University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Comparison of Quadriceps Muscle Hypertrophy and Strength Between Transgender and Cisgender Men Following Eight Weeks of Resistance Training

Amirmilan Amini[1], Mohammad Fashi[2]✉, Maryam Nourshahi[3]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: ami_amini.sbu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: m_fashi.sbu.ac.ir
3. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: m-nourshahisbu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research

Article history:
Received:
10 July 2026
Received in revised form:
9 September 2026
Accepted:
10 October 2026
Published online:
21 March 2026

Keywords:
Muscle hypertrophy,
Muscle strength,
Resistance training,
Testosterone,
Transgender men.

ABSTRACT

Introduction: Testosterone plays a key role in muscle hypertrophy and strength. In transgender men receiving hormone therapy, testosterone levels reach the male range. Since neuromuscular adaptations depend on previous training status, this study compared strength and hypertrophic responses between two groups matched for physical activity level and training history.

Methods: Twenty-six inactive men without a history of regular resistance training, including 13 cisgender men aged 29.52 ± 8.37 years and 13 transgender men aged 30.15 ± 7.92 years who had received testosterone replacement therapy for at least one year, were selected. Both groups performed an eight-week resistance training program, consisting of two sessions per week, five sets of leg extension per session, 8–12 repetitions, and an intensity of 70–80% of one-repetition maximum (1RM). Muscle thickness was measured using ultrasound, and strength was assessed using the 1RM test. Data were analyzed using two-way repeated-measures analysis of variance.

Results: Both groups showed significant increases in all strength and hypertrophy variables following the training intervention ($P<0.001$). The group × time interaction for rectus femoris strength was not significant ($P=0.215$). However, the interaction effect for hypertrophy was significant only in the upper region of the rectus femoris, where the transgender group showed a greater increase than the cisgender group ($P=0.039$). No significant differences were observed in the other regions ($P>0.05$).

Conclusion: Resistance training resulted in increased strength and hypertrophy in both groups. However, transgender men showed a greater increase in hypertrophy in the upper region of the rectus femoris, which may be related to biomechanical differences, the distribution of androgen receptors, or testosterone-dependent responses.

Cite this article: Amini, A.M., Fashi, M. & Nourshahi, M. Comparison of Quadriceps Muscle Hypertrophy and Strength Between Transgender and Cisgender Men Following Eight Weeks of Resistance Training. *Journal of Sport Biosciences*. 2026; 18 (1): 65-80.
DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.418634.1716.

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Extended Abstract

Introduction

Testosterone is one of the primary anabolic hormones involved in the regulation of skeletal muscle mass, muscle protein synthesis, neuromuscular function, and strength development. Differences in circulating testosterone concentrations between males and females have traditionally been considered an important biological factor contributing to sex-related differences in muscle mass and strength. Testosterone exerts its effects primarily through androgen receptors expressed in skeletal muscle and other tissues involved in neuromuscular adaptation. Consequently, alterations in testosterone exposure may influence the magnitude and pattern of muscular adaptations to resistance exercise.

Transgender men provide a unique population in which to investigate the relationship between testosterone exposure and skeletal muscle adaptations. Gender-affirming testosterone therapy results in a substantial increase in circulating testosterone concentrations, generally reaching the physiological male range. Previous research has demonstrated increases in muscle mass, strength, and changes in body composition following testosterone therapy in transgender men. However, it remains unclear whether resistance training produces similar or different hypertrophic and strength adaptations in transgender men compared with cisgender men who have comparable physical activity levels and no previous history of systematic resistance training.

Therefore, the purpose of this study was to compare changes in muscle strength and regional muscle thickness following an eight-week resistance training program in transgender and cisgender men matched for physical activity level and without previous regular resistance training. It was hypothesized that both groups would demonstrate significant increases in strength and muscle thickness following resistance training, but that the magnitude of these adaptations might differ between groups because of differences in long-term testosterone exposure.

Methods

Twenty-six inactive men without a history of regular resistance training participated in this study. Participants included 13 cisgender men (age: 29.52 ± 8.37 years) and 13 transgender men (age: 30.15 ± 7.92 years). The transgender participants had received testosterone therapy for at least one year before entering the study. Participants in both groups were selected to minimize differences in physical activity level and previous resistance training experience, thereby reducing the potential influence of prior training status on neuromuscular adaptations.

Before the intervention, participants underwent baseline assessments of muscle strength and muscle thickness. Maximum dynamic strength was assessed using the one-repetition maximum (1RM) test for the leg-extension exercise. The 1RM test was performed according to standardized procedures, with appropriate familiarization and progressive increases in external resistance until the maximum load that could be completed with proper technique through the prescribed range of motion was determined.

Muscle thickness was assessed using B-mode ultrasonography. Measurements were obtained from different regions of the rectus femoris to examine potential regional differences in muscle hypertrophy. Ultrasound assessment was selected because it is a non-invasive and practical method for evaluating changes in muscle morphology during resistance-training interventions.

Both groups participated in the same eight-week resistance training program. Training was performed twice per week, resulting in a total of 16 training sessions. Each training session consisted of five sets of leg extension. Participants performed 8–12 repetitions per set at an intensity corresponding to approximately 70–80% of their individual 1RM. The training load was adjusted as necessary to maintain the prescribed intensity and repetition range throughout the intervention. The same training protocol was applied to both groups to allow direct comparison of training-induced adaptations.Post-intervention assessments were performed following completion of the eight-week training program using procedures consistent with the baseline assessments. Changes in strength and muscle thickness were evaluated using a two-way repeated-measures analysis of variance, with group (transgender vs. cisgender) as the between-subject factor and time (pre-training vs. post-training) as the within-subject factor. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results

Both transgender and cisgender participants demonstrated significant improvements in the measured strength and hypertrophy variables following the eight-week resistance training intervention ($P < 0.001$). These findings indicate that a relatively short period of structured resistance training, consisting of two sessions per week, was sufficient to induce measurable neuromuscular and morphological adaptations in previously untrained individuals.

The group × time interaction for rectus femoris strength was not statistically significant ($P = 0.215$). Thus, although both groups improved strength following the

Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

intervention, the magnitude of the strength increase did not differ significantly between transgender and cisgender men. This finding suggests that, under the conditions of the present training protocol, testosterone exposure associated with gender-affirming hormone therapy did not result in a statistically greater improvement in dynamic knee-extension strength compared with cisgender men with similar activity and training backgrounds.In contrast, analysis of regional muscle hypertrophy revealed a significant group × time interaction in the upper region of the rectus femoris ($P = 0.039$). The transgender group demonstrated a greater increase in muscle thickness in this region compared with the cisgender group. However, no significant group × time interactions were observed for the other assessed regions of the rectus femoris ($P > 0.05$). These findings indicate that the difference between groups in the hypertrophic response was region-specific rather than a generalized difference in rectus femoris hypertrophy. Overall, the results demonstrate that both groups responded positively to the resistance training intervention, while transgender men exhibited a selectively greater hypertrophic response in the upper region of the rectus femoris.

Conclusion

Eight weeks of resistance training performed twice weekly resulted in significant improvements in strength and muscle hypertrophy in both transgender and cisgender men without previous regular resistance training. Although the magnitude of strength adaptation did not differ significantly between groups, transgender men demonstrated a significantly greater hypertrophic response in the upper region of the rectus femoris. This region-specific response may be associated with prolonged testosterone exposure and its potential effects on androgen receptor signaling, muscle protein synthesis, satellite-cell activity, or regional biomechanical loading. Nevertheless, these mechanisms remain speculative and require direct investigation. Future studies should employ larger samples, longer training periods, precise monitoring of testosterone concentrations and hormone therapy characteristics, and assessments of muscle architecture and molecular mechanisms to better determine how testosterone exposure influences regional skeletal muscle adaptations to resistance training.

