

Research Paper  

## Effect of Resistance Training Combined with Taurine Supplementation on Vascular, Hormonal and Performance Indices of Elite Male Taekwondo Athletes

Hafez Rahimzadeh Gharahchi<sup>1</sup>, Siroos Choobineh<sup>\*2</sup>, Mohammadreza Kordi<sup>2</sup>, Reza Nouri<sup>3</sup>

Received: August 10, 2025

Revised: September 15, 2025

Accepted: September 18, 2025

### ABSTRACT

**Objective:** This study investigated the role of taurine supplementation combined with resistance training on vascular and performance indices in elite male taekwondo athletes.

**Methodology:** The quasi-experimental study was conducted on 24 elite male athletes, randomly assigned to three groups of eight: taekwondo training (T), resistance plus taekwondo training with placebo (RTP), and resistance plus taekwondo training with taurine supplementation (RTT). The resistance training protocol followed a nonlinear format for six weeks, three sessions per week. Supplementation involved daily intake of two to four 1000 mg capsules of taurine or rice flour placebo in a double-blind manner. Before and after the intervention, nitric oxide, endothelin-1, epinephrine, norepinephrine, testosterone, muscular explosive power, and blood lactate were measured. Data were analyzed using two-way repeated measures ANOVA and Tukey's post hoc test.

**Results:** Serum testosterone significantly increased in RTT and RTP compared to T ( $P = 0.016$ ), and explosive power was significantly higher in RTT compared to both other groups ( $P = 0.002$ ). Although nitric oxide changes were not statistically significant among groups, levels increased by 17%, 24%, and 45% in T, RTP, and RTT, respectively. Changes in epinephrine, norepinephrine, endothelin, and lactate were not statistically significant ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion:** The results of this study showed that combining resistance training with taurine supplementation could potentially have a positive effect on serum testosterone and explosive power in elite taekwondo athletes.

**Keywords:** Resistance training, taurine, vascular function, testosterone, explosive power, blood lactate.

1. Phd student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences and Health, University of Tehran, Tehran. 2. Professor of Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences and Health, University of Tehran, Tehran. 3. Associate Professor of Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences and Health, University of Tehran, Tehran.

\*Corresponding Author: [choobineh@ut.ac.ir](mailto:choobineh@ut.ac.ir)

### Citation:

Rahimzadeh Gharahchi H. Effect of Resistance Training Combined with Taurine Supplementation on Vascular, Hormonal and Performance Indices of Elite Male Taekwondo Athletes. *Metabolism and Exercise*. 2025;15(2):36-59

DOI: <https://doi.org/10.22124/jme.2025.31365.419>



## Extended Abstract

### Introduction and State of Problem

Given the importance of winning medals at the Olympic Games and following the official entry of Taekwondo into the Olympic Games in Sydney, Australia in 2000, the importance of proper and successful performance in this sport has increased among different countries around the world (1). Taekwondo training, due to the need for rapid and explosive power performance, places a great deal of training stress on the cardiovascular system, and athletes train at and above the anaerobic threshold with the aim of overcoming physiological limitations (2). Explosive power seems to be an important factor in the success of taekwondo athletes. Although the metabolic requirements of this sport, like many other sports, lie on a continuum of aerobic and anaerobic metabolism, anaerobic metabolism plays an important and unique role in the athletes' body metabolism, and the athletes' heart rate increases to the HRmax during combat situations where they have full contact with each other and engage in an exchange of engaging techniques(5).

Today, taekwondo athletes use nutritional supplements in addition to training to improve performance. One of these supplements is taurine (8). Combining exercise and taurine supplementation in varying amounts has been associated with reduced DNA damage, reduced lactate, increased glycerol, increased fat metabolism, and reduced muscle fatigue in athletes (9).

Therefore, considering the importance of taekwondo in the country as a medal-winning sport at the world and Olympic levels, the aim of the present study was to investigate the effect of six weeks of nonlinear resistance training with taurine supplementation on the levels of nitric oxide, endothelin, epinephrine, norepinephrine, testosterone, blood lactate, and explosive power in elite male taekwondo athletes.

### Methodology

The present study was a quasi-experimental study with a pretest-posttest design with parallel groups, which was implemented as a six-week intervention. The participants included 24 elite male taekwondo athletes, members of the Iranian Premier League (age:  $20.00 \pm 1.3$ , height:  $1.81 \pm 0.06$ , weight:  $66.61 \pm 90.9$ , body mass index:  $20.20 \pm 35.2$ ) who were purposively selected and randomly divided into three groups: resistance training group with taekwondo training and taurine supplementation (RTT) ( $n = 8$ ), resistance training group with taekwondo training and placebo (RTP) ( $n = 8$ ), and taekwondo training group (T) ( $n = 8$ ). All participants were selected from the same club to minimize differences in common training programs between clubs. The training intervention consisted of six sessions per week, including three sessions of resistance training and three sessions of taekwondo-specific training. The control group also followed taekwondo training similar to the other two groups but in six sessions per week, in order to create equality in training volume. The training protocol used was non-linear resistance training and was adjusted based on one repetition maximum (1RM) using the Brzycki formula. In the supplement and placebo groups, participants consumed 2 to 4 capsules of 1000 mg of taurine supplement or rice flour placebo daily in a double-blind manner, based on weight. Blood sampling was performed from the brachial vein by a qualified specialist at the pre-test and post-test stages. Other physiological indicators were measured at the training gym and under standard conditions. It is worth noting that this study was conducted in full compliance with ethical principles in human research, including obtaining written informed consent from all participants, ensuring confidentiality of personal information, and the possibility of voluntary withdrawal at any stage of the study. This project has an ethics code number IR.UT.SPORT.REC.1403.100 from the Research Ethics Working Group/Committee of the Faculty of Sport and Health Sciences, University of Tehran.

### Results

The results of this study showed that combining resistance training with taurine supplementation could potentially have a positive effect on serum testosterone and explosive power in elite taekwondo athletes.

### Discussion and Conclusion

The findings of this study showed that combining resistance training with taurine supplementation can have significant positive effects on some physiological and functional indicators in elite male taekwondo athletes. Specifically, this intervention resulted in a significant increase in serum testosterone levels and improved explosive power, which confirms its role in enhancing anabolic responses and improving anaerobic performance. In contrast, although nitric oxide and endothelin levels increased and decreased, respectively, after the intervention, these changes were not statistically significant; but from a physiological perspective, they can be considered an indicator of endothelial health. The lack of significant changes in catecholamine levels (slight increase in epinephrine and relative stability in norepinephrine) and blood lactate (slight decrease) was also likely due to the characteristics of the subject population (high fitness level), controlled training intensity, and relatively short duration of the intervention. These findings suggest that in trained athletes, modulated stress responses and metabolic adaptations may prevent the occurrence of drastic changes in indicators related to the sympathetic system and anaerobic metabolism. Overall, the results of this study support the efficacy of combined training and supplementation approaches in improving some functional and hormonal aspects of elite athletes. Therefore, to generalize the results and more precisely understand the mechanisms of effect, future studies with more controlled designs, longer intervention periods, and examination of mediating variables are recommended.

### Originality/Value

### Research Limitations/Implications

### Ethical Considerations

#### Compliance with ethical guidelines

#### Funding

This study received no funding from public, commercial, or non-profit Organizations.

#### Authors' contribution

All authors contributed to the design, implementation, and writing of all parts of the present study.

#### Conflict of interest

The authors of this article declare that there are no scientific, financial, or personal conflicts of interest related to the conduct of this research and the writing of this article.

#### Acknowledgments

We would like to thank the guidance and cooperation of the supervisors, advisors, and the diligent and supportive scientific and administrative staff of the Faculty of Sport and Health Sciences, University of Tehran, and the esteemed members of the Research Ethics Committee, whose valuable support and guidance paved the way for the challenging path of this research project, as well as the valuable cooperation of all the coaches and athletes participating in the present study, who, with their generosity and unparalleled coordination, facilitated the optimal implementation of the research project.

### References

**تأثیر تمرینات مقاومتی به همراه مکمل یاری تائورین بر شاخص‌های عروقی، هورمونی و عملکرد تکواندوکاران مرد نخبه**حافظ رحیم زاده قره‌چی<sup>1</sup>، سیروس چوبینه\*<sup>2</sup>، محمدرضا کردی<sup>2</sup>، رضا نوری<sup>3</sup>

تاریخ پذیرش: 1404/06/27

تاریخ بازنگری: 1404/06/24

تاریخ دریافت: 1404/05/19

**چکیده**

**هدف:** در این پژوهش نقش مکمل‌یاری تائورین همراه با تمرینات مقاومتی بر شاخص‌های عروقی و عملکردی تکواندوکاران نخبه بررسی شد.

**روش‌شناسی:** این مطالعه نیمه‌تجربی روی ۲۴ تکواندوکار مرد نخبه انجام گرفت که به‌طور تصادفی به سه گروه هشت‌نفره تقسیم شدند: گروه تمرین تکواندو (T)، گروه تمرین مقاومتی و تکواندو همراه دارونما (RTP)، و گروه تمرین مقاومتی و تکواندو همراه مکمل تائورین (RTT). پروتکل تمرین مقاومتی به‌صورت غیرخطی و به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته اجرا شد. مکمل‌یاری به‌صورت مصرف روزانه دو تا چهار کیسول ۱۰۰۰ میلی‌گرمی تائورین یا دارونمای آرد برنج و به روش دوسوکور انجام گرفت. پیش و پس از مداخله، شاخص‌های نیتریک اکساید، اندوتلین-۱، اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین، تستوسترون، توان انفجاری عضلانی و لاکتات خون اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با آزمون تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی توکی تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** مقادیر تستوسترون سرمی در گروه‌های RTT و RTP نسبت به گروه T افزایش معناداری داشت ( $P=0.016$ ) و مقدار توان عضلانی در گروه RTT نسبت به دو گروه دیگر به‌طور معناداری بیشتر بود ( $P=0.002$ ). نیتریک اکساید تفاوت آماری معنادار بین گروه‌ها نداشت، اما به ترتیب ۱۷، ۲۴ و ۴۵ درصد در گروه‌های T، RTP و RTT افزایش یافت. تغییرات اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین، اندوتلین و لاکتات نیز در هیچ‌یک از گروه‌ها معنادار نبود ( $P>0.05$ ).

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد، ترکیب تمرینات مقاومتی با مکمل تائورین احتمالاً می‌تواند تأثیر مثبتی بر تستوسترون سرمی و توان عضلانی در تکواندوکاران نخبه داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تمرین مقاومتی، تائورین، عملکرد عروقی، تستوسترون، توان انفجاری، لاکتات خون.

1. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دپارتمان فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، 2. استاد فیزیولوژی

ورزشی، دپارتمان فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، 3. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دپارتمان فیزیولوژی

ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران

\*نویسنده مسئول: ایمیل: [choobineh@ut.ac.ir](mailto:choobineh@ut.ac.ir)

**ارجاع‌دهی**

رحیم زاده قره‌چی ح. تأثیر تمرینات مقاومتی به همراه مکمل یاری تائورین بر شاخص‌های عروقی، هورمونی و عملکرد تکواندوکاران مرد نخبه. سوخت و ساز و فعالیت ورزشی. 2025؛ 15(2): 36-59.

**نوآوری پژوهش و پیام کلی**

در این بخش در چند جمله کوتاه، نوآوری پژوهش را بیان کنید و پیام کلی پژوهش را بنویسید



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License (CC-BY-NC): <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>,

which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Publisher: University of Guilan



## مقدمه

با توجه به اهمیت مدال-آوری در بازی‌های المپیک و به دنبال ورود رسمی تکواندو به بازی‌های المپیک در سال 2000 میلادی در سیدنی استرالیا، بر اهمیت عملکرد مناسب و موفقیت-آمیز در این رشته ورزشی در بین کشورهای مختلف دنیا افزوده شد (1). تمرینات تکواندو به دلیل نیاز به عملکرد توانی سریع و انفجاری، به‌ویژه در بخش‌های مختلف مبارزه، تنش تمرینی زیادی بر دستگاه قلبی-عروقی وارد می‌آورد و ورزشکاران با هدف عبور از محدودیت‌های فیزیولوژیکی، در آستانه بی‌هوایی و بالاتر از آن تمرین می‌کنند (2). رسیدن به اوج عملکرد، مسئله‌ای سخت و چالش برانگیز در ورزش قهرمانی است. بنابراین مربیان، ورزشکاران و اعضای کادر فنی تیم‌ها، به دنبال بهترین راهکارهای موجود جهت بدست آوردن اوج آمادگی و عملکرد در یک رقابت یا تورنمنت و بازیابی سریع به‌منظور آماده شدن برای رقابت یا تورنمنت بعدی هستند. در این میان، شناسایی و تعیین عوامل تاثیرگذار بر افزایش عملکرد و تمرکز بر بهبود آن‌ها، از اهمیت بسزایی برخوردار است. ترکیب بدنی، تیپ بدنی، نیم‌رخ بی‌هوایی (توان خروجی اوج، ظرفیت بی‌هوایی، شاخص خستگی، توان عضلانی، قدرت پویای بیشینه، سرعت و چابکی) نیم‌رخ هوایی، انعطاف‌پذیری، آستانه لاکتات، میزان درک فشار و توده جسمانی، همگی جزو عوامل موثر بر عملکرد تکواندوکاران هستند (3). در این میان، توان انفجاری اندام تحتانی نیز که ترکیبی از قدرت، سرعت و هماهنگی عصبی-عضلانی است، نقشی حیاتی در موفقیت ورزشکاران در رشته‌های نیازمند حرکت‌های سریع و قدرتی مانند تکواندو دارد. افزایش توان انفجاری به بهبود اجرای تکنیک‌های تهاجمی، دفاعی و واکنش‌های سریع در مبارزات منجر می‌شود (4). به نظر می‌رسد توان انفجاری عامل مهمی در موفقیت ورزشکاران تکواندو به شمار می‌رود.

