Research in Sport Medicine and Technology, Volume 22 - Issue 28 / 2024

Kharazmi University

Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

Investigating The Changes Of Some Internal Risk Factors Of Lower Limb Injuries In Teenage Taekwondo Athletes Before And After Applying The Fatigue Protocol

Mohammad Kalantariyan[1*] | Samaneh Samadi [2] | Ramin Beyranvand[2]

1. Department of Corrective Exercises and Sport Injury, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
2. Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

corresponding author: **Mohammad Kalantariyan, m.kalantar@sru.ac.ir**

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2024/01/5
Revised: 2024/02/27
Accepted: 2024/02/27

Keywords:
Injuries- Fatigue- Lower Extremity- Balance- Proprioception- Taekwondo

How to Cite:
Mohammad Kalantariyan, Samaneh Samadi, Ramin Beyranvand. **Investigating The Changes Of Some Internal Risk Factors Of Lower Limb Injuries In Teenage Taekwondo Athletes Before And After Applying The Fatigue Protocol**. *Research In Sport Medicine and Technology*, 2024: 22(28): 152-172.

This research aims to investigate the changes in static and dynamic balance and proprioceptive accuracy of knee and ankle joints of young taekwondo athletes before and after applying the fatigue protocol. The current research is semi-experimental. The research subjects were 20 teenage male taekwondo players (17/86±4/4 year, 174/37±5/2 cm, 65/61±6/1 kg) from the statistical population. Static and dynamic balance variables were measured respectively by Stork's static balance test and Y dynamic balance test, as well as the proprioception of the ankle and knee joints at 10 degrees of ankle dorsiflexion and 30 degrees of knee flexion, by the photographic method. Then the functional fatigue protocol was applied. After finishing the fatigue protocol, all the variables evaluated again. The results of the paired t-test showed that after applying the fatigue protocol, there is a significant difference between the average of static (P=0.028) and dynamic balance in all three anterior (P=0.001), posterior-medial (P=0.012) and posterior-lateral (P=0.009) directions as well as proprioceptive accuracy of knee joint (P=0.003) and ankle joint (P=0.001).

It is recommended to all taekwondo coaches and athletes, to perform specialized training exercises in the field of taekwondo and according to the age of teenagers.

Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e:
CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

پژوهش در طب ورزشی و فناوری

شاپا چاپی: ۰۷۰۸-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

بررسی تغییرات برخی عوامل خطرِ درونی آسیب‌های اندام تحتانی در تکواندوکاران نوجوان قبل و بعد از اعمال پروتکل خستگی

محمد کلانتریان[1*] | سمانه صمدی[2] | رامین بیرانوند[2]

۱.گروه حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران.

۲.گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

نویسنده مسئول: **محمد کلانتریان** m.kalantar@sru.ac.ir

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۸

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۸

واژه‌های کلیدی:

آسیب‌ها– خستگی– اندام تحتانی– تعادل– حس عمقی– تکواندو

ارجاع:

محمد کلانتریان، سمانه صمدی، رامین بیرانوند. **بررسی تغییرات برخی عوامل خطرِ درونی آسیب‌های اندام تحتانی در تکواندوکاران نوجوان قبل و بعد از اعمال پروتکل خستگی.** *پژوهش در طب ورزشی و فناوری.* ۱۴۰۳: ۲۲(۲۸):۱۷۲-۱۵۲

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات تعادل ایستا و پویا و دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پای تکواندوکاران نوجوان، قبل و بعد از اعمال خستگی است. تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی است. آزمودنی‌های تحقیق را تعداد ۲۰ نفر از تکواندوکاران پسر نوجوان (۱۷/۸۶±۴/۴ سال، ۱۷۴/۳۷±۵/۲ سانتی‌متر، ۶۵/۶۱±۶/۱ کیلوگرم) از بین جامعه آماری تشکیل داده است. متغیرهای تعادل ایستا و پویا به ترتیب بوسیله آزمون تعادل ایستای استورک و آزمون تعادل پویای Y و همچنین حس عمقی مفاصل مچ پا و زانو به ترتیب در زوایای ۱۰ درجه دورسی‌فلکشن مچ پا و ۳۰ درجه فلکشن زانو بوسیله روش عکس‌برداری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس پروتکل خستگی عملکردی اعمال - شد. پس از اتمام پروتکل خستگی، مجدداً تمامی متغیرها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون تی زوجی نشان داد که پس از اعمال پروتکل خستگی، بین میانگین امتیازات تعادل ایستا (P=۰/۰۲۸) و پویا در هر سه جهت قدامی (P=۰/۰۰۱)، خلفی–داخلی (P=۰/۰۱۲) و خلفی–خارجی (P=۰/۰۰۹) و همچنین دقت حس عمقی مفاصل زانو (P=۰/۰۰۳) و مچ پای (P=۰/۰۰۱) آزمودنی‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

به کلیه مربیان و ورزشکاران رشته تکواندو توصیه می‌شود نسبت به انجام تمرینات آماده‌سازی تخصصی رشته تکواندو و متناسب با سنین نوجوانی، اقدام نمایند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

Extended Abstract

It has been reported that nearly half of all taekwondo competition injuries occur in the lower extremities, with ligament sprains being the most common type of injury (4). Child and adolescent taekwondo athletes are at a higher risk of musculoskeletal injuries compared to other age groups. Therefore, investigating lower extremity injuries in young taekwondo athletes is crucial. Factors such as balance and proprioception have been identified as the most important intrinsic factors related to the occurrence of lower extremity injuries (8). Impairments in either of these factors can significantly increase the risk of lower extremity injuries (9, 10). Previous studies have acknowledged a direct relationship between the balance performance of taekwondo athletes and the likelihood of lower extremity injuries (6). However, reports indicate a significant effect of fatigue on the balance and proprioceptive accuracy of athletes (16, 17). Fatigue is a complex phenomenon involving neuromuscular mechanisms that alter the capacity of the muscular system to produce force (11). Previous research has reported reduced neuromuscular capacities, increased postural sway, impaired proprioceptive system function, and consequently, an increased risk of lower extremity injuries following the induction of fatigue (3, 16-18). However, a review of the literature in this area indicates a lack of research examining the effect of fatigue on intrinsic factors affecting the occurrence of lower extremity injuries in young taekwondo athletes, a significant portion of the country's sports community. Therefore, the aim of this study was to investigate changes in static and dynamic balance and the accuracy of knee and ankle joint proprioception as some of the most important intrinsic risk factors for lower extremity injuries in adolescent taekwondo athletes.

Methodology:

This study is a quasi-experimental design. The research design was a single-group pre-test and post-test with the intervention of a fatigue protocol. The statistical population of this study consisted of all adolescent male taekwondo athletes aged 15-18 years in Karaj. Twenty adolescent male taekwondo athletes were selected from the statistical population as the research sample. The research process was conducted as follows: After coordinating with taekwondo clubs in Karaj that participated in the Alborz

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

provincial taekwondo league, 20 adolescent taekwondo athletes were randomly selected based on the inclusion criteria. Individuals who signed an informed consent form to participate in the study were included. All potential benefits and risks of participating in the study were explained to the subjects and their parents. This research adheres to the recommendations of the Helsinki Declaration regarding ethical principles in research, and all ethical considerations were observed in the study. In the measurement session, the subject was first asked to wear appropriate sportswear to prepare for the relevant measurements. Then, the subject's anthropometric indices, including height, weight, and body mass index, were measured. Afterward, static and dynamic balance variables were measured using the stork standing balance test and the Y balance test, respectively, and the proprioception of the ankle and knee joints was measured using the photography method at angles of 10 degrees of dorsiflexion of the ankle and 30 degrees of knee flexion. Then, the functional fatigue protocol was applied, and the subject was asked to perform the protocol with maximum effort. After completing the fatigue protocol, all variables measured before applying the fatigue protocol were reassessed. To apply the fatigue protocol, the functional fatigue protocol of taekwondo, whose effectiveness has been previously proven by Mirjani and colleagues, was used (3). To investigate the intragroup changes in the research variables in the pre- and post-test stages, the paired t-test was used. Also, in all statistical analyses, the alpha level was considered less than 0.05.

