

Research Paper



The Effect of Six Weeks of High-Intensity Interval Training with and without Coenzyme Q10 Supplementation on Bench Press and Squat Strength in Competitive Male Bodybuilders

*Javad Almasi¹, Mohammad Mahdi Shahbazbagian¹

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

Use your device to scan and read the article online



Citation: Almasi J, Shahbazbagian MM. The Effect of Six Weeks of High-Intensity Interval Training with and without Coenzyme Q10 Supplementation on Bench Press and Squat Strength in Competitive Male Bodybuilders. (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(1):80-92. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.1.80>

<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.1.80>



Article Info:

Received: 6 March 2025

Accepted: 19 April 2025

Available Online: 19 April 2025

Keywords:

High-intensity interval training, Coenzyme Q10, Muscular strength, Bodybuilders

ABSTRACT

Objective Resistance training can be performed using external weights or body weight. It induces muscle tension, ultimately leading to increases in contractile proteins, muscle cross-sectional area, anaerobic power, speed, strength, muscular endurance, and motor function—all of which play key roles in enhancing athletic performance. This study aimed to investigate the effect of six weeks of high-intensity interval training (HIIT), with and without coenzyme Q10 supplementation, on the muscular strength of male bodybuilders in Hamadan.

Methods This semi-experimental study involved a statistical population of 200 male bodybuilders in Hamadan. Thirty participants (mean age: 23.3 ± 0.4 years; height: 172 ± 6 cm; weight: 76 ± 2.6 kg), with no history of Q10 supplementation or HIIT during the previous six months, were randomly and voluntarily selected and assigned to two groups of 15. Ethical considerations were addressed using a health screening questionnaire and informed consent form. The experimental group underwent six weeks of HIIT combined with coenzyme Q10 supplementation, while the control group performed the same HIIT protocol with a placebo supplement of identical appearance and dosage. Muscular strength was assessed using Impulse fitness machines (manufactured in China), and one-repetition maximum (1RM) was calculated. Data were analyzed using the Shapiro–Wilk test and univariate and multivariate analysis of covariance (ANCOVA) via SPSS version 25.

Results The results indicated significant improvements in muscular strength in both groups, with greater gains observed in the group receiving CoQ10 supplementation. In the bench press, 55% of the variance in post-test strength was attributed to the intervention ($F = 33.58$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.554$), and in the squat, this effect reached 80% ($F = 107.22$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.799$).

Conclusion Six weeks of high-intensity interval training significantly improved upper and lower body strength in male bodybuilders. The combination of HIIT and CoQ10 supplementation was more effective than HIIT alone. These findings suggest that CoQ10 may serve as a beneficial supplement for enhancing muscular performance and mitigating fatigue in strength-based training programs.

* Corresponding Author:

Javad Almasi

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

Tel: +98 (918) 8186722

E-mail: almasi.javad@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

Resistance training—whether performed with external weights or bodyweight exercises—induces muscle tension and promotes increases in contractile proteins, muscle cross-sectional area, anaerobic capacity, speed, strength, muscular endurance, and motor performance, all of which are essential for enhancing athletic performance (1). The effectiveness of such training depends on variables such as intensity, volume, duration, frequency, and the athlete's individual capacity (1). Efforts have been made to objectively quantify the balance between training load and the athlete's tolerance. Athletes often require rapid performance optimization, especially following periods of reduced activity. High-Intensity Interval Training (HIIT), characterized by short bursts of vigorous exercise followed by rest or low-intensity periods, has emerged as an effective strategy under such circumstances (2). HIIT has been shown to enhance athletic performance and improve skeletal muscle metabolism (3). However, when athletes exceed their physiological thresholds, fatigue can ensue, leading to declines in metabolic and neuromuscular performance, diminished muscle contractions, and compromised athletic outcomes. As a result, strategies to delay fatigue—such as the use of anti-fatigue supplements—have become increasingly popular among athletes.

One such supplement is Coenzyme Q10 (CoQ10), a fat-soluble, vitamin-like compound present in all cells (6). CoQ10 plays a vital role in mitochondrial energy production and provides protection against oxidative stress. Previous studies have indicated that CoQ10 supplementation (typically 60–100 mg daily for 4 to 8 weeks) may improve aerobic capacity, anaerobic threshold, muscle strength, and recovery (9). The present study aimed to examine the effects of six weeks of HIIT, with and without CoQ10 supplementation, on muscular strength in male bodybuilders. Muscle strength—particularly in the bench press and squat—was used as a primary indicator of performance. The aim of the present study was to investigate the effect of six weeks of high-intensity interval training with and without Coenzyme Q10 supplementation on bench press and squat strength in competitive male bodybuilders.

2. Methods

This study employed a semi-experimental design. The statistical population included 200 male bodybuilders from Hamadan. From this population, 30 individuals (mean age: 23.3 ± 0.4 years; height: 172 ± 6 cm; weight: 76 ± 2.6 kg) who had not used coenzyme Q10 supplements or participated in high-intensity interval training (HIIT) during the six months preceding the study were randomly and voluntarily selected. These participants were then assigned to two equal groups of 15 individuals each. Ethical considerations were addressed by administering a health questionnaire and obtaining written informed consent. Participant selection was based on their complete responses to the questionnaire and a signed consent form indicating their full understanding of the research protocol as explained by the investigator. The study followed a pre-test/post-test design involving two experimental conditions. The first group performed HIIT combined with CoQ10 supplementation, while the second group engaged in the same HIIT protocol but received a placebo instead of the supplement. Inclusion criteria for participation included having no history of chronic illnesses, maintaining a regular exercise routine of at least two sessions per week, and abstaining from the use of coenzyme Q10 or similar supplements during the two months prior to the study. All participants reviewed the research procedures and signed informed consent forms before the intervention began. Muscular strength was assessed using the one-repetition maximum (1RM) test for two fundamental movements: the barbell bench press to evaluate upper body strength, and the barbell back squat to assess lower body strength and endurance. Measurements were conducted using Impulse-brand resistance training machines (manufactured in China). Initially, the heaviest weight a participant could lift once was determined. If the participant could lift the weight for more than one repetition, the following formula was used to estimate their 1RM:

$$1RM = \text{Lifted Weight (kg)} / (\text{Number of Repetitions} \times 0.0278) - 1.0278$$