ورزشکاران تکواندو در هنگام انجام تمرینات آماده-سازی به‌ویژه در هفته‌های منتهی به مسابقات، باید در آستانه بی‌هوایی و بالاتر از آستانه لاکتات تمرین کنند. هر چند نیازمندی‌های متابولیسم این رشته ورزشی همانند بسیاری از رشته‌های ورزشی دیگر در پیوستاری از متابولیسم هوایی و بی‌هوایی قرار دارد، متابولیسم بی‌هوایی نقشی مهم و بی‌بدیل در سوخت- و ساز بدن ورزشکاران دارد و ضربان قلب ورزشکاران در وهله‌های مبارزاتی که با همدیگر برخورد کامل دارند و به تبادل تکنیکی درگیرانه می‌پردازند، تا بیشینه ضربان قلب (HRmax) افزایش می‌یابد. درک فشار بالا، محتوا و میزان لاکتات خون ورزشکاران تکواندو با توجه به شدت تمرینات و مبارزه و سطح فعالیت آن‌ها، بین 7 تا حدود 12 میلی-مول بر لیتر متغیر است (5). مسابقه تکواندو فعالیتی شدید است که پاسخ‌های قلبی عروقی بالا، غلظت‌های بالای لاکتات و افزایش RPE را در ورزشکاران ایجاد می‌کند (6). سنجش و بررسی شاخص‌های متابولیکی مانند لاکتات خون در بررسی آثار تمرین، از اهمیت ویژه‌ای در ورزشکاران تکواندو برخوردار است. مقادیر لاکتات می‌تواند نشانگر ظرفیت بی‌هوایی، سطح خستگی و تطابق متابولیکی ورزشکار نسبت به پروتکل تمرینی باشد (7).

امروزه ورزشکاران تکواندو برای بهبود عملکرد، علاوه بر تمرین از مکمل‌های ورزشی و غذایی استفاده می‌کنند. یکی از این مکمل‌ها، مکمل تائورین است. تائورین بعنوان یک اسید آمینه نیمه-ضروری، به دلیل ظرفیت‌های خاص در افزایش عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته است. این اسید آمینه نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مهمی مانند تنظیم اسمزی، دفاع آنتی-اکسیدانی و تنظیم پیام-رسانی کلسیم دارد. مکمل تائورین باعث بهبود استقامت، کاهش فشار اکسیداتیو ناشی از ورزش و افزایش عملکرد عضلات می‌شود (8). تائورین بعنوان یک اسید آمینه نیمه-ضروری، به دلیل ظرفیت‌های خاص در افزایش عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته است. تلفیق تمرین و



مکمل-یاری با تأثرین در مقادیر متفاوت احتمالاً با کاهش آسیب DNA، کاهش سطوح لاکتات، افزایش سطوح گلیسرول، افزایش متابولیسم چربی و کاهش خستگی عضلانی در ورزشکاران همراه است (9). طراحی تمرینات مقاومتی با هدف افزایش قدرت ویژه (توان انفجاری) از طریق ایجاد همزمان تحریک مکانیکی و متابولیکی صورت می‌پذیرد. با افزایش تنش متابولیکی ناشی از افزایش لاکتات، و هم-افزایی ناشی از تاثیر تنش مکانیکی بر mTOR مسیره‌های پیام-رسانی Akt و mTOR که شناخته‌شده‌ترین مسیره‌های هایپرتروفی و قدرت ویژه هستند از طرفی، لاکتات با سرکوب بیان ژن HDAC، مسیره‌های بیان ژنی منتهی به هایپرتروفی و قدرت عضلانی را تقویت می‌کند. با افزایش قدرت، توان عضلانی و عملکرد بهبود می‌یابد (10). ورزشکاران تکواندو علاوه بر تمرینات تخصصی تکواندو، از تمرینات مقاومتی نیز استفاده می‌کنند. در مطالعه‌ای، استفاده همزمان از تمرین مقاومتی و تکواندو در مقابل تمرینات صرفاً تخصصی تکواندو در 28 ورزشکار نخبه مرد (16) و زن (12)، بهبود قابل توجهی در مقادیر تستوسترون کل، تستوسترون آزاد، نسبت کورتیزول به تستوسترون، لاکتات و نیز عملکرد تخصصی در گروه تمرینی تلفیق تمرینات مقاومتی با تخصصی تکواندو که با شدت بالاتری نیز تمرین کرده بودند، نشان داد (11). همچنین، تلفیق تمرینات پلايومتریک با تمرینات تخصصی تکواندو به مدت شش هفته، باعث تغییرات مثبت معنا-دار در شاخص‌های سرعت، توان هوازی، توان بی-هوازی و کاهش لاکتات خون شد (12).

در پاسخ به رقابت‌های رزمی و ورزشی شدید، افزایش شدید اپی-نفرین و نوراپی-نفرین و نیز افزایش جزئی در مقادیر تستوسترون رسمی اتفاق می‌افتد. این تغییرات با هدف فعال-سازی مسیره‌های انرژی و پیام-رسانی درون سلول‌های عضلانی جهت انقباض قدرتمند اتفاق می‌افتد. پاسخ تستوسترون در مردان بیشتر از زنان و رقابت‌های رسمی بیشتر از غیررسمی و تفریحی است (13). تمرینات تخصصی تکواندو تأثیری مشابه با تمرینات مقاومتی سنتی بر پاسخ‌های هورمونی هورمون رشد شبه انسولینی، تستوسترون و کورتیزول دارند (14). هورمون‌های اپی-نفرین، نوراپی-نفرین و تستوسترون پس از مبارزه در سه گروه ورزشکاران رزمی کاراته، تکواندو و تلفیق سه رشته ورزشی جودو، کشتی و سومو افزایش داشتند (15). از سویی، شاخص‌های زیستی مانند نیتریک‌اکساید (NO)، اندوتلین-1 (ET-1) هورمون‌های کاتکولامینی (اپی-نفرین و نوراپی-نفرین)، تستوسترون، لاکتات خون و توان انفجاری، به‌عنوان نشانگرهای مهم در ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تمرینات ورزشی و مداخلات تغذیه‌ای مطرح هستند. نیتریک‌اکساید (NO) یکی از مهم‌ترین مولکول‌های پیام-رسان در دستگاه قلبی-عروقی است که با اثر گشادکنندگی عروق و کاهش مقاومت محیطی، نقش کلیدی در بهبود عملکرد اندوتلیال و افزایش جریان خون به عضلات فعال ایفا می‌کند. افزایش تولید NO در پاسخ به فعالیت بدنی منظم، به‌ویژه تمرینات هوازی و مقاومتی، به‌عنوان شاخصی از بهبود سلامت عروقی شناخته می‌شود (16, 17). مطالعه انجام شده روی ورزشکاران تای چی و کی گونگ، نشان می‌دهد، این دو ورزش با افزایش نیتریک-اکساید و کاهش اندوتلین پلاسمایی، سبب کاهش فشار خون می‌شود (18). با وجود این، تغییرات نیتریک‌اکساید و اندوتلین در اثر تمرینات مقاومتی و مکمل-یاری تأثرین در ورزشکاران تکواندو مشخص نیست.

در ارتباط با تنظیم عملکرد عضلانی، تستوسترون به‌عنوان مهم‌ترین هورمون آنابولیک، نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیندهای هایپرتروفی عضلانی، افزایش قدرت و بازسازی بافتی دارد (19). سطوح این هورمون در پاسخ به تمرینات مقاومتی و فعالیت‌های شدید بدنی، به‌ویژه در مردان ورزشکار، افزایش می‌یابد. همزمان، هورمون‌های استرسی مانند اپی-نفرین و نوراپی-نفرین نیز در شرایط تمرینی شدید ترشح می‌شود و با افزایش ضربان قلب، فشار خون و تجزیه گلیکوژن، افزایش توان لحظه‌ای و سازگاری‌های قلبی-تنفسی را به همراه دارند (20). تمرینات مقاومتی روشی رایج است که توسط ورزشکاران تکواندو برای توسعه ویژگی‌های عضلانی مورد نیاز برای تکواندو استفاده می‌شود. انجام این تمرینات، بهبود تعادل تکنیکی و اجرای ضربات پا در ورزشکاران تکواندو را به همراه دارد (21). از این رو، با توجه به

اهمیت رشته ورزشی تکواندو در کشور به عنوان یک رشته مدال-آور در سطح جهان و المپیک و افزایش سطح رقابت-ها و یافتن راهکارهای مناسب جهت ارتقاء عملکرد ورزشکاران و لزوم شناسایی عوامل موثر بر عملکرد ورزشکاران نخبه و خلأ پژوهشی موجود در بررسی هم‌زمان اثر تمرین و مکمل با در نظر گرفتن آثار هم-افزای این دو عامل، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر شش هفته تمرین مقاومتی غیرخطی به همراه مکمل یاری تائورین بر سطوح نیتریک اکساید، اندوتلین، اپی نفرین، نوراپی نفرین، تستوسترون، لاکتات خون و توان انفجاری در تکواندوکاران نخبه مرد است.

### روش‌شناسی

#### طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه‌های موازی بود که در قالب یک مداخله شش‌هفته‌ای اجرا شد. شرکت‌کنندگان شامل ۲۴ ورزشکار مرد نخبه تکواندوکار عضو لیگ برتر ایران (سن:  $1/3 \pm 20/00$ ، قد:  $1/81 \pm 0/06$ ، وزن:  $66/61 \pm 9/90$ ، شاخص توده بدنی:  $2/35 \pm 20/20$  سال) بودند که هدفمند انتخاب و تصادفی به سه گروه تقسیم شدند: گروه تمرین مقاومتی به همراه تمرین تکواندو و مکمل تائورین (RTT) ( $8n =$ )، گروه تمرین مقاومتی به همراه تمرین تکواندو و دارونما ( $8n =$ ) (RTP)، و گروه تمرین تکواندو ( $8n =$ ) (T). تمامی شرکت‌کنندگان از یک باشگاه مشترک انتخاب شدند تا تفاوت‌های برنامه تمرینی رایج بین باشگاه‌ها به حداقل برسد. مداخله تمرینی شامل شش جلسه در هفته، شامل سه جلسه تمرین مقاومتی و سه جلسه تمرین اختصاصی تکواندو بود. گروه کنترل نیز تمرینات تکواندو را مشابه دو گروه دیگر اما به صورت شش جلسه در هفته، به منظور ایجاد برابری در حجم تمرین، دنبال کردند. پروتکل تمرینی مورد استفاده، تمرین مقاومتی غیرخطی بود و بر مبنای یک تکرار بیشینه ( $RM1$ ) با استفاده از فرمول برزیسکی تنظیم شد. در گروه‌های مکمل و دارونما، شرکت‌کنندگان بر اساس وزن، روزانه ۲ تا ۴ کیسول ۱۰۰۰ میلی گرمی از مکمل تائورین یا دارونمای آرد برنج را به صورت دوسوکور مصرف کردند. نمونه‌گیری خونی در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از ورید بازویی توسط متخصص دارای صلاحیت انجام شد. شاخص‌های فیزیولوژیکی دیگر در باشگاه محل تمرین و با رعایت شرایط استاندارد اندازه‌گیری شدند.

