف معیار، درصد تغییر و سطح معناداری متغیرها در گروها

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تفاوت	P درون گروهی	P بین‌گروهی
پرس سینه	تمرین مقاومتی	۸۳/۲۰ ± ۴/۴۰	۸۶/۱۰ ± ۳/۱۰	۳/۹۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱
پرس سینه	تمرین مقاومتی + NMES	۸۱/۳۰ ± ۵/۹۰	۹۲/۴۰ ± ۴/۲۰	۱۱/۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
پرس سرشانه دمبل	تمرین مقاومتی	۲۱/۱۰ ± ۳/۲۰	۲۵/۳۰ ± ۳/۱۰	۴/۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱
پرس سرشانه دمبل	تمرین مقاومتی + NMES	۲۲/۴۰ ± ۳/۱۰	۲۷/۶۰ ± ۳/۴۰	۵/۲۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱
لت پول‌داون	تمرین مقاومتی	۵۵/۲۰ ± ۶/۵۰	۶۰/۱۰ ± ۶/۳۰	۴/۹۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱
لت پول‌داون	تمرین مقاومتی + NMES	۵۴/۱۰ ± ۶/۲۰	۶۵/۳۰ ± ۶/۷۰	۱۱/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ددلیفت رومانیایی دمبل	تمرین مقاومتی	۲۴/۲۰ ± ۳/۸۰	۲۷/۱۰ ± ۳/۷۰	۲/۹۰	۰/۰۲۶	۰/۰۰۱
ددلیفت رومانیایی دمبل	تمرین مقاومتی + NMES	۲۲/۶۰ ± ۳/۶۰	۳۱/۲۰ ± ۴/۰۰	۸/۶۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
جلو پا دستگاه	تمرین مقاومتی	۴۵/۳۰ ± ۶/۱۰	۴۹/۲۰ ± ۵/۹۰	۳/۹۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱
جلو پا دستگاه	تمرین مقاومتی + NMES	۴۷/۱۰ ± ۵/۸۰	۵۴/۳۰ ± ۶/۲۰	۷/۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
شاخص توده بدنی	تمرین مقاومتی	۲۴/۳۲ ± ۱/۰۰	۲۳/۵۰ ± ۱/۷۰	۰/۸۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱
شاخص توده بدنی	تمرین مقاومتی + NMES	۲۴/۱۰ ± ۱/۲۰	۲۳/۲۰ ± ۱/۴۰	۰/۹۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱

ابتدا، اثر پیش‌آزمون نشان می‌دهد که مقدار اولیه زیربغل سیم‌کش نقش مهمی در تغییرات پس از مداخله داشته و باید در تحلیل کنترل می‌شده است. این امر بیانگر آن است که تفاوت‌های اولیه شرکت‌کنندگان بر نتایج نهایی اثرگذار بوده‌اند. علاوه بر این، اثر گروه نشان‌دهنده تفاوت بسیار معنادار بین گروه‌ها پس از کنترل اثر پیش آزمون است؛ به این معنا که مداخله اعمال شده توانسته است تغییری چشمگیر در سطح زیربغل سیم‌کش ایجاد کند ($p<۰/۰۰۱$). بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر یافته‌ها پشت ران دمبل رومانیایی نشان می‌دهد که پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، هر دو منبع تغییرات یعنی پیش آزمون و گروه تأثیر معناداری بر نمرات پس‌آزمون داشته‌اند. ابتدا، مقدار اولیه پشت ران دمبل رومانیایی نقش مهمی در تغییرات پس از مداخله داشته و باید در تحلیل کنترل می‌شده است. این امر بیانگر آن است که تفاوت‌های اولیه شرکت‌کنندگان بر نتایج نهایی اثرگذار بوده‌اند. علاوه بر این، اثر گروه نشان‌دهنده تفاوت بسیار معنادار بین گروه‌ها پس از کنترل اثر پیش‌آزمون است؛ به این معنا که مداخله اعمال شده توانسته است تغییری چشمگیر در سطح پشت ران دمبل رومانیایی ایجاد کند ($p<۰/۰۰۱$). بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر یافته‌ها جلو پا با دستگاه نشان می‌دهد که پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، هر دو منبع تغییرات یعنی پیش‌آزمون و گروه تأثیر معناداری بر نمرات پس‌آزمون داشته‌اند ($p<۰/۰۰۱$). ابتدا مقدار اولیه جلو پا با دستگاه نقش مهمی در تغییرات پس از مداخله داشته و باید در تحلیل کنترل می‌شده است .این امر بیانگر آن است که تفاوت‌های اولیه شرکت‌کنندگان بر نتایج نهایی اثرگذار بوده‌اند (شکل ۲). علاوه بر این، اثر گروه نشان‌دهنده تفاوت بسیار معنادار بین گروه‌ها پس از کنترل اثر پیش‌آزمون است؛ به این معنا که مداخله اعمال شده توانسته است تغییری چشمگیر در سطح جلو پا با دستگاه ایجاد کند.



