Journal of
Sport Biomechanics

Summer 2026. Vol 12. Issue 2

Research Paper

Changes in Lower Limb Strength and Neuromuscular Control during One Year of Military Training in Officer Cadets

***Hamid Omidi[1], Reza Sabzevari Rad[1], Moosareza Ghorbani[2]**

1. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Command and management, Imam Ali Military' University, Tehran, Iran.
2. Department of Sport Injuries and Corrective Exercise, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Omidi H, Sabzevari Rad R, Ghorbani M. Changes in Lower Limb Strength and Neuromuscular Control during One Year of Military Training in Officer Cadets. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):286-300. https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.286

https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.286

Article Info:

Received: 8 Oct 2025
Accepted: 21 Jan 2025
Available Online: 31 Jan 2025

Keywords:

Military training, Dynamic balance, Proprioception, Muscle strength

ABSTRACT

Objective This study aimed to examine the effects of one year of intensive military training on strength indices and neuromuscular variables, including dynamic balance and lower-limb proprioception, in officer cadets. In addition, the effectiveness of the military training program as a stand-alone intervention—without supplementary training modalities—was evaluated in eliciting favorable neuromuscular adaptations.
Methods This longitudinal, prospective observational study was conducted on 30 officer cadets from Imam Ali University (mean age: 19.71 ± 2.03 years; mean height: 182.66 ± 6.21 cm; mean body mass: 71.83 ± 7.71 kg). Lower-limb muscle strength, dynamic balance, and knee joint proprioception were assessed at baseline and after one year of military training. Data were analyzed using repeated-measures analysis of variance (ANOVA) in SPSS version 26.
Results After one year of military training, significant improvements were observed in dynamic balance in the anterior ($p = 0.009$, $\eta^2 = 0.18$) and posterolateral ($p = 0.042$, $\eta^2 = 0.20$) directions. Knee joint angular reproduction error at 45° in the dominant limb decreased significantly ($p = 0.024$). Muscle strength in the dominant limb increased significantly for hip flexion ($p = 0.007$), hip extension ($p = 0.041$), hip internal rotation ($p = 0.009$), knee extension ($p = 0.016$), and ankle dorsiflexion ($p = 0.037$). Moreover, significant differences between the dominant and non-dominant limbs were observed for posteromedial balance ($p = 0.028$), posterolateral balance ($p = 0.006$), and the composite balance score ($p < 0.001$). A significant interaction effect was also identified in the posterolateral balance direction ($p = 0.048$, $\eta^2 = 0.20$).
Conclusion The findings demonstrate that one year of military training has a positive and significant effect on key neuromuscular performance indicators, including dynamic balance, proprioceptive accuracy, and lower-limb muscle strength in officer cadets. The observed improvements—particularly in the dominant limb—underscore the role of intensive and varied military training in promoting robust neuromuscular adaptations. These results may inform the design of optimized training programs for military and athletic populations.

*** *Corresponding Author:***
Hamid Omidi
Address: Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Command and management, Imam Ali Military' University, Tehran, Iran.
E-mail: hamidomidi63@gmail.com

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
© 2026 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

Extended Abstract

1. Introduction

Military readiness is among the most critical requirements of any country, as an army lacking adequate readiness cannot effectively defend its borders. Human resources play a central role in achieving this readiness; consequently, the assessment and development of physical fitness have long been shared priorities within armed forces (1). Enhanced physical fitness improves resilience to both physical and psychological stresses encountered in combat, enabling military personnel to perform operational tasks effectively and maintain optimal performance under demanding conditions (3,4). The development of physical characteristics such as strength, balance, and endurance is essential for improving the functional capacity and practical military skills of service members, thereby contributing to successful professional and combat operations (4). Previous studies have demonstrated that military training positively influences soldiers' physical fitness. A systematic review reported that military training enhances physical fitness, operational readiness, and resilience in harsh environments (9). Additionally, military training has been shown to increase muscular strength (10), improve balance (11), and enhance resilience during operational tasks (12). Despite these findings, a notable challenge in the field of military physical fitness research is the limited attention paid to neuromuscular factors—particularly balance and proprioception—following military and athletic training (13). For example, Ghorbani et al. reported that military training may increase the risk of musculoskeletal injuries by inducing alterations in landing biomechanics, including muscular asymmetry and impaired proprioception (14).

Another important limitation of previous research is that, due to the time-consuming nature of longitudinal investigations, many studies have focused primarily on short-term training interventions lasting 6 to 8 weeks and examined outcomes such as strength, endurance, balance, and proprioception (17). Consequently, the comprehensive and real-world effects of long-term military training programs on these neuromuscular components remain insufficiently explored. Given that muscular strength, muscular endurance, and balance are fundamental pillars for effective performance in military duties and operations (4,18), targeted attention to these components within officer cadet training programs is essential. Therefore, the present study aimed to evaluate the direct and practical effects of a routine military training program by examining changes in lower-limb neuromuscular indices, with a particular focus on strength, balance, and proprioception.

2. Methods

This study employed a longitudinal, prospective observational design with pre-test and post-test measurements. The statistical population consisted of officer cadets enrolled at Imam Ali University. Sample size was determined using G*Power software based on previous studies, assuming a significance level of 0.05 and a statistical power of 0.80, which yielded a required sample size of 30 participants (19). To account for potential attrition due to withdrawal or incomplete participation, 35 cadets were initially recruited. Ultimately, data from 30 participants who completed all assessments without significant attrition were included in the final analysis. Baseline data on selected muscle strength, dynamic balance, and lower-limb proprioception were collected upon the cadets' entry to Imam Ali University. Following the pre-test assessments, participants completed a standard, routine military training program for a duration of one year. The training program comprised sprint and endurance running, field maneuvers involving rapid directional changes, obstacle jumping, load carriage (e.g., military backpacks), and bodyweight resistance exercises. After the one-year training period, all measurements were repeated using the same assessment protocols.

3. Results

The results of the repeated measures analysis of variance in Table 1 showed that Y-balance in the anterior direction ($\eta^2 = 0.18$, $P = 0.009$) and posterolateral direction ($\eta^2 = 0.20$, $P = 0.042$) significantly improved in the post-test. Additionally, significant differences were observed between the dominant and non-dominant limbs in the posteromedial direction ($P = 0.028$), posterolateral direction ($P = 0.006$), and total

score (P < 0.001 in the pre-test and P = 0.032 in the post-test). A significant interaction effect was observed only in the posterolateral direction (P = 0.048), indicating a greater improvement in the dominant limb compared to the non-dominant limb.

4. Discussion

The results of this study demonstrate the positive and significant impact of one year of military training on enhancing key neuromuscular performance indicators, including dynamic balance, proprioceptive accuracy, and muscular strength, in military cadets. The observed improvements, particularly in the dominant limb, highlight the importance of intensive and diverse military training in inducing superior neuromuscular adaptations. These findings can serve as a foundation for designing optimized training programs for military and athletic populations.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was conducted in accordance with the 2013 Helsinki Declaration. Participants provided informed consent after being informed of the research objectives. Data confidentiality and the right to withdraw were upheld.

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 they have no conflict of interest associated with this study.