#### پروتکل تمرین مقاومتی

مداخله تمرینی در این مطالعه شامل یک برنامه تمرین مقاومتی ساختاریافته به مدت شش هفته بود که در هر هفته در قالب سه جلسه تمرینی، به صورت ترکیبی از تمرینات قدرتی، توانی و استقامتی با الگوی غیرخطی که منطبق با نیازمندی‌های عملکردی و تمرینی تکواندوکاران در حوزه توان و چابکی و سرعت بود، برای گروه‌های تمرینی اجرا شد. هر جلسه تمرین بین ۷۵ تا ۹۰ دقیقه به طول انجامید و شامل سه بخش اصلی بود: گرم کردن، تمرین اصلی و سرد کردن. مرحله گرم کردن به مدت ۱۰ دقیقه شامل حرکات پویا، عمومی و کششی فعال جهت آماده‌سازی عضلات درگیر انجام می‌شد. تمرینات اصلی به مدت ۶۰ تا ۷۵ دقیقه و با استفاده از تمرینات چندمفصلی نظیر اسکوات با دستگاه اسمیت، پرس سینه با هالتر، جلو ران با دستگاه، لت سیم‌کش، پشت ران با دستگاه، پرس سرشانه با دستگاه و سرشانه تک‌دست با سیم‌کش انجام شد. در کنار تمرینات پیش گفته، تمرین حرکات شکم و پلانک نیز انجام می‌شد. شرکت‌کنندگان بر اساس ظرفیت فردی خود و به منظور رعایت اصل اضافه‌بار، تمرینات را با شدت تنظیم شده بر مبنای آزمون یک تکرار بیشینه ( $RM1$ ) اجرا کردند. برای تعیین بار تمرینی، از فرمول برزیسکی استفاده شد (22):

$$(0.0278 * \text{تعداد تکرار}) - 1.0278 / \text{وزنه جابجا شده (کیلوگرم)} = \text{یک تکرار بیشینه}$$

تعیین  $RM1$  در سه مقطع شامل شروع مطالعه، انتهای هفته دوم و انتهای هفته چهارم انجام و متناسب با نتایج، برنامه تمرینی مجدداً تنظیم می‌شد. در پایان هر جلسه، تمرینات ویژه عضلات مرکزی بدن مانند پلانک نیز به مدت ۳۰

تا ۶۰ ثانیه در سه تا چهار تکرار اجرا شد. مرحله سردکردن شامل حرکات کششی ایستا و با هدف تسهیل بازگشت به حالت استراحت، به مدت ۵ دقیقه انجام شد. کلیه جلسات تمرینی تحت نظارت مستقیم مربی مجرب و با ثبت روزانه اطلاعات اجرا گردید. به منظور کنترل بر حجم تمرین، تمام گروه‌های تمرینی از ساختار زمانی، حرکتی و شدت مشابه استفاده کردند (22-25).

جدول 1؛ پروتکل تمرین مقاومتی.

مدت استراحت (ثانیه)	تعداد تکرار	ست تمرینی	درصد بار تمرینی	روزهای تمرینی	هفته‌های تمرین
60	8	3	75%	روز اول (قدرتی)	هفته اول
60	8	3	40%	روز دوم (توانی)	
45	18	5	60%	روز سوم (استقامتی)	
60	8	3	75%	روز اول (قدرتی)	هفته دوم
60	8	3	40%	روز دوم (توانی)	
45	18	5	60%	روز سوم (استقامتی)	
60	6	4	80%	روز اول (قدرتی)	هفته سوم
90	8	3	45%	روز دوم (توانی)	
60	15	6	65%	روز سوم (استقامتی)	
60	6	4	80%	روز اول (قدرتی)	هفته چهارم
90	8	3	45%	روز دوم (توانی)	
60	15	6	65%	روز سوم (استقامتی)	
90	5	4	85%	روز اول (قدرتی)	هفته پنجم
120	8	3	50%	روز دوم (توانی)	
90	12	7	70%	روز سوم (استقامتی)	
90	5	4	85%	روز اول (قدرتی)	هفته ششم
120	8	3	50%	روز دوم (توانی)	
90	12	7	70%	روز سوم (استقامتی)	



## پروتکل مکمل‌یاری

در این مطالعه، پروتکل مکمل‌یاری با هدف بررسی اثر تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی، به صورت دوسوکور و با استفاده از مکمل خالص تأثیرین و دارونمای آرد برنج اجرا شد. شرکت‌کنندگان در گروه‌های مکمل دارونما، بر اساس رده وزنی تقسیم‌بندی شدند؛ به طوری که آزمودنی‌های با وزن‌های مختلف، دوزهای متفاوتی از مکمل را دریافت کردند. به ترتیب، افراد با وزن کمتر از 54 کیلوگرم تا بیشتر از 63 کیلوگرم (اوزان اول تا سوم تکواندو) روزانه دو کپسول، افراد با وزن بیشتر از 63 کیلوگرم تا کمتر از 80 کیلوگرم (اوزان چهارم تا ششم) سه کپسول، و افراد با وزن بیشتر از 80 کیلوگرم (اوزان هفتم و هشتم) چهار کپسول ۱۰۰۰ میلی‌گرمی تأثیرین یا دارونما را دریافت نمودند. مکمل‌ها به صورت یک‌بار در روز و ترجیحاً پیش از وعده صبحانه مصرف می‌شدند.

مکمل تأثیرین درون کپسول‌های ژلاتین خوراکی 1000 میلی‌گرم ریخته شد و در ظرف‌های کدگذاری شده با شماره‌های تصادفی بسته‌بندی شدند تا اصل دوسوکور بودن پژوهش حفظ شود. دارونما نیز به صورت کپسول‌های هم‌شکل و هم‌رنگ، حاوی آرد برنج، در ظرف‌های مشابه و با کدگذاری همسان بسته‌بندی و در اختیار گروه کنترل دارونما قرار گرفت. نحوه کدگذاری به گونه‌ای بود که تا پایان مرحله تحلیل آماری، پژوهشگر و آزمودنی از نوع محتوای دریافتی بی‌اطلاع بودند (9, 26). برای افزایش دقت اجرای پروتکل مکمل‌یاری، به تمامی شرکت‌کنندگان آموزش داده شد که در طول مدت مداخله از مصرف منابع غذایی حاوی تأثیرین از جمله انواع ماهی، غذاهای دریایی، نوشیدنی‌های انرژی‌زا و مکمل‌های دیگر خودداری نمایند. پایش انطباق با مصرف مکمل‌ها به صورت خوداظهاری روزانه و گزارش به مربی تمرین ثبت شد.

## شیوه جمع‌آوری داده‌ها و اندازه‌گیری متغیرها

رضایت‌نامه کتبی از کلیه آزمودنی‌ها پیش از آغاز مداخله اخذ گردید. نمونه‌گیری خونی اولیه 24 ساعت قبل از شروع تمرینات و نمونه‌گیری خونی نهایی 24 ساعت پس از اتمام تمرینات به مقدار 10 سی‌سی، از طریق سیاهرگ بازویی و توسط فرد متخصص تأییدشده راس ساعت نه صبح انجام شد. نمونه‌های خون بلافاصله سانتریفیوژ شدند و نمونه‌های سرم تا زمان آنالیز در دمای 80- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به منظور ارزیابی شاخص‌های غیرخونی، آزمون‌ها تقریباً یک ساعت پیش از شروع جلسه تمرین، در باشگاه و با همکاری اعضای تیم پژوهشی اجرا شدند.

## توان انفجاری

برای ارزیابی توان انفجاری از آزمون پرش آبالاکف<sup>1</sup> استفاده شد که روشی معتبر و قابل‌اطمینان در جمعیت ورزشکاران و مردان فعال به شمار می‌رود. آزمودنی‌ها سه پرش متوالی با فاصله استراحت 30 ثانیه‌ای بین هر پرش انجام دادند. شرکت‌کنندگان ابتدا در وضعیت ایستاده قرار گرفته، سپس زانوهای خود را تا زاویه 90 درجه خم کرده و در سریع‌ترین زمان ممکن به منظور دستیابی به حداکثر ارتفاع، اقدام به پرش کردند. حداکثر ارتفاع پرش از طریق لمس نقطه بالاترین ارتفاع با دست مشخص شد و میانگین ارتفاع سه پرش، به عنوان شاخص عملکرد عصبی-عضلانی (توان انفجاری) با استفاده از فرمول هارمن به شرح زیر محاسبه گردید (27, 28).

<sup>1</sup>Abalakov Jump Test



1822 + (جرم بدن (کیلوگرم) \* 36) + (ارتفاع پرش (سانتی متر) \* 61.9) = توان (وات)

#### اندازه گیری بیوشیمیایی متغیرهای تحقیق

برای سنجش غلظت لاکتات خون، از دستگاه لاکتومتر h/p/cosmos استفاده شد. نمونه گیری بلافاصله پس از اجرای یک نوبت تمرین تخصصی تکواندو با شدت بسیار بالا (میت زنی لحظه ای تا واماندگی کامل و مدت یکسان 90 ثانیه) و در شرایط اوج خستگی صورت گرفت. پس از ضد عفونی کردن نوک انگشت سبابه با الکل طبی، نخستین قطره خون به منظور جلوگیری از اختلاط با تعریق سطحی حذف گردید و قطره دوم برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. این روش مطابق با دستورالعمل های استاندارد و با دقت بالا اجرا شد (29).

سنجش سطح نیتریک اکساید پلاسما با استفاده از کیت الایزای نیتریک اکساید (Navand Lab Kit Nitric Oxide (NO) Assay Kit – Version 0.81 Last updated 21 February 2021) انجام شد. این کیت بر پایه استفاده از آنزیم نیترات ردوکتاز وابسته به NADH جهت احیای نیترات به نیتريت عمل کرده و سپس کمیت نیتريت از طریق معرف گریس (Griess Reagent) اندازه گیری شد (30).

سطوح اندوتلین-1 (ET-1) در سرم خون با استفاده از کیت الایزای انسانی Elabscience® Human ET-1 تعیین شد. ابتدا نمونه های سرم رقیق شده و به همراه استانداردهای کالیبراسیون به چاهک های پلیت ELISA منتقل گردیدند. سپس مراحل انکوباسیون، شست و شو و افزودن معرف ها طبق پروتکل اجرا شد و جذب نوری با استفاده از دستگاه خوانشگر ELISA اندازه گیری گردید. مقادیر نهایی بر مبنای منحنی استاندارد گزارش شد (31).

برای تعیین غلظت سرمی اپینفرین و نوراپینفرین، به ترتیب از کیت های الایزای انسانی اپینفرین (Epinephrine/Adrenaline-Elabscience® EPI) و نوراپینفرین (Noradrenaline/Norepinephrine - Elabscience® NA/NE) استفاده و کمی گزارش شد (32).

سطح سرمی تستوسترون تام (Total Testosterone) با استفاده از کیت الایزای انسانی تستوسترون (Human Total Testosterone ELISA Kit) تولید شرکت پادتن گستر ایثار اندازه گیری شد (33).

#### روش آماری

تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه 23 انجام گرفت. به منظور بررسی توزیع نرمال داده ها، از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. همچنین، برای ارزیابی فرض همگنی واریانس ها بین گروه ها، آزمون لون 1 به کار گرفته شد. جهت تحلیل اثر مداخله تمرینی و مکمل یاری در متغیرهای مورد بررسی، از تحلیل واریانس دوسویه 2 با اندازه گیری های مکرر در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون) و در سه گروه مستقل استفاده شد. در مواردی که اثر اصلی

<sup>1</sup>Levene's Test

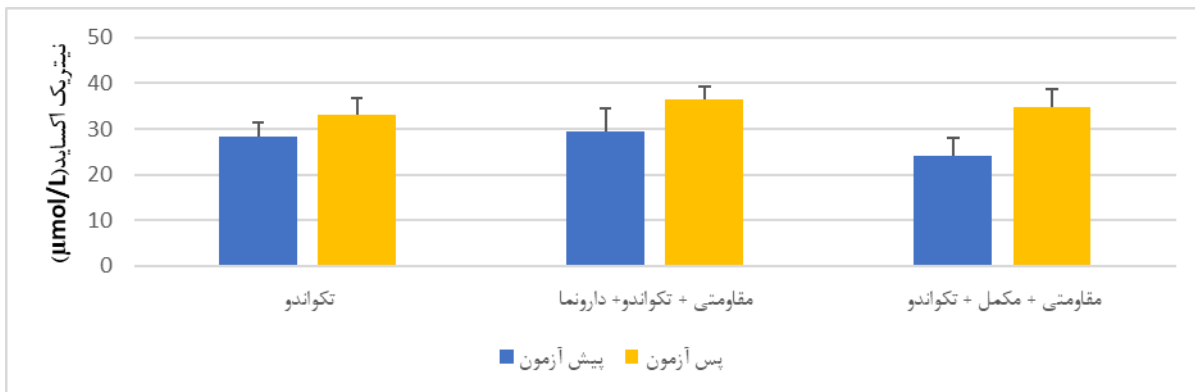
<sup>2</sup>Two-Way ANOVA

یا اثر متقابل معنادار گزارش شد، برای شناسایی تفاوت‌های زوجی بین گروه‌ها، از آزمون تعقیبی توکی ۱ بهره گرفته شد. سطح معناداری برای تمامی تحلیل‌های آماری در سطح  $P < 0.05$  تعیین گردید.