Each participant selected a weight they believed to be close to their maximum capacity for one lift. If they were able to perform multiple repetitions, the lifted weight and number of repetitions were entered into the formula above to calculate the estimated 1RM. The bench press was performed by lowering the bar to the

chest and pressing it back up with both arms simultaneously. The squat involved placing the barbell on the upper back (between the shoulder blades), squatting down fully with the back straight, and then rising to a full standing position. Strength values were recorded in kilograms. The HIIT intervention lasted six weeks and included three sessions per week. Each session comprised short bouts of high-intensity running alternated with low-intensity active recovery. Specifically, the protocol involved 20-meter sprints with 20 to 30 seconds of rest between repetitions. To ensure progressive overload and training effectiveness, participants performed four sprints per session during weeks 1 and 2, five sprints during weeks 3 and 4, and six sprints during weeks 5 and 6. Each training session also included a 5-minute warm-up and a 5-minute cool-down period. For supplementation, participants in the experimental group received 42 pink gelatin capsules, each containing 30 mg of coenzyme Q10, manufactured by Natural Organics (USA). They were instructed to take one capsule daily after a meal. To ensure adherence, participants received daily reminders via text message. The control group received placebo capsules identical in appearance and volume, containing dextrose.

Statistical analysis was conducted using univariate analysis of covariance (ANCOVA) to test the research hypothesis. The independent variables were the six-week HIIT program and CoQ10 supplementation. The dependent variable was post-test muscular strength, with pre-test scores included as a covariate. Prior to analysis, the assumptions of ANCOVA—including homogeneity of regression slopes, linearity, and equality of variances—were tested and confirmed. Strength data for both the bench press and squat were used in the analysis.

3. Results

The results of the ANCOVA analysis evaluating the effect of six weeks of high-intensity interval training (HIIT) and Coenzyme Q10 (CoQ10) supplementation on muscular strength are presented in [Tables 1](#) and [2](#).

[Table 1](#) presents the results for bench press strength. The findings show a statistically significant difference between the groups after controlling for pre-test scores ($F(1, 27) = 33.58, p < 0.001, \eta^2 = 0.554$). The observed p-value for muscular strength was less than 0.05, indicating a significant relationship between the group variable and the dependent variable. The effect size ($\eta^2 = 0.554$) suggests that approximately 55% of the variance in post-test bench press strength can be attributed to the HIIT and CoQ10 intervention.

[Table 2](#) presents the results for back squat strength. Similar to the bench press findings, there was a statistically significant difference between the groups ($F(1, 27) = 107.222, p < 0.001, \eta^2 = 0.799$). The effect size indicates that approximately 80% of the variance in squat strength was explained by the intervention.

4. Conclusion

The present study investigated the effects of six weeks of high-intensity interval training (HIIT), with and without Coenzyme Q10 (CoQ10) supplementation, on muscular strength in male bodybuilders. The results demonstrated significant improvements in upper and lower body strength, with approximately 55% of the variance in bench press performance and 80% in squat performance attributed to the intervention. These findings align with previous research indicating the beneficial role of CoQ10 in muscle function and recovery ([15](#)). Multiple studies have reported similar outcomes. For example, Little and Phillips found that CoQ10 supplementation following intense resistance training helped regulate immune markers in professional wrestlers by mitigating muscle damage ([16](#)). Similarly, Mehri et al. showed that short-term CoQ10 intake reduced muscle injury markers such as CK and AST in elite swimmers, particularly when combined with pre-cooling strategies ([17](#)). Nowotny et al. also reported that chronic CoQ10 supplementation significantly lowered muscle damage biomarkers after exhaustive aerobic activity ([18](#)). Moreover, the findings of Saeidi et al. in elite cyclists confirmed that CoQ10 supplementation may modestly improve lipid profiles and reduce muscle damage following intense aerobic exercise ([19](#)). Trapp et al. highlighted the antioxidant role of CoQ10, stating that it modulates oxidative stress and inflammatory signaling, thus preserving cell integrity during heavy physical exertion ([21](#)). These studies support the physiological rationale behind the current study's results.

Muscular strength refers to a muscle's ability to contract against resistance, allowing for increased force generation and repetition capacity. HIIT has been recognized as a powerful method for enhancing muscle

mass, strength, and aerobic power. Importantly, it improves $\text{VO}_{2\text{max}}$, which is critical for oxygen delivery and utilization during intense activities. Improved oxygen transport and aerobic capacity result in faster recovery and enhanced performance. Thus, combining HIIT with CoQ10 may lead to superior strength gains by reducing oxidative stress and enhancing oxygen availability to the working muscles, helping athletes achieve performance improvements more rapidly than through training alone.

Table 1. Results of Univariate Analysis of Covariance (ANCOVA) for the Effect of High-Intensity Interval Training and Coenzyme Q10 Supplementation on Bench Press Strength in Male Bodybuilders

	SS	df	MS	F	p-value	η^2
Corrected Model	763.888	2	381.944	118.427	<0.001	0.898
Intercept	11.717	1	11.717	3.633	0.064	0.119
Pre-test	655.588	1	655.588	203.274	<0.001	0.883
Group	108.300	1	108.300	33.580	<0.001	0.554
Error	87.079	27	3.225	—	—	—
Total	17428.3	30	—	—	—	—
Corrected Total	850.967	29	—	—	—	—

Table 2. Results of Univariate Analysis of Covariance (ANCOVA) for the Effect of High-Intensity Interval Training and Coenzyme Q10 Supplementation on Squat Strength in Male Bodybuilders

	SS	df	MS	F	p-value	η^2
Corrected Model	444.980	2	222.490	107.874	<0.001	0.889
Intercept	5.192	1	5.192	2.518	0.124	0.085
Pre-test	186.846	1	186.846	90.593	<0.001	0.770
Group	221.144	1	221.144	107.222	<0.001	0.799
Error	55.687	27	2.062	—	—	—
Total	6490.4	30	—	—	—	—
Corrected Total	500.667	29	—	—	—	—

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله پژوهشی

تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی شدید با و بدون مکمل کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی حرکات پرس سینه و اسکات پا در ورزشکاران مرد بدنساز

* جواد الماسی^۱ ID، محمدمهدی شهبازبکیان^۱ ID

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

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Almasi J, Shabbazbagian MM. The Effect of Six Weeks of High-Intensity Interval Training with and without Coenzyme Q10 Supplementation on Bench Press and Squat Strength in Competitive Male Bodybuilders. (Persian). Journal of Sport Biomechanics.2025;11(1):80-92. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.1.80> <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.1.80>

چکیده

هدف هدف این پژوهش، بررسی تأثیر شش هفته تمرین تناوبی شدید با و بدون مکمل دهی کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی ورزشکاران مرد بدن ساز در شهر همدان بود.