Table 1. Y-Balance Test Changes Between Pre- and Post-Test

Direction	Limb	Pre-test (Mean±SD)	Post-test (Mean±SD)	Time Effect (F(1,29), p)	Limb Effect (F(1,29), p)	Interaction (F(1,29), p)	η^2
Anterior	Dominant	83.24±6.81	90.81±5.09	7.54, 0.009*	2.72, 0.111	0.55, 0.370	0.18
	Non- dominant	77.38±8.12	84.60±9.93				
Posteromedial		94.39±9.53	95.17±4.40	0.67, 0.419	5.49, 0.028*	3.42, 0.082	0.12
	Dominant	80.47±7.71	86.15±5.29				
Posterolateral	Non- dominant	84.39±7.32	93.74±5.92	6.21, 0.042*	8.74, 0.006*	4.26, 0.048*	0.20
		72.24±8.90	74.53±4.52				
Composite Score	Dominant	90.67±7.88	93.24±5.13	4.01, 0.056	12.63, 0.000*	5.12, 0.032*	0.22
	Non- dominant	76.69±8.24	82.76±7.24				

*Statistical significance (p<0.05), Two-Way Repeated Measures ANOVA, η^2: Partial Eta Squared (η^2p)

مقاله پژوهشی

تغییرات قدرت و کنترل عصبی- عضلانی اندام تحتانی در طول یک سال آموزش نظامی در دانشجویان افسری

*حمید امیدی[۱]، رضا سبزواری راد[۱]، موسی‌الرضا قربانی[۲]

۱. گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده فرماندهی و مدیریت، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.

۲. گروه آسیب‌شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Omidi H, Sabzevari Rad R, Ghorbani M. Changes in Lower Limb Strength and Neuromuscular Control during One Year of Military Training in Officer Cadets. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):286-300. https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.286

https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.286

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۶ مهر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۱۱ بهمن ۱۴۰۴

چکیده

هدف هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر یک سال آموزش نظامی فشرده بر شاخص‌های قدرت و متغیرهای عصبی- عضلانی مانند تعادل و حس عمقی اندام تحتانی در دانشجویان افسری بود. همچنین، اثربخشی برنامه تمرینی نظامی به‌عنوان تنها مداخله در ایجاد سازگاری‌های مطلوب عصبی-عضلانی، بدون بهره‌گیری از مداخلات تمرینی تکمیلی، مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌ها این مطالعه طولی- مشاهده‌ای با طراحی آینده‌نگر بر روی ۳۰ دانشجوی افسری دانشگاه امام علی (ع) با میانگین سنی ۲/۰۳±۱۹/۷۱ سال، قد ۶/۲۱±۱۸۲/۶۶ سانتی‌متر و وزن ۷/۷۱±۷۱/۸۳ کیلوگرم انجام شد. داده‌های قدرت عضلات پایین‌تنه، تعادل پویا و حس عمقی مفصل زانو در ابتدا و پس از یک سال آموزش نظامی جمع‌آوری گردید. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

یافته‌ها نتایج نشان داد که پس از یک سال آموزش نظامی، تعادل پویا در جهت‌های قدامی ($p=۰/۰۰۹$،$\eta^2=۰/۱۸$) و خلفی-خارجی ($p=۰/۰۴۲$، $\eta^2=۰/۲۰$) به‌طور معناداری بهبود یافت. خطای بازسازی زاویه‌ای مفصل زانو در پای غالب در زاویه ۴۵ درجه کاهش معناداری نشان داد ($p=۰/۰۲۴$). قدرت عضلانی پای غالب در فلکشن ران ($p=۰/۰۰۷$)، اکستنشن ران ($p=۰/۰۴۱$)، چرخش داخلی ران ($p=۰/۰۰۹$)، اکستنشن زانو ($p=۰/۰۱۶$) و دورسی‌فلکشن مچ پا ($p=۰/۰۳۷$) افزایش معناداری داشت. علاوه براین، تفاوت معناداری بین پای غالب و غیرغالب در تعادل خلفی-داخلی ($p=۰/۰۲۸$)، خلفی-خارجی ($p=۰/۰۰۶$) و نمره کل تعادل ($p=۰/۰۰۰$) مشاهده شد. اثر تعامل معنادار در جهت خلفی-خارجی تعادل ($P=۰/۰۴۸$، $\eta^2=۰/۲۰$) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری بهبودهای مشاهده شده به‌ویژه در پای غالب، اهمیت تمرینات فشرده و متنوع نظامی را در ایجاد سازگاری‌های برتر عصبی-عضلانی نشان می‌دهد. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای طراحی برنامه‌های تمرینی بهینه در جمعیت‌های نظامی و ورزشی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها:
تمرینات نظامی، تعادل پویا، حس عمقی، قدرت عضلانی

*نویسنده مسئول:
حمید امیدی
آدرس: گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده فرماندهی و مدیریت، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.
ایمیل: hamidomidi63@gmail.com

مقدمه

آمادگی رزمی از مهم‌ترین نیازهای هر کشور به شمار می‌رود، چراکه ارتشی بدون آمادگی قادر به دفاع مؤثر از مرزها نخواهد بود. بی‌تردید، نیروی انسانی نقش محوری در تأمین این آمادگی دارد و به همین دلیل سنجش توان جسمانی همواره یکی از اولویت‌های مشترک نیروهای مسلح محسوب می‌شود (۱). از طرفی آمادگی جسمانی بهبود یافته، تاب‌آوری در برابر فشارهای جسمی و روانی ناشی از نبرد را افزایش می‌دهد و تضمین می‌کند که اعضای ارتش می‌توانند وظایف خود را به‌طور مؤثر انجام دهند و در شرایط سخت، اوج عملکرد خود را حفظ کنند (۲, ۳). توسعه ویژگی‌های جسمانی مانند قدرت، تعادل و استقامت در پرسنل نظامی برای بهبود کلی قابلیت‌های عملکردی و مهارت‌های کاربردی نظامی بسیار مهم است که به‌نوبه خود به فعالیت‌های حرفه‌ای و رزمی موفق کمک می‌کند (۴). به‌عنوان مثال تحقیق بانکا نشان داد تمرینات بدنی ویژه مانند تمرینات قدرتی می‌تواند ذخایر عملکردی بدن را افزایش داده و توانایی رزمی اعضای ارتش را بهبود بخشد (۵). از طرفی برای حفظ بالاترین سطح ظرفیت بدنی، انتظار می‌رود برنامه‌های آموزشی بتوانند سازگاری‌های عضلانی و قلبی تنفسی را برای آماده‌سازی سربازان برای استرس فیزیولوژیکی و روانی فراهم کنند (۶–۸).

