



## تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های اندام تحتانی توسط آنالیز ویدئویی در حین اجرای شیرجه روی تخته‌فتر

محمدعلی سیدحسینی: دکتری حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشگاه تهران، پردیس بین‌الملل کیش، کیش، ایران  
**د** امیرحسین براتی: دانشیار، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (\*نویسنده مسئول)، ahbarati20@gmail.com  
 الهام شیرزاد عراقی: استادیار، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
 مهدیه آکوچکیان: استادیار، دانشگاه تهران، پردیس بین‌الملل کیش، کیش، ایران

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

آسیب‌های ورزشی، سلامت ورزشکار، مربیگری، ناراستایی، هردل

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۹

**زمینه و هدف:** ورزش شیرجه هر دو خطر «برخورد با سرعت زیاد» و «عوامل تکراری مزمین» را داراست. پرش از تخته‌فتر با پاسچر ضعیف یا حجم زیاد شیرجه‌ها می‌تواند خطر آسیب‌های مزمین پرکاری را افزایش دهد. هدف از این مطالعه تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های اندام تحتانی توسط آنالیز ویدئویی در حین اجرای شیرجه روی تخته‌فتر است.

**روش کار:** مارکرهای غیرفعال یا بازتابی روی سطح خلفی بدن آزمودنی‌ها نصب شد. دوازده شیرجه‌روی نخبه، تکنیک «شیرجه فرشته» را به یکی از دو روش پیشروی سنتی (TRD) یا پرشی (HPF) بر روی تخته‌فتر ۱m اجرا کردند. ناراستایی‌های دینامیک مچ پا، زانو و لگن در حین اجرای شیرجه ارزیابی شد. ارتباط الگوی پیشروی روی تخته‌فتر با ناراستایی‌های پویای مفاصل هیپ، زانو و مچ پا در صفحه‌ی فرونتال و هر گام با استفاده از «معادلات برآوردگر تعمیم یافته» (GEE) با «تابع پیوند همانی» (IF) و «توزیع نرمال» (ND) انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج مدل‌سازی GEE نشان داد که میانگین ناراستایی‌های دینامیک مفاصل به طور معناداری در گروه HPF بالاتر از TRD بود.

**نتیجه‌گیری:** راستای پاسچر اندام تحتانی تحت تأثیر الگوی پیشروی بود. راستای هیپ، زانو و به ویژه مچ پا به عنوان یک عامل خطر بالقوه برای صدمات اندام تحتانی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به مربیان پیشنهاد می‌شود که پس از شناخت نقاط بحرانی در عملکرد شیرجه‌روها، برای «ثبات پاسچر دینامیک» و «تمرینات اصلاحی» برنامه‌ریزی کنند.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت کننده:** حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Seyed Hoseini MA, Barati AH, Shirzad Araghi E, Akoochakian M. Determination of risk factors for lower extremity injury by video analysis during springboard diving. Razi J Med Sci. 2019;26(10):95-106.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) صورت گرفته است.



Original Article

## Determination of risk factors for lower extremity injury by video analysis during springboard diving

**Mohammad Ali Seyed Hoseini**, PhD in Corrective Exercises and Sport Injuries, University of Tehran, Kish International Compus, Kish, Iran

**Amir Hossein Barati**, Associate Professor, Faculty of physical education and Sport Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran (\*Corresponding author). [ahbarati20@gmail.com](mailto:ahbarati20@gmail.com)

**Elham Shirzad Araghi**, Assistant Professor, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Iran

**Mahdieh Akoochakian**, Assistant Professor, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Kish International Compus, Kish, Iran

### Abstract

**Background:** Competitive diving has both a high speed impact and chronic repetitive character. Jumping from the springboard with poor posture or the sheer volume of dives can increase risk of chronic overuse injuries. The purpose of this study was to evaluate the relationship between dynamic lower extremity malalignments and elite divers' approach the 1 m springboard.

**Methods:** Passive or reflective markers were attached to posterior surface of the subjects' bodies. Twelve elite divers performed "Forward Diving Straight" with one of the Traditional (TRD) or Hurdle pre-flight (HPF) approach on the 1m springboard. Their dynamic malalignments of ankle, knee and hip were evaluated during diving performance. The relationship between approach pattern and dynamic malalignment of ankle, knee, and hip in the frontal plane at each step was determined using "Generalized Estimating Equation" (GEE) with the "Identity Function" and the "Normal Distribution".

**Results:** The results of GEE modeling showed that the mean dynamic joints malalignments were significantly higher on HPF than TRD group.

**Conclusion:** The postural alignment of lower extremity is affected by the approach pattern. The malalignment of the hip, knee, and especially ankle have substantial interest as potential risk factors for lower extremity injuries. Trainers and coaches are advised to planning for "dynamic postural stability" and "corrective exercises" after recognizing critical points in divers' performance.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

### Keywords

Athletes' Health,  
Coaching,  
Hurdle preflight,  
Malalignment,  
Sports Injuries

Received: 13/07/2019

Accepted: 30/11/2019

### Cite this article as:

Seyed Hoseini MA, Barati AH, Shirzad Araghi E, Akoochakian M. Determination of risk factors for lower extremity injury by video analysis during springboard diving. Razi J Med Sci. 2019;26(10):95-106.

\*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.

