Journal of Police Medicine

Summer 2013; Vol. 2, No. 2: 75-84

Original Article

The Effect of Step Length on Vertical and Posterior Components of Ground Reaction Force and Loading Rate During Fixed-Cadence Marching: Implications for Lower Extremity Stress Fracture in Military

Received: 21 June 2013 **Revised:** 24 August 2013 **Accepted:** 27 August 2013

Ali Majidi[1]
Sareh Samadi [2]
Nima Soleymanzadeh-Ardabili[2*]
Aliakbar Gol-Mohammadi[3]
Hadi Shirzad[2]
Ghasem Mohebbi[4]

[1]Neurosurgeon, Department of Police (NAJA) Medicine, Tehran, Iran
[2]Center of Applied Research, Department of Police (NAJA) Medicine, Tehran, Iran
[3]Assistance professor of Police University, Tehran, Iran
[4]Riot Police, NAJA, Tehran, Iran

ABSTRACT

Background: Stress fracture occur following bone exposure to cyclic sub-threshold loadings before repairing previous micro-fractures. The aims of this study were: 1) to assess and compare the ground reaction force and loading rate responses of the fixed-cadence marching at the fourth step and single-leg landing; and 2) the effect of over striding in the fourth step of fixed-cadence marching on the ground reaction forces and loading rates.

Materials and Methods: a total of ten male students of Police (NAJA) University were enrolled. Five experiments including two single leg landing, two fixed-cadences marching, and regular running experiments were applied. The experiments data were collected with 200 Hertz using a force plate device.

Results: The results showed a high correlation between the fixed-cadence marching at the fourth step and single leg landing with both studied step lengths for the peak vertical and posterior components of ground reaction force and loading rate ($r = 0.863$, $r = 0.781$, $r = 0.847$, and $r = 0.798$ for step length of 25 centimeter, and $r=0.865$, $r=0.74$, $r=0.831$, and $r=0.716$ for step length of 50 centimeter; $p <0.05$). By increasing the step length, all variables increased significantly ($p <0.05$). The increase in the amount and rate of ground reaction forces can increase the risk of stress fracture on the lower extremities of soldiers and officers.

Conclusion: As a mechanism to prevent over striding and consequently stress fractures in the fixed-cadence marching, it is suggested that recruits with the same height can be arranged to a group during marching, so that their step length maintain around their preferred one.

[*]**Corresponding Author:**
MSc of Biomedical Engineering,
Tel : (+98) 2177536993
Email: teb@police.ir

Keywords: stress fracture, biomechanics, ground reaction force, loading rate, step length, single leg landing

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

تابستان ۱۳۹۲ – شماره ۲ – مسلسل ۲– صفحات ۸۴-۷۵

مجله طب انتظامی

مقاله تحقیقی

تاثیر طول گام بر مولفه‌های عمودی و خلفی نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری در حین انجام حرکت «بدو–رو»: مولفه‌ای برای خطر شکستگی استرسی در اندام تحتانی نظامیان

تاریخ دریافت: ۳۱ مرداد۱۳۹۲ **تاریخ اصلاح:** ۲ شهریور ۱۳۹۲ **تاریخ پذیرش:** ۴ شهریور ۱۳۹۲

چکیده

مقدمه: شکستگی استرسی در پی قرار گرفتن استخوان تحت بارگذاری متناوب و زیر آستانه شکست، پیش از آنکه ترک‌های میکروسکوپی فرصت ترمیم یابند، ایجاد می‌شود. هدف از این تحقیق ۱) بررسی و مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در گام چهارم حرکت بدو–رو، دویدن عادی و فرود تک پا؛ و ۲) بررسی تأثیر افزایش طول گام در گام چهارم حرکت بدو–رو بر نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری بوده است.

مواد و روش‌ها: ۱۰ نفر از دانشجویان مرد دانشگاه علوم انتظامی در این مطالعه شرکت کردند. پنج آزمایش شامل دو آزمون فرود تک پا، دو آزمون حرکت بدو–رو و یک آزمون دویدن عادی را انجام دادند. اطلاعات آزمونها توسط دستگاه صفحه نیرو و با فرکانس نمونه برداری ۲۰۰ هرتز جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که همبستگی بالایی بین حداکثر مؤلفه‌های عمودی و خلفی نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری در حرکت بدو–رو و فرود تک‌پا در دو طول گام مورد آزمایش وجود دارد (به ترتیب r=۰/۹۱۷، r=۰/۷۸۱، r=۰/۸۴۷، r=۰/۷۹۸ برای طول گام ۲۵ سانتیمتر و r=۰/۸۶۵، r=۰/۷۴۲، r=۰/۸۳۱، r=۰/۷۱۶، برای طول گام ۵۰ سانتیمتر، (p<۰/۰۵). با افزایش طول گام، تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده به صورت معنی‌داری افزایش می‌یابند (p<۰/۰۵).

نتیجه گیری: برای پیشگیری از آسیب استرسی در حرکت بدو–رو، پیشنهاد می‌شود که سربازان و افسران با حداقل اختلاف قد در یک گروه قرارگیرند تا طول گام همگی افراد در حین حرکت بدو–رو نزدیک به طول گام ترجیحی آنها باشد.

کلید واژه‌ها: شکستگی استرسی، بیومکانیک، نیروی عکس‌العمل زمین، نرخ بارگذاری، طول گام، فرود تک پا

علی مجیدی[۱]
ساره صمدی[۲]
نیما سلیمان زاده اردبیلی[۲*]
علی اکبر گل محمدی[۳]
هادی شیرزاد[۲]
قاسم محبی[۴]

[۱]متخصص جراحی مغز و اعصاب، بهداری کل ناجا، تهران، ایران

[۲]مرکز تحقیقات کاربردی بهداری کل ناجا، تهران، ایران

[۳]استادیار دانشگاه علوم انتظامی، گروه علوم پزشکی و جنایی، تهران، ایران

[۴]یگان ویژه ناجا، تهران، ایران

[*]نویسنده مسئول:
کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی
تلفن:۲۱۷۷۵۳۶۹۹۳(۹۸+)
پست الکترونیک: teb@police.ir