بر اساس مطالعات، آموزش‌های نظامی بر بهبود آمادگی جسمانی سربازان تأثیر مثبت دارد. یک مرور سیستماتیک نشان می‌دهد که این آموزش‌ها موجب افزایش آمادگی جسمانی، عملیاتی و تاب‌آوری در شرایط سخت می‌شود (۹). همچنین آموزش‌های نظامی موجب افزایش قدرت (۱۰)، بهبود تعادل (۱۱) و ارتقای تاب‌آوری در شرایط عملیاتی می‌شود (۱۲). یکی از چالش‌های موجود در حوزه آمادگی جسمانی نظامی این است که تحقیقات پیشین به عوامل عصبی–عضلانی مانند تعادل و حس عمقی پس از تمرینات نظامی و ورزشی توجه کمتری داشته‌اند (۱۳). به‌عنوان مثال تحقیق قربانی و همکاران نشان داد تمرینات نظامی می‌توانند با ایجاد تغییرات در بیومکانیک فرود مانند عدم تقارن عضلانی و اختلال در حس عمقی، خطر آسیب‌های اسکلتی–عضلانی را افزایش دهند (۱۴). به‌علاوه تحقیقات دیگر بر بهبود تعادل و حس عمقی به دنبال تمرینات عصبی– عضلانی در نیروهای نظامی تأکید کرده‌اند (۱۵, ۱۶).

با وجود شواهد موجود، یکی از محدودیت‌های مهم در تحقیقات پیشین، به دلیل زمان‌بر بودن انجام چنین مطالعاتی، این است که اغلب تنها اثر برنامه‌های تمرینی خاص ۶ تا ۸ هفته‌ای بر متغیرهایی مانند قدرت، استقامت، تعادل و حس عمقی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۷)، درحالی‌که تأثیر واقعی و جامع برنامه‌های آموزش نظامی بر این مؤلفه‌ها کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. از سوی دیگر، با توجه به اینکه قدرت عضلانی، استقامت عضلانی و تعادل از ارکان اساسی در انجام وظایف و عملیات نظامی محسوب می‌شوند (۴, ۱۸)، توجه ویژه به تقویت این مؤلفه‌ها در برنامه‌های تمرینی دانشجویان افسری ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل مطالعه حاضر سنجش اثر مستقیم و واقعی برنامه‌های تمرینی نظامی، تغییرات عملکردی در شاخص‌های عصبی– عضلانی اندام تحتانی را بررسی می‌کند تا مشخص شود این برنامه‌ها چه تأثیراتی بر قدرت، تعادل و حس عمقی ایجاد می‌کنند.

روش شناسی

طرح پژوهش

این مطالعه از نوع تحقیق طولی- مشاهده‌ای، آینده‌نگر با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بوده و جامعه آماری آن را دانشجویان افسری دانشگاه امام علی (ع) تشکیل می‌دهند. در این پژوهش داده‌های مربوط به قدرت عضلات منتخب، تعادل پویا و حس عمقی دانشجویان افسری در بدو ورود به دانشگاه امام علی (ع) جمع‌آوری شد و پس از جمع‌آوری داده‌های پیش‌آزمون دانشجویان به مدت یک سال در معرض برنامه تمرینی معمول و استاندارد نظامی قرار گرفتند. این برنامه شامل فعالیت‌هایی از قبیل دوهای سرعتی و استقامتی، مانورهای میدانی با تغییر جهت‌های ناگهانی، پرش از موانع، حمل بار سنگین (مانند کیف‌های نظامی) و تمرینات قدرتی با وزن بدن بود. پس از گذشت یک سال همان اندازه‌گیری‌ها مجدداً تکرار شد.

آزمودنی‌ها

تعداد نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار G*Power تعیین شد؛ بر اساس مطالعات پیشین و با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آزمون ۰/۸۰، تعداد نمونه‌ها ۳۰ نفر محاسبه گردید (۱۹). برای پیشگیری از کاهش نمونه‌ها به دلیل احتمال انصراف یا همکاری ناقص، ابتدا ۳۵ نفر مورد ارزیابی قرار گرفتند که در نهایت داده‌های ۳۰ شرکت‌کننده بدون ریزش قابل‌توجه در تحلیل نهایی وارد شدند. شرکت در این مطالعه منوط به دارا بودن این شرایط بود: عدم وجود آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی و تکمیل کامل تمامی تمرینات طی دوره آموزش نظامی. از داوطلبان خواسته شد تا هرگونه سابقه بیماری، آسیب یا سایر مشکلات پزشکی را به‌طور شفاف اعلام نمایند (۲۰, ۲۱). افراد دارای مدارک مستند مبنی بر وجود اختلالات ارتوپدیک یا بالینی، هرگونه عارضه خود اظهاری که سلامت آنان را در معرض خطر قرار می‌داد، یا باعث ایجاد اختلال در فرآیند ارزیابی می‌شد از مطالعه حذف شدند. شرکت‌کنندگان به‌دقت در مورد طراحی مطالعه، با اطلاعات خاص در مورد خطرات و ناراحتی‌های احتمالی که ممکن است رخ دهد، مطلع شدند.

جمع‌آوری داده‌ها

قبل از شروع آزمون یک جلسه شفاهی برای شفاف ساختن نحوه انجام مطالعه برگزار شد تا آزمودنی‌ها در مورد انجام کار اطلاعات کافی داشته باشند. همچنین داده‌های وزن و قد آزمودنی‌ها قبل از شروع آزمون توسط پژوهشگر جمع‌آوری و ثبت شد. جهت ارزیابی پای برتر نیز از آزمودنی خواسته شد تا به توپ ضربه بزند (۲۲). اندازه‌گیری حس وضعیت فعال مفصل زانو در زنجیره حرکتی باز و توسط گونیامتر انجام شد، به این صورت که آزمودنی بر لبه تخت در وضعیتی که زانو در زاویه ۹۰ درجه فلکشن است قرار گرفت. از آزمودنی خواسته شد تا پا را از وضعیت شروع تا زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه بالا بیاورد و آزمونگر به‌وسیله گونیامتر زاویه را کنترل کرد و زمانی که به زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه فلکشن رسید از آزمودنی خواسته شد ۵ ثانیه این وضعیت را حفظ کرده و سپس از آن به حالت اول برگردد، بعد از قرار دادن چشم‌بند مجدداً از آزمودنی خواسته شد تا پا را به زاویه هدف برگرداند و این کار برای سه مرتبه انجام شد و بین آزمون یک دقیقه استراحت تعیین شد. اختلاف بین زوایای چشم باز و بسته به‌عنوان بازسازی زاویه‌ای در نظر گرفته شد (۲۳). در این مطالعه، خطای بازسازی زاویه‌ای مفصل زانو به‌صورت خطای مطلق و بر حسب درجه گزارش شده است. سنجش حس عمقی مفصل زانو با استفاده از گونیامتر از پایایی عالی برخوردار است، به‌طوری‌که ضریب همبستگی درون‌آزمونگر (ICC=۰/۹۹) بین‌آزمونگر (ICC=۰/۹۶) گزارش شده است (۲۴).