Ethical Considerations: The study protocol was approved by the Ethics Committee of shahid Beheshti university, Tehran (IR.SBU.REC.1404.238). All participants provided written informed consent and retained the right to withdraw at any time.

Compliance with ethical guidelines: All ethical standards for studies involving human participants were fully met.

Funding: This study received no external funding.

Authors' contribution:

Conflict of interest:

Acknowledgments:

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

مقایسه هایپرتروفی و قدرت عضلانی عضلات چهارسر رانی بین مردان تطبیق یافته و مردان معمولی پس از هشت هفته تمرین مقاومتی

امیرمیلان امینی[۱]، محمد فشی[۲]✉، مریم نورشاهی[۳]

۱. گروه علوم زیستی ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: ami_amini.sbu.ac.ir
۲. نویسنده مسؤول، گروه علوم زیستی ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_fashi.sbu.ac.ir
۳. ، گروه علوم زیستی ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m-nourshahisbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/ ۰۴/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/ ۰۷/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/ ۰۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:
تستوسترون،
تمرین مقاومتی،
قدرت عضلانی،
مردان تطبیق یافته،
هایپرتروفی عضلانی.

چکیده

مقدمه: تستوسترون نقش کلیدی در هایپرتروفی و قدرت عضلانی دارد. در مردان تطبیق‌یافتهٔ تحت درمان هورمونی، سطح تستوسترون به محدودهٔ مردان معمولی می‌رسد، از آنجا که سازگاری‌های عصبی عضلانی به وضعیت تمرین پیشین وابسته است، در این تحقیق با همسان‌سازی دو گروه از نظر سطح فعالیت و سابقهٔ تمرینی، به مقایسهٔ پاسخ‌های قدرتی و هایپرتروفی پرداخته شد.

روش‌ها: ۲۶ مرد غیرفعال بدون سابقهٔ تمرین مقاومتی منظم ۱۳ مرد معمولی ۸/۳۷ ± ۲۹/۵۲ سال و ۱۳ مرد تطبیق‌یافته با ۷/۹۲ ± ۳۰/۱۵ سال، با حداقل یک سال درمان جایگزینی تستوسترون انتخاب شدند. هر دو گروه یک برنامهٔ تمرین مقاومتی هشت‌هفته‌ای، دو جلسه در هفته، پنج ست جلوران در هر جلسه، با تکرار ۸–۱۲ و شدت ۷۰–۸۰ درصد یک تکرار بیشینه را اجرا کردند. ضخامت عضلات با سونوگرافی و قدرت با آزمون یک تکرار بیشینه اندازه‌گیری شد. داده‌ها با تحلیل واریانس دوطرفهٔ تکراری تحلیل شدند.

یافته‌ها: هر دو گروه افزایش معناداری در تمام متغیرهای قدرت و هایپرتروفی پس از تمرین نشان دادند ($P<۰/۰۰۱$). اثر تعامل گروه×زمان برای قدرت راست رانی معنادار نبود ($P=۰/۲۱۵$)، اما اثر تعامل برای هایپرتروفی تنها در بخش بالایی عضلهٔ راست رانی، گروه تطبیق‌یافته افزایش بیشتری نسبت به داشت ($P=۰/۰۳۹$) و برای سایر نواحی تفاوتی مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: تمرین مقاومتی در هر دو گروه سبب افزایش قدرت و هایپرتروفی شد، اما مردان تطبیق‌یافته افزایش بیشتری در هایپرتروفی بخش فوقانی راست‌رانی نشان دادند که احتمالاً ناشی از تفاوت‌های بیومکانیکی، توزیع گیرنده‌های آندروژنی یا پاسخ وابسته به تستوسترون است.

استناد: امینی، امیرمیلان؛ فشی، محمد؛ و نورشاهی، مریم. مقایسهٔ هایپرتروفی و قدرت عضلانی عضلات چهارسر رانی بین مردان تطبیق‌یافته و مردان معمولی پس از هشت هفته تمرین مقاومتی نشریهٔ *علوم زیستی ورزشی*.۱۴۰۵؛ (۱)۱۸، ۸۰–۶۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.418634.1716.

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

تمرینات مقاومتی[1]به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های شرطی‌سازی جسمانی، به‌طور گسترده به‌منزلهٔ رویکرد طلایی برای بهبود آمادگی عضلانی شامل قدرت، توان و استقامت عضلانی شناخته شده است [۱]. این نوع تمرینات شامل استفاده از مقاومت‌های متغیر، سرعت‌های حرکتی مختلف و تجهیزات گوناگون از جمله وزنه‌های آزاد، دستگاه‌های وزنه‌ای، نوارهای کشی، توپ‌های طبی و حرکات پلایومتریک است [۲]. امروزه اجماع گسترده‌ای وجود دارد که تمرینات مقاومتی روشی ایمن، مؤثر و غیرقابل جایگزین برای ارتقای آمادگی جسمانی و سلامت در تمام گروه‌های سنی است [۳].

مزایای سلامتی تمرینات مقاومتی فراتر از افزایش قدرت و تودهٔ عضلانی است و دامنهٔ وسیعی از جنبه‌های سلامت را در برمی‌گیرد. این مزایا شامل بهبود تودهٔ استخوانی و تراکم مواد معدنی استخوان، ترکیب بدن و کاهش درصد چربی، سلامت روان و عملکرد شناختی، و پیشگیری از پیامدهای منفی سلامتی مانند دیابت نوع دو، بیماری‌های قلبی–عروقی و مرگ زودرس است [۴]. علاوه بر این تمرینات مقاومتی می‌تواند خطر و میزان بروز آسیب‌ها را کاهش دهد و همچنین سازگاری‌هایی را ایجاد کند که به‌طور سنتی با تمرینات هوازی مرتبط است، مانند بهبود آمادگی قلبی–تنفسی، کاهش چربی بدن و افزایش حساسیت به انسولین [۵]. سازمان‌های معتبر سلامت بین‌المللی از جمله کالج آمریکایی پزشکی ورزشی (ACSM) و سازمان جهانی بهداشت (WHO) تمرینات مقاومتی را به‌عنوان بخشی ضروری از فعالیت بدنی برای تمامی بزرگسالان توصیه کرده‌اند [۶، ۷].

هایپرتروفی عضلانی اسکلتی که به‌عنوان افزایش سطح مقطع محوری فیبرهای عضلانی یا کل عضله تعریف می‌شود، نتیجهٔ اصلی تمرینات مقاومتی در طولانی‌مدت است. این فرایند زمانی رخ می‌دهد که دوره‌های مزمن تعادل مثبت پروتئین عضلانی یعنی زمانی‌که نرخ سنتز پروتئین عضلانی از نرخ تخریب پروتئین عضلانی فراتر می‌رود، به افزایش تودهٔ عضلانی منجر می‌شود. تمرینات مقاومتی پیشرونده قوی‌ترین محرک غیردارویی برای افزایش تودهٔ عضلانی اسکلتی است [۸].

پاسخ به تمرینات مقاومتی تحت تأثیر شبکهٔ پیچیده‌ای از عوامل درونی زیستی و فردی و بیرونی قابل کنترل قرار دارد. عوامل بیرونی شامل طراحی برنامهٔ تمرینی (شدت، حجم، تعداد ست‌ها و تکرارها، زمان استراحت)، پیشرفت تدریجی بار، تنوع تمرینی، تغذیه و دریافت پروتئین و کیفیت خواب و ریکاوری می‌شود [۹]. عوامل درونی نیز شامل وضعیت تمرینی (پاسخ‌دهندگان بالا در مقابل پایین)، سن، جنس، ژنتیک و استعداد فردی و محیط هورمونی درون‌زا هستند [۱۰، ۱۱]. در بین عوامل درونی مؤثر بر هایپرتروفی عضلانی، هورمون‌های جنسی، به‌ویژه تستوسترون نقش محوری دارند [۱۲].