مقدمه

افسران و سربازان در دوره آموزش نظامی، به علت انجام تمرینات فیزیکی مداوم و گاهی سخت، مستعد ایجاد آسیب در اندام تحتانی می شوند. کوتاهی قد افراد در دوره آموزش نظامی به عنوان یکی از عوامل خطر مستقل برای آسیب ورزشی اندام تحتانی شناخته شده است [۱]. افسران و سربازان در دوره آموزش نظامی، به کرات حرکتی به نام «بدو – رو» را انجام می دهند که در آن سرعت حرکت و نرخ گامها طی زمان حرکت ثابت است. هنگامی که این دو

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

Journal of Police Medicine
Summer 2013; Vol. 2, No. 2: 75-84

متغیر از سوی سربازان بلندقد – که در صف اول گروه قرار دارند – به سایر افراد گروه دیکته می شود، افراد کوتاه قدتر برای حفظ سرعت حرکت رو به جلو، مجبور به برداشتن گامهایی با طول بیشتر می‌شوند. برداشتن گامهای با طول بیشتر از طول گام ترجیحی در این افراد ممکن است مقدار و نرخ بارگذاری مکانیکی را در اندام تحتانی افزایش داده و منجر به ایجاد آسیب اندام تحتانی به ویژه شکستگی استرسی شود [۲].

شکستگی استرسی[1] استخوان در اندام تحتانی سربازان هم از جهت هزینه درمانی و هم از نظر زمانی می تواند برای نیروهای مسلح هزینه بر باشد. استخوان تیبیا[2] یکی از شایعترین نواحی برای این آسیب بوده و عمدتاً بعلت تمرین و ممارست در رژه نظامی، دویدن و فعالیت های فیزیکی پی در پی و تکرار شونده در دوره آموزش نظامی سربازان رخ می دهد [۳]. این شکستگی‌ها از جمله عوارض جدی دوره آموزش نظامی بوده و زمان زیادی – بین ۴ تا ۸ هفته – برای رسیدن به بهبودی نسبی می طلبد. در صورت عدم معالجه، این شکستگی های ریز و ظریف، منجر به شکستگی کامل می شود [۴]. زمان درمان طولانی این عارضه باعث می شود که سرباز مصدوم عملا دوره آموزش نظامی را از دست داده و در آینده نیز کارآیی لازمه را نداشته باشد.

شکستگی استرسی در نتیجه بارگذاری متناوب با مقادیر تنش زیر مقاومت نهایی استخوان (بارگذاری زیر آستانه[3]) ایجاد می‌شود. این شکستگی به دو صورت شکستگی حاصل از ناکارآمدی[4] یا شکستگی خستگی[5] توصیف می‌شوند [۴]. شکستگی استرسی یکی از عمده دلایل ایجاد آسیب اسکلتی در ورزشکاران و نیروهای نظامی است. شیوع آن در نیروهای نظامی تا ۳۱٪ گزارش شده [۳] و این شکستگی ۱۰٪ از کل آسیب های ورزشی را تشکیل می‌دهد [۵].دوره آموزش نظامی و شکستگی استرسی ارتباط تنگاتنگی دارند. اولین گزارش شکستگی استرسی در مقالات، در سال ۱۸۵۵ میلادی بوده است. پزشکی از ارتش پروس[6] سابق بنام بریتهاوپت سندرمی از یک پای متورم دردناک توصیف کرده که در ارتباط با رژه نظامی ایجاد شده بود. وی این سندرم را «شکستگی رژه» نامید [۶]. در پی آن، درصد بالایی از مقالات در حیطه شکستگی استرسی در ارتباط با نیروهای نظامی ارائه شده‌اند که این واقعیت حاکی از شیوع بالای این شکستگی بین نیروهای نظامی در مقایسه با جامعه ورزشکاران است. میلگروم[7] و همکارانش [۳] مطالعه‌ای آینده نگر بر روی ۲۹۵ نیروی نظامی مرد طی دوره ۱۴ هفته‌ای آموزش نظامی انجام دادند و میزان شیوع شکستگی استرسی را ۳۱٪ گزارش کردند. سایر مطالعات در نیروهای نظامی، شیوع کمتری را گزارش کرده‌اند. راس و همکارانش شیوع ۷٪ در دوره ۳۰ هفته‌ای آموزش نظامی [۷] و شافر و همکارانش شیوع ۴٪ را در دوره ۱۲ هفته‌ای آموزش نظامی در نیروی دریایی آمریکا گزارش کرده‌اند[۸].ناحیه‌ای از سیستم اسکلتی که خطر شکستگی استرسی در آن وجود دارد، به وضوح به فعالیت فیزیکی آن ناحیه وابسته است. بخش بسیار بزرگی از این نوع شکستگی ها در اندام‌های تحتانی رخ می‌دهند. اما توزیع شیوع آن در قسمت‌های مختلف اندام تحتانی در نظامیان مرد و زن تا حدودی متفاوت است. به طور مثال میلگروم و همکاران [۳] توزیع شکستگی استرسی را در نیروهای نظامی مرد ۵۱/۲٪ در تیبیا، ۲۹/۸٪ در فمور[8] و ۷/۶٪ در متاتارسال[9] گزارش کرده‌اند. در صورتی که راه و همکاران [۹] این توزیع را در زنان نظامی، ۶/۵۷٪ در تیبیا، ۲/۱۵٪ در لگن[10]، ۱۰/۶٪ در فمور و ۱۰/۶٪ در متاتارسال گزارش کرده‌اند. آنچه که مسلم است این است که تیبیا شایعترین ناحیه در اندام تحتانی از نظر میزان بروز شکستگی استرسی بوده و درصد بالایی از این شکستگی‌ها در این ناحیه رخ می‌دهد.