برای بررسی تعادل پویا، از آزمون تعادل وای استفاده شد. در این آزمون، آزمودنی‌ها بر روی یک پا می‌ایستند و با پای مقابل سه حرکت کششی را در جهت‌های قدامی، خلفی–داخلی و خلفی–خارجی انجام می‌دهند تا حداکثر فاصله قابل دستیابی را بدون از دست دادن تعادل ثبت کنند. قبل از اجرای آزمون، به هر شرکت‌کننده فرصت داده شد تا چندین بار تمرین کند تا با روش انجام حرکت و

مسیرهای مورد نظر آشنا شود. سپس طول مسیرهای ثبت شده بر طول پای آزمودنی تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد تا اعداد به‌دست‌آمده نرمال‌سازی شوند. لازم به ذکر است که طول پای آزمودنی در حالت طاق‌باز و از خار خاصره قدامی فوقانی تا قوزک داخلی و به‌وسیله متر نواری اندازه‌گیری شد. هر جهت سه بار اندازه‌گیری شد و میانگین این سه تکرار به‌عنوان نمره نهایی هر جهت و نمره کل تعادل در نظر گرفته شد (۲۵).

$$\text{امتیاز} = \frac{\text{فاصله دست یابی}}{\text{طول اندام}} \times 100$$

برای ارزیابی قدرت عضلات پایین تنه از قدرت سنج دستی[1]استفاده شد. تمام آزمون‌ها بر اساس روش ارائه شده توسط پاسکو اندازه‌گیری شد. این روش اندازه‌گیری دارای پایایی بین‌آزمونگر عالی ۰/۸۰ تا ۰/۹۶ گزارش شده است (۲۶). برای انجام هر آزمون از آزمودنی خواسته می‌شد تا در وضعیت مناسب قرار بگیرد و این موقعیت را حفظ کند. آزمونگر به‌وسیله استرپ، فشاری مناسب بر خلاف نیروی تولیدی آزمودنی به دینامومتر دستی وارد می‌کرد و حداکثر نیروی تولیدی ثبت می‌شد. همچنین، نیروی تولیدی هر آزمودنی نسبت به وزن بدن نرمالایز شد. هر آزمون سه انقباض ۵ ثانیه‌ای با ۳۰ ثانیه استراحت است و میانگین تکرارها برای تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت (۲۷). آزمودنی‌ها برای هر آزمون در وضعیت استاندارد قرار گرفتند و مفاصل در زوایای از پیش تعیین‌شده تنظیم شدند. آزمون‌های ابداکتور و اداکتور ران در وضعیت خوابیده به پهلو در شرایطی که مفصل ران در وضعیت خنثی قرار داشت، آزمون فلکسور ران در وضعیت خوابیده به پشت در شرایطی که مفصل ران و زانو در فلکشن ۹۰ درجه قرار داشتند و اکستنسور ران در وضعیت خوابیده بر روی شکم در شرایطی که زانو در فلکشن ۹۰ درجه قرار داشت، آزمون‌های چرخش داخلی و خارجی ران در وضعیت نشسته با زاویه ۹۰ درجه فلکشن مفاصل ران و زانو، آزمون فلکسور زانو در وضعیت خوابیده بر روی شکم و اکستنسور زانو در وضعیت نشسته با زاویه ۶۰ درجه فلکشن زانو و آزمون‌های دورسی‌فلکسور و پلانتارفلکسور مچ پا در وضعیت خوابیده به پشت در شرایطی که ران در اکستنشن و مچ پا در وضعیت خنثی قرار داشت انجام شدند. لازم به ذکر است در آزمون فلکسورهای ران دینامومتر بر روی قسمت فوقانی کشکک و بر روی ران، در آزمون اکستنسورهای ران بر روی پشت ران و نزدیک زانو، چرخش دهنده‌های داخلی ران بر روی ۵ سانتی‌متری پروگزیمال قوزک خارجی، چرخش دهنده‌های خارجی ران بر روی ۵ سانتی‌متری قوزک داخلی، فکسورهای زانو در انتهای پروگزمال پشت ساق، اکستنسورهای زانو در انتهای دیستال قسمت قدامی ساق، دورسی‌فلکسورهای مچ پا در قسمت پروگزیمال مفاصل متاتارسوفالنژیال بر روی سطح دورسال و پلانتار فلکسورهای مچ پا در پروگزیمال متاتارسوفالنژیال بر روی سطح پلانتار قرار گرفت (۲۸). در تمام آزمون‌ها از آزمودنی خواسته شد وضعیت بدن را بدون جابجایی حفظ کرده و حداکثر نیروی ممکن را اعمال کند (۲۹). با توجه به داشتن تنها دو سطح برای فاکتور زمان، مفروضه کرویت برقرار در نظر گرفته شد و تحلیل نتایج بدون تصحیح آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در سطح معناداری $P\leq ۰/۰۵$ و به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج

اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

1. MMT

جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها

متغیر	انحراف معیار±میانگین
سن (سال)	۱۹/۷۱±۲/۳۰
قد (سانتی‌متر)	۱۸۲/۶۶±۶/۲۱
وزن (کیلوگرم)	۷۱/۸۳±۷/۷۱
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۲/۱۳±۲/۷۶

نتایج آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر در جدول ۲ نشان داد که تعادل وای در جهت قدامی (η^2=۰/۱۸ ، P= ۰/۰۰۹) و خلفی–خارجی (η^2 =۰/۲۰، P= ۰/۰۴۲) در پس‌آزمون به‌طور معناداری بهبود یافت. همچنین بین پای غالب و غیرغالب در جهت خلفی–داخلی (P=۰/۰۲۸)، خلفی–خارجی (p=۰/۰۰۶) و نمره کل (P=۰/۰۰۰ در پیش‌آزمون و P=۰/۰۳۲ در پس‌آزمون) تفاوت معناداری مشاهده شد. اثر تعامل تنها در جهت خلفی–خارجی معنی‌دار بود (P=۰/۰۴۸) که نشان‌دهنده برتری پیشرفت پای غالب نسبت به پای غیرغالب است. نتایج آنالیز واریانس در جدول ۳ نشان داد که خطای بازسازی زاویه‌ای زانوی پای غالب در زاویه ۴۵ درجه در پس‌آزمون به‌طور معناداری کاهش یافت (P=۰/۰۲۴). همچنین در زاویه ۶۰ درجه، در پیش‌آزمون تفاوت معناداری بین پای غالب و غیرغالب مشاهده شد (P=۰/۰۱۱)، اما این تفاوت در پس‌آزمون معنادار نبود. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در جدول ۴ نشان داد که قدرت عضلات فلکشن ران (P=۰/۰۰۷)، اکستنشن ران (P=۰/۰۴۱)، چرخش داخلی ران (P=۰/۰۰۹)، اکستنشن زانو (P=۰/۰۱۶) و دورسی‌فلکشن مچ پا (P=۰/۰۳۷) در پس‌آزمون به‌طور معناداری افزایش یافته است. سایر عضلات شامل ابداکشن ران، اداکشن ران، چرخش خارجی ران، فلکشن زانو و پلانتار فلکشن مچ پا گرچه بهبود داشتند، اما این تغییرات از نظر آماری معنادار نبود (P≥۰/۰۵).