تستوسترون به‌عنوان مهم‌ترین آندروژن و هورمون آنابولیک در بدن، از طریق اتصال به گیرنده‌های آندروژنی[2]واقع در سارکوپلاسم سلول‌های عضلانی، تأثیرات ژنومی خود را اعمال می‌کند [۱۳]. پس از فعال‌سازی از طریق اتصال لیگاند، گیرنده‌های آندروژن به هستهٔ سلول منتقل و به DNA متصل می‌شوند و به‌عنوان فاکتورهای رونویسی عمل می‌کنند و بیان هزاران ژن را تغییر می‌دهند [۱۴]. این فرایند از طریق فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک مانند[3]PI3K/Akt/mTOR، سنتز پروتئین عضلانی را افزایش می‌دهد و به رشد و بازسازی تارهای عضلانی کمک می‌کند [۱۵]. آندروژن‌ها عملکردهای ارگوژنیک، آنابولیک و ضدکاتابولیک مختلفی را ایفا می‌کنند که به افزایش وابسته به دوز در قدرت، توان، استقامت و هایپرتروفی عضلانی منجر می‌شود [۱۶].

با این حال، شواهد معاصر نشان می‌دهند که افزایش‌های حاد و گذرای تستسترون پس از تمرین که ۱۵ تا ۶۰ دقیقه طول می‌کشد نقش تعیین‌کننده‌ای در هایپرتروفی طولانی‌مدت ندارند و این افزایش‌ها نه سنتز پروتئین عضلانی را افزایش می‌دهند و نه به هایپرتروفی ناشی

[1]. Resistance training
[2]. Androgen receptotr
[3]. Mammalian target of rapamycin

از تمرین مقاومتی کمک می‌کنند [۱۷]. در عوض، محتوای گیرندهٔ آندروژن درون‌عضلانی و حساسیت بافت عضله به آندروژن‌ها پیش‌بینی‌کننده‌های بهتری برای پاسخ‌های هایپرتروفیک هستند [۱۸]. همچنین نسبت تستوسترون به کورتیزول (T/C ratio) به‌عنوان شاخصی از تعادل آنابولیک-کاتابولیک، در پایش وضعیت تمرینی و پیشگیری از تمرین‌زدگی به‌کار می‌رود می‌گیرد [۱۷]. تحقیقات نشان داده‌اند که پاسخ نسبی به تمرینات مقاومتی (درصد تغییر نسبت به مقدار پایه) در مردان و زنان مشابه است، با وجود تفاوت‌های چشمگیر در سطح تستوسترون که اهمیت عوامل ساختاری و محتوای گیرنده‌های هورمونی را بیش از غلظت سیستمیک هورمون‌ها برجسته می‌سازد [۱۹]، بررسی نظام‌مند نشان می‌دهد که قدرت عضلانی در طول تستوسترون تراپی به‌طور معنادار افزایش می‌یابد. ویک و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که پس از ۱۲ ماه درمان، حجم عضلهٔ ران در مردان تطبیق‌یافته حدود ۱۵درصد افزایش یافت که با بهبود قدرت بازکننده‌ها زانو (۱۲درصد) و خم‌کننده‌ها زانو (۲۳درصد) همراه بود [۲۰, ۲۱].

با این حال علی‌رغم نزدیک شدن سطوح تستوسترون به محدودهٔ طبیعی مردان، مردان تطبیق‌یافته(TM) تحت درمان تستوسترون‌تراپی[۲] اغلب در شاخص‌هایی مانند تودهٔ عضلانی کل، قدرت گرفتن دست و عملکرد، مقادیر پایین‌تری نسبت به مردان معمولی[۳]همانندسازی‌شده نشان دادند [۲۲]. این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از تأثیرات اولیهٔ هورمون‌های جنسی در دورهٔ جنینی و بلوغ و تفاوت‌های اسکلتی-عضلانی اولیه، مدت زمان تستوسترون‌تراپی یا تعاملات پیچیدهٔ هورمونی از جمله تستوسترون آزاد و محور کورتیزول باشد [۲۳, ۲۴].

علی‌رغم پیشرفت‌های چشمگیر برای درک تأثیرات تستوسترون بر هایپرتروفی و قدرت مانند فعال‌سازی مسیر mTOR و افزایش تعداد سلول‌های ماهواره‌ای، چند شکاف تحقیقاتی مهم همچنان وجود دارد [۱۵, ۲۵]. بیشتر مطالعات مقایسه‌ای جنسی بر افراد معمولی تمرکز دارند و داده‌های مستقیم و کنترل‌شده در مورد مردان تطبیق‌یافته محدود است (۲۵-۲۷). تحقیقات موجود روی (TM) اغلب طراحی قبل و بعد دارند و فاقد گروه کنترل (CM) همانندسازی‌شده از نظر سن، سطح فعالیت بدنی، تجربهٔ تمرینی و برنامهٔ غذایی هستند [۲۰, ۲۱]. بسیاری از پژوهش‌ها نمونه‌های کوچک، طراحی مقطعی یا فاقد کنترل کافی بر مدت زمان تستوسترون‌تراپی و متغیرهای مداخله‌گر داشتند که تفسیر نتایج را دشوار می‌سازد [۱۹, ۲۰]. در نتیجه هنوز مشخص نیست (TM) تحت درمان تستوسترون‌تراپی می‌توانند به سطح عملکرد عضلانی و پاسخ هایپرتروفی مشابه (CM) دست یابند.

هدف تحقیق حاضر مقایسهٔ قدرت عضلانی، پاسخ هایپرتروفی عضلانی، بین (TM) تحت درمان جایگزینی تستوسترون بیش از یک سال و (CM) همانندسازی‌شده از نظر سن، سطح فعالیت بدنی و تجربهٔ تمرینی است. این پژوهش با ارائهٔ داده‌های اولیه، می‌تواند مبنایی برای برنامه‌های تمرینی شخصی‌سازی‌شده، راهنماهای بالینی و سیاست‌های ورزشی مانند المپیک فراهم آورد.

روش‌شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

جامعهٔ هدف پژوهش حاضر را مردان غیرفعال ۲۰ تا ۳۹ ساله تشکیل دادند. حجم نمونه با استفاده از تحلیل توان آماری و به کمک نرم‌افزارG*Power ، نسخهٔ ۳,۱,۹,۷، تعیین شد. این محاسبه بر اساس آزمون F و با استفاده از طرح تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر انجام گرفت. در این محاسبه، اندازهٔ اثر ۰/۳۰، سطح خطای نوع اول (α) برابر با ۰۵/۰ و توان آماری ($1-\beta$) برابر با ۰/۸۰ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که برای دستیابی به توان آماری ۸۰ درصد، حداقل ۲۴ آزمودنی، شامل ۱۲ نفر در هر گروه، مورد نیاز است. با توجه به احتمال ریزش آزمودنی‌ها، ۲۶ نفر برای شرکت در پژوهش انتخاب شدند.

[1]. Transgender Man on Testosterone Therapy
[2]. Testostrone replacment therapy
[3]. cisgender man

در نهایت، ۲۶ آزمودنی شامل ۱۳ مرد معمولی (CM) و ۱۳ مرد تطبیق یافته (TM) در مطالعه شرکت کردند و تمامی مراحل پژوهش را به پایان ر ساندند. آزمودنی‌های گروه مردان تطبیق یافته حداقل به مدت یک سال تحت نظر پز شک متخ صص غدد قرار دا شتند و بر اساس نتایج آزمایش‌های خونی، تحت درمان جایگزینی با تستوسترون انانتات (میانگین ۱۰۰ نانوگرم در هفته) بودند. داروی مورد استفاده از داروخانه‌های معتبر ایران تهیه شده بود. سطح تستوسترون در هر دو گروه در محدودهٔ طبیعی مردان قرار داشت و این موضوع بر اساس نتایج آزمایش خون هر آزمودنی به‌صورت جداگانه تأیید شد.

