

Research Paper



Comparative Effects of Static Stretching and PNF Techniques on Functional Flexibility and Postural Balance in Competitive Taekwondo Athletes

Alireza Rostami¹ , *Seyed Majid Tabatabaeeinejad¹ , Mostafa Soltani¹ , Masoud Mirmoezzi²

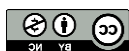
1. Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Raja University, Qazvin, Iran.
2. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Qazvin Azad University, Qazvin, Iran.

Use your device to scan and read the article online



Citation: Rostami A, Tabatabaeeinejad SM, Soltani M, Mirmoezzi M. Comparative Effects of Static Stretching and PNF Techniques on Functional Flexibility and Postural Balance in Competitive Taekwondo Athletes. (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(2):94-112. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.94>

<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.94>



Article Info:

Received: 8 April 2025

Accepted: 12 May 2025

Available Online: 13 May 2025

Keywords:

Static stretching; Flexibility;
PNF; Balance; Taekwondo

ABSTRACT

Objective Flexibility and functional balance are critical for optimal performance in Taekwondo, as they directly impact an athlete's ability to execute precise techniques and minimize the risk of injury. This study aimed to evaluate the effects of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) on flexibility and functional balance in Taekwondo practitioners.

Methods Thirty-seven Taekwondo athletes (mean age: 19.43 ± 1.46 years; training experience: 4.05 ± 1.05 years) who met the inclusion criteria participated in this study. Participants were purposefully selected based on age, sex, and body mass index (BMI), and were randomly assigned to one of three groups: static stretching, PNF stretching, or control (no stretching). The PNF protocol employed the contract-relax-agonist-contract method, while the static stretching group performed 30-second holds over an eight-week period. Flexibility (measured via 180-degree split), single-leg stance time (SLST), and hop test (HT) performance were assessed before and after the intervention. Data were analyzed using ANCOVA with Bonferroni post-hoc tests, with significance set at $p \leq 0.05$.

Results Athletes in the PNF group showed significant improvements in 180-degree split flexibility ($p < 0.001$), SLST ($p < 0.001$), and HT performance ($p < 0.05$) compared to the control group.

Conclusion PNF stretching appears to significantly enhance flexibility and functional balance in Taekwondo athletes. This technique may improve joint range of motion, reduce muscle stiffness, and enhance the execution of complex movements and quick directional changes essential in Taekwondo performance.

* Corresponding Author:

Seyed Majid Tabatabaeeinejad

Address: Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Raja University, Qazvin, Iran.

Tel: +98 (28) 33677105

E-mail: majid.tabatabaee@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

One of the key physical requirements in Taekwondo is achieving 180-degree flexibility, particularly in joints such as the hips, which is essential for executing effective kicks and defensive maneuvers. This martial art demands a multidirectional range of motion (ROM) in the hip joint, allowing athletes to perform advanced techniques and rapid movements with precision and efficiency (2). The 180-degree middle split is a fundamental flexibility technique in Taekwondo that enhances hip ROM, increases muscular flexibility, and strengthens the adductor muscles. Mastery of this technique enables athletes to deliver more powerful and accurate kicks, while also improving functional balance and postural stability during combat—factors that collectively reduce the risk of injury. Enhanced hip flexibility and neuromuscular control can translate into improved speed, precision, and power, facilitating the execution of complex and high-speed techniques (3). Stretching methods used to improve these attributes include static, dynamic, passive, active, isometric, and proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching (2). Given the technical and tactical demands of Taekwondo, as well as the competitive rules, high levels of lower-limb flexibility are required, often necessitating dedicated flexibility training to expand the ROM of the hip's intricate joint structure (3).

Although the effects of stretching on athletic performance may vary depending on the type and timing of the stretch, PNF is widely recognized as one of the most effective techniques for enhancing flexibility, with limited research disputing its efficacy (12). Typically, static and PNF stretching are implemented separately within training sessions or on alternate days. Furthermore, most previous research has focused on static stretching and balance control, with relatively few studies directly comparing the effects of multiple stretching modalities. This study aims to address this gap by comparing two commonly used stretching protocols—static and PNF—and examining their effects on flexibility (as measured by the 180-degree middle split) and functional balance in Taekwondo athletes.

2. Methods

Given the nature and objectives of the study, this research employed an applied, quasi-experimental design with a pre-test–post-test approach and a control group over an eight-week intervention period. The target population consisted of male and female Taekwondo practitioners aged 15 to 25 years. Participants were recruited from local sports clubs and were required to have at least three years of Taekwondo experience, train two to three sessions per week, and be physically capable of completing all performance tests independently. A total of 39 participants were selected using purposive and convenience sampling. They were assigned to one of three groups—static stretching, PNF stretching, or control (no stretching)—based on age, gender, and body mass index (BMI). Two female participants (one from the static stretching group and one from the control group) withdrew from the study due to lack of interest.

The aim of the study was to evaluate the effects of different stretching protocols on 180-degree middle split flexibility and functional balance. Participants were instructed to refrain from intense physical activity for at least 24 hours prior to testing, and no injuries occurred during the intervention period.

The PNF protocol was based on the contract-relax-agonist-contract (CRAC) technique, while static stretches were performed with 30-second holds. Both protocols were implemented over an eight-week period. Outcome measures included the 180-degree flexibility test, Single-Leg Stance Time (SLST), and Hop Tests (HT), assessed before and after the intervention. Statistical analysis was conducted using analysis of covariance (ANCOVA) followed by Bonferroni post hoc tests, with the significance level set at $p \leq 0.05$.

3. Results

Table 1 presents the variables examined in the three groups: static stretching, PNF stretching, and control (no stretching), including 180-degree flexibility and balance (single-leg stance time and hop tests). The results showed that athletes who performed PNF stretching demonstrated significantly better performance in the 180-degree flexibility test ($p < 0.001$), single-leg stance time ($p < 0.001$), and hop tests ($p < 0.05$).

Bonferroni post hoc comparisons of the groups in the post-test are presented in Fig. 1, adjusted using ANCOVA.

Table 1. Descriptive statistics of dependent variables for Taekwondo athletes (Mean $\pm$ SD)

Groups	Static stretch		PNF stretch		Control	
Variables	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
180° flexibility	131.72 $\pm$ 6.36	137.25 $\pm$ 5.44	129.44 $\pm$ 5.62	144.61 $\pm$ 5	129.25 $\pm$ 6.73	132.69 $\pm$ 3.79
SLST	45.69 $\pm$ 0.77	47.43 $\pm$ 0.57	45.81 $\pm$ 0.70	49.84 $\pm$ 0.98	45.65 $\pm$ 0.81	46.62 $\pm$ 1.74
SLH (DL)	95.95 $\pm$ 38.40	96.57 $\pm$ 33.95	108.27 $\pm$ 39.09	113.15 $\pm$ 36.05	104.55 $\pm$ 27.44	104.45 $\pm$ 26.96
SLH (NDL)	100.18 $\pm$ 37.44	102.37 $\pm$ 36.47	112.84 $\pm$ 20.28	117.87 $\pm$ 17.51	96.47 $\pm$ 33.42	95.80 $\pm$ 32.24
SLTH (DL)	324.29 $\pm$ 86.92	328.23 $\pm$ 82.10	311.53 $\pm$ 84.73	326.21 $\pm$ 73.27	343.75 $\pm$ 77.16	343.80 $\pm$ 78.82
SLTH (NDL)	324.95 $\pm$ 88.73	325.93 $\pm$ 87.19	360.16 $\pm$ 81.27	374.14 $\pm$ 77.78	309.85 $\pm$ 60.11	310.72 $\pm$ 55.39

Note: SLST: Single-Leg Stance Time (Seconds); SLH: Single-Leg Hop (cm); SLTH: Single-Leg Triple-Hop Test (cm); DL: Dominant Leg; NDL: Non-Dominant Leg

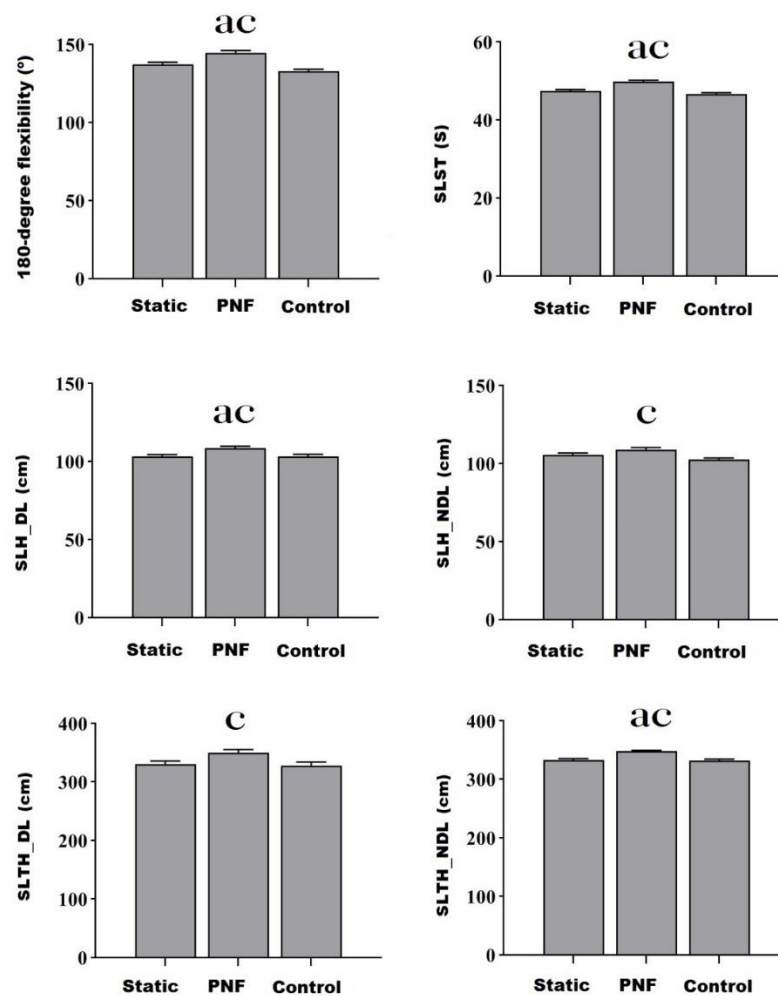


Fig. 1. Bonferroni post hoc test results comparing the groups in the post-test

Note: SLST: Single-Leg Stance Time (Seconds); SLH: Single-Leg Hop (cm); SLTH: Single-Leg Triple-Hop Test (cm); DL: Dominant Leg; NDL: Non-Dominant Leg; ^a Significant difference from the static stretching group ($p < 0.01$); ^c Significant difference from the control group (no stretching) ($p < 0.01$)