«پرش با دو پا» در حین آخرین گام او است. هر دو نوع رویکرد باید به گام هرذل منتهی شوند (۸) (شکل ۱). «آنالیز ویدئویی»، به عنوان یکی از روش‌های بررسی ناراستی‌های پویای مفاصل در حین اجرای تکنیک‌های ورزشی، با چالش‌هایی مواجه است؛ اجرای تکنیک‌ها در چند صفحه‌ی حرکتی، ارزیابی آن‌ها را دشوار می‌کند، به همین دلیل مطالعات ناراستی‌های پویای مفاصل، در اکثر موارد بر روی الگوهای عملکردی شبیه‌سازی شده مانند «انواع اسکوات» (۹-۱۱) و «انواع پرش-فرود» (۱۲، ۱۳) انجام شده است و سپس نتایج این پژوهش‌ها به عملکرد تکنیکی برخی ورزشکاران تعمیم داده شده است.

تناقض در نتایج پژوهش‌های مختلف پیرامون ارتباط بین اجرای تکنیک و پاسچر، این نکته را یادآور می‌شود که علیرغم ارزشمند و مفید بودن همه‌ی پژوهش‌ها، اما برای درک بهتر شرایط ورزشکاران و تدوین مناسب‌ترین پروتکل تمرین برای توسعه‌ی عملکرد، بهتر است در کنار شبیه‌سازی الگوهای عملکردی، به دنبال یافتن راه‌هایی مناسب برای ارزیابی مستقیم تکنیک و عملکرد ورزشکاران باشیم.

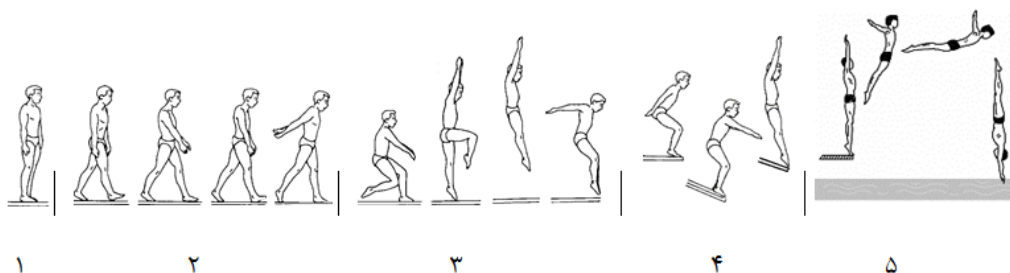
بنابراین در مطالعه‌ی حاضر، بررسی واقعی و نه شبیه‌سازی شده‌ی تکنیک شیرجه فرشته (A101) را در حین پیشروی روی تخته فتر، با هدف تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های مفاصل هیپ، زانو و مچ پا را در «گام هرذل و تیک-آف» مورد بررسی قرار دادیم.

### روش کار

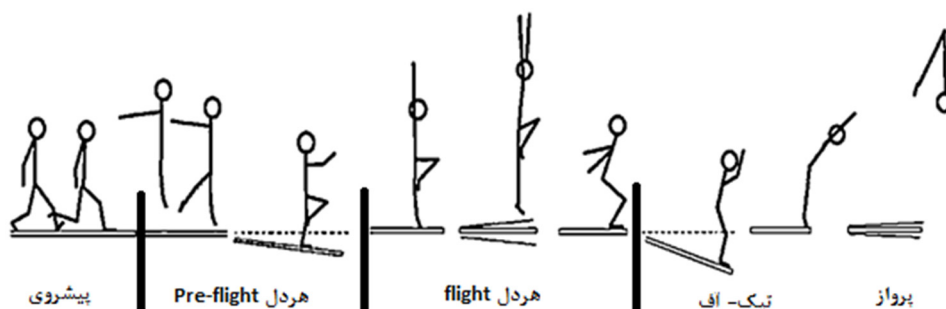
مطالعه‌ی حاضر از نوع پژوهش‌های همبستگی است

شواهدی وجود دارد مبنی بر این که «دامنه‌ی حرکتی»، یک عامل خطرزای آسیب اندام تحتانی است (۱)، اگر چه به دلیل وجود تفاوت در روش اندازه‌گیری، برخی پژوهشگران بر خلاف این را گزارش کرده‌اند (۲). آسیب‌های وارده در حین شیرجه می‌تواند در نتیجه‌ی اضافه بار فاجعه‌انگیز مفاصل در حین یک شیرجه با اجرای بسیار ضعیف باشد یا اغلب در اثر بارهای تکراری در سطح کمتر نیرو باشد مثلاً در حین یک شیرجه‌ی موفق (۳). این گونه تأثیرات ممکن است ریسک فاکتورهای فردی را برای تغییرات پاسچرال توسعه دهد و به نوبه‌ی خود زمینه‌ساز بروز آسیب شود (۴).