معیارهای ورود به پژوهش شامل نداشتن سابقهٔ تمرین مقاومتی منظم طی شش ماه گذشته، نداشتن مصرف سیگار و الکل، نداشتن سابقهٔ مصرف استروئیدهای آنابولیک و مکمل‌های غذایی و نداشتن بیماری یا آسیب عضلانی ـ اسکلتی بود. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل غیبت در بیش از دو جلسهٔ تمرینی، بروز آسیب در طول دورهٔ تمرین، عدم پایبندی به پروتکل غذایی یا تمرینی، مصرف هرگونه مادهٔ ممنوعه و، در گروه مردان ترنس‌جندر، قطع یا تغییر روند درمان با تستوسترون در طول اجرای پژوهش بود.تمام شرکت‌کنندگان پس از توضیح کامل مراحل پژوهش، رضایت‌نامهٔ آگاهانه کتبی امضا کردند. تحقیق با کد اخلاق IR.SBU.REC.1404.238 از کمیتهٔ اخلاق دانشگاه شهید بهشتی به تصویب رسید.

جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها تفکیک گروه

متغیر	مردان معمولی (N=۱۳)	مردان تطبیق یافته (N=۱۳)
سن (سال)	۲۹/۵۲ ± ۸/۳۷	۳۰/۱۵ ± ۷/۹۲
قد (سانتی‌متر)	۱۸۲/۱۳ ± ۱۰/۳۴	۱۶۸/۶ ± ۹/۸۵
وزن (کیلوگرم)	۸۷/۱۳ ± ۵/۴۵	۶۵/۸۴ ± ۶/۱۲

ابزار

یک هفته پیش از آغاز مداخله، جلسهٔ آشنایی با پروتکل تحقیق و اخذ رضایت‌نامه برگزار شد. ارزیابی‌های پیش‌آزمون (۲۴ ساعت قبل از اولین جلسهٔ تمرینی) شامل اندازه‌گیری ضخامت عضلانی با سونوگرافی پرتابل SonoScape E1 EXP (ساخت چین) و پروب خطی انجام گرفت. آزمودنی‌ها پنج دقیقه در حالت طاق‌باز استراحت کردند تا تعادل مایعات بدنی برقرار شود. نقاط اندازه‌گیری برای عضلهٔ پهن جانبی در ۶۰ و ۴۰ درصد فاصلهٔ تروکانتر بزرگ تا اپی کندیل جانبی زانو بودند. تصاویر در صفحهٔ عرضی با حداقل فشار پروب گرفته شد. ضخامت عضله از فاشیای سطح عضله تا فاشیای عمیق عضله و تا سطح استخوان با نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه تحلیل تصاویر باید به‌صورت کور انجام می‌شد و همچنین با توجه به تخصصی بودن تحلیل تصاویر پزشکی، این فرایند توسط متخصص مربوطه انجام گرفت. به‌طور کلی، کمی‌سازی تصاویر در نرم‌افزار ImageJ بر اساس پیکسل‌های موجود در تصاویر پزشکی (DICOM) انجام شد و مقادیر به میلی‌متر تبدیل گردید. ترتیب ارزیابی‌ها به‌صورت انجام سونوگرافی و سپس آزمون قدرت بود. آزمون قدرت نیز به‌صورت یک تکرار بیشینه (RM۱) و با افزایش تدریجی بار، مطابق با پروتکل‌های گزارش‌شده در مقالات، اجرا شد.

روش سنجش یک تکرار بیشینه

یک تکرار بیشینه (1RM) بر اساس معادله برزیکی (Brzycki) و با استفاده از وزن بار جابه‌جاشده و تعداد تکرارهای کامل اجراشده محاسبه شد. مقدار 1RM از طریق رابطه زیر برآورد گردید:

[(تعداد تکرار – ۰/۰۲۷۸) - ۱/۰۲۷۸]/ وزنه جابجا شده = ۱RM

پروتکل تمرینی

شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به دو گروه ۱۳ نفره (CM) و (TM) تقسیم شدند. هر دو گروه به مدت هشت هفته، دو جلسه در هفته تحت برنامهٔ تمرینی مقاومتی یکسان و تحت نظارت مستقیم محقق تمرین کردند. مجموع جلسات تمرینی ۱۶ جلسه در هشت هفته (هر هفته دو جلسه) بود. حجم تمرینی هفتگی در هر دو گروه شامل ۱۰ ست با شدت ۸–۱۲ تکرار بر اساس یک تکرار بیشینه با دو دقیقه استراحت بین هر ست برای عضلهٔ چهارسر ران با جلوپا دستگاه بود و در هفتهٔ چهارم آزمون یک تکرار بیشینه برای ارزیابی مجدد قدرت انجام گرفت. افزایش تدریجی بار در هر هفته در صورت امکان انجام می‌شد.

ارزیابی‌های پس‌آزمون دقیقاً ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرینی انجام شد.

جدول ۲.پروتکل تمرینی جلوپا دستگاه

متغیر	هفته‌های ۱–۳	هفته ۴	هفته‌های ۵–۸
تعداد جلسات در هفته	۲	۲	۲
تعداد کل جلسات	۶	۲	۸
حرکت	جلوپا دستگاه	جلوپا دستگاه	جلوپا دستگاه
عضله هدف	چهارسر ران	چهارسر ران	چهارسر ران
تعداد ست در هر جلسه	۵	۵	۵
حجم هفتگی	۱۰ ست	۱۰ ست	۱۰ ست
تعداد تکرار	۸–۱۲	*۸–۱۲	۸–۱۲
شدت (درصد 1RM)	۷۰ تا ۸۰ درصد	۷۰ تا ۸۰	۷۰ تا ۸۰ درصد
استراحت بین ست‌ها	۲ دقیقه	۲ دقیقه	۲ دقیقه
پیشرفت بار	افزایش تدریجی در صورت امکان	بازتنظیم بر اساس ۱RM	افزایش تدریجی در صورت امکان

روند اجرای پژوهش

یک هفته پیش از اجرای مداخله جلسه‌ای برای توضیحات و ارائهٔ رضایت‌نامه و جمع‌آوری آن به آزمودنی‌ها تشکیل شد. ۲۴ ساعت پیش از شروع مداخله و پس از مشخص شدن دقیق تعداد آزمودنی‌ها و رضایت آنها از شرکت در مداخله ارزیابی‌های قدرت، خون‌گیری، ارزیابی ضخامت عضلات پهن خارجی رانی با استفاده از دستگاه سونوگرافی انجام گرفت. از آنجایی که تعدادی از آزمودنی دانشجو بودند، تقریباً تمامی وعده‌های غذایی آنها یکسان بود، اما به‌منظور راهنمایی بهتر همهٔ آزمودنی‌ها و مصرف درست پروتئین و کالری برنامهٔ غذایی به آنها ارائه شد. ضخامت عضلات و سپس تست قدرت چهارسر ران از آزمودنی‌ها گرفته شد. سپس ۲۶ آزمودنی به دو گروه ۱۳ نفره تقسیم شدند، گروه‌ها با نام (CM) و (TM) مشخص شد و دو جلسه در هفته تمرین مقاومتی در هفته به مدت هشت هفته انجام دادند. گفتنی است که هر دو گروه تحت نظارت محقق تمرینات خود را انجام می‌دادند. تعداد کل جلسات تمرینی در طول مداخله ۱۶ جلسه بود. حجم تمرینی کل (تعداد ست و تکرار و بار) در هر دو گروه تا حد ممکن یکسان بود، ۱۰ ست گروه عضلانی چهارسر رانی انجام شد. در پایان نیز پس از ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسهٔ هر گروه ارزیابی پس‌آزمون انجام شد.