Results:

A paired t-test was used to evaluate the effect of the functional fatigue protocol on the research variables in the pre-test and post-test stages (intragroup changes). Descriptive information about the research variables at different measurement stages, as well as the results of the paired t-test, is presented in Table 1.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

Table 1. Descriptive statistics of the research variables in the pre- and post-test stages and the results of the paired t-test (Mean ± Standard Deviation)

Variable		Pre-test	Post-test	t	P
Static balance (seconds)		4.2 ± 1.19	1.2 ± 2.11	34.1	0.028*
Dynamic balance (cm)	Anterior	4.6 ± 7.67	4.4 ± 2.56	63.2	0.001*
	Posterio-medial	5.7 ± 2.73	3.5 ± 5.64	29.2	0.012*
	Posterio-lateral	1.6 ± 3.70	9.5 ± 3.64	75.1	0.009*
Proprioception (degrees)	Knee	6.0 ± 3.3	8.0 ± 8.5	49.3	0.003*
	Ankle	4.0 ± 1.2	3.1 ± 9.4	67.1	0.001*

* P < 0.05

The results of the paired t-test showed that there was a significant difference between the mean of all the variables in the post-test compared to the pre-test after applying the fatigue protocol (P < 0.05). Specifically, static balance and dynamic balance (in all three directions) decreased, and the error in reproducing the target angle in both the knee and ankle joints increased.

Discussion:

The aim of this study was to investigate the effect of functional fatigue on some of the most important intrinsic risk factors for lower extremity injuries, including static and dynamic balance and the accuracy of knee and ankle joint proprioception in adolescent taekwondo athletes. The results of the study showed that after inducing fatigue, the variables of static and dynamic balance (in all three directions: anterior, posterio-medial, and posterio-lateral) as well as the accuracy of knee and ankle joint proprioception of the subjects were impaired, and the subjects obtained lower scores in the related tests.

In general, during fatigue, the sensory information received from afferent sensory receptors is not transmitted well to the peripheral or central nervous system, and this leads to errors in sending efferent motor messages. As a result, the muscles responsible for controlling the movement of the target area are unable to control joint stability, and this can impair overall body stability and consequently balance (29). Previous research has also generally believed that fatigue reduces postural control and balance (16, 17, 29).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

The induction of muscle fatigue reduces proprioceptive accuracy, creates movement errors, increases the likelihood of losing balance, and consequently increases the risk of lower extremity injuries (17). Balance, as an important variable in athlete performance, is a significant issue related to the function of the sensory-motor system (36). Having adequate balance, in addition to its role in the performance of professional athletes and achieving success, also affects the incidence of lower extremity injuries; because the lack of balance increases the possibility of movement errors and consequently the occurrence of injuries (36). The ankle region, and especially the plantar region, is the first part of the body that comes into contact with the ground, and maintaining an individual's balance is largely related to the function of the muscles and joints of this area of the lower extremity (13). On the other hand, because athletes have greater movement needs and use their lower extremity muscles extensively during a training session or competition, the likelihood of the adverse effects of muscle fatigue on an individual's balance also increases (3, 11). This is especially important in taekwondo athletes who perform most of their sports movements on the lower extremities.

Since balance and proprioceptive accuracy are known as two modifiable intrinsic factors related to the occurrence of lower extremity injuries, special attention to these two variables in athletes, and especially in adolescent athletes who are at the beginning of their professional sports career, is necessary. Moreover, considering the results of the present study, which showed a significant decrease in static and dynamic balance as well as proprioceptive accuracy of adolescent taekwondo athletes after performing the fatigue protocol, all coaches and athletes in this sport are advised to perform balance exercises and improve proprioceptive accuracy in fatigue conditions, as well as to benefit from conditioning exercises appropriate for adolescence, which, while improving physical fitness, delay fatigue and the likelihood of injury in adolescent taekwondo athletes.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

مقدمه

تکواندو از جمله رشته‌های ورزشی جذاب و پرطرفدار است که مبدا آن به کشور کره جنوبی باز می‌گردد. این رشته المپیکی از محبوب‌ترین رشته‌های ورزشی در سرتاسر جهان و بخصوص در میان نوجوانان می‌باشد(۱). بیش از ۷۵ میلیون ورزشکار بصورت رسمی در ۱٤۰ کشور دنیا به این ورزش می‌پردازند و نزدیک به ۱۲۰ کشور دنیا به عضویت فدراسیون بین‌المللی تکواندو درآمده‌اند(۲). اگرچه ماهیت اکثر رشته‌های ورزشی رزمی را می‌توان یکسان دانست، اما تفاوت قابل توجه ورزش تکواندو با سایر ورزش‌های رزمی، در استفاده بیشتر از اندام تحتانی و پاها به هنگام اجرای بالغ بر ۹۰ درصد تکنیک‌های تکواندو می‌باشد(۳). نتایج تحقیقات پیشین نیز گواهی بر این ادعاست (٤). در همین راستا در تحقیقی گزارش شده است که نزدیک به نیمی از آسیب‌های مسابقات تکواندو در اندام تحتانی رخ می‌دهد و از نظر نوع آسیب نیز اسپرین لیگامانی رایج‌ترین نوع آسیب می‌باشد(٤). مینجون[1] نیز با بررسی آسیب‌های تکواندوکاران کره‌ای در یک بازه زمانی ٦ ماهه، نشان داد که بیشترین آسیب‌ها در اندام تحتانی رخ می‌دهد(۵).

گزارش شده است که تکواندوکاران کودک و نوجوان بیش از سایر گروه‌های سنی در معرض خطر آسیب‌های اسکلتی-عضلانی هستند. مهارت ناکافی، قدرت و استقامت عضلانی پایین‌تر و هماهنگی عصبی-عضلانی کمتر در تکواندوکاران کودک و نوجوان را می‌توان دلیلی برای این موضوع دانست(٦). از همین روی بررسی آسیب‌های اندام تحتانی در تکواندوکاران سنین پایه حائز اهمیت است؛ چراکه این رشته ورزشی ماهیتاً پرخطر می‌باشد و بخصوص در زمان مسابقات، عواملی از قبیل هیجانات مسابقه، جو محل برگزاری مسابقه و نوع داوری می‌تواند بر عملکرد و تمرکز ورزشکار تاثیر گذاشته و خطر بروز آسیب را افزایش دهد(۷). در کنار این عواملِ بیرونی، عواملی همچون تعادل و حس عمقی به عنوان دو مورد از مهم‌ترین عوامل درونی مرتبط با بروز آسیب در اندام تحتانی معرفی شده‌اند(۸). اختلال در هر یک از این دو عامل می‌تواند خطر بروز آسیب در اندام تحتانی را به مراتب افزایش دهد(۹, ۱۰). مطالعات پیشین به وجود ارتباط مستقیم بین عملکرد تعادلی تکواندوکاران و احتمال بروز آسیب در اندام تحتانی اذعان داشته‌اند(٦).

تعادل به عنوان یکی از مفاهیم بحث‌برانگیز سیستم حسی_حرکتی، ارتباط متقابل و پیچیده میان درون دادهای حسی و پاسخ‌های حرکتی مورد نیاز را به منظور حفظ یا تغییر وضعیت بدن، بررسی می‌کند(۱۱). کنترل تعادل به صورت پویا به عملکرد متقابل و هماهنگ مفاصل بدن، اطلاعات دریافتی از گیرنده‌های سیستم حس عمقی، سیستم بینایی و گیرنده‌های وستیبولار بستگی دارد(۱۲). کیفیت پیام‌های آورانِ سیستم حس عمقی نقش قابل توجهی در چگونگی پردازش پیام‌های دریافتی بوسیله سیستم عصبی مرکزی و به دنبال آن کیفیت پیام‌های حرکتیِ وابران این سیستم ایفا می‌کند(۱۳). بنابراین دقت و کیفیت پیام‌های سیستم حس عمقی می‌تواند بر میزان تعادل فرد اثرگذار باشد(۱٤). برای کنترل تعادل، سیستم عصبی مرکزی اطلاعات بینایی، وستیبولار و حس عمقی را برای تولید دستورات حرکتی که الگوهای فعال‌سازی عضلات را هماهنگ می‌کنند، ادغام می‌کند(۱۱). در این بین، اطلاعات حس عمقی به عنوان مهم‌ترین جزء آوران سیستم حسی-حرکتی در انجام فعالیت‌های مختلف جسمانی از جمله حفظ و یا بازیابی تعادل شناخته می‌شود(۱۳). این موضوع از آن

1. Minjoon

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

جهت در ورزشکاران رشته تکواندو حائز اهمیت است که به دلیل الگوهای حرکتی مورد استفاده در این ورزش، حفظ تعادل به منظور اجرای موفق و به دنبال آن کسب امتیاز از اهمیت بالایی برخوردار است(۱۵). از طرفی با توجه به اینکه تکواندوکاران بخش قابل توجهی از زمان تمرین و یا مسابقه را مشغول انجام جابجایی‌های ناگهانی، تغییر وضعیت بدن و یا قرار گرفتن بر روی یک پا و اجرای فرم در حالت بی‌تعادلی می‌باشند، خطر از دست دادن تعادل و احتمال بروز آسیب افزایش می‌یابد.