شیوع شکستگی استرسی در افراد با سابقه ی فعالیت فیزیکی کم یا بدون فعالیت فیزیکی در مقایسه با افراد فعال قبل از شروع دوره آموزش نظامی بیشتر است [۱۲-۱۰]. فاکتورهای زیادی از جمله قدرت عضلانی کم، استقامت پایین و انعطاف بدنی ضعیف ممکن است در این خصوص نقش داشته باشند. عضلات در حین حرکت تنش مکانیکی حاصل از بارگذاری ضربه‌ای را از استخوان جذب کرده و به سایر اندام‌ها توزیع می‌کند. ضعف یا خستگی عضله باعث کاهش قابلیت جذب شوک از استخوان شده و خطر بروز شکستگی استرسی را افزایش می‌دهد [۱۳].از دیدگاه بیومکانیکی، حرکت بدو-رو با دویدن عادی تفاوتهایی دارد. تماس زمین در حین دویدن پاشنه – پنجه، بطور طبیعی با پشت پا شروع می شود، در حالی که تماس زمین در حرکت بدو-رو با سینه پا شروع می‌شود. شخص دونده در هر تناوب از حرکت بدو –رو، سه گام را تقریباً مشابه دویدن عادی طی کرده و گام چهارم را بصورت متفاوتی برمی‌دارد. بدین معنی که در گام سوم بر روی پای چپ خویش تا ارتفاعی در حدود ۱۰ سانتی متر جهش کرده و در گام چهارم با سینه پای راست بر روی زمین فرود می‌آید. مکانیک گام چهارم حرکت بدو-رو بسیار شبیه فرود تک پا است که در آن نیز تماس زمین بطور طبیعی با سینه پا شروع می‌شود.

در حین انجام فعالیت های تحمل کننده وزن مانند راه رفتن، دویدن واکثر فعالیت‌های ورزشی و تمرینات نظامی از جمله پرش از ارتفاع، بدو-رو و رژه نظامی، اندام‌های تحتانی به مقدار زیادی مسئول توانایی بدن برای جذب شوک هنگام تماس پا با زمین و کاهش نرخ

[1:] Stress fracture , [2:]Tibia, [3:]Sub-threshold loading, [4:]Insufficiency fracture, [5:]Fatigue fracture, [6:]Prussia, [7:]Milgrom, [8:]Femur, [9:]Metatarsal, [10:]Pelvis

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

مجله طب انتظامی
تابستان ۱۳۹۲ - شماره ۲ - مسلسل ۲- صفحات ۸۴-۷۵

بار هستند [۱۴]. نرخ بار (ROL) اندازه‌ای از مقدار ضربه (فشار) اعمال شده بر بافت ها می باشد [۱۵ و ۱۴] که افزایش اثر آن مبین توانایی کم برای جذب شوک و شاخصی برای اعمال فشار بالا بر اندام تحتانی در زمان کوتاه می باشد. از سرعت حرکت، نوع کفش، وزن بدن، ارتفاع و ترکیب سطح فرود و استراتژی فرود به عنوان عوامل تاثیرگذار در تعیین مقدار نرخ بار نام برده شده است [۱۴]. از آنجایی که اعمال تکراری نیروهای پر ضربه بر بدن می تواند منجر به صدمه شود و نقص اجرای مهارت عملکردی را به همراه داشته باشد [۱۴]، لذا توانایی کنترل و جذب مناسب این نیروها در حین فعالیت های عملکردی در پیشگیری از بروز آسیب از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد [۱۶]. اگر چه با مرور در مقالات، اندازه مشخصی از مقدار و نرخ بار به عنوان آستانه‌ی ایجاد آسیب استرسی بر اندام تحتانی مشاهده نمی‌شود. لیکن، فرضیه ارتباط بین نیروهای آسیب زا با مقدار نیرو و نرخ بار اعمال شده مطرح است [۱۴]. درک این موضوع که آیا رابطه‌ای بین بارگذاری بر اندام تحتانی و طول گام در حرکت بدو-رو یا فاصله افقی فرود آمدن از ارتفاع وجود دارد یا نه، در جهت تعیین برنامه مناسب برای پیشگیری از وقوع شکستگی استرسی در سربازان نقش مهمی ایفا می کند.

تحقیقات متعددی بر روی بیومکانیک راه رفتن، دویدن و فرود تک پا از ارتفاع انجام شده، اما بر اساس دانش کنونی ما، تا به حال هیچ تحقیقی در رابطه با بررسی مقدار و نرخ بارگذاری مکانیکی در حرکت بدو-رو انجام نشده است. لذا بررسی بیومکانیکی این حرکت می‌تواند به درکی کمی از مقدار نیروی وارده به اندام تحتانی و ارتباط این بارگذاری با آسیب اندام تحتانی کمک کند. از آنجایی که به نظر می‌رسد در گام چهارم حرکت بدو-رو نسبت به سه گام اول آن ضربه‌ی بزرگتری به اندام تحتانی وارد می‌شود، در تحقیق حاضر تنها گام چهارم این حرکت مد نظر قرار گرفته و در متن مقاله، هر جایی که سخن از حرکت بدو-رو به میان آمده، مقصود اصلی گام چهارم آن است.

هدف از این تحقیق ۱) بررسی و مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در گام چهارم حرکت بدو-رو، دویدن عادی و فرود تک پا و ۲) بررسی تاثیر افزایش طول گام در گام چهارم حرکت بدو-رو بر نیروی عکس‌العمل زمین بوده است.

مواد و روش ها

۱۰ نفر از دانشجویان مرد دانشگاه علوم انتظامی وابسته به نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران با میانگین سن (۲۱/۳ سال)، میانگین قد (۱۷۶/۸ سانتی متر) و میانگین وزن (۷۳/۲۷ گیلوگرم) به طور داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. آزمودنی‌های تحقیق، پنج آزمایش شامل دو آزمون فرود تک پا، دو آزمون حرکت بدو-رو و یک آزمون دویدن عادی را انجام دادند. در آزمون فرود تک پا، آزمودنی‌ها با پای برهنه روی جعبه‌ای به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر قرار گرفتند که با فاصله‌های ۲۵ و ۵۰ سانتیمتر نسبت به صفحه نیرو که به عنوان سطح فرود در نظر گرفته شده، قرار داده شده بود. قبل از انجام تست، تمام آزمودنی‌ها به آموزش‌هایی در ارتباط با شناسایی پروتکل فرود آمدن آشنا شدند. آزمودنی‌ها روی جعبه به حالت راحت، تحمل وزن کامل، ایستاده روی هر دو پا و با دست های به لگن تکیه داده شده قرار گرفته، در حالی که به آنها آموزش داده شد تا از روی جعبه خودشان را به پایین رها کنند و عمل فرود یک پا را با پای راست در مرکز صفحه نیرو انجام دهند. به منظور مشخص کردن مرکز صفحه نیرو، یک نخ ابریشمی در مرکز صفحه نیرو و عمود بر مسیر حرکت قرار داده شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد بعد از فرود آمدن سعی نمایند تعادل خودشان را بعد از تماس با صفحه نیرو حفظ کنند. به آزمودنی‌ها اجازه داده شد تا حرکت فرود آمدن را به دفعات دلخواه تمرین کنند تا هنگام انجام حرکت فرود آمدن احساس راحتی کنند. سپس آزمودنی‌ها حرکت فرود آمدن را بر روی پای راستشان انجام دادند و سه فرود قابل قبول آنها ثبت شد. فرود قابل قبول شامل تماس سینه پا در ابتدا، حفظ تعادل، توانایی فرود آمدن بدون جهش کوتاه بود [۱۴].