جدول ۲. تغییرات آزمون تعادل وای بین پیش و پس‌آزمون (سانتی‌متر)

متغیر	گروه	پیش‌آزمون (SD±میانگین)	پس‌آزمون (SD±میانگین)	اثر زمان (F(1,29), p)	اثر پا (F(1,29), p)	تعامل (F(1,29), p)	η^2
قدامی	پای غالب	۸۳/۶±۲۴/۸۱	۹۰/۵±۸۱/۰۹	*۰/۰۰۹, ۷/۵۴	۰/۱۱۱, ۲/۷۲	۰/۳۷ ،۰/۵۵۲	۰/۱۸
	پای غیرغالب	۷۷/۸±۳۸/۱۲	۸۴/۹±۶۰/۹۳				
خلفی– داخلی	پای غالب	۹۴/۹±۳۹/۵۳	۹۵/۴±۱۷/۴۰	۰/۴۱۹, ۰/۶۷	*۰/۰۲۸, ۵/۴۹	۳/۴۲ ،۰/۰۸۲	۰/۱۲
	پای غیرغالب	۸۰/۷±۴۷/۷۱	۸۶/۵±۱۵/۲۹				
خلفی– خارجی	پای غالب	۸۴/۷±۳۹/۳۲	۹۳/۵±۷۴/۹۲	*۰/۰۴۲, ۶/۲۱	*۰/۰۰۶, ۸/۷۴	*۰/۰۴۸, ۴/۲۶	۰/۲۰
	پای غیرغالب	۷۲/۸±۲۴/۹۰	۷۴/۴±۵۳/۵۲				
نمره کل	پای غالب	۹۰/۷±۶۷/۸۸	۹۳/۵±۲۴/۱۳	۴/۰۱ ،۰/۰۵۶	*۰/۰۰۰, ۱۲/۶۳	*۰/۰۳۲, ۵/۱۲	۰/۲۲
	پای غیرغالب	۷۶/۸±۶۹/۲۴	۸۲/۷±۷۶/۲۴				

*Statistical significance (p<0.05), Two-Way Repeated Measures ANOVA, η^2: Partial Eta Squared (η^2p)

جدول ۳. تغییرات حس عمقی مفصل زانو بین پیش و پس‌آزمون

زاویه	گروه	پیش‌آزمون (SD±میانگین)	پس‌آزمون (SD±میانگین)	اثر زمان (F(1,29), p)	اثر پا (F(1,29), p)	تعامل (F(1,29), p)	η^2
۴۵ درجه	پای غالب	۴/۰۹±۰/۹۷	۲/۳۹±۰/۶۰	۶/۱۲ *۰/۰۲۴	۳/۸۱، ۰/۰۶۰	۱/۶۲، ۰/۲۱۸	۰/۱۷
	پای غیرغالب	۵/۷۴±۱/۴۳	۴/۱۳±۰/۹۹				
۶۰ درجه	پای غالب	۳/۷۸±۰/۸۲	۳/۲۹±۱/۰۲	۳/۷۹، ۰/۰۶۲	۷/۲۱، *۰/۰۱۱	۰/۵۸، ۰/۴۷۲	۰/۱۹
	پای غیر غالب	۶/۳۹±۲/۰۵	۴/۷۳±۱/۴۸				

*Statistical significance (p<0.05), Two-Way Repeated Measures ANOVA, η^2: Partial Eta Squared (η^2p)

جدول ۴. تغییرات قدرت برخی عضلات اندام تحتانی بین پیش و پس‌آزمون (میانگین±SD)

عضله	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	اثر زمان (F(1,29), p)	η^2
فلکشن ران	۲۷/۷۰±۷/۲۲	۳۶/۷۹±۴/۰۴	۹/۱۲، ۰/۰۰۷*	۰/۲۳
اکستنشن ران	۲۵/۴۱±۵/۸۴	۳۴/۵۹±۳/۳۹	۴/۵۹، ۰/۰۴۱*	۰/۱۸
ابداکشن ران	۱۹/۳۰±۶/۳۷	۲۶/۴۴±۴/۱۵	۰/۶۷، ۰/۴۴۵	۰/۰۵
اداکشن ران	۲۰/۶۲±۴/۷۱	۲۲/۶۳±۵/۵۸	۱/۰۲، ۰/۳۱۷	۰/۰۸
چرخش داخلی ران	۱۱/۶۳±۳/۰۳	۱۱/۴۱±۲/۶۹	۷/۸۹، ۰/۰۰۹*	۰/۲۱
چرخش خارجی ران	۱۱/۱۰±۳/۵۲	۱۷/۷۸±۳/۲۶	۲/۱۶، ۰/۱۲۹	۰/۱۱
اکستنشن زانو	۲۶/۳۸±۴/۲۵	۲۹/۸۷±۵/۹۸	۶/۸۵، ۰/۰۱۶*	۰/۱۹
فلکشن زانو	۱۸/۴۹±۳/۹۰	۱۹/۷۳±۴/۱۴	۳/۳۱، ۰/۰۷۰	۰/۰۹
دورسی‌فلکشن مچ پا	۱۳/۶۴±۳/۱۴	۱۵/۳۸±۲/۸۹	۴/۵۶، ۰/۰۳۷*	۰/۱۴
پلانتار فلکشن مچ پا	۱۵/۴۳±۳/۰۷	۱۵/۷۸±۴/۱۱	۰/۵۹، ۰/۳۴۸	۰/۰۵

*Statistical significance ($p<0.05$), One-Way Repeated Measures ANOVA, Partial Eta Squared (η^2p)

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که شرکت در برنامه‌های تمرینی نظامی می‌تواند منجر به بهبود قابل‌توجهی در برخی شاخص‌های عصبی- عضلانی اندام تحتانی شود. بهبود تعادل پویا، کاهش خطای بازسازی زاویه‌ای و افزایش قدرت عضلات منتخب پایین تنه از مهم‌ترین تغییراتی بودند که پس از دوره یک ساله تمرینات نظامی مشاهده گردید.

نتایج این تحقیق در متغیر قدرت با مطالعه کوگ و همکاران (۳۰)، اسمیت و همکاران (۱۱)، فرهنر و همکاران (۱)، سنتیلا و همکاران (۳۱) و کریمر و همکاران (۳۲) همسو و با مطالعه گرولر و همکاران (۳۳) و روزندال و همکاران (۳۴) ناهم‌سو بود. تفاوت نتایج مطالعه حاضر با مطالعات پیشین، می‌تواند به دلیل تفاوت در پروتکل تمرینی، مشخصات جمعیت‌شناختی نمونه‌ها و روش‌های سنجش متفاوت برای ارزیابی شاخص‌های قدرت باشد. اکثر مطالعات از تأثیر مثبت برنامه‌های تمرینی نظامی بر بهبود قدرت عضلات حمایت می‌کنند. به‌عنوان مثال تحقیق هوفستتر و همکاران نشان داد که انجام ۷ هفته تمرین‌های نظامی، منجر به بهبود معنی‌دار در شاخص‌های آمادگی جسمانی از جمله قدرت عضلات تنه، تعادل و استقامت در سربازان سوئیسی شد (۳۵). بعلاوه مطالعه‌ای دیگر نشان داد تمرینات نظامی اولیه موجب توسعه سریع قدرت می‌شود و این پیشرفت در دوره‌های بعدی تثبیت می‌گردد. درحالی‌که مهارت‌های حرکتی ظریف مانند دقت در تیراندازی با تجربه و تمرین مستمر ادامه‌دار بهبود می‌یابند. اعتقاد بر این است سربازان در طول آموزش، سه مرحله کلیدی را در زمینه توسعه قدرت پشت سر می‌گذارند. در ابتدا، تمرکز بر ساختن پایه قدرتی محکم است. سپس، با پیشرفت آن‌ها، این قدرت بهینه و بادوام می‌شود و در نهایت، در سطح پیشرفته، آنان از این ذخیره قدرتی برای اجرای بی‌نقص مأموریت‌های عملیاتی استفاده کرده و هم‌زمان آن را در اوج نگه می‌دارند (۳۶).