در مورد ورزش شیرجه و حرکت شیرجه‌رو بر روی تخته فتر نیز چالش‌هایی ویژه وجود دارد. برای اجرای تکنیک‌های شیرجه، توان Power بسیار بالای گروه‌های عضلانی حرکت دهنده‌ی مفاصل لگن، زانو و مچ پا مورد نیاز است (۵). پرکاری، ممکن است در اجرای صحیح و مطلوب تکنیک اختلال ایجاد کند. رویکرد رو به جلو به منظور افزایش انرژی پتانسیل تخته فتر که متعاقباً به شیرجه‌رو برمی‌گردد، اجرا می‌شود. دو روش برای اجرای رویکرد رو به جلو وجود دارد؛ رویکرد «سنتی Traditional» و رویکرد «پرش پیش از هرذل Hurdle Pre-Flight (HPF)» یا «دپار پرشی Hurdle Flight» (۶، ۷). رویکرد سنتی را شیرجه‌رو با حداقل سه گام سریع به جلو اجرا می‌کند و در ادامه یک پا را از تخته جدا می‌کند که اغلب به عنوان پای هرذل شناخته شده است. انتخاب شیرجه‌رو برای استفاده از رویکرد پرشی به یکی از دو روش «پرش با یک پا Leap-off» یا



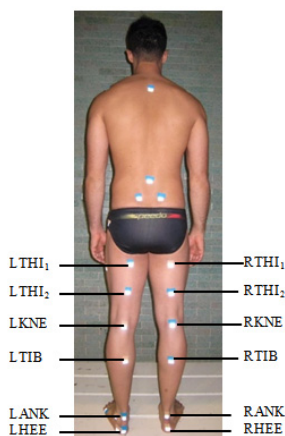
شکل ۱- الگوی پیشروی «سنتی»



شکل ۲- الگوی پیشروی «پرش»

غیرفعال (Passive Markers) پیش از شروع آزمون، مطابق با شکل ۳ و ۴ روی سطح خلفی بدن آزمودنی‌ها نصب شد.

با استفاده از نرم افزار KINOVEA مختصات  $x$  و  $y$  هر مارکر تخمین زده شد. برای به دست آوردن زوایای حرکتی مفاصل در صفحه‌ی فرونتال توسط فرمول‌های



شکل ۳- مارک‌گذاری اندام تحتانی برای اندازه‌گیری انحرافات مفاصل هیپ، زانو و مچ پا از راستای آناتومیک ایستا



شکل ۴- مارک‌های لینک شده برای تعیین ناراستایی‌های مچ پا، زانو و هیپ

که به منظور دستیابی به اطلاعات کامل و دقیق از طریق تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های اندام تحتانی توسط آنالیز ویدئویی در حین اجرای شیرجه روی تخته‌فتر ۱m توسط شیرجه‌روهای مرد نخبه انجام شد. آزمودنی‌های این تحقیق را ۱۲ ورزشکار از شیرجه‌روهای برتر مسابقات لیگ کشوری سال ۹۶-۱۳۹۵ تشکیل دادند که به اردوی تیم ملی دعوت شدند. ویژگی‌های شیرجه‌روهای دعوت شده به تیم ملی دارای میانگین سنی و انحراف استاندارد  $20 \pm 4$ ، وزن  $9 \pm 70$  کیلوگرم، قد  $172 \pm 7$  سانتی‌متر، شاخص توده‌ی بدنی  $23 \pm 2$ ، درصد چربی زیر پوستی  $13 \pm 2$ ، ویژگی اندومورفی  $1/5 \pm 0/3$ ، مزومورفی  $5/5 \pm 0/7$  و اکتومورفی  $1 \pm 3$ . پس از تکمیل فرم رضایت‌نامه، ویژگی‌های آنترپومتریک، پاسچر ایستا و پیشینه‌ی آسیب‌های ورزشی شیرجه‌روها بررسی شد. آزمودنی‌ها فاقد ناراستایی در پاسچر ایستا و فاقد آسیب در زمان اجرای پژوهش بودند. اندازه‌گیری‌ها در یک روز و با حمایت «فدراسیون شنا، شیرجه و واترپلو» و «دانشگاه تهران» در استخر مجموعه‌ی ورزشی آزادی تهران انجام شد. اطلاعات لازم جهت شرکت در فرایند تحقیق برای آن‌ها توضیح داده شد.

عدم ارزیابی مرحله «نزدیک شدن»، به عنوان یکی از مراحل «پیشروی»، یکسان نبودن مدت زمان اجرای تکنیک توسط آزمودنی‌ها، تغییر فاصله‌ی آزمودنی با دوربین در حین اجرای آزمون به عنوان محدودیت‌های این تحقیق محسوب می‌شوند.

مارک‌گذاری: با توجه به هدف پژوهش حاضر -مبنی بر تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های اندام تحتانی توسط آنالیز ویدئویی در حین اجرای شیرجه روی تخته‌فتر، مراحل «هردل و تیک-آف» مورد نظر بوده است. بر این اساس، مارک‌های بازتاب‌دهنده‌ی نور یا

را در صفحه‌ی فرونتال ضبط نماید. دوربین در نمای خلفی به موازات محدوده‌ی ساکروم قرار داده شد، طوری که تمام بدن آزمودنی در حین اجرای تکنیک دیده شود. فاصله‌ی دوربین از شیرجه‌رو به صورتی تنظیم شد که ضمن کاهش پرسپکتیو، اندازه‌ی تصویر در مقدار مطلوب حفظ شود. برای رهگیری اندام‌ها به وسیله‌ی دوربین از مارکرهای بازتابی استفاده شد. داده‌پردازی کینماتیک: پس از اتمام تصویربرداری، فیلم‌ها از طریق نرم‌افزار KINOVEA مورد بررسی قرار گرفت که پیش از این روایی و پایایی آن تأیید شده است (۱۴، ۱۵). اپراتور با دنبال کردن Tracking هر مارکر در هر فریم از تصویر، محل دقیق مارکرها را به نرم افزار نشان داد. پس از اتمام این مرحله، کالیبراسیون تصویر انجام شد. در این مرحله، مقدارهای طولی معین به نرم افزار معرفی شد تا با استفاده از

داده شده در نرم‌افزار اکسل و از مختصات فوق حاصل شد. با توجه به مارکرگذاری انجام شده مطابق با شکل فوق، زوایای حرکت میچ، زانو، هیپ و تنه در سطح فرونتال استخراج شد.