روش ها این مطالعه از نوع نیمه تجربی بود و با مشارکت ۳۰ بدن ساز مرد از شهر همدان انجام شد که به صورت تصادفی در دو گروه ۱۵ نفری تقسیم شدند. گروه آزمایش به مدت شش هفته تمرینات تناوبی شدید همراه با مصرف روزانه ۳۰ میلی گرم مکمل کوآنزیم Q10 انجام داد، در حالی که گروه کنترل همان تمرینات را با مکمل دارونما دریافت کرد. قدرت عضلانی با استفاده از دستگاه های بدن سازی ایمپالس و آزمون یک تکرار بیشینه (1RM) در حرکات پرس سینه و اسکات پا اندازه گیری شد. داده ها با آزمون شاپیرو-ویلک و تحلیل کوواریانس تک متغیره و چندمتغیره در نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شدند.

یافته ها نتایج نشان داد که قدرت عضلانی در هر دو گروه به طور معناداری بهبود یافته است، اما میزان افزایش در گروهی که مکمل کوآنزیم Q10 دریافت کرده بود بیشتر بود. در حرکت پرس سینه، ۵۵ درصد از تغییرات در نمرات پس از آزمون قدرت عضلانی به مداخله پژوهش نسبت داده شد ($F=33/58, p<0.01$) و در حرکت اسکات پا این تأثیر به ۸۰ درصد رسید ($F=107/222, p<0.01$).

نتیجه گیری شش هفته تمرینات تناوبی شدید به تنهایی موجب افزایش معنادار در قدرت عضلانی اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران بدن ساز شد. با این حال، ترکیب این تمرینات با مکمل دهی کوآنزیم Q10 اثربخشی بیشتری داشت. این یافته ها نشان می دهند که مصرف مکمل CoQ10 می تواند در بهبود عملکرد عضلانی و کاهش خستگی در برنامه های تمرینی مبتنی بر قدرت مؤثر باشد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۶ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۳۰ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۳۰ فروردین ۱۴۰۴

کلید واژه ها:

تمرین تناوبی شدید، کوآنزیم Q10، قدرت عضلانی، توان عضلانی

*نویسنده مسئول:

جواد الماسی

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

تلفن: ۸۱۸۶۷۲۲ (۹۱۸) +۹۸

ایمیل: almasi.javad@yahoo.com

مقدمه

تمرینات مقاومتی را می‌توان با وزنه و یا بدون وزنه (وزن بدن) انجام داد، انجام تمرینات مقاومتی موجب تنش عضلات شده و در نهایت منجر به افزایش پروتئین‌های انقباضی، افزایش سطح مقطع عضلات، بهبود توان بی‌هوازی و سرعت و افزایش قدرت، استقامت عضلانی و عملکرد حرکتی نقش مهمی در بهبود عملکرد ورزشی بر عهده دارد (۱). کارایی تمرینات ورزشی به شدت، حجم، زمان، تواتر تمرینات و توانایی ورزشکار بستگی دارد. تلاش‌های بسیاری انجام شده است تا به گونه عینی بتوان تعادل بین بار تمرینات و تحمل ورزشکار را کمی کرد. مربیان تلاش می‌کنند این عوامل ضروری را تعدیل کنند تا سازگاری‌های مطلوب را به حداکثر برسانند (۱). از طرف دیگر، ورزشکاران اغلب به یک برنامه تمرینی برای رسیدن به حداکثر آمادگی در یک دوره زمانی کوتاه به‌ویژه پس از دوره‌های شدید کم تمرینی و بی تمرینی نیاز دارند، در چنین شرایطی، تمرین تناوبی شدید (مورد توجه قرار گرفته است. تمرین تناوبی خیلی شدید یا به اختصار HIIT به معنای تمرین‌های خیلی شدید در بازه‌های زمانی کوتاه است؛ تکنیکی از تمرین که در آن، فرد را به‌صورت همه‌جانبه وادار به تلاش صددرصدی و بسیار سریع می‌کند. همچنین دارای تمرین‌های انفجاری شدید در زمان‌های کوتاه با دوره‌های استراحت و فعالیت متناوب است (۲).

توانایی برنامه‌های تمرین تناوبی شدید در بهبود سریع ظرفیت ورزشی و متابولیسم انرژی عضله اسکلتی به‌وسیله محققان مختلف بررسی شده است (۳). هنگامی که ورزشکار به سطحی فراتر از حد فیزیولوژیک خود قدم می‌گذارد، با خطر خستگی روبه‌رو می‌شود که در نهایت عملکرد سیستم‌های متابولیکی و عصبی-عضلانی برای استمرار فعالیت کاهش یافته و انقباض عضلانی نمی‌تواند برای مدت طولانی حفظ گردد که باعث کاهش کارایی بهینه ورزشکاران می‌شود (۴) و این مسئله ورزشکاران بسیاری را به یافتن راه‌کارهایی برای تأخیر در ورود به خستگی تشویق نموده و نقش مکمل‌هایی با خواص ضد خستگی را در کنار تمرینات مؤثر، به‌عنوان گزینه‌ای در دسترس و مطلوب برای آن‌ها بارز می‌نماید (۵).