## یافته‌ها

## نیتریک اکساید

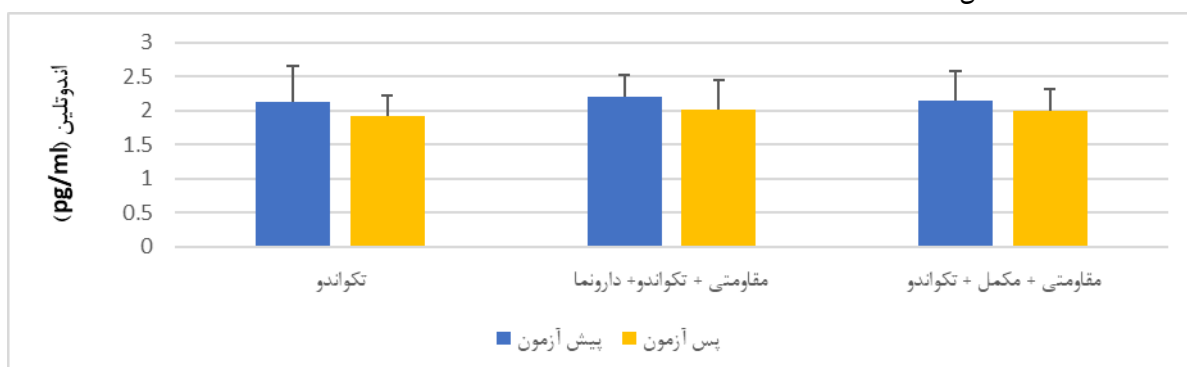
نتایج آزمون تحلیل واریانس دوره‌ها نشان داد که اثر زمان بر سطح این متغیر معنادار بود،  $[F(1, 21) = 55.28, P = 0.001, \eta^2 = 0.72, \text{Power} = 1.00]$  همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه معنادار نبود  $[F(2, 21) = 3.05, P = 0.06, \eta^2 = 0.22, \text{Power} = 0.52]$ . نتایج بررسی‌های بین‌گروهی نیز نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در سطوح سرمی نیتریک اکساید مشاهده نشد،  $[F(2, 21) = 3.43, P = 0.05, \eta^2 = 0.24, \text{Power} = 0.58]$  (شکل ۱).



شکل ۱؛ مقایسه میانگین سطوح سرمی نیتریک اکساید بین گروه‌های پژوهش.

## اندوتلین

نتایج آزمون تحلیل واریانس دوره‌ها نشانگر آنست که اثر زمان بر سطح اندوتلین معنادار نبود  $[F(1, 21) = 3.41, P = 0.07, \eta^2 = 0.14, \text{Power} = 0.42]$  همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه نیز معنادار نبود  $[F(2, 21) = 0.01, P = 0.98, \eta^2 = 0.001, \text{Power} = 0.05]$ . نتایج بررسی‌های بین‌گروهی نیز نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر اندوتلین مشاهده نشد،  $[F(2, 21) = 0.15, P = 0.85, \eta^2 = 0.01, \text{Power} = 0.07]$  (شکل ۲).



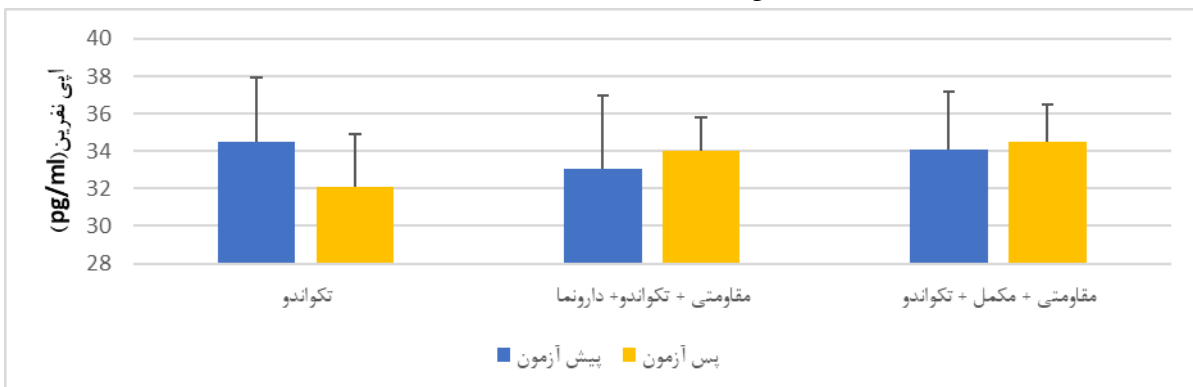
شکل ۲؛ مقایسه میانگین سطوح سرمی اندوتلین بین گروه‌های پژوهش.

<sup>1</sup>Tukey's HSD Post Hoc Test



## اپی نفرین

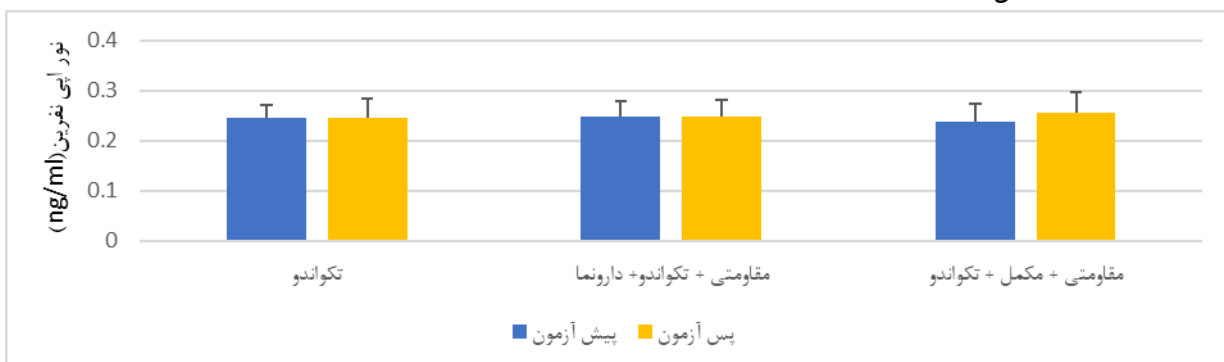
نتایج آزمون تحلیل واریانس دوراهه نشان داد که اثر زمان بر متغیر سطوح سرمی اپی نفرین معنادار نبود،  $[F(1, 21) = 0.14, P = 0.71, \eta^2 = 0.007, \text{Power} = 0.065]$  همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه نیز معنادار گزارش نشد.  $[F(2, 21) = 1.38, P = 0.27, \eta^2 = 0.11, \text{Power} = 0.26]$  نتایج بررسی‌های بین‌گروهی نیز نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر اپی نفرین مشاهده نشد  $[F(2, 21) = 0.55, P = 0.58, \eta^2 = 0.05, \text{Power} = 0.13]$  (شکل 3).



شکل 3: مقایسه میانگین سطوح سرمی اپی نفرین بین گروه‌های پژوهش.

## نوراپی نفرین

نتایج آزمون تحلیل واریانس دوراهه نشان داد که اثر زمان بر سطح نوراپی نفرین معنادار نبود،  $[F(1, 21) = 0.61, P = 0.44, \eta^2 = 0.02, \text{Power} = 0.11]$  همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه نیز معنادار نبود،  $[F(2, 21) = 0.43, P = 0.65, \eta^2 = 0.04, \text{Power} = 0.11]$  تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر نوراپی نفرین مشاهده نشد،  $[F(2, 21) = 0.01, P = 0.98, \eta^2 = 0.001, \text{Power} = 0.05]$  (شکل 4).

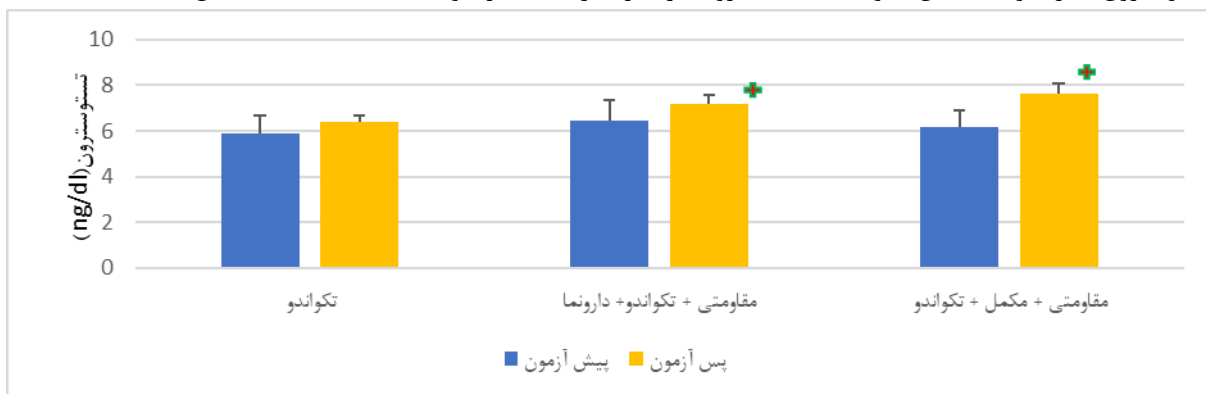


شکل 4: مقایسه میانگین سطوح سرمی نوراپی نفرین بین گروه‌های پژوهش.

## تستوسترون

نتایج آزمون تحلیل واریانس دوراهه نشان داد که اثر زمان بر سطح تستوسترون معنادار بود،  $[F(1, 21) = 28.45, P = 0.001, \eta^2 = 0.57, \text{Power} = 0.99]$  همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه معنادار نبود.

نتایج بررسی‌های بین‌گروهی نیز نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر تستوسترون مشاهده شد ( $F(2, 21) = 5.76, P = 0.01, \eta^2 = 0.35, \text{Power} = 0.50$ ). نتایج آزمون تعقیبی توکی برای متغیر تستوسترون نشان داد که سطح تستوسترون در گروهی که تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو را به همراه مکمل تائورین دریافت کرده بود، به‌طور معناداری بالاتر از گروهی بود که تنها تمرین تکواندو انجام داده بود ( $P=0/01$ ). همچنین، گروهی که تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو را همراه با دارونما انجام داد نیز نسبت به گروه تمرین تکواندو، افزایش معناداری در سطح تستوسترون نشان داد ( $P=0/04$ ). این نتایج بیانگر آن است که اضافه شدن تمرین مقاومتی به تمرینات تخصصی تکواندو می‌تواند منجر به بهبود سطح تستوسترون شود. با این حال، تفاوت سطح تستوسترون بین دو گروهی که تمرین مقاومتی انجام دادند—یکی با مصرف مکمل تائورین و دیگری با دارونما—از نظر آماری معنادار نبود، که نشان می‌دهد مکمل‌یاری تائورین اگرچه با افزایش بیشتر سطح تستوسترون همراه بوده، اما این تفاوت نسبت به دارونما از نظر آماری معنادار نبوده است ( $P=0/99$ ) (شکل 5)