در آزمون بدو-رو، آزمودنی‌ها در نرخ گام ثابت، یک بار با طول گام ۲۵ سانتی متر و بار دیگر با طول گام ۵۰ سانتی متر حرکت بدو-رو را انجام دادند. به منظور یکسان کردن طول گام آزمودنی‌ها در طول آزمایش، از دو نخ ابریشمی به رنگهای سفید و سیاه که به ترتیب به فاصله ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری از مرکز صفحه نیرو و عمود بر مسیر، بر روی سطح حرکت آزمودنی‌ها تعبیه شده بود، استفاده شد. به منظور مشخص کردن مرکز صفحه نیرو، یک نخ ابریشمی قرمزرنگ نیز در مرکز صفحه نیرو و عمود بر مسیر حرکت قرار داده شد. برای انجام آزمایش با طول گام ۲۵ سانتی‌متر، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا به هنگام انجام حرکت بدو-رو، در گام سوم، پنجه پای چپشان را دقیقاً پشت نخ سفید قرار داده و در گام چهارم، پنجه پای راستشان را دقیقاً پشت نخ قرمز رنگ قرار دهند. برای انجام آزمایش با طول گام ۵۰ سانتی‌متر، از آزمودنی‌ها خواسته شد که مشابه آزمون قبلی رفتار کرده، بجای نخ سفید رنگ، پنجه پای چپشان را دقیقاً پشت نخ سیاه قرار دهند. برای ثابت ماندن نرخ گام در این آزمون، از یک مترونوم(Musedo – MT40, Cherub Technology Co., Ltd, Shenzhen, China) استفاده شد، که ضرب آهنگ مورد نظر را برای آزمودنی با صدای بلندی پخش

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

Journal of Police Medicine
Summer 2013; Vol. 2, No. 2: 75-84

می‌کرد. سرعت ضرب‌آهنگ طوری تنظیم شد که نرخ گام آزمودنی، ۲ گام در ثانیه باشد. به آزمودنی‌ها اجازه داده شد تا حرکت بدو–رو را به دفعات دلخواه تمرین کنند تا با پروتکل آزمایش کاملاً آشنا شوند. سپس آزمودنی‌ها حرکت بدو–رو را با دو طول گام ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر انجام دادند و سه گام قابل قبول آنها ثبت شد. گام قابل قبول شامل تماس سینه پا در ابتدا، رعایت کردن فاصله طول گام سوم و چهارم و نرخ ۲ گام در ثانیه در طول آزمایش بود.

در آزمون دویدن عادی، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در نرخ گام ثابت (۲ گام در ثانیه) و با طول گام ترجیحی، بطور عادی بدوند. برای ثابت ماندن نرخ گام در این آزمون، مشابه آزمون بدو رو از یک مترونوم استفاده شد. در این آزمون نیز مانند آزمونهای قبلی، نیروی عکس‌العمل زمین برای پای راست ثبت شد. ضمن اینکه آزمایش برای هر آزمودنی سه بار تکرار شده و اطلاعات سه گام قابل قبول آنها ثبت گردید. گام قابل قبول، تنها شامل رعایت کردن نرخ ۲ گام در ثانیه در طول آزمایش بود.

اطلاعات آزمونهای فرود تک پا، بدو–رو و دویدن عادی توسط دستگاه صفحه نیرو و با فرکانس نمونه برداری ۲۰۰ هرتز جمع آوری شد.

با استفاده از اطلاعات کسب شده از صفحه نیرو، نیروی عکس العمل عمودی و خلفی زمین (به ترتیب VGRFو PGRF) و ROL تحلیل شد. سپس از میانگین تکرارها برای بدست آوردن حداکثر VGRF و PGRF استفاده شد (شکل ۱). حداکثر GRF عمودی و خلفی به عنوان حداکثر نیروی ثبت شده در حین آزمون (که با تقسیم بر وزن آزمودنی ها نرمال شده بود) در نظر گرفته و به عنوان مضربی از وزن بدن (BW) بیان شد. سپس زمان رسیدن به حداکثر نیرو (که فاصله زمانی بین اولین تماس پا با صفحه نیرو و رسیدن به حداکثر نیروی عمودی و خلفی بود)، محاسبه و به ترتیب Tv و Tp نام گذاری شد [۱۴]. VROL و PROL، به ترتیب بصورت حداکثر نیروی عمودی و خلفی نرمال شده تقسیم بر زمان رسیدن به حداکثر نیروی عمودی و خلفی محاسبه شد. به عبارت دیگر:

$$VROL = {}^{VGRF}/_{\mathrm{Tv}}$$

$$PROL = {}^{PGRF}/_{\mathrm{Tp}}$$

آنالیز آماری

در موردهر یک از آزمودنی‌ها، مقادیر مربوط به پیک مؤلفه عمودی و خلفی نیروهای عکس العمل زمین (به ترتیب VGRF و PGRF) و پیک مؤلفه عمودی و خلفی نرخ بارگذاری (به ترتیب VROL و PROL)، در هر آزمون میانگین‌گیری شدند (متغیرهای مستقل). آزمون‌های ANOVA یک سویه اندازه‌گیری تکراری برای بررسی تاثیر فاصله طولی فرود تک پا و همچنین طول گام در حرکت بدو رو بر روی چهار متغیر مستقل مذکور انجام شد. آزمون Post-hoc (با مقایسه‌های جفت شده برای دو طول گام و فاصله طولی فرود ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر) با استفاده از آزمون T نمونه وابسته انجام شد. به منظور بررسی ارتباط بین دو حرکت فرود تک پا و بدو رو در حالتی که فاصله افقی فرود تک پا و طول گام بدو–رو با هم برابر بوده‌اند، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین برای بررسی تفاوت متغیرهای مستقل تحقیق در دویدن عادی نسبت به حرکت‌های بدو رو و فرود تک پا در طول گام و فاصله طولی آزمایش (۲۵ و ۵۰ سانتیمتر) از آزمون T جفت شده استفاده شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Version 16, Chicago, IL, USA) انجام گرفت.