شکل ۱. تغییرات میانگین متغیرهای پژوهش پس از اجرای پروتکل تمرینات مقاومتی و تحریک الکتریکی عصب ـ عضله



شکل ۲. تغییرات میانگین متغیرهای پژوهش پس از اجرای پروتکل تمرینات مقاومتی و تحریک الکتریکی عصب ـ عضله

بحث

تحریک الکتریکی عصبی – عضلانی یکی از روش‌های مورد استفاده در علوم ورزشی و توان‌بخشی است که از طریق اعمال جریان الکتریکی به اعصاب حرکتی محیطی، موجب ایجاد پتانسیل عمل و در نهایت انقباض عضلات اسکلتی می‌شود. در تمرین مقاومتی متعارف، انقباض عضلانی عمدتاً در نتیجه فرمان حرکتی صادرشده از دستگاه عصبی مرکزی و انتقال آن از طریق نورون‌های حرکتی به تارهای عضلانی ایجاد می‌شود؛ درحالی‌که در روش تحریک الکتریکی خارجی می‌تواند مستقیماً در فعال‌سازی اعصاب حرکتی محیطی نقش داشته باشد (۱۲). در صورت ترکیب این روش با تمرین مقاومتی ارادی، عضله تحت تأثیر دو منبع تحریک قرار می‌گیرد که از نظر نحوه فراخوانی واحدهای حرکتی و الگوی زمانی فعال‌سازی عضلانی با یکدیگر تفاوت دارند. ازاین‌رو، افزودن تحریک الکتریکی با تمرین مقاومتی ممکن است الگوی فعالیت عصبی–عضلانی را تغییر دهد و بر میزان تنش مکانیکی ایجاد شده، تحمل بار تمرینی و سازگاری‌های حاصل از تمرین اثر بگذارد (۱۳). بااین‌حال، این اثرات به پارامترهای تحریک، شدت انقباض ارادی، نوع تمرین، گروه عضلانی هدف و ویژگی‌های آزمودنی‌ها وابسته‌اند و نمی‌توان آن‌ها را برای تمام شرایط تمرینی یکسان در نظر گرفت. از دیدگاه فیزیولوژی عصبی–عضلانی، یکی از ویژگی‌های مهم تحریک الکتریکی آن است که فراخوانی واحدهای حرکتی ممکن است در مقایسه با انقباض ارادی، الگوی متفاوتی داشته باشد. در انقباض ارادی، دستگاه عصبی مرکزی با توجه به شدت نیروی مورد نیاز، واحدهای حرکتی را بر اساس سازو کارهای عصبی مشخص و با تنظیم نرخ تخلیه نورون‌های حرکتی فعال می‌کند (۱۴). در مقابل، تحریک الکتریکی خارجی می‌تواند فراخوانی واحدهای حرکتی را تحت تأثیر عواملی مانند محل قرارگیری الکترود ها، شدت جریان، ویژگی‌های الکتریکی بافت و آستانه تحریک اعصاب محیطی قرار دهد. در بسیاری از شرایط، این فراخوانی از نظر فضایی و زمانی نسبت به انقباض ارادی یکنواختی کمتری دارد و ممکن است خستگی موضعی را سریع‌تر ایجاد کند؛ بنابراین، ترکیب تحریک الکتریکی با تمرین مقاومتی لزوماً به معنای افزایش قطعی تعداد واحدهای حرکتی فعال یا تولید نیروی بیشتر نیست، بلکه می‌تواند شیوه فعال‌سازی عضله و توزیع بار عملکردی میان واحدهای حرکتی را تغییر دهد (۱۵). در ارتباط با قدرت عضلانی، سازگاری‌های ناشی از تمرین مقاومتی را می‌توان به‌طور کلی در دو حوزه عصبی و عضلانی بررسی کرد. سازگاری‌های عصبی شامل بهبود