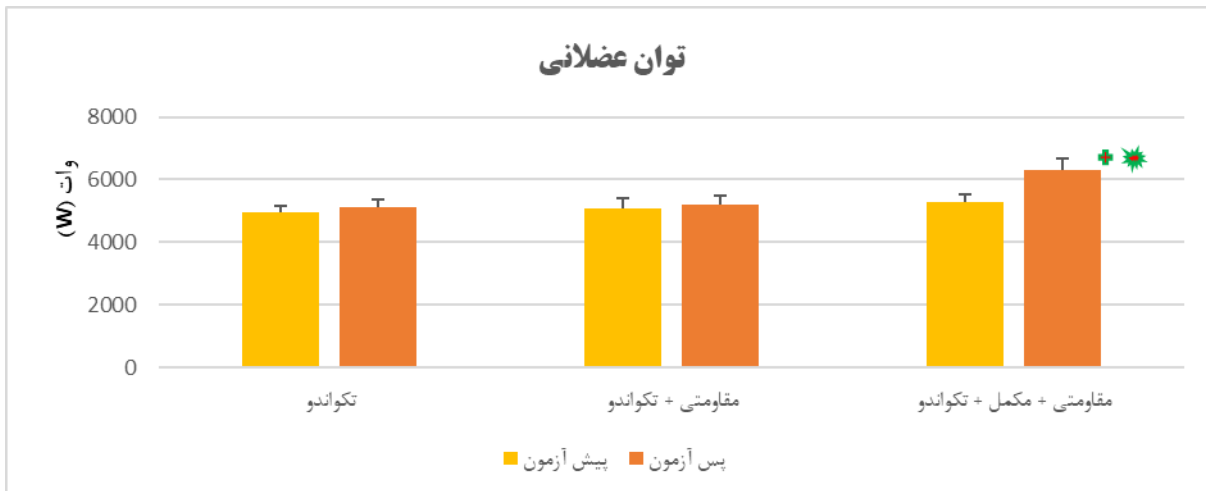


شکل 5: مقایسه میانگین سطوح سرمی تستوسترون بین گروه‌های پژوهش.  
+ : تفاوت معنادار در مقایسه با گروه تکواندو

### توان عضلانی

نتایج آزمون تحلیل واریانس دوره‌ها نشان داد که اثر زمان بر مقدار توان معنادار بود ( $F(1, 21) = 188.41, P = 0.001, \eta^2 = 0.90, \text{Power} = 0.99$ ). همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه معنادار بود ( $F(2, 21) = 79.11, P = 0.001, \eta^2 = 0.88, \text{Power} = 0.99$ ). معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر توان مشاهده شد ( $F(2, 21) = 17.88, P = 0.001, \eta^2 = 0.63, \text{Power} = 0.99$ )

بررسی آزمون تعقیبی نشان داد که میزان توان عضلانی در گروه تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو به همراه مکمل تائورین به‌طور معناداری بیشتر از گروه تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو به همراه دارونما بود ( $P=0/001$ ) و همچنین مقدار توان عضلانی در گروه تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو به همراه مکمل تائورین به‌طور معناداری بیشتر از گروه تمرین تکواندو گزارش شد ( $P=0/001$ ). در مقابل، تفاوت میانگین توان عضلانی بین گروه تمرین مقاومتی و تمرین تکواندو به همراه دارونما و گروه تمرین تکواندو از نظر آماری معنادار نبود ( $P=0/79$ )

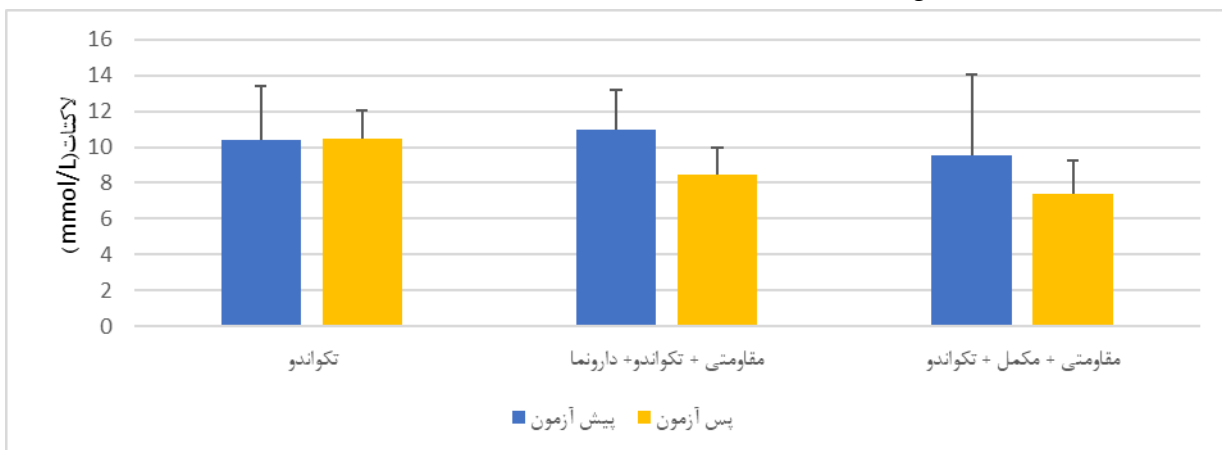


شکل 6: مقایسه میانگین توان عضلانی بین گروه‌های پژوهش.

\*: تفاوت معنادار در مقایسه با گروه تکواندو؛ \* تفاوت معنادار در مقایسه با گروه تمرین مقاومتی + تکواندو با دارونما

#### لاکتات خون

نتایج آزمون تحلیل واریانس دوراهه نشان داد که اثر زمان بر مقدار لاکتات خون معنادار بود [F(1, 21) = 5.16, P = 0.03,  $\eta^2 = 0.19$ , Power = 0.58]. همچنین اثر متقابل زمان  $\times$  گروه معنادار نبود [F(2, 21) = 1.42, P = 0.26,  $\eta^2 = 0.12$ , Power = 0.27]. تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش در متغیر لاکتات خون مشاهده نشد [F(2, 21) = 1.66, P = 0.21,  $\eta^2 = 0.13$ , Power = 0.31] (شکل 7).



شکل 7: مقایسه میانگین سطوح لاکتات خون بین گروه‌های پژوهش.

#### بحث

##### عوامل و شاخص‌های عروقی (نیتریک اکساید و اندوتلین)

نتایج این مطالعه نشان داد ترکیب تمرینات مقاومتی و تمرینات تخصصی تکواندو همراه با مصرف مکمل تائورین، گرچه به افزایش سطوح سرمی نیتریک اکساید در تکواندوکاران نخبه منجر شد، اما این افزایش از نظر آماری معنادار نبود. با این



حال، روند افزایشی مشاهده شده می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر بالقوه مداخله تلفیقی بر بهبود عملکرد عروقی باشد. نیتریک‌اکساید (NO) یک مولکول وازودیلاتور مهم است که توسط آنزیم eNOS سنتز می‌شود و از طریق فعال‌سازی مسیر cGMP موجب کاهش کلسیم داخل سلولی و شل شدن عضلات صاف عروقی می‌گردد. شواهد نشان می‌دهند که تمرینات منظم، به‌ویژه تمرینات مقاومتی، می‌توانند با افزایش تنش برشی دیواره عروق در حین فعالیت، بیان eNOS و تولید NO را افزایش دهند و به بهبود انعطاف‌پذیری عروقی، کاهش فشار خون و ارتقاء سلامت قلبی عروقی کمک کنند (34). در این میان، مکمل‌هایی نظیر تائورین نیز می‌توانند از طریق مهار فشار اکسیداتیو و افزایش دسترسی زیستی NO، عملکرد عروقی را تقویت نمایند. مطالعات قبلی هم از تأثیر مکمل‌یاری و تمرین بر افزایش NO حمایت کرده‌اند. مرادی و همکاران (1398) افزایش سطوح NO و بهبود عملکرد را در کشتی‌گیران پس از مصرف سیترولین مالات و تمرین گزارش کردند (35). همچنین، سانگ و همکاران (2021) به اثر مثبت مکمل تائورین بر بهبود عملکرد عروقی و کاهش فشار خون در افراد مبتلا به پیش‌فشار خون اشاره کردند. مکانیسم احتمالی این اثر می‌تواند شامل محافظت آنتی‌اکسیدانی و مهار تجزیه NO باشد. از سوی دیگر، ترکیب تمرین شدید با مکمل تائورین ممکن است اثر هم‌افزایی داشته باشد، به‌ویژه در ورزشکارانی که در معرض فشار اکسیداتیو قرار دارند (36). با این حال، برخی مطالعات نتایجی متفاوت گزارش کرده‌اند. در مطالعه پودا و همکاران (1997) نیز تفاوت معناداری در متابولیت‌های نیتریک‌اکساید در دو گروه تمرینی ورزشکار نخبه و افراد عادی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد شدت تمرینی متغیر مورد استفاده در پروتکل تمرینی به علت ماهیت غیرخطی و موجی آن، در شکل‌گیری تنش برشی بیشتر و راه‌اندازی مکانیسم‌های درون سلولی منجر به کاهش نیتریک‌اکساید موثر واقع شده است. در مجموع، یافته‌های این پژوهش با برخی از مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و از ظرفیت مثبت رویکرد تلفیقی تمرین و مکمل برای ارتقاء NO پشتیبانی می‌کنند. این افزایش می‌تواند نقش مهمی در انتقال بهتر اکسیژن، کاهش بار قلبی و بهبود ظرفیت هوازی داشته باشد. لذا استفاده از مداخلات چندبعدی همچون تمرین ورزشی هدفمند و مکمل‌یاری، می‌تواند رویکردی مؤثر در ارتقاء سلامت عروقی و عملکرد ورزشی ورزشکاران نخبه محسوب شود (37, 38).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تمرینات مقاومتی همراه با مکمل‌یاری تائورین منجر به کاهش سطح سرمی اندوتلین-1 (ET-1) در تکواندوکاران نخبه مرد شد. اگرچه این کاهش از نظر آماری معنادار نبود، اما روند کاهشی مشاهده شده می‌تواند بیانگر تأثیر مثبت مداخله بر بهبود عملکرد اندوتلیال باشد. اندوتلین-1 یکی از قوی‌ترین پپتیدهای تنگ‌کننده عروق است که توسط سلول‌های اندوتلیال ترشح می‌شود و در تنظیم تون عروقی، فشار خون و هموستاز قلبی-عروقی نقش دارد. افزایش سطح این پپتید با افزایش مقاومت محیطی، اختلال عملکرد اندوتلیال و افزایش ریسک بیماری‌های قلبی-عروقی همراه است، لذا کاهش آن می‌تواند شاخصی از بهبود سلامت عروقی تلقی شود (39). مطالعات پیشین نیز یافته‌هایی مشابه را گزارش کرده‌اند. ساگاوارا و همکاران (2003) کاهش اندوتلین پلاسمایی و به دنبال آن کاهش تنگی عروق و کاهش فشار خون را تحت تأثیر تمرین هوازی نشان دادند (40). اوتزوک و همکاران (2007) نشان دادند که مقادیر اندوتلین در هر سه گروه ورزشکاران قدرتی، استقامتی و افراد عادی افزایش داشت و این افزایش در ورزشکاران قدرتی در قیاس با دو گروه دیگر بیشتر بود (41). به نظر می‌رسد تمرینات ورزشی، به‌ویژه تمرینات هوازی و مقاومتی، از طریق بهبود تعادل بین فاکتورهای اتساعی و انقباضی اندوتلیال و مهار مسیرهای التهابی نظیر NF- $\kappa$ B، موجب کاهش تولید ET-1 می‌شوند. نقش مکمل تائورین نیز در این زمینه قابل توجه است؛ را و همکاران (2019) بهبود عملکرد اندوتلیال را از طریق افزایش FMD (گشادی عروقی ناشی از جریان خون) پس از مصرف دو هفته‌ای تائورین گزارش کردند، گرچه در مواجهه با فشار تمرینی شدید، این اثر محافظتی کامل نبود (36). همچنین ابراهیم و همکاران (2020) در مدل حیوانی کاهش معنادار ET-1 و بهبود تعادل اکسیداتیو را در پاسخ به مصرف تائورین نشان دادند (42). از دیدگاه

فیزیولوژیکی، کاهش سطح ET-1 می‌تواند با کاهش تون پایه سمپاتیکی، افزایش اتساع عروق و بهبود پرفیوژن بافتی همراه باشد. این وضعیت در ورزشکاران نخبه، که در معرض بارهای تمرینی بالا و فشار اکسیداتیو هستند، نقش مهمی در بهبود روند ریکاوری، افزایش خون‌رسانی و کاهش خطرات قلبی-عروقی ایفا می‌کند (36). با این حال، برخی گزارش‌ها نتایج ناهمسو ارائه کرده‌اند. برای مثال، تاگاو و همکاران (2018) پس از چهار هفته تمرین مقاومتی شدید در مردان جوان، تغییری در سطح ET-1 مشاهده نکردند (43). را و همکاران (2019) نیز نشان دادند که تائورین در برابر افت عملکرد ناشی از تمرین اکسنتریک شدید، محافظت کامل ایجاد نکرد (36). این عدم هم‌خوانی می‌تواند ناشی از تفاوت در شدت تمرین، مدت مداخله، ویژگی‌های آزمودنی‌ها و سطح پایه سلامت عروقی باشد. به‌ویژه در افراد سالم و جوان با عملکرد مطلوب اندوتلیال، ظرفیت کاهش ET-1 ممکن است محدودتر از جمعیت‌های بیمار یا دارای اختلال عملکرد عروقی باشد (44). این نتایج گویای آن است که تائورین نه تنها با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌تواند از افزایش ET-1 پیشگیری کند، بلکه از طریق تعدیل و تقلیل مسیرهای پیام‌رسانی فشار اکسیداتیو و التهاب، نقش محافظتی در برابر آسیب اندوتلیال ایفا نماید. از منظر سازوکارهای فیزیولوژیکی، کاهش ET-1 به دنبال تمرین یا مکمل‌یاری می‌تواند نشانگر کاهش تون پایه سمپاتیکی و افزایش اتساع عروق باشد، که این وضعیت می‌تواند در درازمدت به کاهش مقاومت محیطی عروق و بهبود تزریق و خون‌رسانی بافتی (پرفیوژن) منجر شود. این موضوع و دستاورد ارزشمند برای ورزشکاران نخبه، که در معرض فشارهای فیزیولوژیکی بالایی هستند، به‌ویژه به‌منظور بهبود روند ریکاوری و بازیابی بدنی و کاهش خطرات قلبی‌عروقی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (45).