یافته ها

در شکل (۱) تغییرات مؤلفه عمودی نیروی عکس العمل زمین بر حسب زمان و در شکل (۲) تغییرات مؤلفه خلفی نیروی عکس العمل

متغیر	دویدن	گام چهارم بدو–رو		فرود تک پا	
		طول گام ۲۵ سانتی‌متر	طول گام ۵۰ سانتی‌متر	فاصله طولی ۲۵ سانتی‌متر	فاصله طولی ۵۰ سانتی‌متر
VGRF (BW)	۴۳/۲ (±۰/۳۱)	۵۸/۳ (±۰/۶۷)	۴۹/۳ (±۰/۸۲)	۹۳/۳ (±۰/۵۶)	۸۸/۳ (±۰/۷۱)
PGRF (BW)	-۲۱/۰ (±۰/۰۵)	-۵۳/۰ (±۰/۰۹)	-۶۹/۰ (±۰/۱۴)	-۴۹/۰ (±۰/۰۴)	-۶۳/۰ (±۰/۰۶)
VROL (BW/s)	۴۳/۸۳ (±۷/۶۴)	۷۳/۱۴۷(±۱۷/۵۱)	۱۲/۱۴۲(±۳۴/۸۸)	۳۹/۱۷۵(±۲۳/۲۷)	۹۱/۱۷۹(±۲۱/۴۳)
PROL (BW/s)	-۱۲/۸ (±۳/۲۹)	-۶۳/۲۴ (±۹/۹۲)	-۷۲/۳۸ (±۷/۲۹)	-۰۷/۱۸ (±۶/۶۲)	-۲۶/۲۹ (±۹/۱۷)

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار حداکثر مؤلفه عمودی و خلفی نیروی عکس العمل زمین (VGRF و PGRF) و نیز حداکثر مؤلفه عمودی و خلفی نرخ بارگذاری مکانیکی (VROL و PROL) در سه حالت دویدن عادی، حرکت بدو–رو و فرود تک پا. توجه کنید که مقادیر میانگین و انحراف معیار به صورت (انحراف معیار) میانگین آمده است.

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

مجله طب انتظامی
تابستان ۱۳۹۲ - شماره ۲ - مسلسل ۲- صفحات ۸۴-۷۵

	SLL25 و BR25				SLL50 و BR50			
نام متغیر	VGRF	PGRF	VROL	PROL	VGRF	PGRF	VROL	PROL
Pearson's r	۰/۹۱۷	۰/۷۸۱	۰/۸۴۷	۰/۷۹۸	۰/۸۶۵	۰/۷۴۲	۰/۸۳۱	۰/۷۱۶
P value	‹۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۴	۰/۰۳۹

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون‌های همبستگی پیرسون برای متغیرهای تحقیق در دو حالت. همبستگی بین فرود تک پا با فاصله طولی ۲۵ سانتیمتر و بدو-رو با طول گام ۲۵ سانتیمتر (SLL25 و BR25) و همبستگی بین فرود تک پا با فاصله طولی ۵۰ سانتیمتر و بدو-رو با طول گام ۵۰ سانتیمتر (SLL50 و BR50)

زمین بر حسب زمان در حرکت بدو-رو (با طول گام ۲۵ سانتی‌متر) مربوط به یکی از شرکت کنندگان آزمایش نشان داده شده است. در جدول (۱) میانگین و انحراف معیار مؤلفه عمودی و خلفی نیروی عکس العمل زمین (VGRF و PGRF) و نیز مؤلفه عمودی و خلفی نرخ بارگذاری مکانیکی (VROL و PROL) در سه حالت دویدن عادی، حرکت بدو-رو و فرود تک پا نشان داده شده است. با مقایسه این میانگین‌ها (شکل ۳) درمی‌یابیم که هم در حرکت بدو-رو و هم در فرود تک‌پا، با افزایش طول گام و فاصله طولی پرش، حداکثر مقدار و نرخ نیرو در مولفه خلفی عکس‌العمل زمین افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر میانگین تمام متغیرها در حرکت بدو-رو در هر دو طول گام نسبت به دویدن عادی بیشتر است.

نتایج حاصل از آزمون‌های آماری پیرسون، همبستگی بالایی را بین فرود تک پا و بدو-رو (در دو حالت طول گام ۲۵ و ۵۰ سانتیمتر) برای تمامی متغیرهای تحقیق (VGRF، PGRF، VROL و PROL) نشان می‌دهد. این نتایج همگی در جدول (۲) آورده شده است. براساس نتایج حاصل از آزمون‌های مندرج در جدول (۳)، با افزایش طول گام در حرکت بدو-رو و همچنین با افزایش فاصله افقی فرود تک پا از ۲۵ به ۵۰ سانتیمتر ، در بیشینه‌ی مؤلفه خلفی نیروی عکس العمل زمین و نرخ بارگذاری (PGRF و PROL) بطور معنی‌داری افزایش ایجاد می‌شود($p<۰/۰۵$)، اما در مورد دو متغیر دیگر، این تفاوت معنی‌دار نیست ($p>۰/۰۵$). با مراجعه به شکل (۳) این مطلب بهتر آشکار می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی و مقایسه نیروی عکس‌العمل زمین در گام چهارم حرکت بدو-رو، دویدن عادی و فرود تک پا و نیز بررسی تاثیر افزایش طول گام در گام چهارم حرکت بدو-رو بر نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری انجام گرفت.