مکمل ورزشی بنا به تعریف، ترکیب یا فرآورده‌ای است که مستقیماً و از طریق اثرات شبه دارویی خود موجب بهبود عملکرد و بازده ورزشی ورزشکاران می‌شود (۶). یکی از مکمل‌های غذایی جدید در سال‌های اخیر کوآنزیم Q10 است. کوآنزیم Q10 که با نام یوبی کوئینون نیز شناخته می‌شود یک ماده شبه ویتامین و محلول در چربی است که در همه سلول‌های بدن یافت می‌شود (۷). کوآنزیم Q10 غالب‌ترین شکل یوبی‌کینون در بدن انسان است که به‌عنوان یک کوفاکتور اگزوژن آنزیمی در تمام سلول‌های زنده انسان تولید می‌شود و به‌عنوان یک کاتالیزور در جابجایی پروتون / الکترون در میتوکندری و لیزوزوم‌ها ایفای نقش می‌کند و از میتوکندری در مقابل آسیب رادیکال آزاد محافظت می‌کند. کوآنزیم Q10 عمدتاً به‌وسیله لیپوپروتئین‌ها در خون حمل می‌شود و می‌تواند وظیفه آنتی‌اکسیدانتی داشته باشد. کوآنزیم Q10 یکی از مکمل‌هایی است که اخیراً در دسترس ورزشکاران قرار گرفته است (۸). در برخی پژوهش‌ها مشخص شد مصرف مکمل کوآنزیم Q10 به میزان ۶۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در روز به مدت ۸-۴ هفته حاکی از بهبود توان هوازی، آستانه بی‌هوازی (۹)، قدرت عضلانی^۲ ریکاوری پس از ورزش در ورزشکاران تمرین کرده و افراد بی تمرین بوده است. لذا با توجه به مطالب گفته شده هدف از این پژوهش تأثیر شش هفته تمرین تناوبی شدید با و بدون مکمل دهی کوآنزیم Q10 روی قدرت عضلانی در بین ورزشکاران مرد بدن‌ساز می‌باشد. قدرت عضلانی، توانایی یا ظرفیت یک عضله یا گروه عضلانی، برای اعمال حداکثر نیرو علیه یک مقاومت است، بنابراین افزایش قدرت عضلانی، یکی از عوامل ضروری آمادگی برای

1. High Intensity Interval Training (HIT)
2. Muscle strength

کسانی است که در یک برنامه فعالیت جسمانی شرکت می‌کنند. حفظ حداقل سطح قدرت در عضله یا گروه عضلانی، برای زندگی طبیعی و سالم، حائز اهمیت است. ضعف عضلانی یا عدم توازن گروه‌های عضلانی، می‌تواند باعث حرکت یا جابه‌جایی غیرطبیعی در بخش‌های مختلف بدن شود و عملکرد طبیعی آن را معیوب کند؛ همچنین می‌تواند سبب ناهنجاری اندام‌ها شود (۱۰). تمرین تناوبی شدید، نوعی تمرین بدنی است که به‌صورت دوره‌های تناوبی فعالیت شدید توأم با فواصل استراحت یا تمرین با شدت پایین‌تر تعریف می‌شود HIT به دلیل امکان دستکاری متعدد فاکتورهای تمرین مانند شدت، مدت و تعداد تکرارها و نیز تغییرات بازگشت به حالت اولیه (مدت زمان و نوع فعالیت)، سازگاری‌های فیزیولوژیک خاصی را موجب می‌شود. تمرینات تناوبی شدید را شامل تکرارهایی با شدت بیشینه یا نزدیک به بیشینه بیان نمود که توسط دوره‌های بازیافت غیرفعال یا فعال با شدت کم از هم جدا می‌شوند.

کاسیدی^۱ نیز تمرین تناوبی با شدت بالا را شامل اینتروال‌های کوتاه فعالیت با شدت بالا می‌داند که با دوره‌های فعالیت کم یا استراحت همراه می‌باشد (۱۱). کوآنزیم Q10 مولکولی است که با ورود پیوسته به چرخه اکسیداسیون و احیا شدن و با گرفتن الکترون احیا و با از دست دادن آن اکسید می‌شود. کوآنزیم Q10 در حالت احیا، الکترون‌ها را به سستی در اختیار دارد. به همین دلیل یک یا دو الکترون را از دست می‌دهد و به‌راحتی اکسید می‌شود. ماهیت کوآنزیم Q10 در گرفتن و از دست دادن سریع الکترون‌ها، سبب خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی این ترکیب می‌شود (۱۲). کوآنزیم Q10 با ممانعت از تولید رادیکال‌های پراکسیل مانع پراکسیداسیون لیپیدها و اکسیداسیون پروتئین‌ها می‌شود. فرم احیای کوآنزیم Q10 به شکل مؤثری سبب احیای ویتامین E از رادیکال - α توکوفرول‌کسیل می‌شود و از تخریب ویتامین E جلوگیری می‌کند (۱۳). بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی شدید با و بدون مصرف مکمل کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی حرکات پرس سینه و اسکات پا در ورزشکاران مرد بدن‌ساز بود.

روش شناسی

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی است و جامعه آماری تحقیق حاضر را ۲۰۰ نفر از بدن‌سازان مرد شهرستان همدان تشکیل می‌دادند. تعداد ۳۰ نفر از آن‌ها (با میانگین سن $23/30 \pm 0/4$ سال، قد $172/00 \pm 0/6$ سانتی‌متر و وزن $76/00 \pm 2/6$ کیلوگرم) که تا شش ماه قبل از اجرای تحقیق سابقه مصرف مکمل Q10 و تمرینات تناوبی شدید را نداشتند، به‌طور تصادفی و داوطلبانه، انتخاب و در دو گروه ۱۵ نفری طبقه‌بندی شدند. برای رعایت ملاحظات اخلاقی، از پرسش‌نامه سلامت و رضایت‌نامه استفاده شد. لازم به ذکر است که گزینش نمونه‌ها در مرحله اول برحسب پاسخ داوطلبان به مفاد این پرسش‌نامه و پرکردن رضایت‌نامه مبنی بر داشتن داده‌های کامل در مورد انجام تحقیق (که از سوی محقق برای داوطلبان ذکر شده است) صورت پذیرفت.