4. Conclusion

The findings of this study indicate that PNF stretching exercises led to greater improvements in flexibility among Taekwondo athletes. While static stretching also resulted in an average improvement of approximately 4.4 degrees compared to the control group (no stretching), this change was not statistically significant. Stretching exercises are believed to modify muscle structure and enhance the extensibility of elastic components. Thus, the observed increases in range of motion (ROM) are likely attributable to improved flexibility within these elastic elements (15). Several physiological mechanisms may underlie flexibility gains following stretching. Evidence suggests that short-term increases in ROM are more closely associated with enhanced stretch tolerance rather than reductions in muscle-tendon unit stiffness. Notably, PNF stretching has been shown to be more effective than static stretching in improving stretch tolerance (14). For long-term improvements, researchers propose that sustained stretching may lead to an increase in the number of sarcomeres in series, effectively lengthening the muscle through chronic adaptation to stretch-induced stress (17). In addition to flexibility, ROM plays a key role in postural control and balance performance. Limited flexibility can impair the body's ability to regain a stable posture after external perturbations. For instance, restricted ankle dorsiflexion ROM may lead to compensatory subtalar joint pronation, increasing postural sway due to reduced stability during pronation and supination (19).

From a neural perspective, it has been suggested that PNF stretching may reduce joint oscillations mediated by spinal reflexes, thereby facilitating a shift in control to higher motor centers responsible for coordination and balance (20). Overall, the results of this study suggest that PNF stretching is an effective method for enhancing both flexibility and functional balance in Taekwondo athletes. By improving joint ROM and reducing muscle stiffness, this technique may support the execution of complex movements and rapid directional changes—key elements of performance in sports such as Taekwondo.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The Ethics Committee of Qazvin University of Medical Sciences approved the study (IR.QUMS.REC.1402.011).

Funding

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

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

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

مقاله پژوهشی

تأثیر کشش ایستا و تسهیل عصبی - عضلانی حس عمقی بر انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی تکواندوکاران

علی‌رضا رستمی^۱، سیدمجید طباطبایی‌نژاد^۱، مصطفی سلطانی^۱، مسعود میرمعزی^۲

۱. گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه رجا، قزوین، ایران.

۲. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد واحد قزوین، قزوین، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Rostami A, Tabatabaieejad SM, Soltani M, Mirmoezzi M. Comparative Effects of Static Stretching and PNF Techniques on Functional Flexibility and Postural Balance in Competitive Taekwondo Athletes. (Persian). Journal of Sport Biomechanics.2025;11(2):94-112. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.94> <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.94>

چکیده

هدف در تکواندو، انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی از اجزای حیاتی برای عملکرد بهینه هستند، زیرا مستقیماً بر توانایی ورزشکار در اجرای تکنیک‌های کارآمد و کاهش خطر آسیب تأثیر می‌گذارند. این مطالعه تأثیر کشش ایستا و تسهیل عصبی - عضلانی حس عمقی (PNF) بر انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی تکواندوکاران را بررسی می‌کند.

روش‌ها در این مطالعه، ۳۷ تکواندوکار با سابقه ورزشی $4/0.5 \pm 1/0.5$ سال و میانگین سنی $19/43 \pm 1/46$ سال که شرایط ورود به پژوهش را داشتند، به صورت هدفمند بر اساس سن، جنس و نمایه توده بدنی انتخاب شدند. آزمودنی‌ها در سه گروه پروتکل کششی ایستا، گروه پروتکل کششی PNF و گروه کنترل (بدون کشش) قرار گرفتند. تکنیک کششی PNF به روش انقباض - ریلکس - انقباض - آگونیست و کشش ایستا (۳۰ ثانیه‌ای) به مدت هشت هفته انجام شد. آزمون‌های انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه، زمان ایستادن روی یک پا (SLST) و آزمون‌های پرش تک‌پا (HT) از تکواندوکاران در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گرفته شد. برای تحلیل داده‌ها، از آزمون تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی‌داری $p \leq 0/05$ بهره گرفته شد.

یافته‌ها یافته‌های تحقیق نشان داد که تکواندوکاران پس از تمرینات PNF در آزمون‌های انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه ($p < 0/001$)، زمان ایستادن روی یک پا ($p < 0/001$) و آزمون‌های پرش تک‌پا ($p < 0/05$) عملکرد بهتری داشته‌اند.

نتیجه‌گیری نتایج این پژوهش نشان داد که کشش PNF می‌تواند تأثیرات مثبتی بر افزایش انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی تکواندوکاران داشته باشد. این روش می‌تواند به بهبود دامنه حرکت مفاصل، کاهش سختی عضلات و در نتیجه افزایش توانایی در انجام حرکات پیچیده و تغییر جهت‌های سریع در رشته‌های ورزشی مانند تکواندو کمک کنند.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۹ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

کشش، انعطاف‌پذیری، PNF، تعادل، تکواندو

*نویسنده مسئول:

سیدمجید طباطبایی‌نژاد

آدرس: گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه رجا، قزوین، ایران.

تلفن: ۰۵۳۴۷۷۱۰۵ (۲۸) ۰۹۸

ایمیل: majid.tabatabaea@yahoo.com

مقدمه

تکواندو یک هنر رزمی سنتی کره‌ای است که تکنیک‌های حرکات ضربه‌ای و لگزدن را برای اهداف حمله یا دفاع ترکیب می‌کند. در حین مبارزه، ضربات سبک یا ضربات کامل تماسی به‌عنوان امتیاز ثبت می‌شوند. این ورزش یک ورزش سریع و پر تماس است که با چابکی، تعادل و انعطاف‌پذیری مشخص می‌شود (۱). یکی از مهم‌ترین جنبه‌های این ورزش، داشتن انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه در مفاصل خاص مانند لگن است که برای انجام حرکات ضربه‌ای و دفاعی مؤثر ضروری است. این ورزش همچنین نیازمند دامنه حرکتی مفصل چندبعدی در ناحیه لگن است که امکان اجرای تکنیک‌های پیشرفته و حرکات سریع را فراهم می‌آورد (۲). تکنیک ۱۸۰ درجه از وسط در تکواندو باعث افزایش دامنه حرکتی مفاصل ران و لگن، بهبود انعطاف‌پذیری و تقویت عضلات داخلی ران می‌شود. این تکنیک نه تنها به تکواندوکاران کمک می‌کند تا ضربات قدرتمندتر و دقیق‌تری اجرا کنند، بلکه تعادل و ثبات عملکردی را در حین مبارزات افزایش می‌دهد و احتمال آسیب‌دیدگی را کاهش می‌دهد. این عوامل در کنار هم می‌تواند منجر به بهبود سرعت، دقت و قدرت ضربات، همچنین تسهیل در اجرای حرکات پیچیده و سریع شود (۳). علاوه بر این، تعادل عملکردی در تکواندو برای حفظ وضعیت بدن در حین اجرای حرکات سریع و پیچیده از اهمیت بالایی برخوردار است. قدرت و انعطاف‌پذیری اندام تحتانی، به‌ویژه در جهت حفظ تعادل و اجرای پرش‌ها و ضربات دقیق، ازجمله عوامل کلیدی در عملکرد بهینه تکواندوکاران است (۱).

شاید بتوان گفت، کشش در تمرین یک امر رایج در بین تمامی ورزشکاران و افراد عادی است. این روش به ورزشکاران کمک می‌کند تا بدن خود را برای فعالیت بدنی، تمرین یا هر رویداد ورزشی آماده کنند، زیرا باعث بهبود دامنه حرکتی مفاصل و افزایش انعطاف‌پذیری عضلات می‌شود (۲). انجام این کار می‌تواند عملکرد بدنی را بهبود بخشد و همچنین احتمال آسیب‌دیدگی را کاهش دهد. مربیان و ورزشکاران معمولاً تمرینات کششی را به‌عنوان بخشی از برنامه تمرینی خود در نظر می‌گیرند. کشش در دسته‌بندی اجزای سلامت جسمانی مرتبط با انعطاف‌پذیری قرار می‌گیرد، درحالی‌که انعطاف‌پذیری نیز بر عملکرد عضلانی تأثیر می‌گذارد (۴). همچنین توسعه عملکرد عضلانی در بلندمدت با افزایش قابلیت کشش در حین فعالیت و بهبود تنش‌های عضلانی مرتبط است که می‌تواند شرایط ایده‌آلی برای ورزشکاران رشته‌های رزمی ایجاد کند (۲).