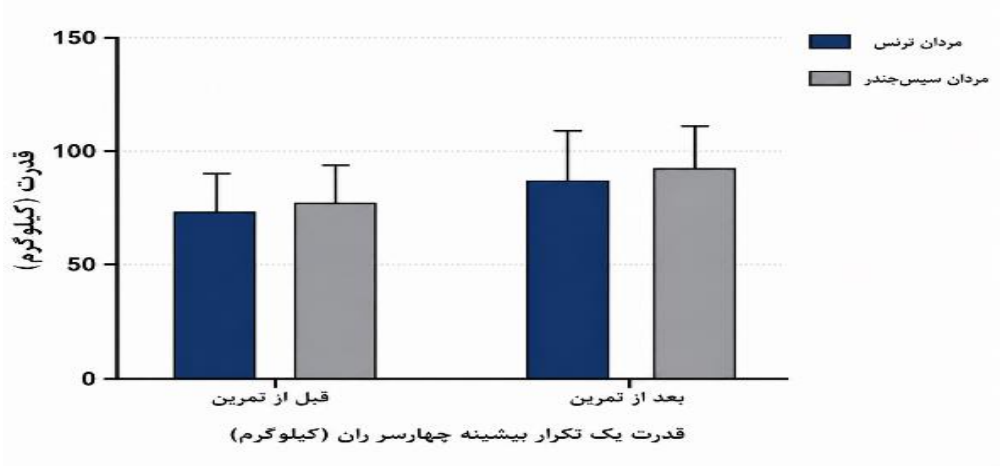
روش آماری

به‌منظور تحلیل داده‌های گردآوری‌شده، ابتدا شاخص‌های آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای متغیرهای وابسته در هر دو گروه و در دو مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون محاسبه شد. در بخش آمار استنباطی، پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و همگنی واریانس‌ها با به‌کارگیری آزمون لوین بررسی و تأیید شد. سپس به‌منظور بررسی تأثیرات اصلی زمان و گروه و همچنین اثر تعاملی زمان و گروه، از تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. سطح معناداری برای همهٔ آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شده و گزارش شد. همهٔ تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ انجام پذیرفت.

یافته‌های پژوهش

یافته‌های مربوط به تغییرات قدرت عضلانی پایین‌تنه

پیش از اجرای تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر، پیش‌فرض‌های طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها ارزیابی شد. نرمالیتی داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک برای هر یک از گروه‌ها و در هر دو مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون بررسی شد. همچنین همگنی واریانس‌ها بین گروه‌ها با استفاده از آزمون لون ارزیابی شد. نتایج نشان داد که توزیع تمام متغیرهای وابسته با توزیع نرمال تفاوت معناداری نداشت ($P>0/05$). همچنین واریانس‌های بین دو گروه در مراحل مختلف اندازه‌گیری همگن بودند ($P>0/05$). بنابراین مفروضه‌های لازم برای استفاده از تحلیل پارامتریک برقرار بود. تحلیل آماری داده‌های مربوط به قدرت عضلانی در بخش پایین‌تنه (عضلهٔ راست رانی) نتایج زیر را نشان داد در بررسی قدرت اثر اصلی زمان معنادار بود ($P<0/001$) که نشان‌دهندهٔ بهبود قدرت این عضله در طول دورهٔ مداخله است. اثر اصلی گروه نیز معنادار گزارش شد ($P=0/014$). با این حال، اثر تعامل زمان × گروه تفاوت معناداری را نشان نداد ($P=0/185$). در مقابل ارزیابی قدرت عضلهٔ راست رانی نشان داد که اگرچه اثر اصلی زمان معنادار بود ($P<0/001$)، اثر تعامل زمان × گروه ($P=0/215$) و اثر اصلی گروه ($P=0/226$) از نظر آماری معنادار نبودند.



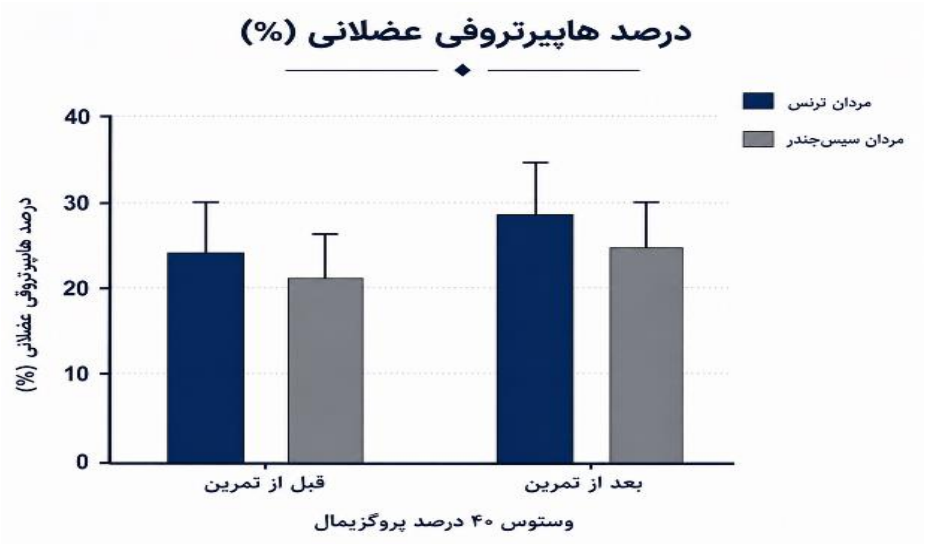
نمودار ۱. مقایسهٔ قدرت راست رانی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین دو گروه (TM) و (CM)

مقایسهٔ تغییرات قدرت عضله راست رانی (نمودار ۱) بین دو گروه (TM) و (CM) طی مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه شده است.

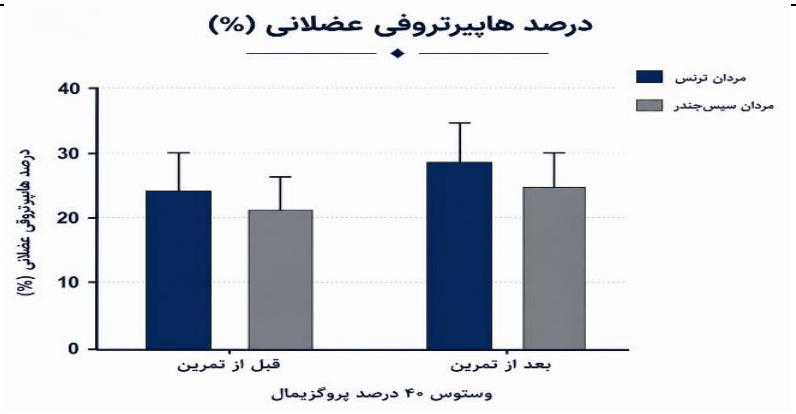
یافته‌های مربوط به تغییرات هایپرتروفی پایین‌تنه

نتایج نشان داد که در عضلهٔ پهن خارجی نیز در هر دو ناحیهٔ ۶۰ درصد پایینی و ۴۰ درصد بالایی طول استخوان ران، اثر اصلی زمان معنادار مشاهده شد (p<۰/۰۰۱). مطابق نمودارهای ۲ و ۳ هر دو گروه در طول زمان افزایش هایپرتروفی را تجربه کردند. با وجود این، اثر تعامل زمان × گروه در هیچ‌یک از این نواحی معنادار نبود به‌ترتیب P= ۰/۲۸۳ و ۰/۶۱۶ = P و اثر اصلی گروه نیز در هر دو بخش معنادار گزارش نشد (P=۰/۷۱۱ و۰/۷۳۶ = P).