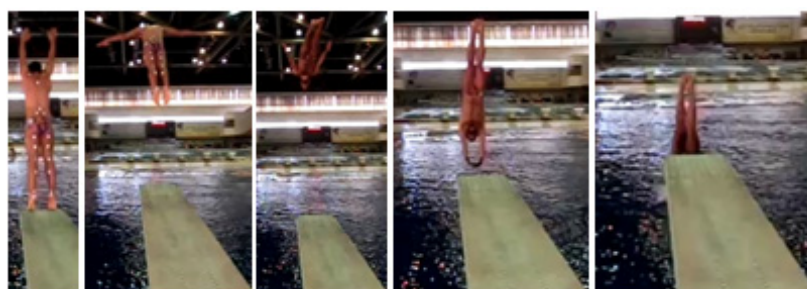
شیرجه: در این مطالعه هشت شیرجه‌رو هر دل را به صورت «پرش» (HPF) (شکل ۵) و چهار شیرجه‌رو، هر دل را به روش «سنتی» (TRD) (شکل ۶) اجرا کردند. پس از اجرای هر دل و تماس هر دو پا با جلوی تخته‌فتر، شیرجه‌روها تیک-آف، تکنیک فرشته و فرود به آب را انجام دادند.

داده‌برداری کینماتیک: به منظور ثبت داده‌های کینماتیکی از دوربین Casio Exilim EX-ZR200 استفاده شد و تصاویر به صورت دو بعدی با فرکانس ۱۲۰ تصویر در ثانیه ضبط گردید. دوربین در ابتدای راستای طولی تخته فتر قرار گرفت تا تکنیک مورد نظر



۳- گام تیک-آف

شکل ۵- اجرای شیرجه با الگوی پیشروی «پرش»



شکل ۶- اجرای شیرجه فرشته (فرود صاف)

جدول ۱- نامگذاری ناراستایی بر اساس حرکت مفصل در صفحه‌ی فرونتال

| مارکرهای لینک شده برای تعیین هر زاویه         | ناراستایی |          | مفاصل          |
|---|-----------|----------|----------------|
|   | عدد مثبت  | عدد منفی |                |
| RTIB – RANK – RHEE                            | اینورژن   | اورژن    | میچ پای راست   |
| LTIB – LANK – LHEE                            | اورژن     | اینورژن  | میچ پای چپ     |
| RTIB – RKNE – RTHI <sub>2</sub>               | واروس     | ولگوس    | زانوی پای راست |
| LTIB – LKNE – LTHI <sub>2</sub>               | ولگوس     | واروس    | زانوی پای چپ   |
| RTHI <sub>2</sub> – RTHI <sub>1</sub> – RPSIS | ابداکشن   | اداکشن   | لگن راست       |
| LTHI <sub>2</sub> – LTHI <sub>1</sub> – LPSIS | اداکشن    | ابداکشن  | لگن چپ         |

همانی Normal Distribution و «توزیع نرمال Normal Distribution» انجام شد. ناراستی‌های پویای مفاصل هیپ، زانو و مچ پا در صفحه‌ی فرونتال در تکرارها و گام‌های مختلف با استفاده از معادلات برآوردگر تعمیم یافته با «تابع پیوند لجیت Logit Function» و توزیع برنولی Bernoulli distribution مقایسه شد. در ضمن متغیرهای کیفی به صورت نشانگر در مدل وارد می‌شوند. دلیل استفاده از این مدل‌های پیشرفته، «تکرار اندازه‌گیری» در شیرجه‌روهای مرد نخبه بود که در تکرارها و گام‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. برای لحاظ کردن همبستگی اندازه‌گیری‌ها از این تحلیل با استفاده از ساختار کواریانس متقارن مرکب Compound Symmetry استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS<sup>25</sup> در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

### یافته‌ها

چهار ناراستی مفاصل در هر یک از گروه‌های TRD و HPF نسبت به دیگری در گام هر دل بالاتر بود. اما

روابط مثلثاتی، مختصات X و Y همه‌ی مارکرهای تصویر محاسبه شود. سپس مختصات طولی و عرضی کلیه مارکرهای دنبال شده توسط نرم افزار مشخص گردید و داده‌ها از نرم‌افزار استخراج شد. مثل همه‌ی نرم‌افزارهای آنالیز حرکت، اولین خروجی این نرم‌افزار مجموعه‌ای از داده‌های مبتنی بر X و Y هر مارکر بر حسب زمان است، که بر اساس زمان طی شده در تکنیک و تعداد مارکرها، این داده‌ها بسیار زیاد است. سپس زوایای مفصلی ثبت شده توسط داده‌پردازی کینماتیک به شرح جدول زیر تفسیر گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌ها برای متغیرهای کیفی با فراوانی و درصد و برای متغیرهای کمی با میانگین (انحراف معیار) خلاصه و گزارش شد. همچنین نرمال بودن متغیرهای کمی مورد استفاده در تحلیل با استفاده از شاخص‌های توصیفی نظیر چولگی و کشیدگی، آزمون شد. تعیین عوامل خطرزای آسیب‌های اندام تحتانی توسط آنالیز ویدئویی در حین اجرای شیرجه، روی تخته‌فرد در هر یک از گام‌ها، با استفاده از «معادلات برآوردگر تعمیم یافته GEE» با «تابع پیوند