روش اجرای پژوهش

طرح تحقیقی پژوهش حاضر، به‌صورت طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون بود که در دو مرحله و با دو گروه تمرین تناوبی با مصرف مکمل ($n=15$) و گروه تمرین تناوبی شدید بدون مصرف مکمل ($n=15$) انجام گرفت شرایط ورود به تحقیق عبارت است: عدم سابقه بیماری‌های خاص، الگوی تمرین منظم و حداقل دو روز در هفته، عدم استفاده از مکمل کوآنزیم Q10 یا مکمل‌های مشابه در دو ماه اخیر، افراد شرکت‌کننده پس از مطالعه‌ی شیوه اجرای تحقیق، رضایت‌نامه همکاری را تکمیل و امضا کردند. برای

سنجش قدرت عضلانی حداکثر قدرت مورد محاسبه قرار گرفت. ماشین‌ها و دستگاه‌های بدن‌سازی ایمپالس ساخت چین برای اندازه‌گیری قدرت عضلانی انجام شد. در وهله اول مشخص شد که حداکثر وزنه‌ای که یک بدن‌ساز می‌تواند برای تعداد یک‌بار آن را حرکت دهد چقدر است. وزن این وزنه برابر است با یک بیشینه یا 1RM است. برای اندازه‌گیری میزان قدرت عضلانی افراد از فرمول زیر استفاده شد (۱۴).

$$۱/۰۲۷۸ - (۰/۰۲۷۸ \times \text{تعداد تکرار تا خستگی}) / \text{وزنه جابجا شده (کیلوگرم)} = \text{یک تکرار بیشینه}$$

به این صورت که آزمودنی در وهله اول وزنه‌ای را به دلخواه انتخاب نمود. وزنه، سنگین‌ترین وزنی بود که آزمودنی حدس زد می‌تواند آن را در آن حرکت بخصوص به حرکت درآورد. حال که وزنه انتخاب شد، شروع به حرکت دادن وزنه در آن حرکت خاص نمود. شاید تنها یک بار بتواند آن وزنه را حرکت دهد که در این صورت وزن آن وزنه برابر با 1RM می‌باشد و شاید نیز وزنه را به تعداد بیشتر بتواند حرکت دهد که در این صورت با قرار دادن تعداد تکرار و وزن، وزنه در فرمول بالا میزان یک تکرار بیشینه مشخص گردید. این اندازه‌گیری را برای حرکات پرس سینه هالتر (هالتر مماس با سینه پایین آمده و سپس دو دست موازی با هم به بالا آمد) و اسکات پا با هالتر (هالتر از قسمت وسط به طوری که تعادل آن به هم نخورد، در قسمت پشت سرشانه بین دو کتف قرار گرفته و آزمودنی با دو دست خود آن را گرفته و به طور کامل پایین رفته و دوباره بالا آمده و کمر باید صاف باشد) اندازه‌گیری شد. میزان رکورد آزمودنی‌ها برحسب کیلوگرم ثبت گردید. حرکت پرس سینه برای تعیین قدرت عضلات بالا تنه و اسکات برای استقامت عضلات پا و پایین تنه استفاده شد.

شش هفته تمرین تناوبی با شدت بالا شامل ۳ روز تمرین در هفته به مدت ۶ هفته برای پژوهش حاضر در نظر گرفته شد. تمرین تناوبی پرشدت شامل تناوب‌های فعالیت ورزشی با شدت بالا و وهله‌های استراحتی فعال با شدت پایین بود. پروتکل تمرین شامل دوی ۲۰ متر با تکرارهای متفاوت در هفته اول تا ششم با فواصل استراحتی ۳۰-۲۰ ثانیه بین دویدها انجام شد. با رعایت اصل اضافه‌بار و اثربخشی تمرینات، تعداد تکرارهای دوی کوتاه‌مدت در هفته اول و دوم ۴ نوبت، در هفته سوم و چهارم ۵ نوبت و در هفته پنجم و ششم ۶ نوبت در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در هر جلسه، ۵ دقیقه برای گرم کردن و ۵ دقیقه برای سرد کردن، در نظر گرفته شد. به آزمودنی گروه تجربی ۴۲ عدد کپسول ژلاتینی صورتی‌رنگ حاوی ۳۰ میلی گرم حاوی مکمل Q10 ساخت کارخانه نچرال ارگانیکس آمریکا داده شد که هر روز یک عدد آن را پس از صرف وعده غذایی مصرف نمایند. جهت اطمینان از مصرف مکمل‌ها، هر روز با استفاده از پیام کوتاه به آزمودنی‌ها یادآوری می‌شد. گروه کنترل هم کپسول‌های کاملاً مشابه از نظر رنگ و حجم حاوی دکستروز مصرف کردند.

تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی فرضیه پژوهش، از آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره (ANCOVA) استفاده شد. در این تحلیل، شش هفته تمرین تناوبی شدید و مکمل‌دهی کوآنزیم Q10 به عنوان متغیر مستقل، نمرات قدرت عضلانی در مرحله پس‌آزمون به عنوان متغیر وابسته، و نمرات مرحله پیش‌آزمون به عنوان متغیر کنترل در نظر گرفته شدند. پیش از اجرای تحلیل، مفروضه‌های آزمون از جمله همگنی شیب‌های رگرسیون، رابطه خطی بین متغیرها، و برابری واریانس‌ها مورد بررسی و تأیید قرار گرفتند. قدرت عضلانی با استفاده از آزمون یک تکرار بیشینه در حرکات پرس سینه و اسکات پا سنجیده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد و سطح معناداری برای آزمون‌ها برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

به منظور بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی شدید و مکمل دهی کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی ورزشکاران مرد بدن ساز، از آزمون تحلیل کوواریانس استفاده شد. جدول ۱ نتایج تحلیل کوواریانس مربوط به قدرت عضلانی در حرکت پرس سینه را نشان می دهد. بر اساس یافته ها، اثر گروه بر نمرات پس آزمون قدرت عضلانی-پرس سینه معنادار بود ($F=33/58$, $p<0.01$). میزان مجذور اتا ($\eta^2=0/554$) نشان می دهد که حدود ۵۵ درصد از تغییرات قدرت عضلانی-پرس سینه به مداخله پژوهش نسبت داده می شود. جدول ۲ نتایج تحلیل کوواریانس مربوط به قدرت عضلانی در حرکت اسکات پا را نشان می دهد. یافته ها حاکی از آن است که اثر گروه بر نمرات پس آزمون قدرت عضلانی-اسکات پا نیز معنادار بوده است ($F=107/222$, $p<0.01$). مقدار مجذور اتا ($\eta^2=0/799$) بیانگر آن است که حدود ۸۰ درصد از تغییرات در قدرت عضلانی-اسکات پا به مداخله پژوهش مربوط می شود.