#### عوامل و شاخص‌های هورمونی عصبی (ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرین مقاومتی همراه با مکمل‌یاری تائورین، به رغم افزایش جزئی، تغییر معناداری در سطوح سرمی ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین در تکواندوکاران نخبه مرد ایجاد نکرد. این یافته با نتایج برخی مطالعات پیشین هم‌راستا است. به‌طور مثال، بنی‌طالبی و همکاران (2018) در مطالعه‌ای بر زنان سالمند نشان دادند که ۱۲ هفته تمرین ترکیبی اثر معناداری بر سطوح هورمون‌های استرس از جمله ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین نداشت (46). همچنین کارولک زوک و همکاران (2024) طی اردوی تمرینی ۹ روزه در ورزشکاران نوجوان نیز تغییر معناداری در غلظت این کاتکولامین‌ها مشاهده نکردند، به‌طوری‌که حتی پس از تمرینات فشرده، مقادیر آن‌ها اندکی کاهش یافته و در سطح ثابت باقی مانده بود (47). یکی از تبیین‌های این الگوی عدم تغییر، می‌تواند به سازگاری عصبی-هورمونی افراد تمرین‌دیده مربوط باشد. ورزشکاران نخبه به‌واسطه سال‌ها تمرین، از پاسخ‌های سمپاتیکی تعدیل‌شده‌تری برخوردارند و کمتر به تحریکات فیزیولوژیکی از جمله تمرین مقاومتی کنترل‌شده پاسخ می‌دهند؛ این موضوع با مفهوم «اقتصاد فیزیولوژیکی» و نیز سازگاری‌های پایدار در ساختار غده آدرنال در ورزشکاران حرفه‌ای هم‌خوانی دارد (48). با این حال، برخی مطالعات نتایج متضادی ارائه کرده‌اند. برای مثال، ودات چینار و همکاران (2025) گزارش کردند که در مردان جوان غیرورزشکار، اجرای یک دوره ۸ هفته‌ای تمرین منجر به افزایش معنادار سطوح ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین شد، به‌ویژه در گروه تمرین مقاومتی که سطح ایپی‌نفرین حدود ۲۷٪ افزایش یافت (49). همچنین، در منابع کلاسیک اشاره شده که فعالیت ورزشی شدید می‌تواند غلظت ایپی‌نفرین را بسته به شدت، مدت، نوع تمرین و شرایط فردی تا چندین برابر سطح پایه افزایش دهد (50). چنین یافته‌هایی غالباً مربوط به شرایط حاد پس از فعالیت یا جمعیت‌های غیرورزشکار بوده‌اند، درحالی‌که جامعه آماری پژوهش حاضر ورزشکاران نخبه با سازگاری‌های فیزیولوژیکی بلندمدت بوده‌اند، و همین تفاوت در ویژگی آزمودنی‌ها می‌تواند دلیل ناهم‌خوانی نتایج باشد. در کنار این عوامل، نقش مکمل تائورین به عنوان یک مداخله‌گر احتمالی در عدم تغییر سطح کاتکولامین‌ها قابل بررسی است. اگرچه شواهد محدودی درباره اثر مستقیم تائورین بر هورمون‌های سمپاتیکی وجود دارد، اما برخی مطالعات نشان داده‌اند که مصرف آن می‌تواند موجب کاهش ترشح ایپی‌نفرین و فشار خون، به‌ویژه در



افراد دارای فشار خون مرزی شود (51). این اثر ممکن است از طریق مهار گیرنده‌های بتا آدرنرژیک، کاهش سطوح کلسیم داخل سلولی در سلول‌های کرومافین، یا کاهش تحریک محور HPA اعمال گردد (52). از این رو، می‌توان فرض کرد که تأثیر در ورزشکاران این مطالعه، نقش تعدیل‌کننده‌ای ایفا کرده و از بروز پاسخ‌های آدرنالینی شدید در واکنش به تمرین جلوگیری کرده است. در مجموع، به نظر می‌رسد عدم تغییر معنادار سطوح اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین در این پژوهش، ناشی از تعامل بین ویژگی‌های آزمودنی (سطح آمادگی بالا)، شدت و نوع تمرین و اثر احتمالی تنظیمی مکمل تأثیرین باشد (50). با توجه به کاهش اپی‌نفرین در گروه تکواندو (T) و افزایش آن در دو گروه دیگر که فعالیت تمرینی مقاومتی انجام داده بودند، احتمالاً فشار تمرینات مقاومتی با تحریک مسیرهای سیگنالی سمپاتیکی، عامل اصلی افزایش اپی‌نفرین باشد. شایان ذکر است بیشتر مطالعاتی که شاهد افزایش معنادار اپی‌نفرین بوده‌اند، بر روی جمعیت‌های غیرورزشکار یا ورزشکاران غیرحرفه‌ای انجام گرفته‌اند، در حالی که جامعه آماری تحقیق ما ورزشکاران تکواندو حرفه‌ای لیگ برتر ایران بودند که در طی سالیان متمادی فعالیت ورزشی، سازگاری‌های ایجاد شده در آنان بالاخص سازگاری «غده فوق‌کلوی ورزشی یا آدرنال مدولای ورزشی» با سایر جمعیت‌های مورد مطالعه قابل قیاس نمی‌باشد.

#### تستوسترون

نتایج پژوهش حاضر نشان داد تمرین مقاومتی همراه با مکمل تأثیرین موجب افزایش سطح سرمی تستوسترون در تکواندوکاران نخبه مرد شد. این یافته با شواهد متعددی که به اثرات آنابولیک تمرینات مقاومتی و مکمل‌ها اشاره دارند، هم‌راستا است. تمرینات مقاومتی شدید می‌توانند به افزایش موقتی تستوسترون منجر شوند (53). ریچی و همکاران (2018) نیز تأکید داشتند که پاسخ تستوسترونی به تمرین تحت تأثیر عواملی مانند شدت، مدت، ترکیب بدنی و سن قرار دارد؛ هرچند افزایش بلافاصله پس از تمرین در مطالعه آن‌ها معنادار نبود (54). مطالعاتی نیز به اثر تقویتی مکمل‌ها بر پاسخ هورمونی اشاره کرده‌اند. لازارو و همکاران (2021) افزایش تستوسترون و نیز افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول را در ورزشکارانی که مکمل حاوی تأثیرین مصرف کردند، گزارش دادند (55). همچنین مرور سیستماتیک لی و همکاران (2023) و یافته‌های مدل حیوانی یانگ و همکاران (2017) حاکی از آن است که استفاده از مکمل تأثیرین می‌تواند از طریق بهبود عملکرد محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-بیضه، ترشح تستوسترون را تقویت کند (56, 57). با این حال، برخی مطالعات نتایج متفاوتی داشته‌اند. برای نمونه، آرجونا لونا و همکاران (2018) در مقایسه بین ورزشکاران رزمی و غیررزمی، دریافته‌اند که مقادیر هورمون تستوسترون در بین دو گروه معنی‌دار نبود و ارتباط معناداری بین انجام ورزش رزمی و افزایش تستوسترون وجود ندارد، لیکن جهت تشریح بهتر موضوع، انجام تحقیقات بیشتر را پیشنهاد دادند (19). در پژوهش انجام گرفته بر روی ورزشکاران استقامتی، هاکنی و همکاران (2020) دریافته‌اند، پس از 18 هفته تمرین هوازی منظم، سطح تستوسترون پایه تغییری نکرده و حتی در برخی موارد کاهش خفیفی نسبت به ابتدای دوره داشته است (58). هایس و همکاران (2018) دریافته‌اند تمرین مقاومتی کوتاه‌مدت در سالمندان تأثیر معناداری بر سطح پایه تستوسترون ندارد (53). عوامل فردی مانند سن بالا، اضافه‌وزن یا ترکیب بدنی نامطلوب ممکن است مانع بروز پاسخ معنادار شوند (54). همچنین تمرینات استقامتی طولانی‌مدت گاهی با کاهش تستوسترون در فاز باز یافت همراه هستند (58). تفاوت‌های مشاهده‌شده در نتایج مطالعات، ممکن است از ویژگی‌های آزمودنی‌ها نظیر سن و بلوغ و طراحی مداخله تمرینی و زمان خون‌گیری ناشی شود. پژوهش حاضر روی مردان جوان نخبه انجام شد که به دلیل ترکیب بدنی مناسب و سطح فعالیت بالا، پاسخ آنابولیک قوی‌تری دارند. در مقابل، افراد مسن یا چاق به دلیل سطح پایین تستوسترون و فعالیت بالای آنزیم آروماتاز ممکن است پاسخ ضعیف‌تری نشان دهند. در زمینه مکمل تأثیرین نیز، دوز و مدت مصرف عوامل کلیدی هستند. بیشتر مطالعات مؤثر از دوزهای ۲-۶ گرم در روز و دوره‌های مصرف بلندمدت بهره گرفته‌اند (9). همچنین بخش عمده شواهد مثبت در مورد تأثیرین از مدل‌های حیوانی استخراج شده و در پژوهش‌های انسانی نتایج

محدود و وابسته به شرایط مداخله هستند (8). در مجموع، یافته‌های این پژوهش از نقش تقویت‌کننده تمرین مقاومتی همراه با تئورین بر تستوسترون حمایت می‌کنند و بر کارآمدی این ترکیب در بهبود وضعیت آنابولیک، ریکاوری و عملکرد ورزشی تأکید دارند.