در تحقیقی دیگر مطالعه کوگ نشان داد که ۳۴ هفته تمرین نظامی به‌همراه یک برنامه ورزشی اضافی، قدرت بالاتنه و پایین‌تنه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد؛ اما نکته مهم اینجاست که این تحقیق، برخلاف مطالعه ما، از یک برنامه تمرینی ساختاریافته و اضافی در کنار فعالیت‌های عادی نظامی استفاده کرده بود (۳۰). بهبود معنادار شاخص‌های قدرت در این مطالعه، احتمالاً از دو مکانیسم فیزیولوژیک اصلی نشأت گرفته است. در مراحل اولیه تمرین، افزایش قدرت عمدتاً ناشی از سازگاری‌های عصبی است، نه

افزایش حجم عضلات (۳۷). تداوم تمرینات فشرده، محرک لازم برای هایپرتروفی را ایجاد می‌کند. بر اساس اصول فیزیولوژی ورزش، تمرینات ممتد و پرحجم به احتمال زیاد منجر به هایپرتروفی عضلانی می‌شود (۳۸). در همین راستا در مطالعه‌ای همسو با مطالعه حاضر لگ و همکاران (۳۹) نشان دادند که افزایش مدت زمان آموزش نظامی، تأثیر مستقیم بر میزان بهبود قدرت عضلانی دارد. پس از ۵ ماه آموزش، افزایش چشمگیر قدرت مشاهده شد و پس از ۱۱ ماه، بهبود هم‌زمان و مطلوب در قدرت و ترکیب بدنی حاصل گردید (۴۰, ۴۱). علاوه بر قدرت عضلانی، مطالعات پیشین بر تقویت حس عمقی و تعادل به‌عنوان عاملی کلیدی در پیشگیری از آسیب‌ها تأکید کرده‌اند (۴۲, ۴۳). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای با حضور ۲۰ نفر از پرسنل نظامی، تأثیر یک برنامه تمرینی ۴ هفته‌ای شامل ایستادن و راه رفتن روی سطوح ناپایدار بر تعادل، حس عمقی و عملکرد تیراندازی بررسی شد. گروه تجربی که این تمرینات را انجام دادند، در مقایسه با گروه کنترل که تنها برنامه معمول آکادمی را دنبال می‌کردند، بهبود چشمگیری در تعادل وضعیتی و حس عمقی مفصل زانو از خود نشان دادند (۴۴). این مطالعه نشان داد تمرینات تخصصی روی سطوح ناپایدار، به‌طور هدفمندتری نسبت به تمرینات نظامی متعارف، سیستم عصبی–عضلانی را با شبیه‌سازی شرایط بی‌ثبات میدان نبرد به چالش می‌کشند.

تحقیقات متعددی تأیید کرده‌اند که فعالیت بدنی منظم حتی بدون اجرای برنامه‌های تمرینی اختصاصی متمرکز بر تعادل و حس عمقی نیز می‌توانند موجب بهبود این دو فاکتور شوند (۴۵–۴۷). این بهبود می‌تواند ناشی از مکانیسم‌های بازآموزی عصبی–عضلانی و افزایش نوروپلاستیسیتی سیستم عصبی مرکزی باشد. فعالیت بدنی منظم حتی بدون هدف‌گیری اختصاصی با ایجاد چالش‌های حرکتی متنوع، موجب بهبود فعالیت فیدفوروارد عصبی و فیدبک حسی می‌شود. این فرآیندها به بهینه‌سازی الگوهای انقباضی عضلات، افزایش سرعت و دقت پاسخ‌های عضلانی به اختلالات تعادلی و در نهایت، ارتقای هماهنگی عصبی–عضلانی می‌انجامد (۴۸, ۴۹). به‌علاوه بهبود مسیرهای کورتیکواسپاینال و انعطاف‌پذیری سیناپسی نیز از عواملی است که می‌تواند منجر به بهبود ثبات وضعیتی به دنبال تمرینات نظامی شود (۵۰). تحقیق محمدی و همکاران به بررسی حس عمقی در مفصل مچ پا و زانو به دنبال ۸ هفته تمرینات نظامی پرداخت. اگرچه در مطالعه محمدی و همکاران کاهش حس عمقی بلافاصله پس از ۸ هفته تمرینات سنگین و احتمالاً تحت تأثیر خستگی مشاهده شد (۵۱)، یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تغییرات مربوط به سازگاری‌های حس عمقی پس از دوره‌های طولانی‌تر نیز قابل ارزیابی است. این موضوع بیانگر آن است که سیستم عصبی–عضلانی ممکن است به فشارهای مزمن پاسخ متفاوت دهد.

در مطالعه‌ای ناهم‌سو شکیبی‌راد و همکاران نشان دادند که تعادل پویا در سال اول، دوم و سوم در بین دانشجویان افسری اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند. از دلایل احتمالی می‌توان انجام محدود تمرینات مرتبط با حس عمقی و تعادل را نام برد زیرا دانشجویان افسری بیشتر مشغول دویدن، تمرینات قدرتی و استقامتی و همچنین چابکی هستند و کمتر به تمرینات حس عمقی و تعادل می‌پردازند. بهبود در گیرنده‌های حس عمقی کف پا و زانو در تحقیق حاضر می‌تواند یکی از عوامل بهبود تعادل باشد. ازآنجاکه تعادل در زنجیره حرکتی بسته حفظ می‌شود و بر هماهنگی بازخورد و استراتژی‌های حرکتی بین مچ پا، زانو و ران متکی است، بنابراین تعادل می‌تواند با بهبود قدرت در سرتاسر زنجیره حرکتی مرتبط باشد (۵۲). بر اساس رویکرد سیستماتیک، حفظ تعادل و کنترل پاسچر نتیجه همکاری پویا و چندلایه بین اجزای عصبی و عضلانی–اسکلتی بدن است. این فرآیند پیچیده نیازمند یکپارچه‌سازی دقیق اطلاعات حسی از محیط و درون بدن است تا موقعیت فضایی فرد به‌درستی درک شود و هم‌زمان، دستگاه عضلانی–اسکلتی بتواند پاسخ‌های مناسب و به‌موقعی برای حفظ ثبات تولید کند. همچنین، سیستم عصبی مرکزی و محیطی به‌عنوان هماهنگ‌کننده اصلی این تعاملات عمل می‌کند. در این راستا، با توجه به یافته‌های مرتبط، به‌نظر می‌رسد تمرینات نظامی با بهبود حس عمقی در مفصل زانو و مچ پا به‌وسیله تحریک گیرنده‌های مکانیکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل مؤثر، منجر به بهبود تعادل گردد (۵۳).