هماهنگی درون‌عضلانی، افزایش توانایی فعال‌سازی ارادی عضله، تغییر در نرخ تخلیه واحدهای حرکتی و بهبود هماهنگی میان عضلات مشارکت‌کننده در اجرای حرکت است (۱۶). این سازگاری‌ها، به‌ویژه در مراحل اولیه تمرین یا در افرادی که با محرک تمرینی جدید مواجه می‌شوند، می‌توانند نقش مهمی در افزایش قدرت داشته باشند. از سوی دیگر، سازگاری‌های عضلانی ممکن است شامل تغییر در سطح مقطع فیزیولوژیکی عضله، ویژگی‌های انقباضی تارهای عضلانی و ظرفیت تولید نیرو باشد. سهم نسبی هر یک از این سازگاری‌ها به مدت مداخله، شدت و حجم تمرین، وضعیت تمرینی افراد و ویژگی‌های آزمون قدرت وابسته است. افزایش قدرت پس از مداخله، می‌تواند نشان دهنده افزایش رشد عضلانی یا تغییر در فراخوانی واحدهای حرکتی نسبت داد؛ که نتیجه احتمالی مجموعه‌ای از سازگاری‌های عصبی، عضلانی و یادگیری حرکتی دانست (۱۷). از منظر نظری، افزودن تحریک الکتریکی به تمرین مقاومتی می‌تواند از طریق افزایش تحریک عضله در طول اجرای تمرین، محرک تمرینی متفاوتی نسبت به تمرین مقاومتی متعارف فراهم کند. بااین‌حال، تحقق این مزیت به آن بستگی دارد که شدت و مدت تحریک به‌اندازه کافی باشد، عضله هدف به‌درستی تحریک شود و بار تمرینی اضافی با توانایی بازیابی فرد تناسب داشته باشد. در صورت اعمال تحریک با شدت نامناسب یا ایجاد خستگی بیش از حد، کیفیت اجرای حرکات مقاومتی و توانایی حفظ شدت تمرین ممکن است کاهش یابد؛ بنابراین، اثربخشی تحریک الکتریکی را باید در چارچوب تعامل میان تحریک الکتریکی، انقباض ارادی، بار مکانیکی و فرایند بازیابی بررسی کرد. به همین دلیل، برتری احتمالی تمرین مقاومتی همراه با تحریک الکتریکی نسبت به تمرین مقاومتی است (۱۸). در تفسیر تغییرات ترکیب بدن نیز توجه به ماهیت شاخص‌های اندازه‌گیری شده ضروری است. ترکیب بدن مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها، از جمله توده چربی، توده بدون چربی، آب کل بدن و سایر اجزای بافتی را در بر می‌گیرد. تمرین مقاومتی می‌تواند با افزایش محرک سنتز پروتئین‌های عضلانی، بهبود تعادل پروتئینی و ایجاد شرایط مناسب برای سازگاری عضلات، در طول زمان