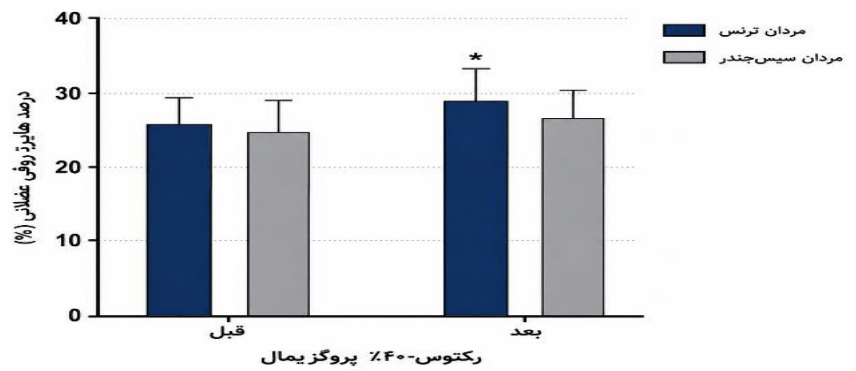
در عضلهٔ راست رانی، در ناحیهٔ ۴۰ درصد بالایی طول استخوان ران، اثر اصلی زمان معنادار بود (p<۰/۰۰۱) و همان‌طور که در نمودار۴ مشاهده می‌شود، هر دو گروه از پیش‌آزمون به پس‌آزمون افزایش هایپرتروفی را نشان دادند. با این حال، الگوی تغییرات بین گروه‌ها متفاوت بود؛ به‌طوری‌که اثر تعامل زمان × گروه در این ناحیه معنادار گزارش شد (p=۰/۰۳۹) که نشان‌دهندهٔ تفاوت در میزان یا روند تغییرات دو گروه در طول زمان است. با وجود این، اثر اصلی گروه معنادار نبود (p=۰/۶۷۷). در ناحیهٔ ۶۰ درصد پایینی طول استخوان ران نیز اثر اصلی زمان معنادار بود (p<۰/۰۰۱) و مطابق نمودار ۵، هر دو گروه در پس‌آزمون مقادیر بیشتری نسبت به پیش‌آزمون نشان دادند، اما اثر تعامل زمان × گروه (p=۰/۵۶۱) و اثر اصلی گروه (p=۰/۸۵۳) معنادار نبودند.



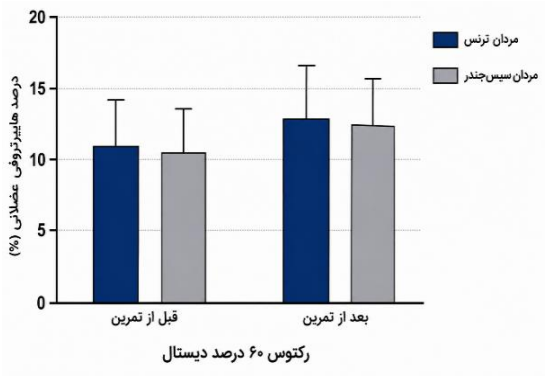
نمودار ۲. مقایسهٔ هایپرتروفی عضله پهن خارجی پیش‌آزمون و پس‌آزمون (۶۰ درصد پایینی طول استخوان ران) بین دو گروه (TM) و (CM)



نمودار ۳. مقایسهٔ هایپرتروفی عضلهٔ پهن خارجی پیش‌آزمون و پس‌آزمون (۴۰ درصد بالایی طول استخوان ران) بین دو گروه (TM) و (CM)



نمودار ۴. مقایسهٔ هایپرتروفی عضلهٔ راست رانی پیش‌آزمون و پس‌آزمون (۶۰ درصد پایینی طول استخوان ران) بین دو گروه (TM) و (CM)



نمودار ۵. مقایسهٔ هایپرتروفی عضلهٔ راست رانی پیش‌آزمون و پس‌آزمون (۴۰ درصد بالایی طول استخوان ران) بین دو گروه (TM) و (CM)

بحث و نتیجه‌گیری

یافتهٔ اصلی تحقیق حاضر نشان داد که یک دوره تمرین مقاومتی با استفاده از دستگاه جلو ران برای عضلات چهارسر به افزایش معنادار قدرت و هایپرتروفی در تمام عضلات مورد بررسی در هر دو گروه (CM) و (TM) منجر می‌شود. این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین که پاسخ‌های یکسان مورفولوژیک و عملکردی اولیه را به تمرین مقاومتی بین مردان و زنان نشان دادند مشابه است. در تحقیق کویچ و همکاران (۲۰۲۳)، پس از هفت هفته تمرین اسکوات و جلو بازو، هایپرتروفی معناداری برای تمام عضلات مورد بررسی در هر دو گروه جنسیتی گزارش شد [۲۸]. همچنین مرور نظام‌مند نرلوند و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که افراد تطبیق یافته تحت درمان هورمونی تأیید جنسیت، توانایی پاسخ‌دهی به تمرینات قدرتی را حفظ می‌کنند [۲۱]. دلیل احتمالی این یافته وجود سازوکارهای سلولی مشترک هایپرتروفی از جمله مسیر سیگنالینگ mTOR و Akt، همچنین نقش مستقل از جنسیت فاکتور رشد شبه‌انسولین (IGF-1) در پاسخ به تمرین مقاومتی است [۲۷].