از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به نبود گروه کنترل و عدم امکان کنترل کامل برخی عوامل تأثیرگذار اشاره کرد؛ بنابراین نمی‌توان تغییرات مشاهده‌شده را صرفاً به آموزش‌های نظامی نسبت داد، زیرا عواملی مانند بلوغ جسمانی، تغییرات طبیعی مرتبط با سن و فعالیت‌های خارج از برنامه رسمی نیز ممکن است نقش داشته باشند. بر همین اساس، انجام پژوهش‌های آینده با طراحی طولی، گروه کنترل و دوره‌های پیگیری بلندمدت پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنادار یک سال آموزش نظامی بر ارتقای شاخص‌های کلیدی عملکرد عصبی–عضلانی از جمله تعادل پویا، دقت حس عمقی و قدرت عضلانی در دانشجویان افسری است. بهبودهای مشاهده‌شده به‌ویژه در پای غالب، اهمیت تمرینات فشرده و متنوع نظامی را در ایجاد سازگاری‌های عصبی–عضلانی نشان می‌دهد. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای طراحی برنامه‌های تمرینی بهینه در جمعیت‌های نظامی و ورزشی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از تمامی آزمودنی‌های محترمی که در این پژوهش شرکت کردند تشکر می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی به‌طور کامل در این مقاله رعایت شده است. شرکت‌کنندگان اجازه داشتند در صورت تمایل از پژوهش خارج شوند همچنین همه شرکت‌کنندگان در جریان روند پژوهش بودند و اطلاعات آن‌ها محرمانه نگه داشته شد.

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور مساوی در تهیه مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنا بر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Frehner C, Senn H. Juvenile obesity and fitness for military service. Schweizerische Medizinische Wochenschrift. 1988;118(40):1427-36.

2. Giles GE, Hasselquist L, Caruso CM, Eddy MD. Load carriage and physical exertion influence cognitive control in military scenarios. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2019;51(12):2540-6. [DOI:10.1249/MSS.0000000000002085]

3. Pihlainen K, Santtila M, Vasankari T, Häkkinen K, Kyröläinen H. Evaluation of occupational physical load during 6-month international crisis management operation. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2017;31(2):185-97. [DOI:10.13075/ijomeh.1896.01048]

4. Vaara JP, Groeller H, Drain J, Kyröläinen H, Pihlainen K, Ojanen T, et al. Physical training considerations for optimizing performance in essential military tasks. European Journal of Sport Science. 2022;22(1):43-57. [DOI:10.1080/17461391.2021.1930193]

5. Banka A, Bussmann M. Uncomfortable neighbors: NATO, Russia and the shifting logic of military exercises in the Baltics. Defence Studies. 2023;23(1):1-24. [DOI:10.1080/14702436.2022.2089657]

6. Ager AL, Roy J-S, Gamache F, Hébert LJ. The effectiveness of an upper extremity neuromuscular training program on the shoulder function of military members with a rotator cuff tendinopathy: a pilot randomized controlled trial. Military Medicine. 2019;184(5-6):e385-e93. [DOI:10.1093/milmed/usy294]

7. Gepner Y, Hoffman J, Hoffman M, Zelicha H, Cohen H, Ostfeld I. Association between circulating inflammatory markers and marksmanship following intense military training. BMJ Military Health. 2019;165(6):391-4. [DOI:10.1136/jramc-2018-001084]

8. Martin K, Périard J, Rattray B, Pyne DB. Physiological factors which influence cognitive performance in military personnel. Human Factors. 2020;62(1):93-123. [DOI:10.1177/0018720819841757]

9. Bustamante-Sánchez Á, Tornero-Aguilera JF, Fernández-Elías VE, Hormeño-Holgado AJ, Dalamitros AA, Clemente-Suárez VJ. Effect of stress on autonomic and cardiovascular systems in military population: a systematic review. Cardiology Research and Practice. 2020;2020(1):7986249. [DOI:10.1155/2020/7986249]

10. Radzak KN, Sedory EJ, Hooper M, Kasamatsu TM. Defining athletic training in the military setting: a survey investigation into professional characteristics, preparation, and barriers in clinical practice. Journal of Athletic Training. 2020;55(5):522-31. [DOI:10.4085/1062-6050-213-19]

11. Smith C, Doma K, Heilbronn B, Leicht A. Effect of exercise training programs on physical fitness domains in military personnel: a systematic review and meta-analysis. Military Medicine. 2022;187(9-10):1065-73. [DOI:10.1093/milmed/usac040]

12. Margolis LM, Murphy NE, Martini S, Spitz MG, Thrane I, McGraw SM, et al. Effects of winter military training on energy balance, whole-body protein balance, muscle damage, soreness, and physical performance. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2014;39(12):1395-401. [DOI:10.1139/apnm-2014-0212]

13. Harman EA, Gutekunst DJ, Frykman PN, Nindl BC, Alemany JA, Mello RP, et al. Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2008;22(2):524-34. [DOI:10.1519/JSC.0b013e31816347b6]

14. Omidi H, Sabzevari Rad R, Ghorbani M. Biomechanical changes of the knee during jump-landing tasks: a longitudinal study of military cadets at Imam Ali (AS) University. Journal of Sport Biomechanics. 2026;11(4):424-37. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.4.424]

15. Alvani E, Shirvani H, Shamsoddini A. Neuromuscular exercises on pain intensity, functional disability, proprioception, and balance of military personnel with chronic low back pain. The Journal of the Canadian Chiropractic Association. 2021;65(2):193-206.

16. Orellana KV, Vásquez ML, Rebolledo GM, Muñoz EEG. Efectos de un entrenamiento neuromuscular sobre el equilibrio postural dinámico y propiocepción en basquetbolistas juveniles con inestabilidad funcional de tobillo. Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación. 2022;(44):1104-12. [DOI:10.47197/retos.v44i0.91257]

17. Roshandel Hesari A, Aoshandel Hesari A, Mohagheghi Pirshahid A. The effect of eight weeks training in shallow water on static balance of military with knee injuries. Journal of Sport Biomechanics. 2022;7(4):260-9. [DOI:10.32598/biomechanics.7.4.319.1]

18. de la Motte SJ, Gribbin TC, Lisman P, Murphy K, Deuster PA. Systematic review of the association between physical fitness and musculoskeletal injury risk: Part 2-muscular endurance and muscular strength. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(11):3218-34. [DOI:10.1519/JSC.0000000000002174]

19. Murayama K, Usami S, Sakaki M. Summary-statistics-based power analysis: a new and practical method to determine sample size for mixed-effects modeling. Psychological Methods. 2022;27(6):1014. [DOI:10.1037/met0000330]

20. Rashvand M, Shamlou Kazemi S, Hemati Afif A. Effects of combined exercises and vitamin D supplementation on serum levels of alkaline phosphatase in elderly women. Iranian Journal of Ageing. 2025;19(4):590-603. [DOI:10.32598/sija.2024.3806.1]

21. Ghorbani M, Shamloo Kazemi A, Babakhani F. The effect of fatigue on the time to stability in jumping and landing in football players who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Rehabilitation Sciences & Research. 2022;9(4):167-72.