با مقایسه‌ی مقادیر میانگین مؤلفه عمودی و خلفی نیروی عکس العمل زمین (VGRF و PGRF) در دو حالت فرود تک پا و گام چهارم حرکت بدو-رو (شکل ۳) نتیجه می‌شود که روند تغییرات این مقادیر در این دو حرکت تقریباً یکسان است. آزمون همبستگی پیرسون نیز مصدق همین واقعیت است (به جدول ۲ مراجعه شود). با توجه به اینکه در حرکت بدو-رو هیچ کنترلی بر ارتفاع پرش وجود ندارد، برای بررسی تاثیر ارتفاع پرش بر نیروهای عکس العمل زمین و نیز نرخ بارگذاری بر اندام تحتانی، نمی‌توان مستقیماً از انجام حرکت بدو-رو استفاده کرد؛ لذا با توجه به این نتایج می‌توان برای انجام این بررسی، آزمایش را به صورت کنترل شده و با ارتفاع پرش مشخص برای حرکت فرود تک پا انجام داد.

با ثابت ماندن نرخ گام، و تنها با تغییر در نحوه‌ی دویدن از حالت عادی به حرکت بدو-رو، تمامی متغیرهای تحقیق افزایش یافته‌اند (جدول ۱). افزایش مقدار نرخ بارگذاری مکانیکی بر اندام تحتانی موجب اعمال نیرو و انرژی بیشتری به استخوان‌های اندام تحتانی شده و خطر ایجاد آسیب در این استخوان‌ها را افزایش می‌دهد [۱].

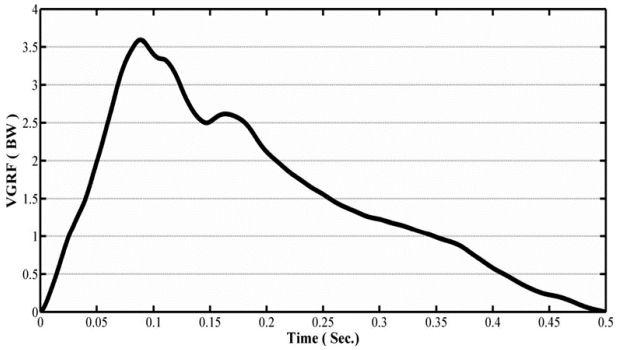
	BR25 - BR50				SLL25 - SLL50			
نام متغیر	VGRF	PGRF	VROL	PROL	VGRF	PGRF	VROL	PROL
P value	۰/۲۴۸	۰/۰۰۲	۰/۱۶۷	۰/۰۰۱	۰/۱۷۳	۰/۰۱۲	۰/۱۹۲	۰/۰۰۷

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون‌های ANOVA Post-hoc برای بررسی تأثیر فاصله طولی فرود تک پا و همچنین طول گام حرکت بدو-رو بر روی چهار متغیر تحقیق

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

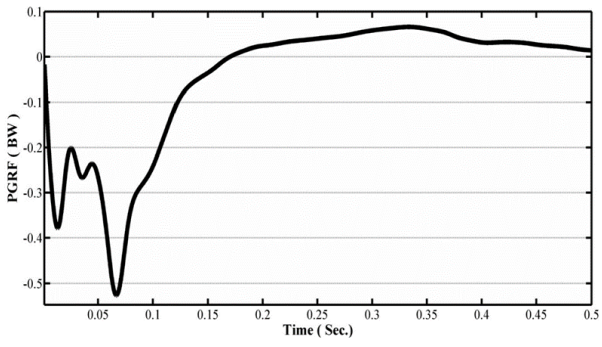
Journal of Police Medicine
Summer 2013; Vol. 2, No. 2: 75-84



شکل ۱: مؤلفه عمودی نیروی عکس العمل زمین در حرکت بدو–رو با طول گام ۲۵ سانتی‌متر مربوط به یکی از شرکت کنندگان در تحقیق

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دویدن بدو–رو به جای دویدن عادی باعث افزایش خطر شکستگی استرسی در اندام تحتانی می‌شود.

با افزایش طول گام در گام چهارم حرکت بدو–رو مؤلفه‌ی خلفی نیروی عکس العمل زمین و نیز مولفه خلفی نرخ بارگذاری (به ترتیب PGRF و PROL) افزایش چشمگیری نشان می‌دهند. این در حالی است که مؤلفه‌ی عمودی نیروی عکس العمل زمین و نرخ بارگذاری (به ترتیب VGRF و VROL) از دیدگاه آماری تغییر معنی‌داری نکرده است (جدول ۳). نتایج حاصل از آزمون های Post hoc در مورد فردو تک پا نیز روندی مشابه را نشان می‌دهند؛ بدین معنی که با افزایش فاصله‌ی طولی فرود تک پا تنها مؤلفه‌ی خلفی (و نه عمودی) نیروی عکس العمل زمین و نرخ بارگذاری افزایش



شکل ۲: مؤلفه خلفی نیروی عکس العمل زمین در حرکت بدو–رو با طول گام ۲۵ سانتی‌متر مربوط به یکی از شرکت کنندگان در تحقیق

پیدا کرده است. این یافته، نتایج حاصل از تحقیق علی و همکاران [۱۷] را تصدیق می‌کند که در پژوهش آنان نیز با افزایش فاصله‌ی طولی فرود تک پا تنها مؤلفه‌ی خلفی نیروی عکس العمل زمین افزایش پیدا کرده است.

این یافته‌ها موید شباهت رفتار مکانیکی اندام تحتانی در حین فرود تک پا و گام چهارم حرکت بدو رو بوده و نیز نشان می‌دهد که با افزایش طول گام حرکت بدو رو، در مقدار و نرخ بارگذاری مکانیکی در جهت خلفی– قدامی افزایش چشمگیری ایجاد می‌شود. مطالعات پیشین در زمینه عوامل خطر بروز شکستگی استرسی نشان می‌دهد که افزایش نرخ بارگذاری مکانیکی در اندام تحتانی، یکی از عوامل بسیار موثر و خطرزا در ایجاد این نوع شکستگی‌ها در اندام تحتانی و به خصوص استخوان درشت نی است [۱۸ و۱۶و۱۰].