به افزایش توده عضلانی کمک کند (۱۹). در مقابل، تغییر در توده چربی بدن معمولاً تحت تأثیر تعادل انرژی، دریافت مواد مغذی، میزان فعالیت بدنی، هزینه انرژی و عوامل فردی قرار دارد. این ملاحظات به‌ویژه زمانی اهمیت دارند که ترکیب بدن با روش آنالیز امپدانس الکتریکی زیستی اندازه‌گیری شده باشد. در این روش، ویژگی‌های الکتریکی بدن برای برآورد آب بدن و سپس تخمین برخی مؤلفه‌های ترکیب بدن به کار می‌روند. ازآنجاکه مقاومت الکتریکی با میزان آب و الکترولیت های بافتی ارتباط دارد، عواملی مانند وضعیت آب‌رسانی، مصرف غذا و مایعات، فعالیت بدنی پیش از اندازه‌گیری، زمان ارزیابی و شرایط محیطی می‌توانند بر نتایج اثر بگذارند. از نظر روش‌شناختی و آماری، ارزیابی اثربخشی افزودن تحریک الکتریکی به تمرین مقاومتی مستلزم تمایز میان تغییرات درون‌گروهی و تفاوت تغییرات بین‌گروهی است (۲۰، ۲۱). تغییر معنادار یک شاخص در گروه دریافت‌کننده تحریک الکتریکی، به‌تنهایی نشان نمی‌دهد که این روش نسبت به تمرین مقاومتی متعارف اثربخشی بیشتری داشته است؛ زیرا ممکن است گروه مقایسه نیز در اثر تمرین مقاومتی، سازگاری‌های مشابهی را تجربه کند.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌کارگیری هم‌زمان تمرین مقاومتی و تحریک الکتریکی عصبی– عضلانی می‌تواند به‌عنوان رویکردی مکمل برای بهبود سازگاری‌های عصبی – عضلانی و شاخص‌های قدرت و ترکیب بدن مورد توجه قرار گیرد. از نظر فیزیولوژیکی، ترکیب انقباض ارادی با تحریک الکتریکی ممکن است الگوی فراخوانی واحدهای حرکتی و پاسخ عضله به تمرین را تغییر دهد و زمینه‌ساز سازگاری‌های متفاوتی نسبت به تمرین مقاومتی تنها شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش به تأیید کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان رسیده است (IR.IAU.H.REC.1402.121). پیش از شرکت در پژوهش، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان دریافت شد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی اختصاصی از سوی سازمان‌های تأمین‌کننده بودجه در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