برای ایجاد این شرایط ایده‌آل، علاقه‌مندان به تناسب‌اندام، مربیان و محققان ورزشی توجه خود را به ایجاد روش‌های مختلف کششی معطوف کرده‌اند که بدون کاهش قابل توجه در عملکرد، قابل استفاده باشد (۵). تمرینات کششی، به‌ویژه کشش‌های ایستا، ممکن است در برخی شرایط موجب کاهش عملکرد ورزشی شوند. این اثرات منفی بیشتر در رابطه با عملکردهایی مثل قدرت، سرعت و توان بی‌هوازی مشاهده شده است (۵، ۶). انواع مختلف تمرینات کششی شامل کشش ایستا، کشش پویا، کشش غیرفعال، کشش فعال، ایزومتریک و تسهیل عصبی-عضلانی حس عمقی (PNF) هستند (۲).

یکی از انواع کشش که به‌طورمعمول استفاده می‌شود، کشش PNF است. در کشش PNF، تحریک ایستا یا انقباض ایزومتریک روی عضله کشیده شده برای ایجاد آرامش عضلانی بهینه استفاده می‌شود. اگرچه مطالعات متعددی در مورد تأثیرات PNF وجود دارد، بااین حال برخی نتایج متناقض نیز عنوان شده است. مطالعات جالبی در مورد فواید کشش PNF به‌دست آمده است که باعث

1. Middle Splits
2. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation

افزایش سفتی یا سختی واحد عضلانی-تاندونی (MTU) می‌شود. سفتی MTU به میزان مقاومتی اشاره دارد که این واحد (عضله + تاندون) در برابر کشش و تغییرات طولی نشان می‌دهد. افزایش سفتی MTU می‌تواند منجر به عملکرد بهتر در فعالیت‌هایی مانند پرش، دویدن و قدرت گیری شود، زیرا عضلات و تاندون‌ها توانایی بیشتری در ذخیره و انتقال انرژی دارند. برخی روش‌های کششی، مانند PNF، می‌توانند سفتی MTU را افزایش دهند (۴). جورج و همکاران (۲۰۲۵) در تحقیقی مروری بیان کردند که بهبود انعطاف‌پذیری می‌تواند منجر به افزایش قدرت عضلانی شود. همچنین افزایش قدرت عضلانی زمانی که PNF در تمرین ورزشی با مدت‌زمان و تداوم کافی انجام شود مشاهده شده است (۷). یکی دیگر از تمرینات کششی، کشش ایستا^۱ است و به‌نوعی از کشش گفته می‌شود که در آن عضله تا حد مشخصی کشیده شده و برای مدت‌زمان معینی بدون حرکت در همان وضعیت نگه‌داشته می‌شود (۲). ارچنگ و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که کشش ایستا و PNF تأثیر مثبتی بر دامنه حرکتی و عملکرد عضلانی تکواندوکاران دارد (۸). یافته‌های دیگر نشان می‌دهند که تأثیر کشش ایستا بر تعادل متناقض است. کاستا^۲ و همکاران گزارش کردند که کشش ایستا باعث بهبود قابل‌توجه تعادل در مقایسه با شرایط بدون کشش شده است (۹). در مقابل، چاتزوپولوس^۳ و همکاران بیان کردند که کشش ایستا در مقایسه با کشش پویا تأثیر منفی بر تعادل دارد. این تفاوت‌ها احتمالاً به روش‌های اجرا، مدت کشش و یا نوع آزمون تعادلی مورد مطالعه و شرایط آزمایشی بستگی دارد (۱۰). تمرینات کششی می‌توانند باعث تغییرات حاد و مزمن در کنترل تعادل شوند. این تغییرات ممکن است به دلیل افزایش انعطاف‌پذیری، کاهش سفتی عضلانی یا تغییر در حس عمقی باشند. این عوامل می‌توانند بسته به نوع آزمون تعادلی مورد استفاده، تأثیرات متفاوتی بر نتایج داشته باشند. مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین انعطاف‌پذیری مفاصل میچ پا و ران با عملکرد در آزمون تعادل Y پرداخت. نتایج نشان داد که انعطاف‌پذیری بیشتر در این مفاصل با بهبود عملکرد در آزمون تعادل مرتبط است (۲، ۵). این مطالعه نشان می‌دهد که نوع آزمون تعادلی می‌تواند بر نحوه تأثیر انعطاف‌پذیری بر تعادل تأثیرگذار باشد. از سوی دیگر، در خصوص انتخاب کشش PNF و ایستا، این انتخاب‌ها بر اساس مطالعات متعدد صورت گرفته است که نشان می‌دهند این دو روش تأثیرات متفاوتی بر انعطاف‌پذیری و تعادل دارند (۱، ۶، ۱۰، ۱۱). PNF به‌ویژه به‌عنوان یک تکنیک عصبی-عضلانی شناخته شده که می‌تواند تأثیرات مثبتی در بهبود دامنه حرکتی و کنترل تعادل داشته باشد. در مقایسه با کشش ایستا که بیشتر در کاهش سفتی عضله و افزایش دامنه حرکتی تأثیر دارد، کشش PNF می‌تواند علاوه بر این‌ها، به بهبود تعادل و هماهنگی حرکتی کمک کند؛ بنابراین، انتخاب این دو روش کششی به‌عنوان متغیرهای تحقیقاتی، بر اساس اثرات شناخته‌شده و مرتبط آن‌ها با نیازهای فنی و عملکردی تکواندوکاران بوده است.

باوجود اینکه تأثیر کشش بر عملکرد ورزشی بسته به نوع کشش و نوع حرکت متفاوت است، تکنیک PNF به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها در مقایسه با سایر تکنیک‌های کششی در نظر گرفته می‌شود و مطالعاتی که تأثیر آن را رد کرده‌اند، بسیار محدود هستند (۱۲). به‌طور کلی، پروتکل‌های کشش ایستا و PNF معمولاً به‌طور جداگانه در جلسات تمرینی یا در روزهای مختلف انجام می‌شوند. همچنین، بخش قابل‌توجهی از تحقیقات پیشین بر کشش ایستا متمرکز بوده و مطالعات محدودی به بررسی تأثیرات دو یا چند نوع کشش و نتایج مقایسه‌ای آن‌ها پرداخته‌اند. حتی، برخی تحقیقات نشان دادند که کشش PNF در مقایسه با کشش ایستا در افزایش دامنه حرکتی مفاصل تأثیر بیشتری دارد و برخی پژوهش‌ها نیز هیچ تفاوت معنی‌داری بین این دو نوع کشش مشاهده نکردند. این

1. Musculotendinous unit
2. George
3. Static Stretch
4. Arjang
5. Costa
6. Chatzopoulos

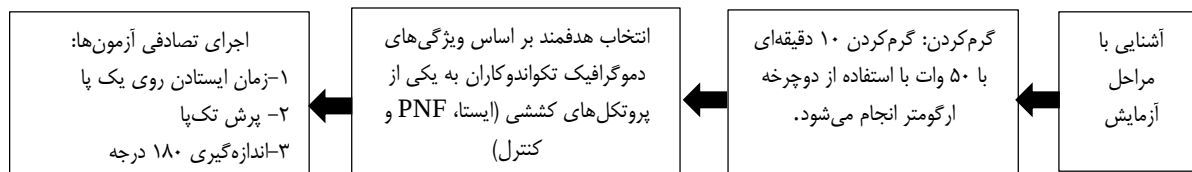
تضادها در نتایج تحقیقاتی، گپ تحقیقاتی را ایجاد کرده است که نیاز به بررسی بیشتر دارد. همچنین تحقیقات محدودی در مورد تأثیر کشش PNF بر کنترل تعادل انجام شده است. همچنین، در مقایسه با مطالعات مشابه، این تحقیق به طور خاص به بررسی اثرات کشش ایستا و PNF در تکواندوکاران پرداخته است که به طور اختصاصی برای ورزشکاران با این تخصص ورزشی تدوین نشده است. علاوه بر این، برنامه‌های تمرینی مورد بررسی در این تحقیق به طور ویژه و به روزتر طراحی شده‌اند تا با در نظر گرفتن نیازهای خاص تکواندوکاران، تأثیرات آن‌ها را بر انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی ارزیابی کند. همچنین، آزمون‌های به کار رفته به عنوان ابزارهای استاندارد برای سنجش بهبود عملکرد در برنامه‌های کششی و تمرینات انعطاف‌پذیری در ورزش‌های رزمی مانند تکواندو شناخته شده‌اند. به این ترتیب، این مطالعه قصد دارد شکاف‌های موجود در تحقیقاتی که به طور خاص بر تأثیر کشش‌های ایستا و PNF در تکواندوکاران متمرکز نشده‌اند، پر کند؛ بنابراین، هدف این پژوهش بررسی تأثیر کشش ایستا و PNF بر عملکرد ۱۸۰ درجه از وسط و تعادل عملکردی بر تکواندوکاران است.