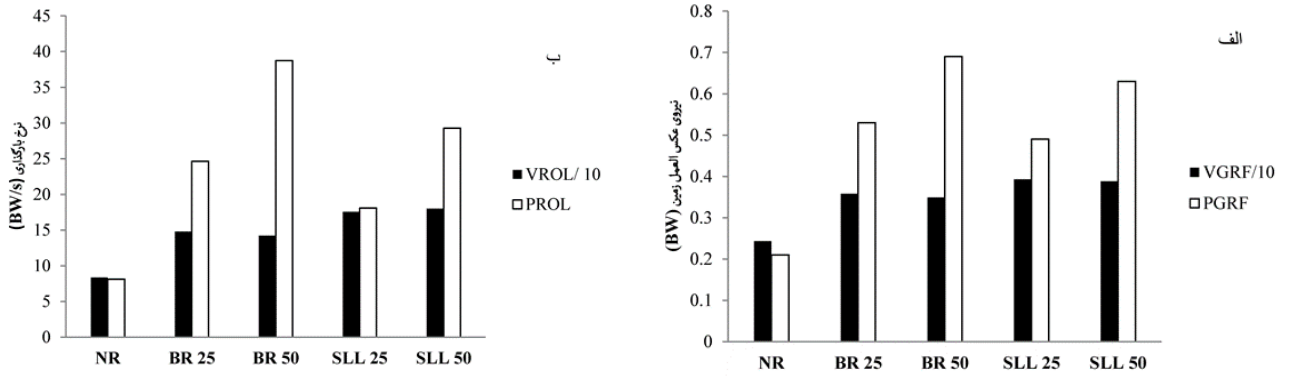
از طرفی مقاومت بافت استخوان در مقابل اعمال تنش برشی یا پیچشی، ضعیفتر از مقاومت آن در برابر تنش‌های فشاری است [۱۹]. افزایش مقدار نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری در جهت خلفی– قدامی، منجر به افزایش مقادیر تنش برشی و نرخ کرنش در استخوان‌های اندام تحتانی و به ویژه درشت نی می‌شود. با وجود اینکه مقادیر بدست آمده در این تحقیق زیر آستانه شکست استخوان است، اما افزایش آن به تناسب افزایش طول گام، می‌تواند احتمال بروز آسیب استرسی را در اندام تحتانی بیشتر کند. با توجه به اینکه نه تنها حرکت بدو رو نسبت به دویدن عادی احتمال ایجاد شکستگی استرسی را افزایش میدهد، بلکه افزایش طول گام در حرکت بدو رو نیز، خطر بروز این آسیب را بیشتر می‌کند. بنابراین کاهش طول گام در حرکت بدو رو، راهکاری مناسب برای کاهش خطر وقوع شکستگی استرسی در دوره آموزش نظامی به نظر می‌رسد.

در حین انجام حرکت بدو رو، افرادی که در یک گروه نظامی قرار می‌گیرند، موظف به حفظ فاصله‌ای ثابت از فرد جلوتر از خود هستند. به عبارت دیگر افراد باید سرعت حرکت ثابتی – که افراد حاضر در صف اول به دلخواه اختیار می‌کنند – را حفظ کنند. از آنجایی که نرخ گام در این حرکت ثابت است، تنها راه حفظ سرعت مورد نظر برای هریک از افراد گروه، تنظیم طول گام حرکت بوده که طول حاصله، ممکن است در سرعتی خاص، بیشتر یا کمتر از طول گام ترجیحی هر فرد باشد. طول گام ترجیحی افراد متناسب با طول قد آنان بوده و افراد بلندتر، طول گام ترجیحی بلندتری به هنگام دویدن و راه رفتن دارند [۲۰]. افراد یک گروه نظامی معمولاً بر اساس قد مرتب شده و افراد بلندتر در صفوف اول قرار گرفته و افراد با قد کوتاهتر در صف انتهایی گروه قرار می‌گیرند. هنگامی که افراد با تفاوت قد زیاد در یک گروه قرار گرفته و حرکت بدو–رو را انجام می‌دهند، افرادی که در صف اول گروه قرار دارند، با طول گام ترجیحی خود حرکت کرده و سرعت حرکت را به سایر افراد گروه

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

مجله طب انتظامی
تابستان ۱۳۹۲ - شماره ۲ - مسلسل ۲- صفحات ۸۴-۷۵



شکل ۳: الف) میانگین حداکثر مؤلفه عمودی و خلفی نیروی عکس العمل زمین (VGRF و PGRF، بترتیب)؛ ب) حداکثر مؤلفه عمودی و خلفی نرخ بارگذاری مکانیکی (VROL و PROL، بترتیب) در دویدن عادی، حرکت بدو-رو و فرود تک پاNR= دویدن عادی، BR 25= حرکت بدو رو با طول گام ۲۵ سانتی‌متر، BR 50= حرکت بدو رو با طول گام ۵۰ سانتی‌متر، SLL 25= فرود تک پا به فاصله طولی ۲۵ سانتی‌متر، SLL 50= فرود تک پا به فاصله طولی ۵۰ سانتی‌متر. توجه کنید که مقادیر VGRF و VROL بر عدد ۱۰ تقسیم شده‌اند.

دیکته می‌کنند. افراد حاضر در صفوف بعدی مجبور به حرکت با طول گامی بزرگتر از طول گام ترجیحی خود می‌شوند که در نتیجه‌ی آن، مقادیر بزرگتری از نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری مکانیکی را در جهت خلفی- قدامی اندام تحتانی خود تجربه کرده و بیشتر مستعد خطر بروز شکستگی استرسی می‌شوند. حال اگر تمام افراد یک گروه نظامی - به طور ایده‌آل — هم قد باشند، اختلاف طول گام ترجیحی آنها به حداقل رسیده و در حین حرکت بدو رو، طول گام این افراد، بسیار نزدیک به طول گام ترجیحی خود بوده و در نتیجه اظافه شدن مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری در جهت خلفی — قدامی، کمینه خواهد شد. گزینش افراد یک گروه نظامی بر اساس قد آنان به منظور کمتر کردن اختلاف قد این افراد می‌تواند راهکاری ساده، کم هزینه و موثر برای پیشگیری از بروز آسیب اندام تحتانی به ویژه شکستگی استرسی در نیروهای مسلح باشد.