مرور نظام‌مند نرلوند و همکاران[1](۲۰۲۶)، نشان داد درمان تستسترون در چهار مطالعه از شش مطالعه آینده‌نگر با افزایش قدرت همراه بوده و در دو مطالعه بدون تغییر مانده است. تغییرات قدرت عمدتاً در سال نخست رخ داده و فعالیت بدنی حین درمان در بیشتر مطالعات ثابت بوده است. در مطالعات مقطعی همان مرور، مردان تطبیق‌یافته قدرتی بالاتر از زنان معمولی اما پایین‌تر از مردان معمولی داشتند [۲۱]. ویک و همکاران[2](۲۰۲۰) در مردان تطبیق‌یافته تمرین‌نکرده، پس از ۱۲ ماه درمان، حدود ۱۵ درصد افزایش حجم عضله ران، ۱۵ درصد افزایش سطح مقطع چهارسر، ۶ درصد افزایش چگالی و بهبود قدرت بازکننده‌های زانو (۱۲ درصد) و خم‌کننده‌های زانو (۲۳ درصد) را گزارش کردند [۲۰]. ون کانخم و همکاران[3](۲۰۱۵) در مطالعه کنترل‌شده افزایش حدود ۴/۱۰ درصدی توده عضلانی و کاهش ۷/۹ درصدی توده چربی را در سال اول درمان تستوسترون نشان دادند[۲۹]. در مرور چنگ و همکاران[4](۲۰۲۴) گزارش شد در مردان تطبیق‌یافته غیرورزشکار، توده و قدرت عضلانی در سال اول افزایش می‌یابد و برخی شاخص‌های عملکردی پس از حدود سه سال به سطح مردان معمولی نزدیک می‌شود [۳۰]. نکته روش‌شناختی تعیین‌کننده آن است که این مطالعات عمدتاً اثر خودِ درمان هورمونی را سنجیده‌اند و افزودن یک برنامه تمرین مقاومتی نظارت شده بر زمینه‌ای از درمان پایدار بیش از یک سال را مورد بررسی قرار ندادند [۲۰, ۲۱]. کوجیچ و همکاران[5](۲۰۲۱) پس از هفت هفته تمرین اسکوات و جلوبازو تفاوت معناداری در سازگاری مورفولوژیک و عملکردی عضلات بالاتنه و پایین‌تنه بین دو جنس مشاهده نکردند [۲۸]. متاآناایز رفالو و همکاران[6]نشان داد افزایش مطلق اندازه عضله اندکی به نفع مردان است، اما افزایش نسبی نسبت به مقدار پایه بین دو جنس مشابه است و این شباهت در پایین‌تنه بارزتر از بالاتنه است [۱۹]. مرور رابرتس و همکاران[7](۲۰۲۰) نیز تفاوت‌های جنسی در پاسخ به تمرین مقاومتی را کوچک و وابسته به نحوه بیان داده (مطلق در برابر نسبی) دانست [۲۷]. در مطالعه بامن و همکاران[8](۲۰۰۳) هایپرتروفی تار نوع II را پس از تمرین مقاومتی در مردان بیشتر از زنان بود [۲۶]. این یافته تعمیم مستقیم به نمونه جوان و غیرفعال حاضر ندارد، اما یادآوری می‌کند که شباهت نسبی همیشه به معنای شباهت مطلق در سطح تار نیست. غلبه محرک مکانیکی بر غلظت سیستمیک تستوسترون نیز با این مشاهده سازگار است که افزایش حاد و گذرای تستوسترون پس از جلسه تمرین، پیش‌بینی‌کننده هایپرتروفی بلندمدت نیست [۱۷]. در پژوهش حاضر قد و وزن همسان نشده بود و مردان معمولی حدود ۱۸۲ سانتی‌متر و ۸۷ کیلوگرم در برابر حدود ۱۶۹ سانتی‌متر و ۶۶ کیلوگرم در مردان تطبیق‌یافته بودند. طول اندام، بازوی گشتاور و توده بدن پیش‌بینی‌کننده‌های شناخته‌شده قدرت مطلق‌اند و می‌توانند اثر اصلی گروه را مستقل از شیب تمرین، توضیح دهند. افزون بر آن، آثار سازمان‌ده هورمون‌های جنسی در دوران جنینی و بلوغ می‌تواند پس از رسیدن تستوسترون بزرگسالی به محدوده مردانه نیز بر مقادیر مطلق باقی بماند [۲۳, ۲۴]. درمان طولانی‌مدت تستوسترون ترکیب بدن را به سمت توده عضلانی بیشتر، قدرت گرفتن بیشتر و توده چربی کمتر نسبت به زنان شاهد جابه‌جا می‌کند [۳۱]، اما و همکاران پس از ۱۲ هفته تمرین بازکننده زانو نشان دادند تغییر سطح مقطع، ضخامت و

1. Nørlund
2. Wiik
3. Van Caenegem
4. Cheung
5. Kojić
6. Refalo
7. Roberts
8. Bamman

زاویه پره‌ای بین سرهای چهارسر و در طول یک عضله همگن نیست؛ رشد نسبی راست‌رانی بیش از عضلات پهن بود و در پهن جانبی و راست‌رانی افزایش سطح مقطع دیستال از پروگزیمال بیشتر بود [۳۲]. ماتا و همکاران (۲۰۱۵)پس از ۱۴ هفته، تغییر ضخامت و سطح مقطع راست‌رانی را وابسته به محل اندازه‌گیری ۳۰ در برابر ۵۰ درصد طول ران و نیز وابسته به شیوه تمرین یافتند [۳۳]. منجین و همکاران پس از هشت هفته تمرین شدید پایین‌تنه، سازگاری سطح مقطع و طول فاسیکول را بین راست‌رانی و پهن جانبی غیریکنواخت گزارش کردند [۳۴]. بلازویچ و همکاران[۲] (۲۰۰۶) نشان دادند معماری چهارسر، از جمله طول فاسیکول و زاویه پره‌ای، در طول عضله به‌طور معنادار تغییر می‌کند [۳۵]. در مطالعه‌ی زابالتا–کورتا و همکاران[۳] (۲۰۲۱)حرکت جلو ران هایپرتروفی هر سه ناحیه راست‌رانی را افزایش داد، در حالی که اسکوات اسمیت با حجم و شدت برابر عمدتاً ناحیه میانی پهن جانبی را رشد داد [۳۶]. از آنجا که هر دو گروه پژوهش حاضر فقط جلو ران انجام دادند، انتخاب حرکت می‌تواند توضیح دهد چرا عضله راست رانی اساساً درگیر شده، اما تفاوت بین‌گروهی در بخش بالایی را توضیح نمی‌دهد. در چندین پروتکل رشد دیستال راست‌رانی دست‌کم به اندازه رشد پروگزیمال بوده است [۳۲, ۳۳]. راست‌رانی تنها سر دومفصلی عضله چهارسر است، از خار خاصره‌ای قدامی تحتانی مبدأ می‌گیرد و هم بر مفصل ران و هم بر زانو اثر می‌گذارد. فعالیت آن به زاویه ران و زانو حساس است و در باز کردن زانو با زاویه ثابت ران، نسبت به عضلات تک مفصلی الگوی فعال‌سازی متفاوتی دارد [۳۵]. ممکن است این ویژگی راست‌رانی و باز توزیع چربی، افزایش دور کمر، کاهش دور باسن و افزایش توده عضلانی پس از درمان تستوسترون دلیل تفاوت منطقه‌ای در پژوهش حاضر باشد [۲۹, ۳۱].

سینها–حکیم و همکاران(۲۰۰۴)[۴] گیرنده آندروژن را در چند رده سلولی عضله، و عمدتاً در سلول‌های ماهواره‌ای و هسته‌های عضلانی، نشان دادند و افزایش تراکم هسته عضلانی را پس از درمان آندروژن گزارش کردند [۳۷]. همان گروه پیش‌تر افزایش تعداد سلول ماهواره‌ای را با هایپرتروفی ناشی از تستوسترون در مردان جوان مرتبط دانسته بود [۲۵]. مرور ساکای و ایمای[۵] (۲۰۲۴) کارکرد این گیرنده را وابسته به نوع سلول تار عضلانی، سلول ماهواره‌ای، پیش‌ساز مزانشیمی و زمینه زیستی هموستاز توصیف می‌کند [۳۸]. هیچ‌یک از این مطالعات توزیع طولی گیرنده را در راستای راست‌رانی انسان نسنجیده‌اند. پس می‌توان گفت حساسیت بافتی به آندروژن پیش‌بینی‌کننده معقول‌تری از غلظت سیستمیک است [۱۸]. اما نسبت دادن تعامل پروگزیمال به توزیع ناهمگن گیرنده، نتیجه‌ای است که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت. جایی که پیشنهاد می شود در مطالعات آتی همراه با تعداد آزمودنی بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر حاصل رسالهٔ دکتری دانشگاه شهید بهشتی تهران است. بر همین اساس نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همهٔ آزمودنی‌ها کمال سپاسگزاری را داشته باشند.

References

[1]. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. Sports medicine. 2016;46(10):1419-49. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0.

[2]. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. Current sports medicine reports. 2002;1(3):165-71. https://doi.org/10.1249/00149619-200206000-00007.

[3]. Aslam S, Habyarimana JDD, Bin SY. Neuromuscular adaptations to resistance training in elite versus recreational athletes. Frontiers in physiology. 2025;16:1598149. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1598149.

[1]. Matta
[2]. Blazevich
[3]. Zabaleta-Korta
[4]. Sinha-Hikim
[5]. Sakai

[4]. Lee J, Kim D, Kim C. Resistance training for glycemic control, muscular strength, and lean body mass in old type 2 diabetic patients: a meta-analysis. Diabetes Therapy. 2017;8(3):459-73. https://doi.org/10.1007/s13300-017-0258-3.