این در حالیست که گزارش‌ها حاکی از اثر قابل توجه خستگی بر تعادل و دقت حس عمقی ورزشکاران می‌باشد(۱۶, ۱۷). در همین راستا گزارش شده است که اکثر آسیب‌های اندام تحتانی در ورزشکاران تکواندوکار، در زمان‌های پایانی مسابقه و یا زمانی‌که ورزشکار در طول یک روز چند مسابقه پیاپی را انجام می‌دهد و فرصت کافی برای ریکاوری را ندارد، اتفاق می‌افتد(۳). خستگی پدیده‌ای پیچیده و شامل مکانیزم‌های عصبی–عضلانی است که ظرفیت سیستم عضلانی بدن برای تولید نیرو را تغییر می‌دهد(۱۱). تجمع اسید لاکتیک و تغییر PH در زمان خستگی بر عملکرد گیرنده‌های حسی از جمله دوک عضلانی و اندام وتری گلژی که وضعیت حرکت اندام‌ها را به مراکز بالاتر گزارش می‌کنند اثر گذاشته و موجب ارسال پیام‌های حرکتیِ بازدارنده از سیستم عصبی به عضلات و به دنبال آن کاهش عملکرد سیستم عضلانی و نهایتاً اختلال در تعادل می‌شود(۱۸). خستگیِ عضلانیِ ناشی از انجام فعالیت‌های جسمانی، در قسمت‌های مختلف سیستم حسی–حرکتی رخ می‌دهد که کاهش کارایی عضلات برای تولید نیرو و مقابله با عوامل برهم‌زننده تعادل و افزایش احتمال آسیب را به دنبال دارد(۱۹). تحقیقات پیشین، کاهش ظرفیت‌های سیستم عصبی–عضلانی، افزایش نوسان پاسچر، اختلال در عملکرد سیستم حس عمقی و به دنبال آن افزایش احتمال بروز آسیب در اندام تحتانی را به دنبال ایجاد خستگی گزارش کرده‌اند(۳, ۱۶–۱۸). با این حال بررسی ادبیات پیشینه در این زمینه حاکی از عدم بررسی اثر خستگی بر عوامل درونی اثرگذار بر بروز آسیب در اندام تحتانی ورزشکاران سنین پایه، به عنوان بخش مهمی از جامعه ورزشی کشور می‌باشد. از آن جایی که بروز آسیب در سنین پایین علاوه بر آنکه ممکن است ورزشکار را برای همیشه از محیط ورزش دور کند، می‌تواند پیامدهای مالی و روحی و روانی سنگینی را برای ورزشکار نوجوان و خانواده وی به دنبال داشته باشد. از همین روی بررسی عواملی که می‌تواند موجب پیشگیری از بروز آسیب در سنین پایه شود، ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات تعادل ایستا و پویا و دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پا به عنوان برخی از مهم‌ترین عوامل خطرِ درونی بروز آسیب در اندام تحتانی تکواندوکاران نوجوان می‌باشد.

روش‌شناسی

نوع مطالعه و شرکت‌کنندگان

تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی می‌باشد. طرح تحقیق حاضر تک‌گروهی و همراه با اعمال مداخله (پروتکل خستگی) و انجام پیش‌آزمون و پس‌آزمون است. جامعه آماری تحقیق حاضر را کلیه تکواندوکاران پسر نوجوان شهر کرج در دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال تشکیل داده‌اند. آزمودنی‌های تحقیق را تعداد ۲۰ نفر از تکواندوکاران پسر نوجوان از بین جامعه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

آماری تشکیل داده است. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور[1] نسخه ۳/۱ (بر اساس میانگین و انحراف معیار تحقیقات مشابه قبلی) (۲۰) با اندازه اثر ۰/٤، آلفای ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۹ تعداد ۱۷ نفر مشخص شد که با توجه به احتمال عدم همکاری مناسب برخی آزمودنی‌ها در طول فرآیند تحقیق، تعداد آزمودنی‌های تحقیق به ۲۰ نفر افزایش یافت. انتخاب نمونه‌ها بصورت در دسترس از بین ورزشکارانی که سابقه‌ی سه سال فعالیت مستمر در سطح لیگ تکواندو استان البرز را داشتند، صورت گرفت. معیارهای ورود به تحقیق شامل قرار داشتن در دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال، جنسیت مذکر، سابقه حداقل ۳ سال حضور در رقابت‌های لیگ تکواندو استان البرز، انجام منظم تمرینات تکواندو حداقل ۳ جلسه در هفته، عدم سابقه ابتلا به آسیب‌های شدید اندام تحتانی و ناحیه کمر که نیازمند عمل جراحی بوده باشد، عدم ابتلا به ناهنجاری‌های اندام تحتانی از جمله کف پای صاف و یا گود، زانوی ضربدری و پرانتزی و یا لگن نابرابر که به تایید متخصص حرکات اصلاحی رسیده است، عدم ابتلا به آسیب‌های اسکلتی-عضلانی اندام تحتانی در طول یک سال گذشته و عدم ابتلا به بی‌ثباتی در مفاصل مچ پا، زانو و ران بود (۲۰). همچنین معیارهای خروج نیز شامل ایجاد هرگونه مشکل جسمانی از جمله ضعف و بی‌حالی در هنگام انجام پروتکل خستگی و یا درد و ناتوانی به هنگام اجرای آزمون‌های تعادلی و عدم همکاری لازم برای انجام مناسب مراحل تحقیق بود.

روند انجام تحقیق

روند انجام تحقیق بدین صورت بود که در ابتدا هماهنگی‌های لازم با باشگاه‌های تکواندو شهر کرج که در مسابقات لیگ تکواندو استان البرز حضور داشتند، صورت گرفت. سپس در جلسه هماهنگی توضیحات کامل و جامع در خصوص اهداف و روند انجام تحقیق به مربیان و ورزشکاران ارائه شد و سپس از بین باشگاه‌هایی که به‌صورت داوطلبانه اعلام آمادگی کردند، تعداد ۲۰ تکواندوکار نوجوان به صورت تصادفی و بر اساس معیارهای ورود به تحقیق انتخاب شدند. پس از انتخاب آزمودنی‌ها، مقرر شد تا محقق با هماهنگی مدیر و مربی باشگاه، در یکی از جلسات تمرینی تیم‌ها شرکت کرده و نسبت به اندازه‌گیری متغیرهای تحقیق اقدام نماید. لازم به ذکر است که با توجه به دامنه سنی آزمودنی‌ها، مقرر شد افرادی در تحقیق شرکت داده شوند که فرم رضایت‌نامه‌ی آگاهانه و داوطلبانه شرکت در تحقیق توسط والدین آنها به امضاء رسیده باشد. تمامی فواید و خطرات احتمالی شرکت در تحقیق برای آزمودنی‌ها و والدینشان توضیح داده شد. این پژوهش از توصیه‌های معاهده هلسینکی در رعایت اصول اخلاق در پژوهش پیروی می‌کند و تمامی ملاحظات اخلاقی در پژوهش رعایت شده است.