روش شناسی

آزمودنی‌ها

با توجه به ماهیت موضوع و اهداف تحقیق، این پژوهش از نوع کاربردی و نیمه تجربی بود که به صورت طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل به مدت هشت هفته‌ای اجرا شد. جامعه آماری تحقیق را تکواندوکاران مرد و زن با حداقل ۳ سال سابقه فعالیت در ورزش تکواندو تشکیل دادند. شرکت‌کنندگان از باشگاه‌های ورزشی محلی بودند و ۲ تا ۳ جلسه تمرین در هفته را داشتند و قادر به انجام مستقل تمامی آزمون‌های عملکردی جسمانی بودند. نمونه‌گیری از نوع در دسترس و هدفمند بود. برای تعیین حجم نمونه، از نرم‌افزار (G Power 3.1.9.2 Freeware. University of Dusseldorf, Dusseldorf, Germany) مبتنی بر آزمون کوواریانس با توان آماری ۸۰ درصد و سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد و تعداد نمونه ۳۶ نفر تعیین گردید. جهت جلوگیری از ریزش احتمالی، تعداد ۳۹ نفر شرکت‌کننده واجد شرایط وارد تحقیق شدند. معیارهای ورود به تحقیق شامل رده سنی ۱۵ تا ۲۵ سال، عدم وجود هرگونه آسیب در سه ماه گذشته قبل از ارزیابی عملکرد و تکواندوکارانی با سابقه فعالیت حداقل ۳ سال بود؛ و معیارهای خروج شامل: عدم همکاری یا عدم شرکت در مراحل تحقیق (تمرینات یا آزمون‌ها) بود.

در آغاز تحقیق، روش انجام پژوهش از ابتدا تا انتها برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و رضایت‌نامه کتبی جهت شرکت در تحقیق (والدین یا نمایندگان قانونی شرکت‌کنندگان نوجوان فرم رضایت‌نامه آگاهانه را امضا کردند) و گواهی تأیید پزشک برای انجام تمرینات کششی دریافت شد. به تمام شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که در صورت بروز هرگونه مشکلی در طول تمرینات، می‌توانند از ادامه مشارکت در تحقیق خودداری کنند. سپس، هر شرکت‌کننده به صورت هدفمند بر اساس سن، جنس و نمایه توده بدنی به یکی از سه گروه، گروه پروتکل کششی ایستا (۱۲ نفر)، گروه پروتکل کششی PNF (۱۳ نفر) و گروه کنترل (بدون کشش - ۱۲ نفر) اختصاص داده شدند. گروه کنترل تمرینات معمول تکواندو بدون تمرینات کششی را در دستور کار خود قرار دادند. دو آزمودنی زن (۱ نفر گروه کشش ایستا و ۱ نفر گروه کنترل) به دلیل عدم تمایل به ادامه همکاری در تحقیق از مطالعه خارج شد. طرح تحقیق پس از بررسی و تأیید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی قزوین با کد IR.QUMS.REC.1402.011 به تصویب رسید. به منظور جلوگیری از تأثیرات سیستماتیک خستگی بر این آزمون‌ها، ترتیب انجام آزمون‌ها، به صورت تصادفی تعیین شد.



شکل ۱. نمودار جریان پروتکل آزمایش

در این مطالعه بررسی تأثیر پروتکل‌های مختلف کششی بر تکنیک ۱۸۰ درجه از وسط و تعادل عملکردی شرکت‌کنندگان صورت گرفت. شرکت‌کنندگان در طول دوره ارزیابی هیچ‌گونه آسیب جسمانی نداشتند و موظف بودند حداقل ۲۴ ساعت قبل از آزمون از انجام فعالیت‌های بدنی شدید خودداری کنند (۹). شکل ۱ نمودار جریان پروتکل آزمایش را نشان می‌دهد.

آزمون‌ها

در آزمون زمان ایستادن روی یک پا (SLST)^۱ شرکت‌کنندگان بدون کفش روی پای غالب ایستادند، درحالی‌که پای دیگر را بالا آورده و نزدیک قوزک داخلی قرار دادند. از هر شرکت‌کننده خواسته شد تا نگاه خود را روی دیواری در مقابلشان در سطح چشم متمرکز کند. آن‌ها قبل از بلند کردن پا، دستان خود را روی تاج ایلیاک قرار دادند. زمان ایستادن بر روی یک‌پا با استفاده از کرومومتر اندازه‌گیری شد و از لحظه‌ای که شرکت‌کننده پاشنه‌ی خود را از زمین بلند کرد، زمان‌گیری آغاز شد. برای تشخیص پای غالب، بر اساس معیار «اولین پای مورد استفاده در واکنش سریع برای حفظ تعادل» تعیین شد. بدین ترتیب، از آزمودنی خواسته شد تا در حالت ایستاده، به‌صورت ناگهانی یک گام به جلو بردارد و پایی که به‌صورت طبیعی و ناخودآگاه برای شروع حرکت انتخاب می‌شد، به‌عنوان پای غالب در نظر گرفته شد (۱۳). آزمون در موارد زیر متوقف می‌شد: (الف) استفاده از دست‌ها برای حفظ تعادل، (ب) استفاده از پای بالا آمده برای حفظ تعادل یا تماس با زمین، (ج) جابه‌جایی پای تحمل‌کننده‌ی وزن برای حفظ تعادل و (د) رسیدن به حداکثر زمان ۴۵ ثانیه. این آزمایش دو بار برای هر پا انجام شد و بیشترین زمان ثبت‌شده برای تجزیه و تحلیل استفاده شد (۱۳).

آزمون‌های پرش تک‌پا (HT)^۲ برای ارزیابی قدرت و توان عضلات اندام تحتانی ورزشکاران استفاده می‌شوند. در این مطالعه، آزمون‌های HT شامل پرش تک‌پا افقی برای بیشترین فاصله (SLH)^۳ و پرش سه‌گانه تک‌پا افقی برای بیشترین فاصله (SLTH)^۴ بودند. هر دو آزمون SLH و SLTH دارای قابلیت اطمینان خیلی خوب در آزمون و باز آزمایی با ضرایب همبستگی درونی (ICC) به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۷ هستند. شرکت‌کنندگان باید انگشتان پای خود را با خط شروع هم‌راستا می‌کردند درحالی‌که روی پا (غالب یا غیر غالب) خود ایستاده و دست‌هایشان روی کمرشان قرار داشت. در پرش تک‌پا افقی برای بیشترین فاصله، آزمودنی درحالی‌که یک‌پا بالا بود اقدام به جهش افقی روبه‌جلو کردند و در پرش سه‌گانه تک‌پا افقی برای بیشترین فاصله، آزمودنی‌ها درحالی‌که یک‌پا بالا بود اقدام به سه پرش متوالی برای کسب بیشترین فاصله کردند. تلاش زمانی موفقیت‌آمیز در نظر گرفته می‌شد که شرکت‌کننده حداقل ۲ ثانیه تعادل خود را حفظ می‌کرد بدون اینکه از اندام دیگر برای حمایت استفاده کند یا تعادل خود را از دست بدهد. مسافت از خط شروع تا محل فرود پاشنه به سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. شرکت‌کنندگان ۲ آزمایش تمرینی برای هر اندام بودند و پس از آن ۲

1. Single-Leg Stance Time Test
2. Hop Test
3. Single-leg hop
4. Single-Leg Triple-Hop Test

آزمایش ثبت می‌شد. بیشترین مسافت برای تجزیه و تحلیل‌ها و محاسبه شاخص تقارن اندام (LSI) بین پای غیر غالب و غالب برای هر دو آزمون SLH و SLTH استفاده شد. برای جامعه غیر آسیب‌دیده، فرمول $LSI = \frac{\text{غیر غالب}}{\text{غالب}} \times 100$ می‌باشد (۱).

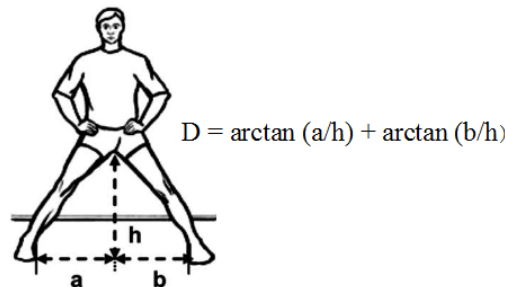
برای اندازه‌گیری زاویه ۱۸۰ درجه از مرکز بدن، چون هدف تنها اندازه‌گیری ابداعش هیپ نبود، باید تنه به گونه‌ای خم شود که زاویه‌ای حدود ۹۰ درجه بسازد. اگر ران اول به حالت ابداعش و سپس به اکسترنال روتیشن برده شود، تکنیک ۱۸۰ درجه بهتر اجرا خواهد شد. برای اندازه‌گیری از یک متر نواری استفاده شد. برای اندازه‌گیری h، فاصله از سمفیز پوبیس تا زمین اندازه‌گیری شد. سپس، فاصله از خط وسط بدن تا لبه داخلی پای چپ (b) و از خط وسط تا لبه داخلی پای راست (a) محاسبه گردید. برای به دست آوردن زاویه (D)، از فرمول زیر استفاده شد. زاویه D نشان‌دهنده دامنه حرکتی پا باز از وسط (انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه) بود (شکل ۲). این روش در ارزیابی‌های میدانی از روایی و پایایی خوبی برخوردار است (۱۴).