سید محمد اسماعیل حسنی طباطبایی: مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، تحلیل، نظارت، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازبینی و ویرایش متن.

جواد الماسی: مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازبینی و ویرایش متن.

تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کردند.

تعارض

نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با انتشار این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

References

1. Zheng J, Wei Z, Zuo H, Wang K, Lin X, Chen J. The effect of adding neuromuscular electrical stimulation to exercise therapy on patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. PLOS ONE. 2025;20(6):e0326785. [DOI:10.1371/journal.pone.0326785]

2. Ahmadi V. Effect of 8 weeks of gymnastics training with electrical stimulation on electromyographic and electroneurographic parameters of the calf muscle in gymnasts aged 8-12. Journal of Motor and Behavioral Sciences. 2023;6(4):1-11.

3. Adolph KE, Hoch JE. The importance of motor skills for development. Nestlé Nutrition Institute Workshop Series. 2020;95:136-144. [DOI:10.1159/000511511]

4. Zaroni RS, Brigatto FA, Schoenfeld BJ, Braz TV, Benvenutti JC, Germano MD, et al. High resistance-training frequency enhances muscle thickness in resistance-trained men. Journal of Strength and Conditioning Research. 2019;33(Suppl 1):S140-S151. [DOI:10.1519/JSC.0000000000002643]

5. Mero AA, Hulmi JJ, Salmijärvi H, Katajavuori M, Haverinen M, Holviala J, et al. Resistance training induced increase in muscle fiber size in young and older men. European Journal of Applied Physiology. 2013;113(3):641-650. [DOI:10.1007/s00421-012-2466-x]

6. Delezie J, Handschin C. Endocrine crosstalk between skeletal muscle and the brain. Frontiers in Neurology. 2018;9:698. [DOI:10.3389/fneur.2018.00698]

7. Pedersen BK. Physical activity and muscle-brain crosstalk. Nature Reviews Endocrinology. 2019;15(7):383-392. [DOI:10.1038/s41574-019-0174-x]

8. Bay ML, Pedersen BK. Muscle-organ crosstalk: focus on immunometabolism. Frontiers in Physiology. 2020;11:567881. [DOI:10.3389/fphys.2020.567881]

9. Blizzard LeBlanc DR, Rioux BV, Pelech C, Moffatt TL, Kimber DE, Duhamel TA, et al. Exercise-induced irisin release as a determinant of the metabolic response to exercise training in obese youth: the EXIT trial. Physiological Reports. 2017;5(23):e13539. [DOI:10.14814/phy2.13539]

10. Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization: theory and methodology of training. 6th ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2018. [DOI:10.5040/9781718225435]

11. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. British Journal of Sports Medicine. 2020;54(24):1451-1462. [DOI:10.1136/bjsports-2020-102955]

12. Diamond A. Executive functions. Handbook of Clinical Neurology. 2020;173:225-240. [DOI:10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4]

13. Naseri SIS S. The role of resistance training in improving executive function in children. Journal of Motor and Behavioral Sciences. 2025;8(2).

14. Zeng N, Ayyub M, Sun H, Wen X, Xiang P, Gao Z. Effects of physical activity on motor skills and cognitive development in early childhood: a systematic review. BioMed Research International. 2017;2017:2760716. [DOI:10.1155/2017/2760716]

15. Song Y, Fan B, Wang C, Yu H. Meta-analysis of the effects of physical activity on executive function in children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder. PLOS ONE. 2023;18(8):e0289732. [DOI:10.1371/journal.pone.0289732]

16. Happ KA, Behringer M. Neuromuscular electrical stimulation training vs. conventional strength training: a systematic review and meta-analysis of the effect on strength development. Journal of Strength and Conditioning Research. 2022;36(12):3527-3540. [DOI:10.1519/JSC.0000000000004119]

17. Borzuola R, Laudani L, Labanca L, Macaluso A. Superimposing neuromuscular electrical stimulation onto voluntary contractions to improve muscle strength and mass: a systematic review. European Journal of Sport Science. 2023;23(8):1547-1559. [DOI:10.1080/17461391.2022.2104656]

18. Sarvar F, Fallah Mohammadi M, Safari F. The effect of neuromuscular training on balance, functional movement, and proprioception of the knee and ankle in female taekwondo athletes aged 15-18 years. Journal of Sport Biomechanics. 2023;9(4):320-335. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.4.320]

19. Qiyami Rad A, Jafari Amir Khiz S, Shahbazi B. The effect of extra-functional exercises with and without functional muscle stimulation on lumbar lordosis in women aged 20-30 years in Tabriz. Journal of Sport Biomechanics. 2023;9(3):192-202. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.3.192]

20. Hashim H, Mohammed SA, Mohammed B, Ismaeel SA, Nasir M. Biceps and triceps muscle activation under progressive loads: a study on functional symmetry of the upper limbs. Journal of Sport Biomechanics. 2025;11(1):64-78. [DOI:10.61186/JSportBiomech.11.1.64]

21. Filipović A, Kleinöder H, Dörmann U, Mester J. Electromyostimulation-a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. Journal of Strength and Conditioning Research. 2011;25(11):3218-3238. [DOI:10.1519/JSC.0b013e318212e3ce]