پس از حضور محقق در محل باشگاه، ابتدا فرم رضایت‌نامه مشارکت در تحقیق که توسط والدین آزمودنی‌ها به امضا رسیده بود دریافت شد و سپس فرم اطلاعات فردی در اختیار آزمودنی قرار گرفت. پس از تکمیل فرم‌های مربوطه، از آزمودنی خواسته شد تا با پوشیدن لباس ورزشی مناسب، جهت انجام اندازه‌گیری‌های مربوطه آماده شود. سپس شاخص‌های آنتروپومتریک آزمودنی، شامل قد، وزن و شاخص ترکیب بدنی وی اندازه‌گیری شد. پس از آن از آزمودنی

1. G-Power

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

خواسته شد تا به مدت ۵ دقیقه با استفاده از دوچرخه ثابت و همچنین انجام نرمش‌ها و کشش‌های روتین رشته تکواندو، بدن خود را گرم کند. پس از آن متغیرهای تعادل ایستا و پویا به ترتیب بوسیله آزمون تعادل ایستای استورک[1] و آزمون تعادل پویای Y و همچنین حس عمقی مفاصل مچ پا و زانو به ترتیب در زوایای ۱۰ درجه دورسی‌فلکشن مچ پا و ۳۰ درجه فلکشن زانو بوسیله روش عکس‌برداری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس پروتکل خستگی عملکردی اعمال - شد و از آزمودنی خواسته شد تا با نهایت توان خود، پروتکل را به انجام برساند. پس از اتمام پروتکل خستگی، یک بار دیگر تمامی متغیرهایی که قبل از اعمال پروتکل خستگی اندازه‌گیری شده بود، مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت.

پروتکل خستگی عملکردی

جهت اعمال پروتکل خستگی، از پروتکل خستگی عملکردی رشته تکواندو که اثرگذاری آن پیش از این توسط میرجانی و همکاران به اثبات رسیده است استفاده شد(۳). پروتکل مذکور به این صورت بود که آزمودنی‌ها ضربه آبدولیوچاگی را با حداکثر توان و در حداقل زمان اجرا، در مسیر هشت متری (برابر با طول زمین تکواندو) بصورت متوالی (یک ضربه با پای چپ و یک ضربه با پای راست) و رفت و برگشت، اجرا کنند. هر رفت و برگشت در این مسیر یک ست در نظر گرفته شد و پیش از اجرای پروتکل خستگی به منظور آشنایی افراد با نحوه‌ی اجرا، هر آزمودنی دو مرتبه ست مذکور را اجرا کرد. پس از شروع در جریان پروتکل خستگی بین هر ست دو برابر زمان به دست آمده در ست اول (نسبت کار به استراحت یک به دو) به افراد استراحت فعال بصورت رقص پای تکواندو داده شد، تا جایی که فرد به خستگی برسد. خستگی زمانی در نظر گرفته شد که افراد ۳۰ مرتبه این ست را در مدت زمان حداقل ۱۹ دقیقه طی کرده و بر اساس مقیاس بورگ، خستگی برابر با ۱۷ به بالا را گزارش کنند(۳).



شکل ۱. پروتکل خستگی عملکردی

1. Stork

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

نحوه انجام آزمون تعادل ایستا

جهت ارزیابی تعادل ایستا از آزمون استورک استفاده شد(۲۱). بدین ترتیب که ورزشکار بر روی پای غیربرتر خود - ایستاده و کف پای برتر خود را به نحوی در کنار داخلی زانوی پای غیربرتر خود قرار می‌داد که انگشتان به سمت پایین قرار بگیرند. دستان در کنار کمر و بر روی تاج خاصره قرار می‌گرفت و با فرمان آزمونگر، از فرد خواسته شد تا چشمان خود را بسته و پاشنه پای غیربرتر را از زمین بلند کند و بر روی سینه پا بایستد. همزمان با بلند شدن پاشنه فرد، مدت زمان مربوط به انجام تست ثبت شد. در صورتیکه تعادل وی به هر دلیلی به هم می‌خورد و یا مرتکب خطا میشد، زمان قطع و رکورد وی ثبت شد؛ لازم به ذکر است که در آزمون استورک، زمان بالاتر بیانگر تعادل ایستای بهتر آزمودنی است. هر آزمودنی این تست را ۳ مرتبه اجرا و میانگین ۳ اجرای صحیح وی به عنوان رکورد نهایی در نظر گرفته شد. روسیتر[1] پایایی خوبی(۰/٦٦) برای این آزمون گزارش کرده است(۲۲).



شکل . آزمون تعادل ایستا (استورک)

نحوه انجام آزمون تعادل پویا

برای ارزیابی تعادل پویای افراد، از آزمون تعادل Y استفاده شد(۲۲). بدین صورت که آزمودنی با پای آزمون(پای غیربرتر) در مرکز محل تست می‌ایستاد (سه متر نواری چسبانده شده بر روی زمین به گونه‌ای که علامت صفر مترها در مرکز واقع شده باشد و جهت یکی از آن‌ها به سمت قدامی باشد و دو متر دیگر با مترِ جهتِ قدامی زاویه ۱۳۵ درجه داشته باشند) و تعادل خود را در حالیکه با پای دیگر تلاش می‌کند تا بیشترین حد ممکن در سه جهت آزمون (قدامی، خلفی_داخلی و خلفی_خارجی) رسش داشته باشد، حفظ می‌کرد. در زمان رسیدن به حداکثر رسش آزمودنی می‌بایست به طور بسیار آهسته با پای رسش، متر را لمس کند و به وضعیت اولیه آزمون بازگردد. سپس میزان فاصله رسش انجام شده (که با تقسیم به طول پای فرد و ضربدر عدد ۱۰۰ نرمال می‌شود) اندازه‌گیری و به عنوان امتیاز تعادل پویای آزمودنی لحاظ گردید. در آزمون تعادل Y نیز میزان رسش بالاتر، بیانگر تعادل بهتر آزمودنی می‌باشد. همانند آزمون

1. Rossiter

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

تعادل ایستا، هر آزمودنی این تست را سه مرتبه اجرا و میانگین سه اجرای وی به عنوان رکورد نهایی وی در نظر گرفته شد. شافر[1] پایایی بسیار بالایی(۰/۹۳ – ۰/۸۵) را برای این آزمون گزارش کرده است(۲۳).



شکل ۳. آزمون تعادل پویا (۷)

نحوه ارزیابی حس عمقی مفاصل زانو و مچ پا

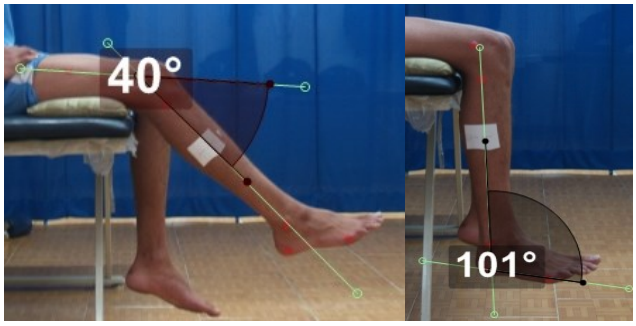
به منظور ارزیابی حس عمقی مفاصل زانو و مچ پا از روش نشانه‌گذاری و عکس برداری و خطای بازسازی زاویه هدف استفاده شد(۱۵, ۲٤). چهار عدد نشانگر پوستی قرمز رنگ دایره‌ای شکل با قطر یک سانتی‌متر در قسمت جانب خارجی اندام مورد نظر (پای غیربرتر) در چهار نقطه چسبانده شد. جهت بررسی حس عمقی در مفصل زانو، نشانگر اول در یک چهارم بالایی خط بین تروکانتر بزرگ و قسمت میانی خط مفصلی خارجی زانو، نشانگر دوم در گردن فیبولا و نشانگر سوم در قسمت بالایی قوزک خارجی چسبانده شد. سپس فرد در لبه ی میز نشست و در وضعیتی که زانو در حالت ۹۰ درجه خم بود نشانگر چهارم در قسمت بالایی چین پوبلیته‌آل در امتداد لبه‌ی بالایی کشکک قرار گرفت(۲۵). با توجه به این که اختلالات حس عمقی مفصل زانو در زوایای انتهایی دامنه حرکتی بیشتر نمایان می‌شود، از این رو در تحقیق حاضر از زاویه ۳۰ درجه فلکشن زانو برای بازسازی زاویه هدف جهت اندازه‌گیری حس عمقی مفصل زانو در زنجیره حرکتی باز استفاده شد(۲٦). همچنین زاویه دورسی‌فلکشن مچ پا در زنجیره حرکتی باز ۱۰ درجه انتخاب شد. پس از نشانه‌گذاری پوستی از آزمودنی خواسته شد تا بر روی صندلی بنشیند. ارتفاع صندلی طوری تنظیم شده بود که پای آزمودنی با زمین تماس نداشته باشد. سپس آزمونگر پاشنه‌ی پای آزمودنی را گرفته و بدون این که تغییری در وضعیت مچ پا ایجاد کند، زانو را بصورت غیرفعال به زاویه‌ی ۳۰ درجه فلکشن برده(اندازه‌گیری بوسیله‌ی گونیامتر) و از آزمودنی خواسته شد که به مدت ۵ ثانیه زاویه مفصل را در همان وضعیت حفظ نماید. در این وضعیت اولین عکس از جانب خارج زانو گرفته شده و بعد از آن زانو به وضعیت استراحت برگردانده شد. سپس جهت حذف مداخله بینایی از فرد خواسته شد تا با چشمان بسته، ساق پا را این بار به صورت فعال حرکت دهد و زاویه‌ی مذکور را با سرعت دلخواه بازسازی کند. عکس دوم زمانیکه آزمودنی به زاویه مورد نظر می‌رسید و با گفتن عبارت "رسیدم" محقق را آگاه