پروتکل‌های تمرینی

تکنیک کششی PNF مورد استفاده در این مطالعه از روش انقباض-ریلکس-انقباض-آگونیست پیروی کرد که نیازمند مشارکت دو فرد و قرارگیری آزمودنی در حالت خوابیده به پشت بود. در این روش، اندام انتخابی ابتدا به آرامی و به صورت غیرارادی تا حداکثر دامنه حرکتی کشیده شد. سپس شرکت‌کننده تلاش می‌کرد تا حداکثر انقباض عضلات آنتاگونیست را به مدت ۱۰ ثانیه حفظ کند و پس از یک استراحت ۵ ثانیه‌ای، انقباض حداکثری عضلات آگونیست را انجام دهد. در این مرحله، با کمک یار کمکی، اندام کشیده شده تا رسیدن به حداکثر دامنه حرکتی جدید حرکت داده می‌شد و به مدت ۱۰ ثانیه در این وضعیت حفظ می‌شد. این فرآیند ۳ مرتبه تکرار شد و بین هر تکرار ۳۰ ثانیه استراحت در نظر گرفته شد. هر جلسه تمرین، زمان کل اجرای تکنیک‌های کششی PNF تقریباً ۵ تا ۶ دقیقه به طول می‌انجامید. هر جلسه شامل سه بخش گرم کردن عمومی و اختصاصی (۱۰ دقیقه) که ورزشکاران ۵ دقیقه راه رفتن سبک و حرکات پویای مفصل انجام می‌دادند و در زمان باقی‌مانده گرم کردن اختصاصی چند تکنیک حرکتی تکواندو را به آرامی انجام دادند. سپس تمرینات رایج تکواندو بدون پروتکل‌های کششی و سپس اجرای تکنیک‌های PNF شامل کشش همسترینگ، چهار سر ران، کشاله ران (پروانه‌ای) و سرنی بود که روش اجرای آن‌ها بر اساس تحقیقات قبلی طراحی شده است (جدول ۱). در نهایت ۵ دقیقه سرد کردن شامل تنفس عمیق، حرکات کششی ملایم و آرام‌سازی عضلات. دت تمرین با استفاده از مقیاس ادراکی بورگ (RPE) بین ۱۳ تا ۱۵ (نسبتاً سخت تا سخت) کنترل شد. همچنین، شرکت‌کنندگان تشویق می‌شدند که در هر کشش، حداکثر تلاش خود را برای انقباض ایزومتریک و انقباض عضلات آگونیست داشته باشند، اما به آستانه درد نرسند. این برنامه در تمام جلسات ثابت بود و توسط یک مربی آموزش‌دیده اجرا و نظارت می‌شد (۴).

کشش ایستا شامل نگه‌داشتن یک مفصل در انتهای دامنه حرکتی آن (حد آستانه درد) به مدت ۳۰ ثانیه برای پای غالب و غیر غالب بود که در ۳ ست اجرا شد. تمرینات کشش ایستا عضلات اطراف مفاصل ران شامل کشش عضلات همسترینگ در حالت خوابیده، کشش چهار سر ران در حالت دمر، کشش کشاله ران (پروانه‌ای) و کشش سرنی در وضعیت خوابیده به پشت بودند (۴، ۶).

1. Limb Symmetry Index
2. Contract-relax-agonist-contraction
3. Passive



شکل ۲. اندازه‌گیری ۱۸۰ درجه از وسط

جدول ۱. پروتکل کششی PNF (۴)

عضله	توصیف
کشش همسترینگ	آزمودنی به پشت دراز می‌کشد، یک پا را کشیده و پای دیگر را به سمت سقف بلند می‌کند. یار کمکی پای بلند شده را حمایت کرده و با اعمال مقاومت، آن را به سمت صورت آزمودنی فشار می‌دهد، درحالی‌که آزمودنی در مقابل مقاومت فشار وارد می‌کند.
کشش چهار سر ران	آزمودنی در حالت دمر قرار گرفته و یکی از پاها را از ناحیه زانو خم می‌کند تا پاشنه پا به سمت باسن نزدیک شود. یار کمکی با اعمال مقاومت، پا را به سمت باسن فشار می‌دهد، درحالی‌که آزمودنی در برابر این فشار، پا را از باسن دور می‌کند.
کشش کشاله ران (پروانه‌ای)	آزمودنی روی زمین نشسته و کف پاها را به هم می‌چسباند و زانوها را به طرفین باز می‌کند. یار کمکی با اعمال مقاومت، زانوها را به سمت زمین فشار می‌دهد، درحالی‌که آزمودنی در برابر این مقاومت فشار وارد می‌کند.
کشش سرینی	آزمودنی در وضعیت خوابیده به پشت قرار گرفته و کمک‌کننده زانو را به سمت شانه مخالف فشار می‌دهد. در همین حال، آزمودنی با منقبض کردن عضله سرینی، زانو را در جهت مخالف فشار می‌دهد و در برابر مقاومت ایستادگی می‌کند.

تحلیل آماری

اطلاعات حاصل از تحقیق با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS (IBM Statistics, version 22.0, Armonk, NY, USA) و با استفاده از روش‌های آمار توصیفی و استنباطی تحلیل شد. پس از تأیید طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک، برای داده‌های با توزیع طبیعی از آزمون تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ استفاده شد.

نتایج

بر اساس نتایج حاصل از آزمون شاپیرو ویلک، توزیع داده‌ها نرمال بودند. به همین دلیل، تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های پارامتریک انجام شد. نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه قبل از شروع مداخله تمرینی، تفاوت معناداری در هیچ‌یک از متغیرهای تحقیق نشان نداد ($p > 0.05$) که این امر بر همگنی گروه‌ها در مرحله تصادفی سازی دلالت دارد. ویژگی‌های فردی تکواندوکاران به همراه نتایج آزمون ANOVA برای ارزیابی همگنی گروه‌ها در **جدول ۲** نمایش داده شده است. **جدول ۳** متغیرهای مورد آزمون در ۳ گروه تمرینات کشش (ایستا و PNF) و کنترل (بدون کشش) را نشان می‌دهد که شامل انعطاف ۱۸۰ درجه و تعادل (زمان ایستادن روی یک پا و آزمون‌های پرش تک‌پا) است.

جدول ۲. ویژگی‌های فردی تکواندوکاران (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

متغیرها/گروه‌ها	کشش ایستا (۶ زن، ۶ مرد)	کشش PNF (۶ زن، ۷ مرد)	کنترل (۶ زن، ۶ مرد)	معنی‌داری
سن (سال)	۱۹/۱۵۹۲/۵۶	۱۹/۱۵۰۸/۴۴	۱۹/۱۳۷/۳۳	۰/۳۵۳
نمایه توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۱۸/۰۵۸۰/۹۶	۱۹/۱۵۲۱/۱۸	۱۹/۱۵۴۴/۲۷	۰/۳۸۵
سابقه فعالیت (سال)	۴/۱۵۷/۱۹	۱/۳۵۲۶/۹۲	۴/۰۵۰۸/۶۷	۰/۸۴۸

جدول ۳. آمار توصیفی مربوط به متغیرهای وابسته تحقیق برای تکواندوکاران (انحراف معیار $\pm$ میانگین)

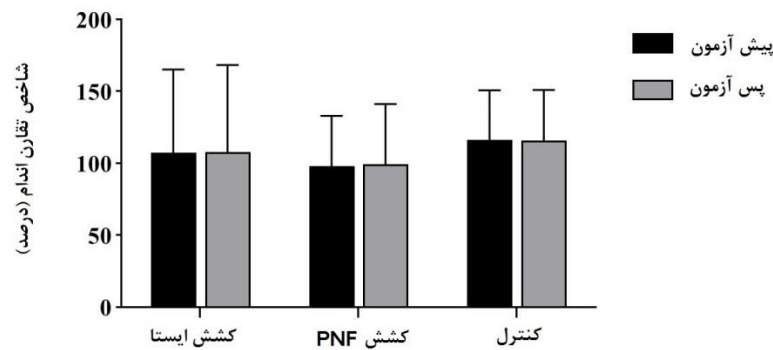
گروه‌ها	کشش ایستا		کشش PNF		کنترل	
متغیرها	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
انعطاف ۱۸۰ (درجه)	۱۳۱/۶±۷۲/۳۶	۱۳۷/۵±۲۵/۴۴	۱۲۹/۵±۴۴/۶۲	۱۴۴/۵±۶۱	۱۲۹/۶±۲۵/۷۳	۱۳۲/۳±۶۹/۷۹
تبادل SLST	۴۵/۰±۶۹/۷۷	۴۷/۰±۴۳/۵۷	۴۵/۰±۸۱/۷۰	۴۹/۰±۸۴/۹۸	۴۵/۰±۶۵/۸۱	۴۶/۱±۶۲/۷۴
SLH پای غالب	۹۵/۳۸±۹۵/۴۰	۹۶/۳۳±۵۷/۹۵	۱۰۸/۳۹±۲۷/۰۹	۱۱۳/۳۶±۱۵/۰۵	۱۰۴/۲۷±۵۵/۴۴	۱۰۴/۲۶±۴۵/۹۶
SLH پای غیرغالب	۱۰۰/۳۷±۱۸/۴۴	۱۰۲/۳۶±۳۷/۴۷	۱۱۲/۲۰±۸۴/۲۸	۱۱۷/۱۷±۸۷/۵۱	۹۶/۳۳±۴۷/۴۲	۹۵/۳۲±۸۰/۲۴
SLTH پای غالب	۳۲۴/۸۶±۲۹/۹۲	۳۲۸/۸۲±۲۳/۱۰	۳۱۱/۸۴±۵۳/۷۳	۳۳۶/۷۳±۲۱/۲۷	۳۴۳/۷۷±۷۵/۱۶	۳۴۳/۷۸±۸۰/۸۲
SLTH پای غیرغالب	۳۲۴/۸۸±۹۵/۷۳	۳۲۵/۸۷±۹۳/۱۹	۳۶۰/۸۱±۱۶/۲۷	۳۷۴/۷۷±۱۴/۷۸	۳۰۹/۶۰±۸۵/۱۱	۳۱۰/۵۵±۷۲/۳۹