#### شاخص‌های عملکردی (توان عضلانی و لاکتات خون)

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد تمرین مقاومتی و تکواندو همراه با مکمل تئورین منجر به بهبود توان عضلانی در ورزشکاران نخبه شد؛ این نتیجه با مطالعات متعددی هم‌راستا است که اثر مثبت تئورین یا تمرین را بر عملکرد بی‌هوازی تأیید کرده‌اند. برای مثال، اوزان و همکاران (2022) گزارش کردند مصرف تک‌دوز تئورین پیش از آزمون وینگیت موجب افزایش معنادار توان اوج و میانگین در بوکسورهای نخبه شد و همچنین ادراک تلاش کاهش یافت (59). بوزداغلی و همکاران (2023) نیز در یک فرامتا‌آنالیز نشان دادند مکمل تئورین موجب بهبود پرش عمودی ایستاده و کانترموومنت می‌شود (60). این اثرات ممکن است ناشی از بهبود تعادل کلسیمی، انتقال عصبی-عضلانی و کاهش فشار اکسیداتیو باشد. شواهد مطالعاتی داخلی از جمله مطالعه کوثری و همکاران (2018) نیز کاهش لاکتات و خستگی عصبی-عضلانی پس از مصرف تئورین را گزارش کرده‌اند (61). از نظر تمرینی، لی و همکاران (2024) دریافتند تمرینات APRE و VBRT طی ۸ هفته باعث افزایش توان انفجاری در تکواندوکاران دانشگاهی شد (62). این یافته‌ها نشان می‌دهد ترکیب تمرین مقاومتی با مکمل تئورین می‌تواند به بهبود عملکرد بی‌هوازی کمک کند (60). با این حال، همه مطالعات نتایج مشابهی گزارش نکرده‌اند. برای نمونه، سمندری و همکاران (2021) نشان دادند مصرف ۱۰ روزه تئورین تأثیر معناداری بر توان بی‌هوازی و پرش عمودی نداشت (63). اوزان و همکاران (2021) نیز اثربخشی تئورین را تنها در ترکیب با کافئین تأیید کردند (59). در برخی موارد مانند مطالعه بوزداغلی (2023)، با وجود بهبود توان وینگیت، پرش کانترموومنت تحت تأثیر قرار نگرفت (60). همچنین، باتیتوچی و همکاران (2018) نشان دادند که تئورین تأثیری بر زمان شنای ۴۰۰ متر در شناگران نخبه نداشت (26). در مجموع، اثربخشی تئورین بر توان انفجاریه عواملی مانند دوز و طول مصرف، سن و جنس آزمودنی‌ها، نوع و شدت تمرین، سطح آمادگی بدنی و ترکیب با سایر ارگوژن‌ها وابسته است. به نظر می‌رسد، طراحی دقیق و هم‌راستایی مداخله با نیازهای فیزیولوژیکی ورزشکاران، نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت مکمل‌بازی ایفا می‌کند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مصرف مکمل تئورین همراه با تمرین مقاومتی و نیز تلفیق تمرین مقاومتی و تکواندو و تمرینات تخصصی تکواندو به تنهایی، منجر به تغییر معناداری در غلظت لاکتات خون آزمودنی‌ها نشد. این یافته با مطالعه سمندری و همکاران (2021) در تکواندوکاران نخبه هم‌راستا است؛ آنان نیز گزارش کردند که مصرف ۱۰ روزه تئورین (۱۵ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن) تغییری معنادار در لاکتات خون ایجاد نکرد (63). این هم‌سویی ممکن است به ویژگی‌های آزمودنی‌های تمرین‌دیده و مدت کوتاه مداخله مرتبط باشد. در مقابل، برخی پژوهش‌ها نتایجی متفاوت ارائه کرده‌اند. برای نمونه، کوثری و همکاران (2018) و اکالپ و همکاران (2023) کاهش معنادار لاکتات پس از تمرین مقاومتی را در پی مکمل‌بازی با تئورین گزارش کردند (61، 64). شواهدی نیز وجود دارد که مصرف تئورین در دوز و مدت مناسب می‌تواند با کاهش آسیب سلولی، بهبود انتقال یونی و افزایش متابولیسم چربی، تولید لاکتات را کاهش دهد (9). از سوی دیگر، برخی مطالعات از جمله باتیتوچی (2018) و بوزداغلی (2022) افزایش لاکتات پس از مصرف تئورین را ثبت کردند، بدون آنکه بهبود عملکردی مشاهده شود (26، 60). ترکیب تئورین با کافئین نیز در مطالعه‌ای جداگانه، سطوح لاکتات را بیشتر از دارونما افزایش داد که احتمالاً ناشی از تحریک گلیکولیز بی‌هوازی است (65). علاوه بر این، فارل و همکاران (2018) نشان دادند که اضافه کردن تمرینات استقامت عضلانی به برنامه هوازی، منجر به انتقال آستانه لاکتات به سطوح بالاتر از شدت تمرین می‌شود (66)، که بیانگر بهبود ظرفیت متابولیکی عضلات است. در



پژوهش حاضر، سطح بالای آمادگی متابولیکی آزمودنی‌ها و مدت محدود مداخله ممکن است از دلایل عدم تغییر محسوس در لاکتات خون باشند. به نظر می‌رسد استفاده از لاکتات به عنوان منبع انرژی و بهبود کارایی فیزیولوژیکی یا تغییر در آنزیم‌های واکنشی مسیرهای سوخت و ساز و پاکسازی لاکتات، علل اصلی کاهش لاکتات باشند (67). عدم امکان خون‌گیری در چند مرحله متمادی جهت رصد تغییرات متغیرهای پژوهش، عدم امکان انجام تست‌های عملکردی بیشتر و نیز عدم امکان کنترل دقیق غذایی برغم تاکید بر رعایت کلیات تغذیه‌ای از سوی آزمودنی‌ها، عمده‌ترین محدودیت‌های این پژوهش بودند. با وجود این، کاربرد بودن پژوهش، استفاده از آزمودنی‌های ورزشی نخبه، تعداد مناسب نفرات در گروه‌های سه‌گانه با توجه به ماهیت رشته ورزشی مورد مطالعه، سنجش همزمان شاخص‌های عروقی، هورمونی-عصبی، آنابولیک و عملکردی، نقاط قوت این پژوهش هستند. لذا پیشنهاد می‌شود، مطالعات آتی با لحاظ تفاوت‌های فردی، با طراحی هدفمند برای درک بهتر سازوکارهای تنظیمی هورمونی، سنجش همزمان هورمون‌های آنابولیک و کاتابولیک (تستوسترون و کورتیزول)، سنجش شاخص‌های عملکردی با دقت بالاتر در شرایط آزمایشگاهی و کنترل تغذیه‌ای کیفی‌تر انجام گردد.

#### نتیجه‌گیری کلی و پیام مقاله

یافته‌های این پژوهش نشان داد که ترکیب تمرینات مقاومتی با مکمل‌یاری تأثیرین می‌تواند اثرات مثبت قابل توجهی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی در تکواندوکاران نخبه مرد داشته باشد. به‌طور مشخص، این مداخله منجر به افزایش معنادار سطح سرمی تستوسترون و بهبود توان انفجاری عضلانی شد که مؤید نقش آن در تقویت پاسخ‌های آنابولیک و ارتقاء عملکرد بی‌هوازی است. در مقابل، اگرچه سطوح نیتریک‌اکساید و اندوتلین پس از مداخله به ترتیب روند افزایشی و کاهش‌ی نشان دادند، این تغییرات از نظر آماری معنادار نبودند؛ اما از منظر فیزیولوژیکی می‌توان آن‌ها را نشانه‌ای از سلامت اندوتلیال دانست. عدم تغییر معنادار در سطوح کاتکولامین‌ها (افزایش جزئی اپی‌نفرین و ثبات نسبی نوراپی‌نفرین) و لاکتات خون (کاهش اندک) نیز احتمالاً ناشی از ویژگی‌های جمعیت آزمودنی (سطح آمادگی بالا)، شدت تمرین کنترل‌شده، و مدت نسبتاً کوتاه مداخله بود. این یافته‌ها نشان می‌دهند که در ورزشکاران تمرین‌کرده، پاسخ‌های فشاری تعدیل‌شده و سازگاری‌های متابولیکی ممکن است مانع بروز تغییرات شدید در شاخص‌های مرتبط با دستگاه سمپاتیکی و متابولیسم بی‌هوازی شوند. در مجموع، نتایج این تحقیق از کارآمدی رویکردهای تلفیقی تمرین و مکمل در ارتقاء برخی جنبه‌های عملکردی و هورمونی ورزشکاران نخبه حمایت می‌کند. بنابراین، برای تعمیم نتایج و درک دقیق‌تر از سازوکارهای اثرگذاری، مطالعات آتی با طراحی‌های کنترل‌شده‌تر، دوره‌های مداخله طولانی‌تر و بررسی متغیرهای میانجی توصیه می‌شود.

#### محدودیت‌ها

با وجود تلاش برای اجرای دقیق و کنترل‌شده پژوهش، این مطالعه نیز همانند سایر مطالعات میدانی با محدودیت‌هایی مواجه بود. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها، اندازه نمونه نسبتاً کوچک در هر گروه بود که ممکن است بر قدرت تعمیم‌پذیری یافته‌ها تأثیر گذاشته باشد. همچنین، تعداد محدود خون‌گیری و عدم امکان خون‌گیری در اوج، آلودگی هوای تهران، عدم کنترل کامل بر سبک زندگی، تغذیه و میزان خواب آزمودنی‌ها در طول دوره پژوهش جزو محدودیت‌های اساسی و موثر بر نتایج بودند، هرچند تلاش شد تا شرایط بین گروه‌ها همگن باشد. از سوی دیگر، مدت زمان مداخله (شش هفته) ممکن است برای مشاهده برخی تغییرات فیزیولوژیکی عمیق، به‌ویژه در متغیرهایی مانند عملکرد تخصصی یا شاخص‌های هورمونی کافی نبوده باشد. علاوه بر این، تمرکز پژوهش تنها بر تکواندوکاران مرد نخبه موجب محدود شدن قابلیت تعمیم نتایج به سایر گروه‌های سنی، جنسی یا ورزشی می‌شود. در نهایت، استفاده از



آزمون‌های میدانی به جای تکنولوژی‌های پیشرفته (مانند سنجش مستقیم گازهای تنفسی) برغم اینکه کاربردی هستند و قابلیت اجرای میدانی دارند، ممکن است دقت اندازه‌گیری برخی متغیرها را کاهش داده باشد.

### پیشنهاد برای مطالعات آتی

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تأثیر تمرینات مقاومتی همراه با مکمل تائورین بر شاخص‌های قلبی-عروقی و عملکرد ورزشی در دوره‌های زمانی بلندمدت‌تر (بیش از ۶ هفته) بررسی شود تا پایداری اثرات مشخص شود. اجرای پژوهش مشابه در ورزشکاران زن، نوجوان یا ورزشکاران با سطح آمادگی متفاوت می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج کمک کند. همچنین، پیشنهاد می‌شود آثار انواع دوزهای مختلف تائورین و مقایسه آن با سایر مکمل‌ها (مانند بتا‌آلانین، کراتین یا سیترو‌لین مالات) بررسی شود. مطالعه‌ای مشابه با حجم نمونه بیشتر و با پروتکل‌های مختلف تمرینی نیز از جمله پیشنهادها برای مطالعات آتی می‌باشد.

### ملاحظات اخلاقی

**رعایت دستورالعمل‌های اخلاقی** این پژوهش با رعایت کامل اصول اخلاقی در پژوهش‌های انسانی، از جمله اخذ رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از کلیه شرکت‌کنندگان، تضمین محرمانگی اطلاعات فردی و امکان انصراف داوطلبانه در هر مرحله از مطالعه انجام شده است. این مطالعه دارای کد اخلاق به شماره **IR.UT.SPORT.REC.1403.100** از کارگروه / کمیته اخلاق در پژوهش دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران می‌باشد.

### منابع مالی

این مطالعه هیچ بودجه‌ای از سازمان‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش تمام بخش‌های مطالعه حاضر مشارکت داشتند.

### تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع علمی، مالی یا شخصی در ارتباط با انجام این پژوهش و نگارش مقاله حاضر وجود ندارد.

### تقدیر و تشکر

از راهنمایی و همکاری اساتید راهنما و مشاور و کارکنان علمی و اجرایی ساعی و حامی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران و اعضای محترم کمیته اخلاق در پژوهش که حمایت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند آنان راهگشای مسیر پرچالش این طرح پژوهشی بود، و نیز از همکاری ارزشمند کلیه مربیان و ورزشکاران شرکت‌کننده در پژوهش حاضر که با سعه صدر و هماهنگی بی‌نظیر خود، موجبات انجام بهینه امور اجرایی طرح پژوهشی را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

### References

- 1) Readdy K. The History and Development of Taekwon-Do.
- 2) Khayat HN, Sağır SG, Hataş Ö, Smolarczyk M, Akalan C. Physical, physiological and psychological profiles of elite Turkish taekwondo athletes. *Biomedical Human Kinetics*. 2020;12(1):187-96.
- 3) McLaughlin A. The Physical and Physiological
- 4) Demands of Taekwondo Training and International Competition. 2019.