بحث

با توجه به این که فرضیه پژوهش به بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی شدید با و بدون مکمل دهی کوآنزیم Q10 بر روی قدرت عضلانی در بین ورزشکاران مرد بدن ساز شهر همدان می پردازد، نتایج حاصله در مباحث قبلی گویای این واقعیت می باشد که شش هفته تمرین تناوبی شدید و مکمل دهی کوآنزیم Q10، بر قدرت عضلانی-پرس سینه و بر قدرت عضلانی-اسکات پا تأثیرگذار بود. به طوری که شش هفته تمرین تناوبی شدید و مکمل دهی کوآنزیم Q10 به میزان حدوداً ۵۵٪ بر قدرت عضلانی-پرس سینه و به میزان حدوداً ۸۰٪ بر قدرت عضلانی-اسکات پا تأثیرگذار بود.

جدول ۱. نتایج تحلیل کوواریانس برای بررسی تأثیر تمرین تناوبی شدید و مکمل کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی در حرکت پرس سینه در بدنسازان مرد

مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری	مجذور اتا
۷۶۳/۸۸۸	۲	۳۸۱/۹۴۴	۱۱۸/۴۲۷	۰/۰۰۱	۰/۸۹۸
۱۱/۷۱۷	۱	۱۱/۷۱۷	۳/۶۳۳	۰/۰۶۴	۰/۱۱۹
۶۵۵/۵۸۸	۱	۵۸۸/۶۵۵	۲۰۳/۲۷۴	۰/۰۰۱	۰/۸۸۳
۱۰۸/۳	۱	۱۰۸/۳	۳۳/۵۸	۰/۰۰۱	۰/۵۵۴
۸۷/۰۷۹	۲۷	۳/۲۲۵	-	-	-
۱۷۴۲۸۳	۳۰	-	-	-	-
۸۵۰/۹۶۷	۲۹	-	-	-	-

جدول ۲. نتایج تحلیل کوواریانس برای بررسی تأثیر تمرین تناوبی شدید و مکمل کوآنزیم Q10 بر قدرت عضلانی در حرکت اسکات پا در بدنسازان مرد

مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری	مجذور اتا
۴۴۴/۹۸	۲	۲۲۲/۴۹	۱۰۷/۸۷۴	۰/۰۰۱	۰/۸۸۹
۵/۱۹۲	۱	۵/۱۹۲	۲/۵۱۸	۰/۱۲۴	۰/۰۸۵
۱۸۶/۸۴۶	۱	۱۸۶/۸۴۶	۹۰/۵۹۳	۰/۰۰۱	۰/۷۷
۲۲۱/۱۴۴	۱	۲۲۱/۱۴۴	۱۰۷/۲۲۲	۰/۰۰۱	۰/۷۹۹
۵۵/۶۸۷	۲۷	۲/۰۶۲	-	-	-
۶۴۹۰۴	۳۰	-	-	-	-
۵۰۰/۶۶۷	۲۹	-	-	-	-

در همین رابطه، نتایج پژوهش‌های عنوان شده، همسو با نتیجه حاصله می‌باشند. بنیادی به بررسی مقایسه اثر مصرف حاد مکمل‌های عصاره سیر، کوآنزیم Q10 و بی‌کربنات سدیم بر نشانگرهای آسیب‌های عضلانی کشتی‌گیران پس از اجرای یک وهله فعالیت فزاینده درمانده‌ساز پرداختند و نتایج نشان داد که مصرف مکمل‌های سیر و بی‌کربنات سدیم بر مدت زمان اجرا تا واماندگی و مصرف مکمل‌های سیر و Q10 بر شاخص‌های آسیب عضلانی تأثیر سودمندی دارند (۱۵).