SLST: آزمون زمان ایستادن روی یک پا (ثانیه)، SLH: شامل پرش تک‌پا برای مسافت (سانتی‌متر)، SLTH: پرش سه‌گانه تک‌پا برای مسافت (سانتی‌متر)

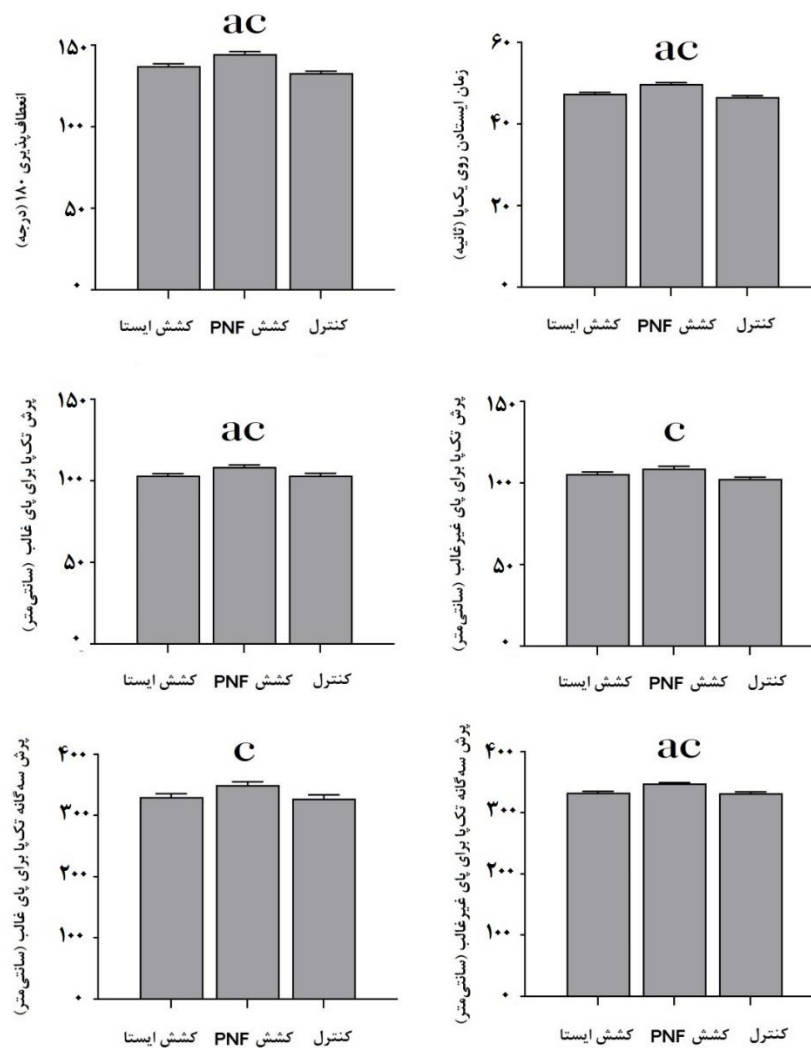
شکل ۳ شاخص تقارن اندام (برحسب درصد) را برای پای غالب و غیر غالب در آزمون SLH نشان می‌دهد و هر چه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تقارن بیشتر دویا (هماهنگی) با یکدیگر است. نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سه گروه مورد مطالعه نشان داد که هیچ‌گونه اختلاف معناداری در شاخص تقارن اندام بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون‌ها وجود ندارد ($p > 0.05$). به عبارت دیگر، نتایج آزمون‌های آماری برای شاخص تقارن در هر سه گروه به ترتیب برابر ($p = 0.677$) و ($p = 0.583$) بود. این نتایج نشان می‌دهند که شاخص تقارن تحت تأثیر تمرینات قرار نگرفته و تغییر معناداری در آن مشاهده نشده است. از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهند که شاخص تقارن اندام (LSI) برای پای غالب و غیرغالب تکواندوکاران نزدیک به ۱۰۰ است. این به معنای وجود تقارن و هماهنگی مطلوب بین دو اندام است که نشان‌دهنده عملکرد مشابه و متعادل در هر دو پا است. در واقع، مقادیر نزدیک به ۱۰۰ درصد در LSI نشان می‌دهد که تکواندوکاران از نظر عملکردی تفاوت قابل‌توجهی بین پای غالب و غیرغالب خود ندارند که این یک ویژگی مثبت در ورزش‌هایی مانند تکواندو به حساب می‌آید که از دویا استفاده می‌کنند.

نتایج آزمون کوواریانس نشان داد که انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.54$, $p < 0.001$, $F_{(2, 33)} = 19.27$) و با توجه به آزمون بونفرونی انعطاف‌پذیری ۱۸۰ درجه در گروه کشش PNF نسبت به گروه کشش ایستا ($p = 0.002$) و ($F_{(2, 33)} = 7.50$) و گروه کنترل ($MD = 11.91$ و $p < 0.001$) افزایش یافته است. آزمون زمان ایستادن روی یک پا (تبادل) در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.59$, $p < 0.001$, $F_{(2, 33)} = 23.94$) و تعادل تک‌پا در گروه کشش PNF نسبت به گروه کشش ایستا ($MD = 2.39$ و $p < 0.001$) و گروه کنترل ($MD = 3.20$ و $p < 0.001$) افزایش یافته است. پرش تک‌پا برای پای غالب در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.23$, $p = 0.013$, $F_{(2, 33)} = 5.02$) و در گروه کشش PNF نسبت به گروه کشش ایستا ($p = 0.030$) و گروه کنترل ($MD = 5.36$) و گروه کنترل ($MD = 5.31$ و $p = 0.031$) افزایش یافته است. همچنین پرش تک‌پا برای پای غیر غالب نیز در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.30$, $p = 0.003$, $F_{(2, 33)} = 7.03$) و در گروه کشش PNF نسبت به گروه کنترل ($p = 0.002$) و ($MD = 6.61$) افزایش یافته است. در نهایت، پرش سه‌گانه تک‌پا برای پای غالب در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.20$, $p = 0.025$) و در گروه کشش PNF نسبت به گروه کنترل ($MD = 21.62$ و $p = 0.043$) افزایش یافته است. همچنین پرش سه‌گانه تک‌پا برای پای غیر غالب نیز در سه گروه اختلاف معنادار دارد ($\eta^2 = 0.49$, $p < 0.001$, $F_{(2, 33)} = 15.60$) و در گروه کشش PNF نسبت به گروه کشش ایستا ($MD = 14.60$ و $p < 0.001$) و گروه کنترل ($MD = 15.30$) افزایش یافته است.

نتایج آزمون بونفرونی برای مقایسه گروه‌ها در پس‌آزمون در شکل ۴ بیان شده است، پس‌آزمون بر اساس آزمون کوواریانس تعدیل شده است.



شکل ۳. نمرات شاخص تقارن اندام LSI



شکل ۴. نتایج آزمون بونفرونی برای مقایسه گروه‌ها در پس‌آزمون؛ (a) اختلاف معنادار با گروه کشش ایستا ($p < 0.01$)؛ (c) اختلاف معنادار با گروه کنترل (بدون کشش) ($p < 0.01$)

بحث

انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی از مؤلفه‌های کلیدی در موفقیت تکواندوکاران محسوب می‌شوند، زیرا این ورزش به حرکات سریع، ضربات دقیق و تغییرات ناگهانی وضعیت بدن نیاز دارد. روش‌های مختلفی برای بهبود این عوامل مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آن‌ها می‌توان به کشش ایستا و تسهیل عصبی-عضلانی حس عمقی (PNF) اشاره کرد. هر یک از این روش‌ها از طریق مکانیسم‌های متفاوتی بر سیستم عضلانی-اسکلتی تأثیر می‌گذارند و می‌توانند به بهبود عملکرد ورزشکاران کمک کنند. با این حال، همچنان نیاز به بررسی مقایسه‌ای تأثیر این دو روش بر انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی تکواندوکاران وجود دارد تا بتوان مناسب‌ترین شیوه تمرینی را برای ارتقای عملکرد آن‌ها تعیین کرد.