1. Shaffer

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

می‌ساخت، گرفته شد. این عمل سه بار تکرار گردید و با هر بار تکرار از زاویه‌ی بازسازی شده عکس گرفته شد تا میانگین خطای این سه زاویه به عنوان میانگین خطای بازسازی زاویه هدف در مفصل زانو ثبت شود. لازم به ذکر است که تمامی عکس‌ها از فاصله ۱۸۵ سانتی‌متری محل نشستن آزمودنی گرفته شد و ارتفاع سه‌پایه دوربین به گونه‌ای تنظیم شد که لنز دوربین هم‌سطح با مرکز مفصل زانو قرار داشته باشد(۱۵). هادیان پایایی این روش را ۰/۹۲ گزارش کرده است(۲۷).



شکل ۴. نحوه ارزیابی دقت حس عمقی در مفاصل زانو و مچ پا

جهت ارزیابی حس عمقی مفصل مچ پا نیز از روش عکس‌برداری و بازسازی زاویه هدف (ICC ≥۰/۹۷) استفاده شد(۲٤, ۳۲). به همین منظور اولین مارکر در سطح خارجی سر فیبولا، دومین مارکر در قوزک خارجی، سومین مارکر در قسمت خارجی پاشنه و درست پایین قوزک خارجی و هم‌راستا با آن و چهارمین مارکر در انتهای دیستال انگشت پنجم نصب شد. تمامی شرایط ذکر شده برای اندازه‌گیری حس عمقی در مفصل زانو، برای مفصل مچ پا نیز رعایت شد با این تفاوت که مفصل مچ پا به ۱۰ درجه دورسی‌فلکشن غیرفعال برده شده و از فرد خواسته شد تا این زاویه را سه بار بصورت فعال بازسازی کند. در ادامه عکس‌های گرفته شده به رایانه منتقل و زاویه بدست آمده در هر عکس در نرم‌افزار اتوکد محاسبه شد و با عکسی که ابتدا از هر آزمودنی گرفته شده بود(عکس هدف) مقایسه گردید و اختلاف زاویه‌ای آزمون و بازسازی به عنوان خطای مطلق در نظر گرفته شد. منظور از خطای مطلق، میزان انحراف از زاویه‌ی هدف در بازسازی زاویه‌ای حرکت بدون احتساب جهت انحراف(+ یا –) می‌باشد(۲٤, ۳۲).

روش آماری

اطلاعات به‌دست‌آمده از طریق اندازه‌گیری متغیرها در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور بررسی تغییرات درون‌گروهی متغیرهای تحقیق در دو مرحله پیش و پس‌آزمون، از آزمون تی زوجی استفاده شد. همچنین در تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری میزان آلفا کوچکتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

یافته‌ها

ویژگی‌های آنتروپومتریکی مربوط به سن، قد و وزن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌های تحقیق در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱. شاخص های گرایش مرکزی و متغیرهای زمینه ای آزمودنی‌ها

متغیر	واحد	میانگین ± انحراف معیار
سن	سال	۱۷/۸۶±٤/٤
قد	سانتیمتر	۱۷٤/۳۷±٥/۲
وزن	کیلوگرم	٦٥/٦۱±٦/۱
شاخص توده بدنی	$Kg.\ m^2$	۲۳/٤٦±۱/٥

به‌منظور ارزیابی تأثیر پروتکل خستگی عملکردی بر متغیرهای تحقیق در حالت پیش‌آزمون- پس‌آزمون(تغییرات درون-گروهی) از آزمون تی زوجی استفاده گردید. اطلاعات توصیفی مربوط به متغیرهای تحقیق در مراحل مختلف اندازه-گیری و همچنین نتایج آزمون تی زوجی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. آماره‌های توصیفی مربوط به متغیرهای تحقیق در مراحل پیش و پس‌آزمون و نتایج آزمون تی زوجی (میانگین ± انحراف معیار)

متغیر		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	t	P
تعادل ایستا (ثانیه)		۱۹/۱±۲/٤	۱۱/۲±۲/۱	۱/۳٤	٭۰/۰۲۸
تعادل پویا (سانتی‌متر)	قدامی	٦۷/۷±٦/٤	٥٦/۲±٤/٤	۲/٦۳	٭۰/۰۰۱
	خلفی-داخلی	۷۳/۲±۷/٥	٦٤/٥±٥/۳	۲/۲۹	٭۰/۰۱۲
	خلفی-خارجی	۷۰/۳±٦/۱	٦٤/۳±٥/۹	۱/۷٥	٭۰/۰۰۹
حس عمقی (درجه)	زانو	۳/۳±۰/٦	٥/۸±۰/۸	۳/٤۹	٭۰/۰۰۳
	مچ پا	۲/۱±۰/٤	٤/۹±۱/۳	۱/٦۷	٭۰/۰۰۱

٭ P<۰/۰٥

نتایج آزمون تی زوجی نشان داد که پس از اعمال پروتکل خستگی بین میانگین تمامی متغیرهای مورد بررسی در مرحله پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰٥). به طوری که میزان تعادل ایستا و تعادل پویا (در هر سه جهت) کاهش و خطای بازسازی زاویه هدف در هر دو مفصل زانو و مچ پا، افزایش یافته است.

بحث

هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر خستگی عملکردی بر برخی از مهم‌ترین عوامل خطر داخلی آسیب اندام تحتانی از جمله تعادل ایستا و پویا و دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پای تکواندوکاران نوجوان بود. نتایج تحقیق نشان داد که

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

پس از اعمال خستگی، متغیرهای تعادل ایستا و پویا (در هر سه جهت قدامی، خلفی–داخلی و خلفی–خارجی) و همچنین دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پای آزمودنی‌ها دچار اختلال شده و آزمودنی‌ها در آزمون‌های مربوطه امتیازات کمتری را کسب نموده‌اند.

نتایج حاکی از آن است که خستگی از یک سو سبب تغییر در برنامه‌های کنترل حرکتی فراموضعی شده و فعال‌سازی فیدفورواردی عضلات را به هنگام مواجهه با اغتشاشات ناگهانی به تاخیر می‌اندازد و از سوی دیگر، موجب تاخیر در فعال‌سازی فیدبکی عضلات می‌شود(۲۸). خستگی موجب افزایش آستانه‌ی دیس شارژ دوک عضله شده و فعالیت نرون گاما را تحت تأثیر قرار می‌دهد(۲). در اثر خستگی میزان پیام‌های آوران حسی به نرون حرکتی آلفا تغییر کرده و منجر به کاهش هماهنگی مفصل و عضلات به منظور عملکرد حفاظتی مناسب می‌شود(۱۹). فرآیند فوق موجب اختلال در دقت حس عمقی مفاصل و افزایش احتمال اجرای حرکات ناصحیح و آسیب‌زا در مفاصل می‌شود(۲۹). خستگی عضلانی موضعی با افزایش آستانه تخلیه برای دوک عضلانی و در نتیجه تغییر فعالیت در گیرنده‌های آلفا و گاما موجب تغییر سیستم حس عمقی محیطی می‌شود(۳۰). از طرفی تغییر در محیط شیمیایی بافت‌ها به دنبال ایجاد خستگی و افزایش محصولات متابولیک همچون برادی‌کینین، پروستوگلاندین و اسیدلاکتیک، سبب تغییر در الگوی تخلیه نرونی دوک‌های عضلانی می‌گردد(۳۱). با توجه به اینکه دوک‌های عضلانی به عنوان یکی از مهم‌ترین گیرنده‌های حسی، نقش بسیار مهمی در ارسال اطلاعات حسی به سیستم عصبی مرکزی و محیطی دارند(۳۰)، بنابراین می‌توان کاهش دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پای تکواندوکاران نوجوان که در تحقیق حاضر نشان داده شد را به همین موضوع نسبت داد. موضوعی که نتایج تحقیقات پیشن نیز آن را تایید می‌کند.