- 5) Narita Devi S, Fauzi F, Sukamti ER, Tirtawirya D, Prabowo TA. The Effect of 8 Weeks of Training with Resistance Band on Limb Power of Taekwondo Athletes. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*. 2022;05(12).
- 6) Haddad M. *Performance Optimization in Taekwondo: From Laboratory to Field*. 2015.
- 7) Craig A, Bridge MAJ, and Barry Drust. *Physiological Responses and Perceived Exertion During International Taekwondo Competition*. 2009.
- 8) (Med)(Hons)) JSMCCLJB. Use of blood lactate concentration as a marker of training status. 2004.
- 9) Kurtz JA, VanDusseldorp TA, Doyle JA, Otis JS. Taurine in sports and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2021;18(1):39.
- 10) Chen Q, Li Z, Pinho RA, Gupta RC, Ugbole UC, Thirupathi A, et al. The Dose Response of Taurine on Aerobic and Strength Exercises: A Systematic Review. *Front Physiol*. 2021;12:700352.
- 11) Lawson D, Vann C, Schoenfeld BJ, Haun C. Beyond Mechanical Tension: A Review of Resistance Exercise-Induced Lactate Responses & Muscle Hypertrophy. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2022;7(4).
- 12) Musa Lewis Mathunjwa TD, Ina Shaw and Brandon Stewart Shaw. Effects of Four Weeks of Concurrent Taekwondo Plus Resistance Training on Post-exercise Blood Biomarkers of Physiological Stress in Previously-Trained Individuals. 2021.
- 13) Bahloul Ghorbanian Rh. The effect of a course of plyometric exercises on blood lactate levels and some indicators of aerobic and anaerobic fitness in female professional taekwondo athletes. 2024.
- 14) Slimani M, Paravlic AH, Chaabene H, Davis P, Chamari K, Cheour F. Hormonal responses to striking combat sports competition: a systematic review and meta-analysis. *Biol Sport*. 2018;35(2):121-36.
- 15) Harshvardhan Singh S-TL, Bokun Kim. Hormonal responses to taekwondo fighting simulation versus conventional resistance exercise in young elite taekwondo athletes. 2019.
- 16) Ziemba A, Adamczyk JG, Barczak A, Boguszewski D, Kozacz A, Dabrowski J, et al. Changes in the Hormonal Profile of Athletes following a Combat Sports Performance. *Biomed Res Int*. 2020;2020:9684792.
- 17) Haryono A, Ramadhiani R, Ryanto GRT, Emoto N. Endothelin and the Cardiovascular System: The Long Journey and Where We Are Going. *Biology (Basel)*. 2022;11(5).
- 18) Yorika Tsukiyama TI, Kenjiro Nagaoka, Eri Eguchi and Keiki Ogino. Effects of exercise training on nitric oxide, blood pressure and antioxidant enzymes. 2016.
- 19) Liu D, Yi L, Sheng M, Wang G, Zou Y. The Efficacy of Tai Chi and Qigong Exercises on Blood Pressure and Blood Levels of Nitric Oxide and Endothelin-1 in Patients with Essential Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2020;2020:3267971.
- 20) Arjona-Luna R. Comparison of Basal Serum Testosterone Levels between Male Athletes and Martial Artists. 2018.
- 21) Ali Sholi G, Ghanbarzadeh M, Habibi A, Ranjbar R. The Effects of Combined Exercises Intensity (Aerobics-Resistance) on Plasma Cortisol and Testosterone Levels in Active Males. *International journal of basic science in medicine*. 2016;1(1):18-24.
- 22) Jakubiak N, Saunders DH. The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(4):1194-7.
- 23) Khazaei L, Parnow A, Amani-Shalamzari S. Comparing the effects of traditional resistance training and functional training on the bio-motor capacities of female elite taekwondo athletes. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2023;15(1):139.
- 24) Franchini E, Branco BM, Agostinho MF, Calmet M, Candau R. Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to simulated judo matches. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):358-67.
- 25) Tammam AH. Comparison between Daily and Weekly Undulating Periodized Resistance Training to Increase Muscular Strength for Volleyball Players. 2015.

- 26) Jiménez A. Undulating periodization models for strength training & conditioning. 2009.
- 27) Gabriela Batitucci SIBMT, Mariana Pereira Nóbrega, Flávia Giolo de Carvalho, Marcelo Papoti, Júlio Sérgio Marchini, Adelino Sanchez Ramos da Silva, Ellen Cristini de Freitas. Effects of taurine supplementation in elite swimmers performance. 2018.
- 28) Urdampilleta A, Arribalzaga S, Viribay A, Castañeda-Babarro A, Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J. Effects of 120 vs. 60 and 90 g/h carbohydrate intake during a trail marathon on neuromuscular function and high intensity run capacity recovery. *Nutrients*. 2020;12(7):2094.
- 29) MEREUTA CLAUDIU TL, MANOLACHE GABRIEL, ICONOMESCU TEODORA. COMPARATIVE STUDY ON THE EVALUATION OF THE ENERGETICAL PARAMETERS WHILE PERFORMING A VERTICAL JUMPING ON BOTH LEGS. 2011.
- 30) Souza J, Paz GA, Miranda H. Blood lactate concentration and strength performance between agonist-antagonist paired set, superset and traditional set training. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*. 2017;34(179):145-50.
- 31) Banfi G, Malavazos A, Iorio E, Dolci A, Doneda L, Verna R, et al. Plasma oxidative stress biomarkers, nitric oxide and heat shock protein 70 in trained elite soccer players. *European journal of applied physiology*. 2006;96:483-6.
- 32) Dhaun N, MacIntyre IM, Melville V, Lilitkarntakul P, Johnston NR, Goddard J, et al. Blood pressure-independent reduction in proteinuria and arterial stiffness after acute endothelin-A receptor antagonism in chronic kidney disease. *Hypertension*. 2009;54(1):113-9.
- 33) Young WF. Adrenal Medulla, Catecholamines, and Pheochromocytoma. *Goldman's Cecil Medicine* 2012. p. 1470-5.
- 34) Bloomer R. Considerations in the Measurement of Testosterone in Saliva and Serum Using ELISA Procedures. *British Journal of Medicine and Medical Research*. 2015;5(1):116-22.
- 35) Gielen S, Sandri M, Erbs S, Adams V. Exercise-induced modulation of endothelial nitric oxide production. *Current pharmaceutical biotechnology*. 2011;12(9):1375-84.
- 36) Moradi M, Tahmasebi W, Azizi M. The Simultaneous Effect of Citrulline Malate Supplementation and HIIT Exercise Training on Nitric Oxide Serum Levels and Performance in Elite Male Wrestlers. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2019;6(1):7-14.
- 37) Ra S-G, Choi Y, Akazawa N, Kawanaka K, Ohmori H, Maeda S, editors. Effects of taurine supplementation on vascular endothelial function at rest and after resistance exercise. *Taurine* 11; 2019: Springer.
- 38) Jafari S, Fathi M, Rahmati M. Effects of Taurine Supplementation during Endurance Training on Antioxidant Activity in Males. *Medical Laboratory Journal*. 2023;17(3).
- 39) J. J. POVEDA AR, E. SALAS, M. L. CAGIGAS, C. LO'PEZ-SOMOZA, J. A. AMADO & J. R. BERRAZUETA. Contribution of nitric oxide to exercise-induced changes in healthy volunteers: effects of acute exercise and long-term physical training. 1997.
- 40) Touyz RM, Schiffrin EL. Role of endothelin in human hypertension. *Canadian journal of physiology and pharmacology*. 2003;81(6):533-41.
- 41) Jun Sugawara ML, Shinya Kuno, Ryuichi Ajisaka, Iwao Yamaguchi, and Mitsuo Matsuda. Aerobic exercise training reduces plasma endothelin-1 concentration in older women. 2003.
- 42) Otsuki T, Maeda S, Iemitsu M, Saito Y, Tanimura Y, Ajisaka R, et al. Vascular endothelium-derived factors and arterial stiffness in strength- and endurance-trained men. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2007;292(2):H786-H91.
- 43) Ibrahim MA, Eraqi MM, Alfaiz FA. Therapeutic role of taurine as antioxidant in reducing hypertension risks in rats. *Heliyon*. 2020;6(1).
- 44) Tagawa K, Ra S-G, Kumagai H, Yoshikawa T, Yoshida Y, Takekoshi K, et al. Effects of resistance training on arterial compliance and plasma endothelin-1 levels in healthy men. *Physiological research*. 2018;67.
- 45) Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Relationship between plasma endothelin-1 concentration and cardiovascular responses during high-intensity eccentric and concentric exercise. *Clinical physiology and functional imaging*. 2008;28(1):43-8.



- 46) Song-Gyu Ra YC, Nobuhiko Akazawa, Kentaro Kawanaka, Hajime Ohmori, and Seiji Maeda. Effects of Taurine Supplementation on Vascular Endothelial Function at Rest and After Resistance Exercise . 2019.
- 47) Banitalebi E, Faramarzi M, Bagheri L, Kazemi AR. Comparison of performing 12 weeks' resistance training before, after and/or in between aerobic exercise on the hormonal status of aged women: a randomized controlled trial. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*. 2018;35(3).
- 48) Ostapiuk-Karolczuk J, Kasperska A, Dziewiecka H, Cieślicka M, Zawadka-Kunikowska M, Zaleska-Posmyk I. Changes in the hormonal and inflammatory profile of young sprint-and endurance-trained athletes following a sports camp: a nonrandomized pretest-posttest study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2024;16(1):136.
- 49) Gröpel P, Urner M, Pruessner JC, Quirin M. Endurance-and resistance-trained men exhibit lower cardiovascular responses to psychosocial stress than untrained men. *Frontiers in psychology*. 2018;9:852.
- 50) Çınar V, Bağ F, Aslan M, Çınar F, Gennaro A, Akbulut T, et al. Impact of Different Exercise Modalities on Neuroendocrine Well-being Markers Among University Students: A Study of Renalase and Catecholamine Responses. *Frontiers in Physiology*.16:1591132.
- 51) Zouhal H, Jacob C, Delamarche P, Gratas-Delamarche A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports medicine*. 2008;38:401-23.
- 52) Fujita T, Ando K, Noda H, Ito Y, Sato Y. Effects of increased adrenomedullary activity and taurine in young patients with borderline hypertension. *Circulation*. 1987;75(3):525-32.
- 53) Lv Q, Yang Q, Cui Y, Yang J, Wu G, Liu M, et al., editors. Effects of taurine on ACE, ACE2 and HSP70 expression of hypothalamic-pituitary-adrenal axis in stress-induced hypertensive rats. *Taurine 10*; 2017: Springer.
- 54) Hayes LD, Elliott BT. Short-term exercise training inconsistently influences basal testosterone in older men: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in physiology*. 2019;9:1878.
- 55) Riachy R, McKinney K, Tuvdendorj DR. Various factors may modulate the effect of exercise on testosterone levels in men. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2020;5(4):81.
- 56) Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, del Valle Soto M, Adams DP, Gutiérrez-Abejón E, Seco-Calvo J. Impact of Optimal Timing of Intake of Multi-Ingredient Performance Supplements on Sports Performance, Muscular Damage, and Hormonal Behavior across a Ten-Week Training Camp in Elite Cyclists: A Randomized Clinical Trial. *Nutrients*. 2021;13(11):3746.
- 57) Yang J, Lin S, Zhang Y, Wu G, Yang Q, Lv Q, et al., editors. Taurine improves sexual function in streptozotocin-induced diabetic rats. *Taurine 10*; 2017: Springer.
- 58) Li Y, Peng Q, Shang J, Dong W, Wu S, Guo X, et al. The role of taurine in male reproduction: Physiology, pathology and toxicology. *Frontiers in Endocrinology*. 2023;14:1017886.
- 59) Hackney AC, Hooper DR. Reductions in testosterone are not indicative of exercise performance decrement in male endurance athletes. *Aging Male*. 2020;23(1):33-4.
- 60) Ozan M, Buzdaglı Y, Eyipinar CD, Baygutalp NK, Yüce N, Oget F, et al. Does single or combined caffeine and taurine supplementation improve athletic and cognitive performance without affecting fatigue level in elite boxers? A double-blind, placebo-controlled study. *Nutrients*. 2022;14(20):4399.
- 61) Buzdaglı Y, Eyipinar CD, Tekin A, Şıktar E, Zydecka KS. Effect of Taurine Supplement on Aerobic and Anaerobic Outcomes: Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Strength & Conditioning Journal*. 2022.
- 62) Kowsari E, Moosavi ZA, Rahimi A, Faramarzi M, Haghghi MM. The effect of short-term taurine amino acid supplement on neuromuscular fatigue, serum lactate level and choice reaction time after maximal athletic performance. *Journal of Research in Medical and Dental Science*. 2018;6(1):358-64.
- 63) Huang Z, Dai J, Chen L, Yang L, Gong M, Li D, et al. Effects of Progressive and Velocity-Based Autoregulatory Resistance Training on Lower-Limb Movement Ability in Taekwondo Athletes. *Sports Health*. 2024:19417381241262024.
- 64) Samandari A, Sanjideh F, Faramarzi M, Banitalebi E, Ghahfarrokhi MM. The effects of taurine supplementation on inflammatory cytokines and physical performance to simulated taekwondo-

- specific protocol in elite male athletes: A double-blinded, placebo-controlled, crossover study. 2021.
- 65) Akalp K, Vatansever Ş, Sönmez GT. Effects of acute taurine consumption on single bout of muscular endurance resistance exercise performance and recovery in resistance trained young male adults. *Biomedical Human Kinetics*. 2023;15(1):74-82.
- 66) Liu J, Rong W. Effects of taurine combined with caffeine on repetitive sprint exercise performance and cognition in a hypoxic environment. *Scientific Reports*. 2025;15(1):5386.
- 67) Farrell III JW, Lantis DJ, Ade CJ, Cantrell GS, Larson RD. Aerobic exercise supplemented with muscular endurance training improves onset of blood lactate accumulation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(5):1376-82.
- 68) Arun Vijay Subbarayalu SC, Vinosh Kumar Purushothaman, CHITTODE KRISHNASAMI MURALIDHARAN. Lactate threshold training to improve long- distance running performance: A narrative review. 2024.