نتایج این تحقیق نشان داد که تمرینات کششی PNF منجر به بهبود بیشتر انعطاف‌پذیری تکواندوکاران می‌شود. کشش ایستا نیز نسبت به گروه کنترل (بدون کشش) تقریباً بهبود ۴/۴ درجه‌ای ایجاد کرد ولی ز نظر آماری معنادار نبود. در تحقیقی نشان داده شد که احتمالاً تمرینات کششی موجب تغییر در ساختار عضلات شده و انعطاف‌پذیری ساختارهای الاستیکی را افزایش داده است؛ بنابراین، افزایش دامنه حرکتی حاصل از تمرینات کششی، احتمالاً نتیجه افزایش انعطاف‌پذیری ساختارهای الاستیکی است (۱۵). در تحقیق مروری بورگس و همکاران (۲۰۱۸)، کشش ایستا و PNF را بر انعطاف‌پذیری همسترینگ در بزرگسالان جوان کم‌تحرك و فعال بررسی کردند. در این بین ۱۲ مطالعه به‌طور فرا تحلیل بررسی شد و نتایج نشان داد که کشش ایستا و PNF هر دو می‌توانند در افزایش انعطاف‌پذیری همسترینگ مؤثر باشند. مکانیسم‌های گوناگونی در افزایش انعطاف‌پذیری پس از انجام حرکات کششی دخیل هستند. در مورد اثرات کشش، پیشنهاد شده است که کاهش سفتی واحد عضله-تاندون ممکن است با افزایش طول عضله مرتبط باشد. نکته قابل توجه این است که کشش ایستا و PNF بخش‌های مختلفی از این واحد را به شیوه‌ای متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج هفت مطالعه نشان داده‌اند که PNF در بهبود انعطاف‌پذیری برتری دارد. این احتمال وجود دارد که انقباض ایجاد شده در کشش PNF، به‌عنوان یک محرک حسی عمل کند که باعث فعال شدن مکانیزم‌های مهار در سیستم عصبی مرکزی می‌شود. این فرآیند ممکن است به شرکت‌کننده اجازه دهد تا دامنه حرکتی بیشتری را بدون احساس درد یا محدودیت تحمل کند. واقع، مکانیزم مهار به این معناست که وقتی عضله تحت کشش قرار می‌گیرد و انقباض ایجاد می‌شود، بدن سیگنال‌هایی به مغز ارسال می‌کند که به‌صورت حسی تأثیر می‌گذارد و موجب می‌شود تا سیستم عصبی مرکزی پاسخ مناسبی بدهد، به‌طوری‌که فرد می‌تواند دامنه حرکتی بیشتری را تحمل کند. به نظر می‌رسد که کشش ایستا بیشتر در کاهش سفتی عضله مؤثر است، درحالی‌که PNF هم در کاهش سفتی عضله و هم در کاهش سفتی تاندون کارآمدتر عمل می‌کند (۱۶). با این وجود، فرضیه‌ای که کاهش سفتی را عامل اصلی افزایش دامنه حرکتی می‌داند، مورد تردید قرار گرفته است (۵). شواهد قابل توجهی نشان می‌دهند که افزایش انعطاف‌پذیری پس از کشش کوتاه‌مدت، بیشتر با افزایش تحمل فرد در برابر کشش (افزایش گشتاور غیرفعال در پایان دامنه حرکتی) مرتبط است تا با کاهش سختی واقعی عضله-تاندون. همچنین، مشاهده شده است که PNF در افزایش تحمل کشش نسبت به کشش ایستا مؤثرتر عمل می‌کند، زیرا انقباض‌های ایزومتریک فعال در حین اجرای PNF، باعث فعال‌سازی گیرنده‌های حسی مانند اندام‌های وتری گلژی می‌شود که در نهایت با کاهش فعالیت رفلکس‌های کششی، آستانه تحمل عضله نسبت به کشش را افزایش می‌دهند (۶). محققان بر این باورند که بهبودهای بلندمدت در دامنه حرکتی که پس از تمرینات کششی مداوم و با مدت‌زمان بالا

مشاهده می‌شود، به احتمال زیاد ناشی از افزایش تعداد سارکومرها به صورت سری (طول عضله) است که در نتیجه قرار گرفتن طولانی مدت در معرض فشارهای تولیدشده توسط درجات خاصی از کشش ایجاد می‌شود (۱۷).

مکانیسم‌های دخیل در بهبود انعطاف‌پذیری پس از کشش PNF اساساً مشابه مکانیسم‌های مشاهده‌شده در کشش ایستا هستند، اما ممکن است فواید آن با پاسخ‌های عصبی تقویت شود (۷). فرض بر این است که تغییرات مکانیکی توسط دو پاسخ عصبی تسهیل می‌شود: مهار خودکار^۱ و مهار متقابل^۲. انقباض عضله کشیده شده موجب فعال‌سازی مهار در اندام وت‌تری گلژی می‌شود که منجر به شل شدن عضله به نام مهار خودکار می‌شود (۵). علاوه بر این، معمولاً این تکنیک شامل انقباض بعدی عضله آنتاگونیست است که به شل شدن عضله کشیده شده از طریق یک رفلکس نخاعی به نام مهار متقابل کمک می‌کند که ممکن است افزایش دامنه حرکتی را حداکثر کند (۱۶)؛ اما تحقیقات جدید وجود رابطه‌ای بین مهار خودکار و افزایش انعطاف‌پذیری را زیر سؤال بردند (۷، ۱۶)؛ و بیان کردند بین دو کشش ایستا و PNF تفاوتی وجود ندارد (۱۸) و احتمالاً افزایش بیشتر دامنه حرکتی که گاهی در کشش PNF مشاهده می‌شود، تنها به شدت بالاتری که معمولاً در کشش PNF به دست می‌آید مربوط است (۱۶). نتایج مطالعه حاضر با دیدگاه‌هایی که اثربخشی تمرینات کششی PNF را به‌ویژه در افزایش دامنه حرکتی نسبت می‌دهند، هم‌سو بود. به‌طور خاص، در گروه PNF، افزایش معنی‌داری در دامنه حرکتی مشاهده شد که می‌تواند ناشی از مشارکت فعال عضلات، شدت بالاتر کشش و تحریک بیشتر گیرنده‌های عصبی عضلانی باشد. این یافته از این فرضیه حمایت می‌کند که مکانیسم‌های عصبی مانند مهار متقابل و سطح تحمل بالاتر در کشش PNF می‌توانند در بهبود دامنه حرکتی مؤثرتر از کشش ایستا عمل کنند.

درحالی‌که کشش به‌عنوان رایج‌ترین روش تمرین انعطاف‌پذیری شناخته‌شده است، هنوز مشخص نیست که آیا تغییرات در انعطاف‌پذیری واقعاً بهبودهای کنترل تعادل را توضیح می‌دهند یا خیر. در ادامه، نتایج تحقیق نشان داد که زمان ایستادن روی یک‌پا، پرش تک‌پا و سه‌سه‌گانه تک‌پا که برای بررسی تعادل انجام شد مشخص شد که تمرینات کششی PNF منجر به بهبود بیشتر تعادل عملکردی تک‌پا و دوپا می‌شود. همچنین کشش ایستا نیز منجر به بهبود تعادل شد ولی از نظر آماری معنادار نبود. آزمون‌های موردبررسی به‌نوعی تعادل ایستا و پویا را ارزیابی می‌کردند و با توجه به حرکات چندبعدی و نیازهای پویای رشته تکواندو، این آزمون‌ها دارای ماهیتی عملکردی بودند. انتخاب این آزمون‌ها به دلیل شباهت آن‌ها به شرایط واقعی تمرین و رقابتی در تکواندو انجام شد، به‌طوری‌که توانستند توانایی ورزشکاران در حفظ تعادل در موقعیت‌های خاص ورزشی را به‌طور مؤثرتری بازتاب دهند.

تعادل یک مؤلفه کلیدی در عملکرد تکواندو است و تقارن عملکردی بین دو عضو بدن باید به‌طور بهینه باشد. حرکات کلیدی ورزشی شامل استفاده منظم از هر دو اندام تحتانی در حرکات تک‌پایی است. در هنگام حرکات پروازی، هماهنگی عصبی-حرکتی برای پایدار نگه‌داشتن مرکز جرم و حفظ کنترل کینماتیکی اندام تحتانی برای فرود ایمن ضروری است (۱). بسیاری از تحقیقات اثرات حاد کشش یا کشش در گرم کردن را بر تعادل بررسی کرده‌اند و اکثر تحقیقات به بی‌تأثیر بودن کشش بر تعادل یا حتی کاهش تعادل به دلیل انقباض گروه عضلانی آگونیست که منجر به شل شدن گروه عضلانی آنتاگونیست می‌شود و در نتیجه کاهش فعالیت عصبی در عضله کشیده شده را بیان کرده‌اند (۵). در ادبیات علمی بحث‌هایی درباره نقش دامنه حرکتی در کنترل وضعیت و عملکرد تعادل مطرح شده است، زیرا اختلالات در انعطاف‌پذیری ممکن است با مشکلاتی در بازگشت به ثبات ایستاده پس از تزلزل^۳ مرتبط باشد.

1. Autogenic Inhibition
2. Reciprocal Inhibition
3. Perturbations

دامنه حرکتی محدود در دورسی فلکشن می تواند منجر به افزایش پرونیشن مفصل ساب تالار شود که به نوبه خود ممکن است باعث افزایش نوسان به دلیل مشکلات در تثبیت وضعیت در حین پرونیشن یا سوپینیشن می شود (۱۱). با این حال، یافته های مطالعه حاضر نیز ممکن است با مفهوم اثر سقفی هم راستا باشد. با توجه به سطح اولیه نسبتاً مطلوب انعطاف پذیری و تعادل عملکردی در شرکت کنندگان (که تکواندوکاران نیمه حرفه ای بودند)، تغییرات مشاهده شده پس از مداخله تمرینی در برخی شاخص ها محدود بود و به سطح معنادار نرسید. این موضوع می تواند نشان دهنده رسیدن شرکت کنندگان به یک آستانه فیزیولوژیکی باشد که پس از آن، پاسخ به تمرینات کششی با شدت و مدت زمان مشابه کاهش می یابد. از سوی دیگر، در تحقیقی که در سال ۲۰۲۳ انجام شد، محققان سه گروه عضلانی دوقلو، چهار سر ران و همسترینگ را کشش ۳۰ ثانیه ای ایستا دادند و مشخص شد کشش عضلات تحتانی به ویژه عضله دوقلو می تواند منجر به بهبود تعادل ایستا و پویا شود (۱۹). پارامتر دیگری که می تواند تأثیرات کشش بر تعادل را تعدیل کند، سفتی عضلانی است. به نظر می رسد که کشش برای کاهش پارامترهای سفتی عضلات کافی باشد. ساکی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که پس از مداخله کششی، سفتی عضلانی کمتری ایجاد شد و عملکرد تعادل بهبود یافت (۲۰). در یک مطالعه مروری مشخص شد که تمرینات PNF به دلیل ماهیت عصبی عضلانی خود، موجب درگیری مکانیسم های رفلکسی مانند رفلکس کششی و رفلکس H می شوند. رفلکس H که نوعی پاسخ عصبی ناشی از تحریک مستقیم عصب حسی است، موجب انقباض عضله می شود و نقش مؤثری در حفظ و بازیابی تعادل بدن در وضعیت ایستاده دارد. علاوه بر این، از آنجا که اندام های وتری گلژی و فعالیت نخاعی عضله در کنترل تنش عضلانی و طول عضله نقش دارند، ممکن است تغییراتی در حس عمقی به دلیل کشش انتظار رود. این تغییرات می تواند به تنظیم بیشتر مرکز فشار در هنگام ایستادن و حرکات عملکردی و در نتیجه، تعادل عملکردی به طور کلی کمک کند (۱۱).