22. Rodríguez-Lorenzo L, Fernandez-del-Olmo M, Sanchez-Molina JA, Martín-Acero R. Role of vertical jumps and anthropometric variables in maximal kicking ball velocities in elite soccer players. Journal of Human Kinetics. 2016;53:143-154. [DOI:10.1515/hukin-2016-0018]

23. Ness BM, Albright J, Ehlers B, Glasoe T, Selby S, Zimney K, et al. The influence of center line width during the crossover hop test. Physical Therapy in Sport. 2020;46:63-9. [DOI:10.1016/j.ptsp.2020.08.005]

24. Rodrigo T, Hislop A, O'Leary SP, Window PJ. The reliability of goniometric measurement of frontal knee alignment in standing in people with knee osteoarthritis: a pilot study. Journal of Musculoskeletal Surgery and Research. 2025;9(2):260-5. [DOI:10.25259/JMSR_502_2024]

25. Negrete R, Simms S, Gross J, Rabello LN, Hixon M, Zeini IM, et al. The test re-test reliability of a novel single leg hop test (T-drill hop test). International Journal of Sports Physical Therapy. 2021;16(3):724-731. [DOI:10.26603/001c.23677]

26. Kendall F, McCreary E, Provance P. Muscles, testing and function. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1994;26(8):1070. [DOI:10.1249/00005768-199408000-00023]

27. Pasco JA, Stuart AL, Holloway-Kew KL, Tembo MC, Sui SX, Anderson KB, et al. Lower-limb muscle strength: normative data from an observational population-based study. BMC Musculoskeletal Disorders. 2020;21(1):89. [DOI:10.1186/s12891-020-3098-7]

28. Oliver GD, Plummer HA, Washington JK, Weimar WH, Brambeck A. Effects of game performance on softball pitchers and catchers. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2019;33(2):466-73. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001848]

29. Navacchia A, Ueno R, Ford KR, DiCesare CA, Myer GD, Hewett TE. EMG-informed musculoskeletal modeling to estimate realistic knee anterior shear force during drop vertical jump in female athletes. Annals of Biomedical Engineering. 2019;47(12):2416-30. [DOI:10.1007/s10439-019-02318-w]

30. Coge M, Neiva HP, Pereira A, Faíl L, Ribeiro B, Esteves D. Effects of 34 weeks of military service on body composition and physical fitness in military cadets of Angola. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2024;9(3):111. [DOI:10.3390/jfmk9030111]

31. Santtila M, Kyröläinen H, Häkkinen K. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2009;23(4):1300-8. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181a884bc]

32. Kraemer WJ, Vescovi JD, Volek JS, Nindl BC, Newton RU, Patton JF, et al. Effects of concurrent resistance and aerobic training on load-bearing performance and the Army physical fitness test. Military Medicine. 2004;169(12):994-9. [DOI:10.7205/MILMED.169.12.994]

33. Groeller H, Burley S, Orchard P, Sampson JA, Billing DC, Linnane D. How effective is initial military-specific training in the development of physical performance of soldiers? The Journal of Strength & Conditioning Research. 2015;29:S158-S62. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001066]

34. Rosendal L, Langberg H, Skov-Jensen A, Kjær M. Incidence of injury and physical performance adaptations during military training. Clinical Journal of Sport Medicine. 2003;13(3):157-63. [DOI:10.1097/00042752-200305000-00006]

35. Hofstetter M-C, Mäder U, Wyss T. Effects of a 7-week outdoor circuit training program on Swiss Army recruits. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2012;26(12):3418-25. [DOI:10.1519/JSC.0b013e318245bebe]

36. Aleksandr R, Serhii R, Viktor R, Aleksandr B, Vitalii K, Vyacheslav A, et al. Research on the organism response of reconnaissance officers on the specific load of military exercises. Journal of Physical Education and Sport. 2016;16(1):132-139.

37. Fyfe JJ, Hamilton DL. Spinal cord-level adaptations to resistance training: the'backbone'of early strength gains? Journal of Physiology. 2019;597(11). [DOI:10.1113/JP277893]

38. Keefe G, Wright C. An intricate balance of muscle damage and protein synthesis: the key players in skeletal muscle hypertrophy following resistance training. The Journal of Physiology. 2016;594(24):7157. [DOI:10.1113/JP273235]

39. Legg SJ, Duggan A. The effects of basic training on aerobic fitness and muscular strength and endurance of British Army recruits. Ergonomics. 1996;39(12):1403-18. [DOI:10.1080/00140139608964560]

40. O'Bryan SJ, Giuliano C, Woessner MN, Vogrin S, Smith C, Duque G, et al. Progressive resistance training for concomitant increases in muscle strength and bone mineral density in older adults: a systematic review and meta-analysis. Sports Medicine. 2022;52(8):1939-60. [DOI:10.1007/s40279-022-01675-2]

41. Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. British Journal of Sports Medicine. 2018;52(6):376-84. [DOI:10.1136/bjsports-2017-097608]

42. 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 Military Health. 2021;167(6):418-23. [DOI:10.1136/jramc-2019-001312]

43. Steinberg N, Bar-Sela S, Moran U, Pantanowitz M, Waddington G, Adams R, et al. Injury prevention exercises for reduced incidence of injuries in combat soldiers. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2021;35(11):3128-38. [DOI:10.1519/JSC.0000000000004053]

44. Kounalakis S, Karagiannis A, Kostoulas I. Balance training and shooting performance: the role of load and the unstable surface. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2024;9(1):17. [DOI:10.3390/jfmk9010017]

45. Thompson KR, Mikesky AE, Bahamonde RE, Burr DB. Effects of physical training on proprioception in older women. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2003;3(3):223-31.

46. Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB. The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. British Journal of Sports Medicine. 2014;48(11):871-7. [DOI:10.1136/bjsports-2013-092538]

47. Zhang Y, Smeets JB, Brenner E, Verschueren S, Duysens J. Effects of ageing on responses to stepping-target displacements during walking. European Journal of Applied Physiology. 2021;121(1):127-40. [DOI:10.1007/s00421-020-04504-4]

48. Cooper Ci, Moon HY, Van Praag H. On the run for hippocampal plasticity. Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine. 2018;8(4):a029736. [DOI:10.1101/cshperspect.a029736]

49. Liang J, Wang H, Zeng Y, Qu Y, Liu Q, Zhao F, et al. Physical exercise promotes brain remodeling by regulating epigenetics, neuroplasticity and neurotrophins. Reviews in the Neurosciences. 2021;32(6):615-29. [DOI:10.1515/revneuro-2020-0099]

50. Huang Z, Zhang Y, Zhou R, Yang L, Pan H. Lactate as potential mediators for exercise-induced positive effects on neuroplasticity and cerebrovascular plasticity. Frontiers in Physiology. 2021;12:656455. [DOI:10.3389/fphys.2021.656455]

51. Mohammadi F, Azma K, Naseh I, Emadifard R, Etemadi Y. Military exercises, knee and ankle joint position sense, and injury in male conscripts: a pilot study. Journal of Athletic Training. 2013;48(6):790-6. [DOI:10.4085/1062-6050-48.3.06]

52. Shakibirad A, Babagoltabar Samakoush H, Jalili R. Comparison of physical performance related to the health of students of Imam Ali University at different levels of education. Military Management Quarterly. 2025;24(96):143-73.

53. Moon D, Jung J. Effect of incorporating short-foot exercises in the balance rehabilitation of flat foot: a randomized controlled trial. Healthcare. 2021;9(10):1358. [DOI:10.3390/healthcare9101358]