**جدول ۲-** نتایج مدل‌سازی GEE برای مقایسه‌ی ناراستی‌های پویای مفاصل مچ پا، زانو و لگن در الگوهای پیشروی HPF و TRD به تفکیک گام

| گام        | الگوی پیشروی | ناراستی           | میانگین اختلافات (I-J) | خطای استاندارد | df | Sig.  | فاصله اطمینان ۹۵٪ برای تفاوت حد پایینی | حد بالایی |
|------------|--------------|-------------------|------------------------|----------------|----|-------|--|-----------|
| هردل پرواز | پرشی سنتی    | ابداکشن هیپ راست  | -۲/۳۵۶۶                | ۰/۱۸۱۴۱        | ۱  | ۰/۰۰۴ | -۳/۹۶۰۶                                | -۰/۷۵۲۵   |
|            | پرشی سنتی    | اداکشن زانوی راست | ۲/۵۷۵۸                 | ۰/۵۶۵۸۴        | ۱  | ۰/۰۰۰ | ۱/۴۶۶۸                                 | ۳/۶۸۴۸    |
|            | پرشی سنتی    | اورژن مچ چپ       | -۱/۹۷۷۴                | ۰/۵۴           | ۱  | ۰/۰۰۰ | -۳/۰۵                                  | -۰/۹۰     |
| تیک-آف     | پرشی سنتی    | اورژن مچ راست     | ۳/۴۳۲۸                 | ۱/۱۹۳          | ۱  | ۰/۰۰۴ | ۱/۰۹                                   | ۵/۷۷      |
|            | پرشی سنتی    | اینورژن مچ راست   | ۷/۱۹۴۲                 | ۳/۳۸۱          | ۱  | ۰/۰۳۳ | ۰/۵۶                                   | ۱۳/۸۲     |
|            | پرشی سنتی    | اورژن مچ چپ       | ۳/۲۸۶۵                 | ۱/۴۰           | ۱  | ۰/۰۱۹ | ۰/۵۳                                   | ۶/۰۳      |

نتایج مدل‌سازی GEE نشان داد که:

میانگین «اورژن مچ پای راست» در گام تیک-آف، به طور معناداری ( $P=۰/۰۰۴$ ) در گروه پرشی ( $۶/۸۳ \pm ۱/۰۲$ ) نسبت به گروه سنتی ( $۳/۴۰ \pm ۰/۶۰$ ) بالاتر بود.

میانگین «اینورژن مچ پای راست» در گام تیک-آف، به طور معناداری ( $P=۰/۰۳۳$ ) در گروه پرشی ( $۱۴/۸۹ \pm ۳/۳۱$ ) نسبت به گروه سنتی ( $۷/۷۰ \pm ۰/۶۵$ ) بالاتر بود.

میانگین «اورژن مچ پای چپ» در گام تیک-آف، به طور معناداری ( $P=۰/۰۱۹$ ) در گروه پرشی ( $۱۱/۰۰ \pm ۱/۱۳$ ) نسبت به گروه سنتی ( $۷/۷۱ \pm ۰/۸۲$ ) بالاتر بود.

میانگین «اورژن مچ پای چپ» در گام هر دل، به طور معناداری ( $P=۰/۰۰۰$ ) در گروه سنتی ( $۷/۹۳ \pm ۰/۴۶$ ) نسبت به گروه پرشی ( $۵/۹۵ \pm ۰/۲۸$ ) بالاتر بود.

نتایج مدل‌سازی GEE نشان داد که میانگین «اداکشن زانوی راست» در گام هر دل، به طور معناداری ( $P=۰/۰۰۰$ ) در گروه پرشی ( $۹/۱۳ \pm ۰/۵۴$ ) نسبت به گروه سنتی ( $۶/۵۶ \pm ۰/۱۵$ ) بالاتر بود.

نتایج مدل‌سازی GEE نشان داد که میانگین «ابداکشن هیپ راست» در گام هر دل، به طور معناداری ( $P=۰/۰۰۴$ ) در گروه سنتی ( $۴/۵۷ \pm ۰/۷۵$ ) نسبت به گروه پرشی ( $۲/۲۲ \pm ۰/۳۲$ ) بالاتر بود.