لیتل و فیلیپس^۱ به بررسی تأثیر مصرف مکمل کوآنزیم Q10 متعاقب فعالیت مقاومتی شدید بر برخی شاخص‌های ایمنی کشتی‌گیران حرفه‌ای پرداختند و توجه به نتایج این تحقیق مصرف مکمل CoQ10 منجر به جلوگیری از افزایش غیرمتعارف شاخص‌های ایمنی که ناشی از آسیب عضلات اسکلتی متعاقب تمرین مقاومتی شدید در کشتی‌گیران حرفه‌ای شد، از آنجایی که این تمرینات دچار بروز آسیب‌های عضلات اسکلتی و به دنبال آن اختلال در سیستم ایمنی در ورزشکاران به‌خصوص کشتی‌گیران می‌شوند (۱۶). مهدی و همکاران به بررسی تأثیر کوتاه مدت مکمل‌دهی کوآنزیم Q10 و استراتژی پیش‌سرمايي بر شاخص‌های آسیب عضلانی شناگران نخبه پرداختند و مطابق با نتایج، تفاوت آماری معناداری در مرحله اول خون‌گیری با مقایسه بین گروهی سطح شاخص‌های سی‌کی، آس‌تی و آل‌اسی مشاهده نشد. تفاوت آماری معناداری در مراحل دوم و سوم خون‌گیری با مقایسه بین گروهی مشاهده شد. به‌طوری‌که سطح شاخص‌های سی‌کی، آس‌تی و آل‌اسی در گروه‌های پیش‌سرمايي و کنترل نسبت به گروه‌های مکمل‌دهی و مکمل‌دهی+پیش‌سرمايي افزایش معناداری یافتند. در نتیجه، مکمل‌دهی CoQ10 از تغییرات نامطلوب شاخص‌های آسیب عضلانی در حین تمرینات سنگین و رکوردگیری شنا ممانعت می‌کند (۱۷). نووتنی و همکاران^۲ به بررسی آثار حاد و مزمن مصرف مکمل کوآنزیم Q10 بر کراتین کیناز پس از فعالیت هوازی وامانده ساز پرداختند و یافته‌های حاضر نشان می‌دهد مصرف مزمن مکمل کوآنزیم Q10 منجر به کاهش معنادار سطح نشانگرهای اصلی حاصل از آسیب عضلانی می‌شود (۱۸). سعیدی و همکاران به بررسی تأثیر مکمل خوراکی CoQ10 بر پروفایل‌های لیپیدی خون محیطی و شاخص‌های آسیب عضلانی پس از دو هفته تمرین هوازی شدید در دوچرخه‌سواران نخبه پرداختند و نتایج این مطالعه نشان داد که مکمل کوتاه مدت با CoQ10 می‌تواند به‌طور ناچیزی سطح سرمی برخی از پروفایل‌های چربی را کاهش دهد و آسیب عضلانی را در دوچرخه‌سواران نخبه سالم کاهش دهد (۱۹). شیورمن و همکاران^۳ به بررسی اثر مکمل کوآنزیم Q10 بر درد عضلانی، قدرت عضلانی و عملکرد هوازی مرتبط با سیمواستاتین را در بیماران مبتلا به میالژی استاتین تأیید شده پرداختند و نتیجه‌گیری‌ها نشان داد فقط ۳۶٪ از بیمارانی که از میالژی استاتین شکایت دارند، در طی یک کراس اوور تصادفی و دوسوکور استاتین در مقابل دارونما دچار علائم می‌شوند. مکمل CoQ10 درد عضلانی را در بیماران مبتلا به میالژی استاتین کاهش نمی‌دهد (۲۰). تراپ و همکاران^۴ به بررسی اینکه آیا مکمل کوآنزیم Q10 باعث بهبود سیگنالینگ التهابی و استرس اکسیداتیو مرتبط با ورزش شدید می‌شود؟ پرداختند که بیان داشتند مکمل خوراکی CoQ10 در حین ورزش باعث کاهش کارایی استرس اکسیداتیو شد که منجر به حفظ یکپارچگی سلول می‌شود. مکمل CoQ10 قبل از ورزش شدید استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد و سیگنالینگ التهابی را تعدیل می‌کند، آسیب عضلانی بعدی را کاهش می‌دهد (۲۱). از نتیجه پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های پیشین، این نتیجه‌گیری حاصل می‌شود که قدرت عضلانی را می‌توان توانایی عضلات در تحمل میزان فشار وارده و انبساط و انقباض‌های آن دانست. قدرت عضلانی، این امکان را برای فرد فراهم می‌کند که تعداد تکرار بیشتری از یک حرکت را انجام دهد. یکی از مهم‌ترین راه‌های افزایش قدرت عضلانی، استفاده از تمرین‌های

1. Little & Phillips
2. Nowotny et al.
3. Scheuermann et al.
4. Trapp et al.

تناوبی شدید و یا قدرتی است. این تمرینات، جزء تمریناتی است که به حفظ یا افزایش توده عضلانی، قدرت و توان عضله در همه افراد، کمک می‌کند. عضله سازی و افزایش توان عضله‌ها، نتیجه ارزشمند تمرینات قدرتی است. ورزشکاران با استفاده از این تمرین ها، عضلات خود را برای رشد و تقویت شدن تحریک می‌کنند. مزیت دیگر تمرینات تناوبی شدید، که اهمیت آن برای ورزشکارانی که فعالیت‌های هوازی و استقامتی انجام می‌دهند، بیشتر از سایرین است، افزایش $VO2MAX$ می‌باشد. $VO2MAX$ یا حداکثر ظرفیت هوازی به بیشترین میزان اکسیژن دریافتی که توسط بدن در فعالیت‌های شدید و طولانی استفاده می‌شود، گفته می‌شود. این فاکتور به ظرفیت انتقال اکسیژن توسط ریه‌ها و قلب و همچنین توانایی بافت‌ها در استفاده از اکسیژن برمی‌گردد. بهبود این فاکتور به تسریع ریکاوری در بین ست‌های تمرینی و افزایش عملکرد استقامتی و قدرتی (افزایش اکسیژن‌رسانی به عضلات) کمک می‌کند. در نتیجه در ورزشکارانی که با مصرف مکمل کوآنزیم Q10، به انجام تمرینات تناوبی شدید می‌پردازند، به دلیل بهبود توان هوازی و اکسیژن‌رسانی بهتر به عضلات، رسیدن به قدرت عضلانی، سریع‌تر از ورزشکارانی است که بدون مصرف این مکمل، تمرینات را انجام می‌دهند (۲۲).