[5]. Maestroni L, Read P, Bishop C, Papadopoulos K, Suchomel TJ, Comfort P, Turner A. The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care. Sports Medicine. 2020;50(8):1431-50. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01309-5.

[6]. Organization WH. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: World Health Organization; 2020.

[7]. Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: American College of Sports Medicine; 2018.

[8]. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010;24(10):2857-72. DOI:10.1519/JSC.0b013e3181e840f3.

[9]. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low-vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(12):3508-23. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002200.

[10]. Van Every DW, D'Souza AC, Phillips SM. Hormones, hypertrophy, and hype: an evidence-guided primer on endogenous endocrine influences on exercise-induced muscle hypertrophy. Exercise and sport sciences reviews. 2024;52(4):117-25. doi: 10.1249/JES.0000000000000346.

[11]. Hubal MJ, Gordish-Dressman H, Thompson PD, Price TB, Hoffman EP, Angelopoulos TJ, et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. Medicine & science in sports & exercise. 2005;37(6):964-72. DOI: 10.1249.01.mss.0000170469.90461.5f.

[12]. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. Sports medicine. 2005;35(4):339-61. https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004.

[13]. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. Sports medicine. 2010;40(12):1037-53. https://doi.org/10.2165/11536910-000000000-00000.

[14]. Dubois V, Laurent MR, Sinnesael M, Cielen N, Helsen C, Clinckemalie L, et al. A satellite cell-specific knockout of the androgen receptor reveals myostatin as a direct androgen target in skeletal muscle. The FASEB journal. 2014;28(7):2979-94. http://hdl.handle.net/1854/LU-8737873.

[15]. Basualto-Alarcón C, Jorquera G, Altamirano F, Jaimovich E, Estrada M. Testosterone signals through mTOR and androgen receptor to induce muscle hypertrophy. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2013;45(9):1712-20. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31828cf5f3.

[16]. Bhasin S, Storer TW, Berman N, Callegari C, Clevenger B, Phillips J, et al. The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. New England Journal of Medicine. 1996;335(1):1-7. DOI: 10.1056/NEJM199607043350101.

[17]. Schroeder ET, Villanueva M, West DD, Phillips SM. Are acute post–resistance exercise increases in testosterone, growth hormone, and IGF-1 necessary to stimulate skeletal muscle anabolism and hypertrophy? Medicine & Science in Sports & Exercise. 2013;45(11):2044-51.DOI: 10.1249/MSS.0000000000000147.

[18]. Morton RW, Sato K, Gallaugher MP, Oikawa SY, McNicholas PD, Fujita S, Phillips SM. Muscle androgen receptor content but not systemic hormones is associated with resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy in healthy, young men. Frontiers in physiology. 2018;9:1373. doi: 10.3389/fphys.2018.01373.

[19]. Refalo MC, Nuckols G, Galpin AJ, Gallagher IJ, Hamilton DL, Fyfe JJ. Sex differences in absolute and relative changes in muscle size following resistance training in healthy adults: a systematic review with Bayesian meta-analysis. PeerJ. 2025;13:e19042. https://doi.org/10.5281/zenodo.14611284.

[20]. Wiik A, Lundberg TR, Rullman E, Andersson DP, Holmberg M, Mandić M, et al. Muscle strength, size, and composition following 12 months of gender-affirming treatment in transgender individuals. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2020;105(3):e805-e13. https://doi.org/10.1210/clinem/dgz247.

[21]. Nørlund MK, Christensen LL, Andersen MS, Kristensen TT, Frystyk J, Mathiesen J, et al. Muscle strength changes and physical activity during gender-affirming hormone therapy: A systematic review. Andrology. 2026;14(1):303-21. DOI: 10.1111/andr.70058.

[22]. Gooren LJ, Bunck MC. Transsexuals and competitive sports. European journal of endocrinology. 2004;151(4):425-9. DOI: 10.1530/eje.0.1510425.

[23]. Arnold AP. The organizational–activational hypothesis as the foundation for a unified theory of sexual differentiation of all mammalian tissues. Hormones and behavior. 2009;55(5):570-8.DOI: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.011.

[24]. Schulz KM, Sisk CL. The organizing actions of adolescent gonadal steroid hormones on brain and behavioral development. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2016;70:148-58. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.07.036.

[25]. Sinha-Hikim I, Roth SM, Lee MI, Bhasin S. Testosterone-induced muscle hypertrophy is associated with an increase in satellite cell number in healthy, young men. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2003;285(1):E197-E205. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00370.2002.

[26]. Bamman MM, Hill VJ, Adams GR, Haddad F, Wetzstein CJ, Gower BA, et al. Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 2003;58(2):B108-B16. https://doi.org/10.1093/gerona/58.2.B108.

[27]. Roberts BM, Nuckols G, Krieger JW. Sex differences in resistance training: a systematic review and meta-analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2020;34(5):1448-60. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003521.

[28]. Kojić F, Mandić D, Ilić V. Resistance training induces similar adaptations of upper and lower-body muscles between sexes. Scientific reports. 2021;11(1):23449. https://doi.org/10.1038/s41598-021-02867-y

[29]. Van Caenegem E, Wierckx K, Taes Y, Schreiner T, Vandewalle S, Toye K, et al. Body composition, bone turnover, and bone mass in trans men during testosterone treatment: 1-year follow-up data from a prospective case–controlled study (ENIGI). European journal of endocrinology. 2015;172(2):163-71. DOI: 2010.1016/j.yhbeh.2009.03.011.

[30]. Cheung AS, Zwickl S, Miller K, Nolan BJ, Wong AFQ, Jones P, Eynon N. The impact of gender-affirming hormone therapy on physical performance. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2024;109(2):e455-e65. doi: 10.1210/clinem/dgad414.

[31]. Van Caenegem E, Wierckx K, Taes Y, Dedecker D, Van de Peer F, Toye K, et al. Bone mass, bone geometry, and body composition in female-to-male transsexual persons after long-term cross-sex hormonal therapy. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2012;97(7):2503-11. DOI: 10.1097/01.ogx.0000425652.26360.d7.

[32]. Ema R, Wakahara T, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawakami Y. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. European journal of applied physiology. 2013;113(11):2691-703. https://doi.org/10.1007/s00421-013-2700-1

[33]. Matta TT, Nascimento FX, Fernandes IA, Oliveira LF. Heterogeneity of rectus femoris muscle

architectural adaptations after two different 14-week resistance training programmes. Clinical Physiology and Functional Imaging. 2015;35(3):210-5. https://doi.org/10.1111/cpf.12151

[34]. Mangine GT, Redd MJ, Gonzalez AM, Townsend JR, Wells AJ, Jajtner AR, et al. Resistance training does not induce uniform adaptations to quadriceps. PLoS One. 2018;13(8):e0198304. https://doi.org/10.1101/325860.

[35]. Blazevich AJ, Gill ND, Zhou S. Intra-and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. Journal of anatomy. 2006;209(3):289-310. doi: 10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x

[36]. Zabaleta-Korta A, Fernández-Peña E, Torres-Unda J, Garbisu-Hualde A, Santos-Concejero J. The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. Journal of sports sciences. 2021;39(20):2298-304. https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736.

[37]. Sinha-Hikim I, Taylor WE, Gonzalez-Cadavid NF, Zheng W, Bhasin S. Androgen receptor in human skeletal muscle and cultured muscle satellite cells: up-regulation by androgen treatment. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2004;89(10):5245-55. doi: 10.1210/jc.2004-0084.

[38]. Sakai H, Imai Y. Cell-specific functions of androgen receptor in skeletal muscles. Endocrine Journal. 2024;71(5):437-45. https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ23-0691.