البته برسوتی[1] و همکاران (۲۰۲۲) تغییری در حس وضعیت مفصل زانو پس از اعمال پروتکل خستگی در افراد سالمِ جوان مشاهده نکردند (۲۰). تفاوت در پروتکل خستگی و همچنین روش ارزیابی حس وضعیت مفصل را می‌توان دلیلی برای ناهمسویی نتایج تحقیق حاضر با تحقیق برسوتی و همکاران دانست؛ چرا که در تحقیق برسوتی و همکاران جهت اعمال خستگی در عضلات اکستنسور زانو و همچنین ارزیابی حس وضعیت مفصل زانو از دستگاه آیزوکینتیک استفاده شده بود. درحالیکه در تحقیق حاضر از پروتکل عملکردی رشته تکواندو جهت اعمال خستگی در اندام تحتانی و از روش عکس‌برداری جهت ارزیابی حس عمقی مفصل زانوی آزمودنی‌ها استفاده شده است. همچنین سات و کیت[2] (۲۰۰۷) با بررسی اثر خستگی عضلات پرونئال بر حس وضعیت مفصل مچ پا، بر خلاف یافته‌های تحقیق حاضر نشان دادند که خستگی عضلانی نمی‌تواند عاملی برای اختلال در دقت حس عمقی مفصل مچ پا باشد؛ آنها نتایج خود را اینگونه توجیه کردند که گیرنده‌های حس عمقی در مفصل مچ پا اغلب مربوط به آوران‌های کپسول مفصلی و لیگامانی است تا آوران‌های دوک عضلانی و همچنین ممکن است که سایر عضلات اطراف مفصل مچ پا که مقاومت بیشتری در برابر خستگی دارند، جبران کننده خستگی اعمال شده بر عضلات پرونئال باشند (۳۲). میورا[3] و همکاران (۲۰۰٤) نیز با

1. Bersotti
2. South and Keith
3. Miura

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

ارزیابی دقت حس عمقی مفصل زانو با روش خطای بازسازی زاویه هدف پس از اعمال دو روش خستگی عمومی و موضعی، دریافتندکه در روش خستگی موضعی عضلات زانو، با وجود کاهش گشتاور حداکثر مفصل، اما تفاوتی در میزان دقت حس عمقی مفصل مشاهده نشد؛ در حالیکه در روش خستگی عمومی، کاهش دقت حس عمقی مفصل زانو رخ داد (۳۳).

به طور کلی به هنگام بروز خستگی، اطلاعات دریافتی از گیرنده‌های حسی آوران به خوبی به سمت سیستم عصبی محیطی و یا مرکزی مخابره نمی‌شود و این موضوع سبب بروز خطا در ارسال پیام‌های وابران حرکتی می‌شود. در نتیجه عضلات مسئول کنترل حرکت ناحیه هدف، قادر به کنترل ثبات مفصلی نمی‌باشد و این موضوع می‌تواند ثبات کلی بدن و به دنبال آن تعادل را دچار اختلال کند(۲۹). تحقیقات پیشین نیز تقریبا به طور کلی بر این باورند که خستگی باعث کاهش کنترل قامت و تعادل می‌شود (۱۶, ۱۷, ۲۹). مک‌گریگور[1] و همکاران (۲۰۱۱) یکی از علل تغییر در کنترل قامت بعد از خستگی عضلانی را به کاهش تمرکز آزمودنی‌ها در توجه به نوسانات بدن خودشان مربوط می‌دانند و علت دیگر را تغییر در عملکرد عصبی-عضلانی اندام تحتانی عنوان کرده‌اند(۳٤). یافته‌هایی که با نتایج تحقیق حاضر نیز همخوانی دارد؛ البته نتایج تحقیق ویلرمه[2] و همکاران (۲۰۰٦) با نتایج تحقیق حاضر مغایر می‌باشد. آنها در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تعادل طی برنامه خستگی دچار تغییر نمی‌شود و همچنین بیان کرده‌اند که خستگی عضلانی عمومی، تعادل پویا را کمتر از تعادل ایستا دچار تغییر می‌کند و علت آن را به این مورد مربوط دانسته‌اند که در خستگی عمومی بدن، عضلات قامتی زودتر از عضلات موضعی وارد حالت جبرانی کنترل تعادل می‌شوند و در نهایت تعادل را حفظ می‌کنند (۳۵). دلیل اختلاف نتایج تحقیق حاضر با تحقیق ویلرمه و همکاران را می‌توان در متفاوت بودن آزمودنی‌ها، تفاوت در پروتکل خستگی اعمالی و همچنین تفاوت در شیوه ارزیابی تعادل ایستا و پویا در دو تحقیق دانست.

ایجاد خستگی عضلانی سبب کاهش دقت حس عمقی، ایجاد خطاهای حرکتی، افزایش احتمال از دست دادن تعادل و به دنبال آن افزایش احتمال بروز آسیب در اندام تحتانی می‌شود(۱۷). تعادل به عنوان یک متغیر مهم در عملکرد ورزشکاران، موضوعی مهم در رابطه با کارکرد سیستم حسی–حرکتی می‌باشد(۳٦). برخورداری از تعادل مناسب از یک سو علاوه بر آنکه در عملکرد ورزشکاران حرفه‌ای و کسب موفقیت نقش دارد، از سویی دیگر بر میزان بروز آسیب‌های اندام تحتانی نیز موثر است؛ چرا که عدم برخورداری از تعادل، امکان بروز خطاهای حرکتی و به دنبال آن بروز آسیب را افزایش می‌دهد(۳٦). ناحیه مچ پا و بخصوص قسمت کف پا نخستین ناحیه‌ای از بدن است که با زمین در تماس است و حفظ تعادل فرد به میزان زیادی به عملکرد عضلات و مفاصل این ناحیه از اندام تحتانی مرتبط می‌باشد(۱۳). از طرفی به دلیل آنکه ورزشکاران نیازهای حرکتی بیشتری دارند و در طول یک جلسه تمرین و یا مسابقه به میزان زیادی از عضلات اندام تحتانی خود استفاده می‌کنند، احتمال اثرگذاریِ سوء خستگی عضلانی بر میزان تعادل فرد نیز بالا می‌رود (۳, ۱۱). این موضوع بخصوص در ورزشکاران رشته تکواندو که اکثر حرکات رشته ورزشی خود را بر روی اندام

1. Mcgregor
2. Vuillerme

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

تحتانی انجام می‌دهند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. یک تکواندوکار در طول یک جلسه تمرین، جهت اجرای مانورهای حرکتی رشته ورزشی خود، بالغ بر صدها پرش کوتاه را بر روی پای خود انجام می‌دهد. این حجم از اجرای حرکات پرشی می‌تواند خستگی و ناکارآمدی عضلانی و به دنبال آن اختلال در تعادل را به دنبال داشته باشد(۳۷)؛ موضوعی که نتایج تحقیق حاضر نیز آن را تائید می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نیز حاکی از تاثیر خستگی بر کاهش قابلیت‌های تعادلی تکواندوکاران نوجوان بود؛ بطوریکه اعمال پروتکل خستگی عملکردی سبب کسب امتیازات کمتر در آزمون‌های تعادل ایستا و پویا در مرحله پس‌آزمون شد.

یافته‌های تحقیق حاضر در خصوص کاهش تعادل ایستا و پویای آزمودنی‌ها به دنبال اعمال پروتکل خستگی را می‌توان با غالب تحقیقات پیشین که در این زمینه به انجام رسیده است همسو دانست. در همین ارتباط چانگلا[1] و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که به دنبال اعمال خستگی، امتیازات تعادل ایستا و پویا به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد(۱۷). موضوعی که آکیلدیز[2] و همکاران (۲۰۲۳) (۱۶)، جانستون[3] و همکاران (۲۰۱۸) (۲۹) و نادریان و همکاران (۱۳۹۵) (۳۸) نیز آن را گزارش کرده‌اند. نادریان بیان می‌دارد که در مراحل پایانی مسابقات و زمانیکه خستگی به اوج خود می‌رسد، از میزان نیروی تولیدی عضلات کاسته شده و بخصوص با افزایش خستگی در عضلات پروگزیمال اندام تحتانی، کنترل تعادل با دشواری بیشتری مواجه می‌شود (۳۸). گریبل و هرتل[4] (۲۰۰۳) نیز بیان کرده‌اند که خستگی عضلات پروگزیمال بیشتر از خستگی عضلات دیستال بر کنترل قامت تاثیر دارد (۳۹). موضوعی که می‌تواند با یافته‌های تحقیق حاضر نیز مرتبط باشد؛ چراکه در تحقیق حاضر از اجرای حرکت آبدولیوچاگی برای ایجاد خستگی آزمودنی‌ها استفاده شد و این حرکت به میزان زیادی عضلات پروگزیمال اندام تحتانی را درگیر می‌سازد.