برای به دست دادن نتایج قطعی‌تر، بهتر است این آزمون‌ها بر روی تعداد بیشتری از افراد انجام گیرد. بررسی و مقایسه‌ی متغیرهای بیشتری از جمله ارتفاع پرش، اطلاعات سینماتیکی نظیر زوایای مفاصل اندام تحتانی، سرعت‌ها و شتاب‌های زاویه‌ای این مفاصل و همچنین تاثیر سه گام اول حرکت بدو-رو بر دقت تحقیق افزوده، و برای نیل به هدف استاندارد کردن حرکت بدو-رو در محیط‌های آموزشی نظامی و کاهش آسیب‌های استرسی در اندام تحتانی سربازان و افسران آموزشی نیروهای مسلح می‌تواند مؤثر باشد. بررسی کارایی راهکار پیشنهادی حاصل از این تحقیق، نیازمند تحقیقات آماری آینده‌نگری است که باید در یک دوره کامل آموزش نظامی صورت گرفته و تعداد موارد شکستگی استرسی در گروه‌های شامل افراد انتخاب شده با و بدون در نظر گرفتن اختلاف قد بررسی شود.

تحقیق حاضر به منظور بررسی میزان افزایش خطر شکستگی استرسی در اندام تحتانی حاصل از حرکت بدو رو نسبت به دویدن عادی، و تاثیر افزایش طول گام بر خطر شکستگی استرسی در حین حرکت بدو رو انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اولاً دویدن به صورت حرکت بدو رو نسبت به دویدن عادی، احتمال بروز شکستگی استرسی در اندام تحتانی را افزایش می‌دهد. ثانیاً با افزایش طول گام در حرکت بدو رو ، خطر بروز شکستگی استرسی در اندام تحتانی باز هم افزایش می‌یابد. برای کم کردن این خطر، به عنوان راهکاری ساده، کم هزینه و قابل استفاده در محیط‌های آموزش نظامی، پیشنهاد می‌شود که افراد تحت آموزش، حتی الامکان طوری در گروه‌های نظامی قرار داده شوند که حداقل اختلاف قد در هر گروه ایجاد شود. بررسی کارآیی راهکار پیشنهادی ما برای پیشگیری از شکستگی استرسی در محیط نظامی، نیازمند بررسی و تحقیقات بیشتری است.

منابع

1. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2011; 26: 23-8.
2. Seay JF, Frykman PN, Sauer SG, Gutekunst DJ. Lower Extremity Mechanics During Marching at Three Different Cadences for 60 Minutes. J Appl Biomech 2013.

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]
[DOI: 10.30505/2.2.75]

Journal of Police Medicine
Summer 2013; Vol. 2, No. 2: 75-84

3. Milgrom C, Giladi M, Stein M, Kashtan H, Margulies J, Chisin R, et al. Stress fractures in military recruits. A prospective study showing an unusually high incidence. Bone Joint J, British Volume 1985; 67: 732-5.
4. Scully TJ, Besterman G. Stress fracture--a preventable training injury. Mil Med 1982; 147: 285-7.
5. Matheson GO, Clement DB, McKenzie DC, Taunton JE, Lloyd-Smith DR, MacIntyre JG. Stress fractures in athletes A study of 320 cases. Am J Sports Med 1987; 15: 46-58.
6. Breithaupt J. Zur pathologie des menschlichen fusses. Medizin Zeitung 1855; 24: 169-77.
7. Ross RA, Allsopp A. Stress fractures in Royal Marines recruits. Mil Med 2002; 167: 560-5.
8. Shaffer RA, Brodine SK, Almeida SA, Williams KM, Ronaghy S. Use of simple measures of physical activity to predict stress fractures in young men undergoing a rigorous physical training program. Am J Epidemiol 1999; 149: 236-42.
9. Rauh MJ, Macera CA, Trone DW, Shaffer RA, Brodine SK. Epidemiology of stress fracture and lower-extremity overuse injury in female recruits. Med Sci Sports Exerc 2006; 38: 1571-7.
10. Winfield AC, Moore J, Bracker M, Johnson CW. Risk factors associated with stress reactions in female Marines. Mil Med 1997; 162: 698-702.
11. Gardner LI, Jr., Dziados JE, Jones BH, Brundage JF, Harris JM, Sullivan R, et al. Prevention of lower extremity stress fractures: a controlled trial of a shock absorbent insole. Am J Public Health 1988; 78: 1563-7.
12. Cline AD, Jansen GR, Melby CL. Stress fractures in female army recruits: implications of bone density, calcium intake, and exercise. J Am Coll Nutr 1998; 17: 128-35.
13. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. Med Sci Sports Exerc 2006; 38: 323-8.
14. Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM, Shultz SJ. Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. J Athl Train 2003; 38: 18.
15. Cook TM, Farrell KP, Carey IA, Gibbs JM, Wiger GE. Effects of restricted knee flexion and walking speed on the vertical ground reaction force during gait. J Orthop Sports Phys Ther 1997; 25: 236-44.
16. Neely FG. Biomechanical risk factors for exercise-related lower limb injuries. Sports Med 1998; 26: 395-413.
17. Ali N, Robertson DG, Rouhi G. Sagittal plane body kinematics and kinetics during single-leg landing from increasing vertical heights and horizontal distances: Implications for risk of non-contact ACL injury. Knee 2014; 21: 38-46.
18. Edwards WB, Taylor D, Rudolphi TJ, Gillette JC, Derrick TR. Effects of stride length and running mileage on a probabilistic stress fracture model. Med Sci Sports Exerc 2009; 41: 2177-84.
19. Turner CH. Bone strength: current concepts. Ann N Y Acad Sci 2006; 1068: 429-46.
20. Mercer JA, Devita P, Derrick TR, Bates BT. Individual effects of stride length and frequency on shock attenuation during running. Med Sci Sports Exerc 2003; 35: 307-13.

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]

مجله طب انتظامی
تابستان ۱۳۹۲ - شماره ۲ - مسلسل ۲- صفحات ۸۴-۷۵

[Downloaded from jpmed.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.30505/2.2.75]