نتیجه‌گیری نهایی

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که شش هفته تمرینات تناوبی شدید به‌تنهایی و به‌ویژه همراه با مصرف مکمل کوآنزیم Q10 تأثیر معناداری بر افزایش قدرت عضلانی در حرکات پرس سینه و اسکات پا در ورزشکاران مرد بدن‌ساز دارد. براساس تحلیل کوواریانس، مشخص شد که این مداخله حدود ۵۵ درصد از تغییرات در قدرت عضلانی اندام فوقانی (پرس سینه) و حدود ۸۰ درصد از تغییرات در قدرت عضلانی اندام تحتانی (اسکات پا) را توضیح می‌دهد. نتایج این مطالعه با پژوهش‌های پیشین همسو بوده و نشان می‌دهد که ترکیب تمرینات تناوبی شدید با مکمل‌دهی کوآنزیم Q10 می‌تواند رویکرد مؤثری برای بهبود عملکرد عضلانی و کاهش آثار خستگی و آسیب عضلانی ناشی از تمرینات شدید باشد. از آنجایی که قدرت عضلانی یکی از مؤلفه‌های کلیدی در بهبود عملکرد ورزشی به شمار می‌رود، به‌کارگیری چنین رویکردی می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران، به‌ویژه در رشته‌های قدرتی و استقامتی، کمک نماید. با توجه به نتایج حاصل، پیشنهاد می‌شود مربیان، ورزشکاران و متخصصان علوم ورزشی در طراحی برنامه‌های تمرینی شدید، از مکمل‌هایی چون کوآنزیم Q10 بهره‌گیرند تا علاوه بر ارتقاء سطح عملکرد، به بهبود فرآیند ریکاوری و کاهش آسیب‌های عضلانی نیز کمک کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است. به شرکت‌کنندگان در این پژوهش اجازه داده شده بود تا هر زمان که مایل بودند از روند پژوهش خارج شوند. همچنین تمامی شرکت‌کنندگان در جریان روند و مراحل مختلف شرکت در پژوهش قرار داشتند. به تمامی شرکت‌کنندگان این اطمینان داده شده بود که اطلاعات آن‌ها محرمانه نگه داشته می‌شود.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. ShojaAnzabi B, Piri E, Farzizadeh R. The Effect of Eight Weeks of Resistance Training on the Record of Young Sprint Runners. *Journal of Sport Biomechanics*. 2023;9(3):204-18. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.3.204]
2. Roozbeh F, Nazarali P, Kazemi F. The Effect of High-Intensity Interval Training Combined with Beta-Alanine Supplementation on Cardiorespiratory Performance and Blood Lactate in Active Women. *Journal of Health*. 2024;15(3):314-28. [DOI:10.61186/j.health.15.3.314]
3. Emami A, Tofighi A, Asri-Rezaei S, Bazargani-Gilani B. Effect of Short-term Coenzyme Q10 Supplementation and Precooling on Serum Endogenous Antioxidant Enzymes of Elite Swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(5):1431-9. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001971] [PMID]
4. Bayati M, Gharakhanloo R, Farzad B. Adaptations of physiological performance following high-intensity interval training. *Sport Physiology*. 2015;7(26):15-32.
5. Rostami S, Esmailyanmaleki M, Kargarfard P, Fayazmilani R. The effects of combined training and activity in an enriched environment on the brain BDNF and VEGF protein levels in the pre-pubertal male rats. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2022;43(6):543-53. [DOI:10.34172/mj.2022.007]
6. Haghighi AH, Ahmadi A, Carotenuto A, Askari R, Nikkhah K, Bagherzadeh-Rahmani B, et al. Effects of concurrent training and CoQ10 on neurotrophic factors and physical function in people with Multiple Sclerosis: a pilot study. *European Journal of Translational Myology*. 2023;33(2):11253. [DOI:10.4081/ejtm.2023.11253] [PMID]
7. Saberi A A, Fathi M, Hejazi K. Comparing the Effect of Eight Weeks of Resistance and Endurance Trainings on Physiological and Functional Factors and Record of Elite Runners. *Journal of Sport Biomechanics*. 2020;6(1):32-43. [DOI:10.32598/biomechanics.6.1.5]
8. Keyvanlou Shahrestanaki MA, Hamedinia MR, Haghighi AH, Hajinia M. Prediction of Time to Exhaustion at Different Speeds Based on Some Physiological and Anthropometric Parameters in Young Men. *Sport Physiology*. 2018;10(39):143-64.
9. Hosseinpour S, Behpour N, Tadibi V, Ramezankhani A. Effect of cognitive-motor exercises on physical health and cognitive status in elderly. *Iranian Journal of Health Education and Health Promotion*. 2018;5(4):336-44. [DOI:10.30699/acadpub.ijhehp.5.4.336]
10. Alam MS, Czajkowsky DM, Islam MA, Rahman MA. The role of vitamin D in reducing SARS-CoV-2 infection: An update. *International immunopharmacology*. 2021;97:107686. [DOI:10.1016/j.intimp.2021.107686] [PMID]
11. Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization: theory and methodology of training: Human kinetics; 2019. [DOI:10.5040/9781718225435]

12. Cassidy S, Thoma C, Houghton D, Trenell MI. High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*. 2017;60(1):7-23. [DOI:10.1007/s00125-016-4106-1] [PMID]
13. Cooke M, Iosia M, Buford T, Shelmadine B, Hudson G, Kerksick C, et al. Effects of acute and 14-day coenzyme Q10 supplementation on exercise performance in both trained and untrained individuals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2008;5:1-14. [DOI:10.1186/1550-2783-5-8] [PMID]
14. Ochoa JJ, Díaz-Castro J, Kajarabille N, García C, Guisado IM, De Teresa C, et al. Melatonin supplementation ameliorates oxidative stress and inflammatory signaling induced by strenuous exercise in adult human males. *Journal of pineal research*. 2011;51(4):373-80. [DOI:10.1111/j.1600-079X.2011.00899.x] [PMID]
15. Gibala MJ, Ballantyne C. High-intensity interval training: New insights. *Sports Science Exchange*. 2007;20(2):1-5.
16. Little JP, Phillips SM. Resistance exercise and nutrition to counteract muscle wasting. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2009;34(5):817-28. [DOI:10.1139/H09-093] [PMID]
17. Mehri K, Hamidian G, Zavvari Oskuye Z, Nayebirad S, Farajdokht F. The role of apelinergic system in metabolism and reproductive system in normal and pathological conditions: an overview. *Frontiers in Endocrinology*. 2023;14:1193150. [DOI:10.3389/fendo.2023.1193150] [PMID]
18. Nowotny K, Jung T, Höhn A, Weber D, Grune T. Advanced glycation end products and oxidative stress in type 2 diabetes mellitus. *Biomolecules*. 2015;5(1):194-222. [DOI:10.3390/biom5010194] [PMID]
19. Saeidi A, Saei MA, Mohammadi B, Zarei HRA, Vafaei M, Mohammadi AS, et al. Supplementation with spinach-derived thylakoid augments the benefits of high intensity training on adipokines, insulin resistance and lipid profiles in males with obesity. *Frontiers in Endocrinology*. 2023;14:1141796. [DOI:10.3389/fendo.2023.1141796] [PMID]
20. Scheuermann BW, Hoelting BD, Noble ML, Barstow TJ. The slow component of O2 uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. *The Journal of physiology*. 2001;531(1):245-56. [DOI:10.1111/j.1469-7793.2001.0245j.x] [PMID]
21. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *International journal of obesity*. 2008;32(4):684-91. [DOI:10.1038/sj.ijo.0803781] [PMID]
22. Taylor BA, Lorson L, White CM, Thompson PD. A randomized trial of coenzyme Q10 in patients with confirmed statin myopathy. *Atherosclerosis*. 2015;238(2):329-35. [DOI:10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.016] [PMID]