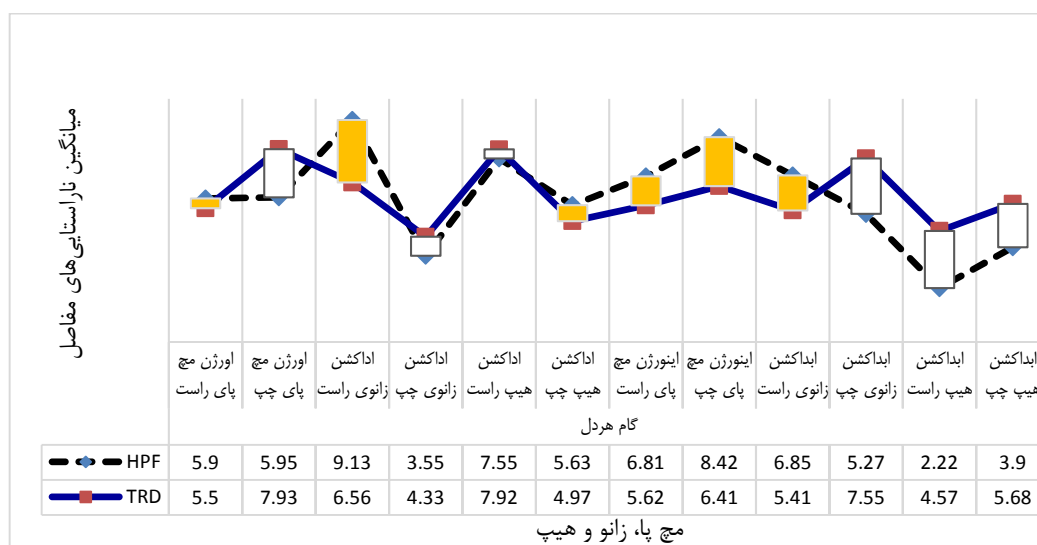
نتایج مدل‌سازی GEE نشان داد که میانگین مقادیر عددی شش مورد از ناراستی‌های اندام تحتانی، در دو گروه HPF و TRD دارای اختلاف معنادار بود. دو مورد از ناراستی‌های گروه TRD در گام «هردل پرواز» نسبت به گروه HPF به طور معنادار بالاتر بود؛ در حالی که چهار مورد از ناراستی‌های گروه HPF نسبت به TRD به طور معناداری بالاتر بود.

**جدول ۳- نتایج توزیع ناراستایی‌های پویای مفاصل مچ پا، زانو و لگن به تفکیک گام‌ها و الگوهای پیشروی HPF و TRD**

| گام              | ناراستایی         | الگوی پیشروی | میانگین | خطای استاندارد | فاصله اطمینان ۹۵٪ |           |
|------------------|-------------------|--------------|---------|----------------|-------------------|-----------|
|                  |                   |              |         |                | حد پایینی         | حد بالایی |
| هردل پرواز       | اداکشن زانوی راست | پرشی         | ۹/۱۳    | ۰/۵۴           | ۸/۰۷              | ۱۰/۲۰     |
|                  | اورژن مچ چپ       | سنتی         | ۶/۵۶    | ۰/۱۵           | ۶/۲۶              | ۶/۸۶      |
|                  |                   | پرشی         | ۵/۹۵    | ۰/۲۸           | ۵/۳۹              | ۶/۵۲      |
| ابداکشن هیپ راست | اورژن مچ چپ       | سنتی         | ۷/۹۳    | ۰/۴۶           | ۷/۰۲              | ۸/۸۴      |
|                  |                   | پرشی         | ۲/۲۲    | ۰/۳۲           | ۱/۵۸              | ۲/۸۵      |
|                  | ابداکشن هیپ راست  | سنتی         | ۴/۵۷    | ۰/۷۵           | ۳/۱۰              | ۶/۰۵      |
| تک- آف           | اورژن مچ راست     | پرشی         | ۶/۸۳    | ۱/۰۲           | ۴/۸۲              | ۸/۸۵      |
|                  |                   | سنتی         | ۳/۴۰    | ۰/۶۰           | ۲/۲۱              | ۴/۵۹      |
|                  | اینورژن مچ راست   | پرشی         | ۱۴/۸۹   | ۳/۳۱           | ۸/۳۹              | ۲۱/۳۹     |
| اورژن مچ چپ      | اورژن مچ چپ       | سنتی         | ۷/۷۰    | ۰/۶۵           | ۶/۴۱              | ۸/۹۸      |
|                  |                   | پرشی         | ۱۱/۰۰   | ۱/۱۳           | ۸/۷۸              | ۱۳/۲۲     |
|                  | اورژن مچ چپ       | سنتی         | ۷/۷۱    | ۰/۸۲           | ۶/۰۹              | ۹/۳۳      |

کننده‌ی اصلی ضربه در هنگام فرود هستند (۱۶-۱۸). در گام تیک-آف ناراستایی‌های دینامیک اورژن مچ پای راست، اینورژن مچ پای راست و اورژن مچ پای چپ، در الگوی HPF نسبت به TRD به طور معنادار بالاتر بود. بر این اساس راستای مچ پای شیرجه‌روها در گام تیک-آف بیش از هر دل تحت تأثیر قرار گرفت. میلر و همکاران (۱۹)، مطالعه‌ای با حضور ۱۱ شیرجه‌روی ورزیده در سطح دانشگاهی انجام دادند که با هر دو روش تکنیکی «سنتی» و «هردل پیش از پرواز» مورد بررسی قرار گرفتند. در مطالعه‌ی دوم شیرجه‌های اجرا شده توسط ۹ زن در سطح ملی با هم مقایسه شد. شیرجه‌ها با HPF در پیشروی، دارای