این درحالیست که یافته‌های تیلور و همکاران (۲۰۰۸) (٤٠)، ستین و همکاران (۲۰۰۸) (٤١) و بلیو و همکاران (۲۰۰۹) (٤٢) با یافته‌های تحقیق حاضر درخصوص اثرگذاری سوء خستگی بر تعادل ورزشکاران همسو نمی‌باشد. تیلور و همکاران بیان نمودند که الگوی فعال شدن عضلات قبل و بعد از خستگی با هم متفاوت است و بعد از خستگی زمان فعال بودن عضلات به شدت افزایش می‌یابد و موجب بهبود تعادل آزمودنی‌ها می‌شود. شاید دلیل این امر استفاده از پروتکل‌های غیر عملکردی و ایجاد خستگی عمومی در آزمودنی‌ها بوده باشد؛ چرا که در تحقیقاتی که خستگی به صورت موضعی یا از طریق پروتکل‌های عملکردی ایجاد شده است کاهش معناداری در تعادل آزمودنی‌ها گزارش شده است. ستین و همکاران جهت اعمال خستگی از دستگاه استایر مستر و همچنین جهت ارزیابی تعادل آزمودنی‌ها از دستگاه تعادل‌سنج بایودکس استفاده کرده بودند (٤١)، درحالیکه پروتکل خستگی مورد استفاده در تحقیق حاضر، یک پروتکل خستگی عملکردی بر گرفته از حرکات تخصصی رشته تکواندو بود. همچنین در تحقیق حاضر جهت ارزیابی تعادل آزمودنی‌ها از آزمون‌های میدانی تعادل ایستای استورک و تعادل پویای Y استفاده شد. از جمله دلایل ناهمسویی

1. Changela
2. Akyildiz
3. Johnston
4. Gribble and Hertel

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

یافته‌های تحقیق حاضر با یافته‌های بلیو و همکاران (۴۲) را نیز می‌توان تفاوت در جنسیت و دامنه سنی آزمودنی‌ها بیان کرد. در تحقیق بلیو و همکاران، آزمودنی‌ها را دو گروه زنان جوان و میانسالِ غیرورزشکار تشکیل داده بود اما در تحقیق حاضر، نوجوانان پسرِ تکواندوکار، آزمودنی‌ها را تشکیل داده‌اند. همین موضوع می‌تواند دلیلی برای ناهمسویی یافته‌های دو تحقیق باشد.

باتوجه‌به نتایج ضدونقیضی که در خصوص اثر خستگی بر عوامل درونی بروز آسیب در اندام تحتانی از جمله تعادل و حس عمقی در تحقیقات پیشین گزارش شده است، انجام تحقیقات تکمیلی که شیوه‌های مختلف اعمال خستگی را بر متغیرهای مرتبط با بروز آسیب در اندام تحتانی در جامعه ورزشکاران مورد بررسی قرار دهند، ضروری به نظر می‌رسد. بااین‌حال و باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر که نشان از ایجاد اختلال در تعادل ایستا و پویا و همچنین دقت حس عمقی مفاصل زانو و مچ پای تکواندوکاران نوجوان دارد، پیشنهاد می‌شود تمرینات آماده‌سازی این گروه از ورزشکاران به‌گونه‌ای طراحی شود که علاوه بر افزایش آمادگی جسمانی، بر متغیرهای تعادلی و درگیرسازی حداکثری سیستم حس عمقی در شرایط خستگی تأکید شود. از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به عدم توانایی محقق در کنترل عوامل روان‌شناختی آزمودنی‌ها، از جمله انگیزه آنها برای شرکت در تحقیق و یا میزان همکاری آنها در اظهار خستگی به هنگام انجام پروتکل خستگی اشاره داشت. همچنین باتوجه‌به دامنه سنی آزمودنی‌های مورداستفاده در تحقیق حاضر، موضوع زود بلوغ و یا دیر بلوغ بودن آنها نیز خارج از کنترل محقق بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از محدودیت‌های تحقیق قلمداد شود.

نتیجه‌گیری

ازآنجائی‌که تعادل و دقت حس عمقی به‌عنوان دو عامل درونی و اصلاح‌پذیرِ مرتبط با بروز آسیب در اندام تحتانی شناخته می‌شوند، توجه ویژه به این دو متغیر در ورزشکاران و به‌ویژه در ورزشکاران نوجوان که در ابتدای دوران ورزش حرفه‌ای خود قرار دارند، ضرورت می‌یابد. از طرفی باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر که نشان از کاهش معنی‌دار تعادل ایستا و پویا و همچنین دقت حس عمقی تکواندوکاران نوجوان پس از اجرای پروتکل خستگی دارد، به کلیه مربیان و ورزشکاران این رشته ورزشی توصیه می‌شود جهت ارتقای عملکرد و کاهش خطر بروز آسیب در اندام تحتانی تکواندوکاران نوجوان، نسبت به انجام تمرینات تعادلی و بهبود دقت حس عمقی در شرایط خستگی و همچنین بهره‌مندی از تمرینات آماده‌سازی متناسب با سنین نوجوانی که ضمن بهبود آمادگی جسمانی، خستگی و احتمال بروز آسیب در تکواندوکاران نوجوان را به تأخیر بیندازد، اقدام نمایند.

تشکر و قدردانی

از مربیان تکواندو شهرستان کرج و همچنین آزمودنی‌هایی که در اجرای پژوهش مشارکت داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در بخش‌های مختلف انجام این پژوهش مشارکت فعال داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این پژوهش تعارض منافع ندارد.

References

1. Rezazadeh H, Sadeghi M. The effect of life satisfaction on the athletic success of adolescent taekwondo practitioners. Sociology and lifestyle management. 2022;8(19):58-71. (Persian)
2. Kardan S, Barghamadi M, Afroonde R, Abdollahpour M. An Investigation of the Effect of Quadriceps Fatigue on Electromyography Frequency Spectrum in the Lower Limb Muscles during Apdoliochagi in Elite Men. Sport Physiology & Management Investigations. 2020;12(3):123-33. (Persian)
3. Mirjani M, Seidi F, Minoonejad H. The Effect of Functional Fatigue on Pattern and Onset of Electromyography Activation of Selective Lumbo-Pelvic and Peroneal Muscles in Elite Female Taekwondo Athletes. Sport Sciences and Health Research. 2017;9(1):35-51. DOI: 10.22059/JSMED.2017.62870 (Persian)
4. Javadi MR, Miri H, Letafatkar A. Effects of Six Weeks of Agility Exercises on Maximum Ground Reaction Force, Knee Proprioception, Balance, and Performance in Taekwondo Athletes of Alborz Province League. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2020;9(1):74-87. DOI: 10.22037/jrm.2019.111339.1927 (Persian)
5. Ji M. Analysis of injuries in taekwondo athletes. Journal of physical therapy science. 2016;28(1):231-4. DOI: DOI: 10.1589/jpts.28.231
6. Hajipoor S, Mohammadipour F, Nikooie R. The Effect of Eight Weeks of Neuromuscular Training on Balance and Prevention of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury in Boy Adolescent Taekwondo Athletes. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2018;13(5):271-7. DOI: 10.22122/JRRS.V13I5.3052 (Persian)
7. Lystad RP, Graham PL, Poulos RG. Psychosocial Factors and Injury Risk in Taekwondo: An Exploratory Prospective Cohort Study. Journal of the International Association for Taekwondo Research. 2015;2(1):16-23.
8. Yavnai N, Bar-Sela S, Pantanowitz M, Funk S, Waddington G, Simchas L, et al. Incidence of injuries and factors related to injuries in combat soldiers. BMJ Mil Health 2021; 167: 418-423. DOI: 10.1136/jramc-2019-001312
9. Alghadir AH, Iqbal ZA, Iqbal A, Ahmed H ,Ramteke SU. Effect of chronic ankle sprain on pain, range of motion, proprioception, and balance among athletes. International journal of environmental research and public health. 2020;17(15):5318. DOI: 10.3390/ijerph17155318
10. Hoseini A, Zarei M, Hovanloo F. The Association between Dynamic Balance and Proprioception and Musculoskeletal Injuries of Iranian Young Elite Wrestlers: a Prospective Study. Research in Sport Medicine and Technology, 2021: 11(22): 26-36. DOI: 10.29252/jsmt.19.2.26 (Persian)
11. Asgarpoor A, Yalfani A, Raisi Z. The Effect of Ankle Taping on the Ability to Maintain Static and Dynamic Balances with and without Visual Input Before and After Fatigue. Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation. 2022;10(4):67-78. DOI: 10.22038/JPSR.2022.52517.2168 (Persian)
12. Naderi S, Naserpour H, Mohammadi-Pour F, Amir-Seyfaddini M. A Comparative Study on the Effects of Functional and Non-Functional Fatigue Protocols on Dynamic Balance of Amateur