در زمینه مکانیسم های عصبی، پیشنهاد شده است که کشش PNF با کاهش فعالیت آوران های Ia از طریق مهار پیش سیناپسی _ که تحت تأثیر دستورات و مجاری نزولی از مراکز بالاتر مغزی قرار دارد _ نقش مؤثری ایفا می کند. یکی از نتایج احتمالی این مهار رفلکسی، کاهش نوسانات مفصلی ناشی از بازخوردهای رفلکسی است؛ موضوعی که می تواند موجب انتقال کنترل حرکت از مسیرهای رفلکسی به سمت مراکز عصبی بالاتر مسئول هماهنگی و تنظیم دقیق حرکت شود (۱۹).

نتایج کاربردی این تحقیق نشان می دهد که کشش PNF می تواند تأثیر مثبتی بر بهبود انعطاف پذیری و تعادل عملکردی در تکواندوکاران داشته باشد. به طور خاص، نتایج نشان داد که این نوع کشش با افزایش دامنه حرکتی عضلات و تقویت کنترل تعادل، موجب بهبود عملکرد حرکتی در انجام حرکات پیچیده و تعادلی می شود. این تأثیرات ممکن است به دلیل فعال سازی مکانیسم های عصبی-عضلانی خاص، از جمله مهار پیش سیناپسی و رفلکس های عصبی باشد که منجر به کاهش نوسانات مفصلی و بهبود کنترل حرکت در سطح بالاتر مغزی می شود. این تغییرات می تواند در کاهش خطر آسیب های ورزشی و بهبود دقت و کنترل در حرکات پیچیده و تعادلی مؤثر باشد که برای موفقیت در مسابقات ضروری است. به طور کلی، استفاده از کشش PNF در تمرینات تکواندو می تواند به پیشگیری از آسیب های ورزشی و بهبود عملکرد کلی کمک کند، به ویژه در اجرای حرکات تعادلی و پیچیده که در این رشته ورزشی اهمیت بالایی دارند.

این تحقیق دارای محدودیت هایی نیز بود، اندازه نمونه نسبتاً کوچک بود و تنها ۱۳ نفر به هر یک از گروه های تمرینات کششی اختصاص داده شدند. با این حال، اندازه اثر بیش از ۰/۲، نسبتاً بزرگ بود و تفاوت بین سه گروه را به خوبی مشخص کرد. دوم، تنها اثر

کشش ایستا و PNF موردبررسی قرار گرفت. سایر روش‌ها مانند کشش پویا ممکن است نتایج متفاوتی به دنبال داشته باشند. درنهایت، مطالعات بیشتری با روش‌های کشش مختلف در جمعیت‌های متفاوت موردنیاز است.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج این تحقیق، کشش PNF می‌تواند تأثیرات مثبتی برافزایش انعطاف‌پذیری و تعادل عملکردی تکواندوکاران داشته باشد. این روش می‌توان به بهبود دامنه حرکت مفاصل، کاهش سختی عضلات و در نتیجه افزایش توانایی در انجام حرکات پیچیده و تغییر جهت‌های سریع در رشته‌های ورزشی مانند تکواندو کمک کنند. استفاده از این تکنیک‌ها می‌تواند در کاهش آسیب‌دیدگی‌ها و بهبود عملکرد ورزشی به‌ویژه در بخش‌هایی که نیاز به تعادل و انعطاف‌پذیری بالا دارند، مؤثر باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

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

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Aldhabi R, Albadi M, Alnajjar M, Fasihuddin A, Vincent HK. Balance and single-leg functional performance in taekwondo athletes. JOST Open. 2024;2(2):148-155. [DOI:10.2519/jostopen.2024.0914]
2. Yılmaz DS. The effect of different flexibility studies on performance of taekwondo. Turkish Journal of Sport and Exercise. 2021;23(3):339-344.

3. Sousa J, Puerto JMG, Beltrán VH, Louro H, Godoy SJI. Effective techniques analysis in taekwondo: A systematic review. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2024(53):78-90. [DOI:10.47197/retos.v53.102399]
4. Malek NFA, Nadzalan AM, Tan K, Nor Azmi AM, Krishnan Vasanthi R, Pavlović R, et al. The acute effect of dynamic vs. proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on sprint and jump performance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2024;9(1):42. [DOI:10.3390/jfmk9010042] [PMID]
5. Ghram A, Damak M, Costa P. Effect of acute contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on static balance in healthy men. *Science & Sports*. 2017;32(1):e1-e7. [DOI:10.1016/j.scispo.2016.06.005]
6. Erdem S, Karadenizli Z, İlbağ İ. The Effect of Static and PNF Stretching Techniques on Anaerobic Power and Balance Performance in Taekwondo Athletes: A Cross-Sectional Study. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*. 2025;17(1):35-42. [DOI:10.5336/sportsci.2024-105905]
7. George J, Maqsood M, Ahmed HS, Muhammad AS. The Efficacy of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Techniques in Improving Range of Motion and Strength: A Systematic Review. *EEJPH* 2025;XXVI:996-1002.
8. Arjang N, Mohsenifar H, Amiri A, Dadgoo M, Rasaeifar G. The acute effect of static versus proprioceptive neuromuscular facilitation stretching combined with kinesiology taping® of hamstring muscles on functional tests in adolescent taekwondo athletes. *Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi*. 2023;34(1):21-28. [DOI:10.21653/tjpr.974941]
9. Costa PB, Graves BS, Whitehurst M, Jacobs PL. The acute effects of different durations of static stretching on dynamic balance performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(1):141-147. [DOI:10.1519/JSC.0b013e31818eb052] [PMID]
10. Chatzopoulos D, Galazoulas C, Patikas D, Kotzamanidis C. Acute effects of static and dynamic stretching on balance, agility, reaction time and movement time. *Journal of sports science & medicine*. 2014;13(2):403.
11. Lohmann LH, Zech A, Plöschberger G, Oraže M, Jochum D, Warneke K. Acute and chronic effects of stretching on balance: a systematic review with multilevel meta-analysis. *Frontiers in Medicine*. 2024;11:1451180. [DOI:10.3389/fmed.2024.1451180] [PMID]
12. Place N, Blum Y, Armand S, Maffiuletti NA, Behm DG. Effects of a short proprioceptive neuromuscular facilitation stretching bout on quadriceps neuromuscular function, flexibility, and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(2):463-470. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3182576ffe] [PMID]
13. Mirmoezzi M, Sadeghi H, Jafari M, Lotfi L. The effect of fatigue on the static and dynamic balance in karate kata and kumite elite men. *Journal of Sport Biomechanics*. 2018;4(1):31-42.
14. Bozic PR, Pazin NR, Berjan BB, Planic NM, Cuk ID. Evaluation of the field tests of flexibility of the lower extremity: reliability and the concurrent and factorial validity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(9):2523-2531. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181def5e4] [PMID]
15. Caplan N, Rogers R, Parr MK, Hayes PR. The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(4):1175-1180. [DOI:10.1519/JSC.0b013e318199d6f6] [PMID]
16. Borges MO, Medeiros DM, Minotto BB, Lima CS. Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physiotherapy*. 2018;20(1):12-19. [DOI:10.1080/21679169.2017.1347708]

17. Alexander K. The Long-Term Effects of Chronic Static Stretching on Skeletal Muscle, Hypertrophy, Strength, and Flexibility in Healthy Individuals. 2025.
18. Puente EJ, Huijbregts PA, Celeste S, Edwards D, In A, Landers MR, et al. Immediate effects of quantified hamstring stretching: hold-relax proprioceptive neuromuscular facilitation versus static stretching. *Physical Therapy in Sport*. 2011;12(3):122-126. [DOI:10.1016/j.ptsp.2011.02.006] [PMID]
19. Alimoradi M, Sahebozamani M, Hosseini E, Konrad A, Noorian S. The effect on flexibility and a variety of performance tests of the addition of 4 weeks of soleus stretching to a regular dynamic stretching routine in amateur female soccer players. *Sports*. 2023;11(7):138. [DOI:10.3390/sports11070138] [PMID]
20. Sakai S, Maeda N, Sasadai J, Kotoshiba S, Anami K, Tashiro T, et al. Effect of 4-week cyclic stretching program on muscle properties and physical performance in healthy adult men. *J Sports Med Phys Fit*. 2020;60(1):37-44. [DOI:10.23736/S0022-4707.19.09870-0] [PMID]