فقط سه مورد از این اختلافات معنادار بود: میانگین «اورژن مچ پای چپ» و «ابداکشن هیپ راست» در الگوی TRD در مقایسه با HPF به صورت معناداری بالاتر بود؛ در مقابل میانگین «اداکشن زانوی راست» در الگوی HPF نسبت به TRD به طور معنادار بالاتر بود. یافته‌ها نشان می‌دهد که فرود با ولگوس دینامیک زانو، ممکن است ضربه‌ی وارد شده به مفصل زانو را در مرحله‌ی کاهش شتاب فرودها، افزایش دهد. بنابراین، ولگوس دینامیک زانو در هنگام فرود ممکن است یکی از عوامل بیومکانیکی باشد که توانایی فرد را برای کاهش ضربات وارد شده به زانو کاهش می‌دهد. برخی از محققان گزارش کرده‌اند که مفاصل زانو و لگن جذب



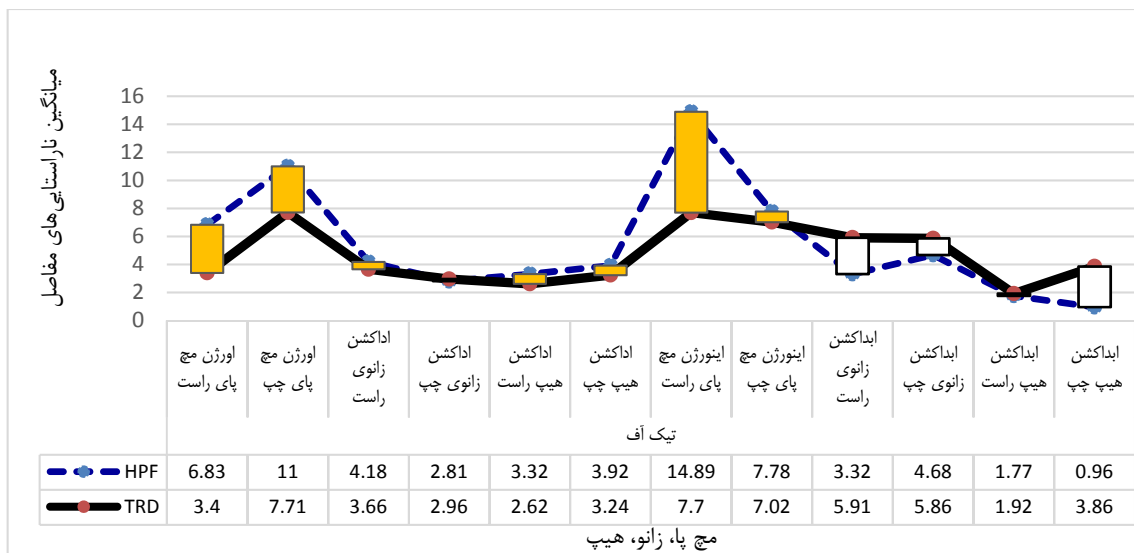
**نمودار ۱- نتایج توزیع ناراستایی‌های مچ پا، زانو و هیپ به تفکیک الگوی پیشروی در گام هر دل**

بیشتر Vx هنگام تیک-آف نیز کاهش یابد. اعتقاد بر این است که آزمودنی‌های بیشتر و یا زمان‌های تمرین طولانی‌تر، مزایای معنادار آماری برای رویکرد HPF نشان دهند.

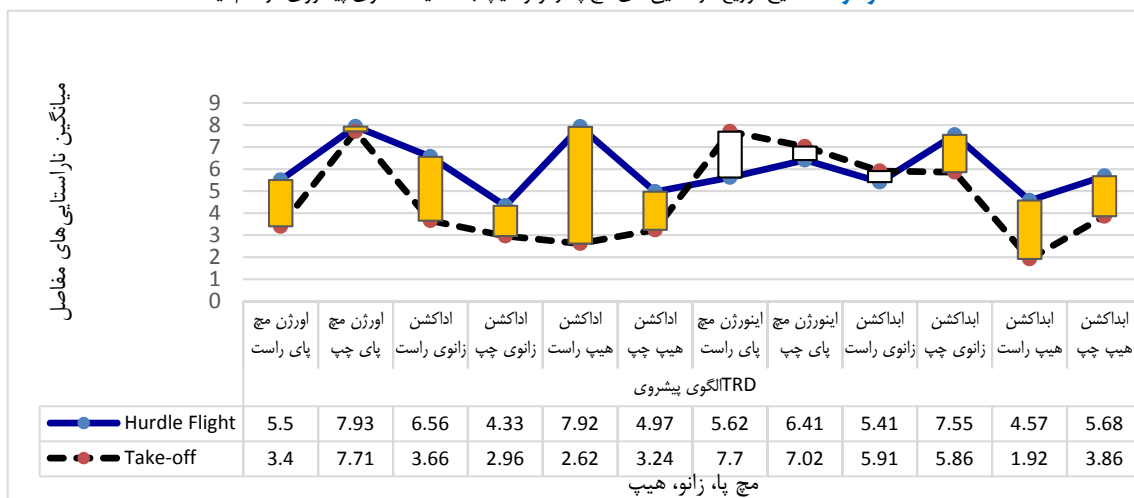
در الگوی پیشروی TRD، گام هر دل بیش از گام تیک-آف، شیرجه‌رو را درگیر چالش ناراستایی دینامیک مفاصل کرد؛ در الگوی پیشروی TRD، میانگین ناراستایی‌های هشت مفصل، در گام هر دل نسبت به الگوی تیک-آف بالاتر بود (نمودار ۳). این می‌تواند برای مربیان و شیرجه‌روها دارای اهمیت باشد که برای حفظ راستای دینامیک اندام تحتانی، زمان بیشتری را در حین تمرینات اختصاص دهند.