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

Basketball Players. Journal of Sport Biomechanics. 2019;5(3):168-77. DOI: 10.32598/biomechanics.5.3.4 (Persian)
13. Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y. The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. BioMed research international. 2015;2015. Article ID 842804. DOI: 10.1155/2015/842804
14. Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y. Assessing proprioception: a critical review of methods. Journal of Sport and Health Science. 2016;5(1):80-90. DOI: 10.1016/j.jshs.2014.10.004
15. alimoradi M, sahebzamani, M., bigtashkhani, R., fakhrzadegan, M. The effect of +11 comprehensive warm-up program on lower extremity balance and knee proprioception in female amateur soccer players. Journal for Research in Sport Rehabilitation. 2020;10(19):21-34. DOI: 10.22084/RSR.2022.24027.1567 (Persian)
16. Akyildiz C, Sözen H. The effects of lower extremity static muscle fatigue on balance components. Sport Sciences for Health. 2023;19(3):897-908. DOI: 10.1007/s11332-022-00983-4
17. Changela PK, Selvamani K. A study to evaluate the effect of fatigue on knee joint proprioception and balance in healthy individuals. Sports Medicine Journal/Medicina Sportivâ. 2012;8(2).
18. Bisson EJ, Remaud A, Boyas S, Lajoie Y, Bilodeau M. Effects of fatiguing isometric and isokinetic ankle exercises on postural control while standing on firm and compliant surfaces. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2012;9:1-9. DOI: 10.1186/1743-0003-9-39
19. Nasrabadi R, Sadeghi H. Effect of Fatigue on Biomechanical Parameters and Incidence of Injury in Selected Movements of Healthy People: A Systemic Review. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021;10(4):6: 04-17. DOI: 10.32598/SJRM.10.4.1 (Persian)
20. Bersotti FM, DE MELO TB, Rafael Skau J, Mochizuki L, Ervilha UF. Fatigue of knee extensor muscles does not alter knee joint position sense. Journal of Mechanics in Medicine and Biology. 2022;22(02):2250012. DOI: 10.1142/S0219519422500129
21. YAPRAK Y, DELLEKOĞLU B. EVALUATION OF RELATIONSHIP BETWEEN STATIC AND DYNAMIC BALANCE TESTS IN YOUNG. Journal of Physical Education & Sports Science/Beden Egitimi ve Spor Bilimleri Dergisi. 2021;15(2).
22. Kalantariyan M, Rahmani N, Samadi H. The Effects of TRX-Based Movement Pattern Correction Exercises on the Landing Biomechanics and Balance of Female Volleyball Players Susceptible to Knee Injuries. Journal of Sport Biomechanics. 2023;9(2):112-27. DOI: 10.21859/JSportBiomech.9.2.375.1 (Persian)
23. Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL, Warren RL, Koreerat CM, Straseske CA, et al. Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. Military medicine. 2013;178(11):1264-70. DOI: 10.7205/MILMED-D-13-00222
24. Beyranvand R, Sahebozamani M, Daneshjoo A. The role of ankle and knee joints proprioceptive acuity in improving the elderly balance after 8-week aquatic exercise. Iranian Journal of Ageing. 2018;13(3):372-83. DOI: 10.32598/sija.13.3.372 (Persian)
25. Pour Kazemi F, Naseri N, Bagheri H, Fakhari Z. Reliability of a system consists of skin markers, digital photography, and AutoCAD software for measuring the knee angles. Journal of Modern Rehabilitation. 2009;2(3):19-24. (Persian)
26. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2005;15(2):181-9. DOI: 10.1016/j.jelekin.2004.08.006
27. Hadian M, Mir S, Talebian S, Naseri N. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Modern Rehabilitation. 2007;1(1):59-69. (Persian)
28. Torri F, Lopriore P, Montano V, Siciliano G, Mancuso M, Ricci G. Pathophysiology and Management of Fatigue in Neuromuscular Diseases. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(5):5005. DOI: 10.3390/ijms24055005
29. Johnston W, Dolan K, Reid N, Coughlan GF, Caulfield B. Investigating the effects of maximal anaerobic fatigue on dynamic postural control using the Y-Balance Test. Journal of science and medicine in sport. 2018;21(1):103-8. DOI: 10.1016/j.jsams.2017.06.007

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]

30. Boroushak N, Roshani R. Effect of muscular fatigue on the sensation of knee joint position in elite karate athletes. Journal of Rehabilitation Medicine. 2021;9(4):228-34. DOI: 10.22037/JRM.2020.111987.2136 (Persian)
31. Ghahremani S, Ghahremani N, Abbasi A. The Effect of Erector Spinae Muscle Fatigue on the Sensation of Trunk, Hip, and Knee Position among the Male Karate Athletes. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2017;1 (5), 3: 239-46. 10.22122/JRRS.V13I5.2910 (Persian)
32. South M, George KP. The effect of peroneal muscle fatigue on ankle joint position sense. Physical Therapy in sport. 2007;8(2):82-7. DOI: 10.1016/j.ptsp.2006.12.001
33. Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Toh S. The effect of local and general fatigue on knee proprioception. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. 2004;20(4):414-8. DOI: 10.1016/j.arthro.2004.01.007
34. McGregor SJ, Armstrong WJ, Yaggie JA, Bollt EM, Parshad R, Bailey JJ, et al. Lower extremity fatigue increases complexity of postural control during a single-legged stance. Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2011;8(1):1-10. DOI: 10.1186/1743-0003-8-43
35. Vuillerme N, Burdet C, Isableu B, Demetz S. The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye–visual target distance. Gait & posture. 2006;24(2):169-72. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.07.011
36. Farhadi H. The relationship between static and dynamic balances and lower extremity injuries in the adolescent athlete. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2013; 8(6): 1159-1168. DOI: 10.22122/jrrs.v8i6.481 (Persian)
37. Boroushak N, Anbarian M, Daneshmandi H. A Comparison of Hamstring and Quadriceps Muscular Work and Power in Elite Karate Athletes before and after Fatigue. Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation. 2018;7(4):44-51. DOI: 10.22038/JPSR.2018.22994.1601 (Persian)
38. Naderian F, Mahdavi Nejad R, Zolaktaf V. Effect of functional fatigue on static and dynamic balance of female futsal players. Research on Biosciences and Physical Actiuity. 2016;3(5):29-35. DOI: 10.22111/RBPA.2016.4806 (Persian)
39. Gribble PA, Hertel J. Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. Measurement in physical education and exercise science. 2003;7(2):89-100. DOI: 10.1207/S15327841MPEE0702_3
40. Taylor JL, Gandevia SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. Journal of applied physiology. 2008;104(2), 142-50. DOI:10.1152/japplphysiol.01053.2007
41. Cetin N, Bayramoglu M, Aytar A, Surenkok O, Yemisci OU. Effects of lower-extremity and trunk muscle fatigue on balance. The Open Sports Medicine Journal. 2008;2(1):16-22. DOI: 10.2174/1874387000802010016
42. Bellew JW, Panwitz BL, Peterson L, Brock MC, Olson KE, Staples WH .Effect of acute fatigue of the hip abductors on control of balance in young and older women. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2009;90(7):1170-5. DOI: 10.1016/j.apmr.2009.01.025

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1403.22.28.9.6]