گام‌های پایانی کوتاه‌تر و مدت زمان پرواز هر دل طولانی‌تری بودند. تفاوت‌های زمان به نفع تکنیک‌های HPF از گام پایانی پیشروی کم شد یعنی از پرش هر دل تا پرش شیرجه. اگرچه شیرجه‌روهای سطح دانشگاهی هنگام اجرای HPF، دارای زمان‌های طولانی‌تر پرش شیرجه بودند، به نظر می‌رسد که هزینه‌های این تکنیک‌ها از مزایای بالقوه‌ی آن‌ها فراتر می‌رود.

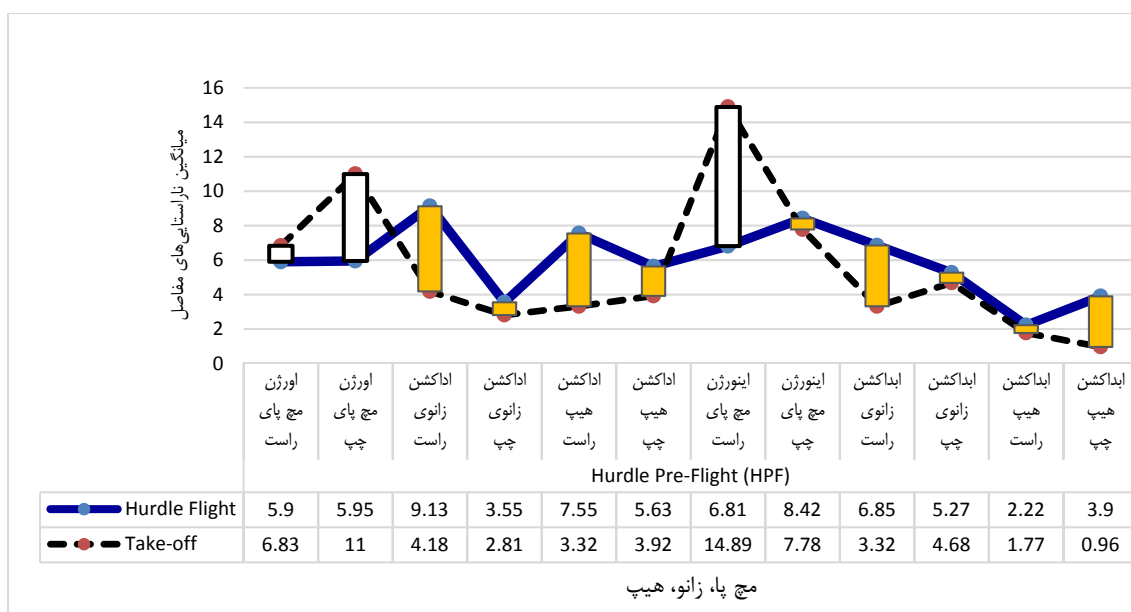
هم‌چنین یافته‌های سولتود و همکاران (۲۰) نشان داد که رویکرد HPF به برخی شیرجه‌روها کمک کرد، نه همه، بنابراین تفاوت‌هایی معنادار بین انواع پیشروی وجود ندارد. رویکرد HPF در کاهش Vx در مرحله تماس رو به پایین مفید بوده است و شاید با تمرین



نمودار ۲- نتایج توزیع ناراستایی‌های مچ پا، زانو و هیپ به تفکیک الگوی پیشروی در گام تیک-آف



نمودار ۳- نتایج توزیع ناراستایی‌های مچ پا، زانو و هیپ به تفکیک گام در گروه TRD



نمودار ۴- نتایج توزیع ناراستایی‌های میچ پا، زانو و هیپ به تفکیک گام در گروه HPF

به دلیل اهمیت دستیابی به پرش بلند پیش از اجرای تکنیک و همچنین تأثیر قابل توجه Take-off بر میچ پا و ارتفاع پرش باشد.

درودگر و همکاران (۲۳)، پس از بررسی تأثیر وضعیت قرارگیری پا بر ارتفاع پرش عمودی درجا، آزمون پرش سارجنت را در چهار وضعیت مختلف قرارگیری پا اجرا کردند. در مقایسه‌ی میانگین ارتفاعات پرش در چهار وضعیت مختلف قرارگیری پا در کلیه‌ی آزمودنی‌ها، وضعیت آزاد پرش، بیشترین میانگین ارتفاع را به خود اختصاص داد. پس از وضعیت آزاد پرش، بیشترین ارتفاع پرش به ترتیب این چنین بود: پرش از وضعیت ۱۵ درجه‌ی چرخش داخلی دو پا، پرش از وضعیت نرمال یعنی ۱۵ درجه چرخش خارجی پاها و سپس پرش از وضعیت چرخش داخلی ۳۰ درجه‌ای پاها. این نتیجه احتمالاً به دلیل عادت رفتاری فرد به وضعیت ترجیحی قرارگیری پاها هنگام پرش بوده است. این موضوع اهمیت وضعیت جبرانی را در اجرای عملکردهای ورزشی یادآور می‌شود. اما شواهدی در دست نیست که تأیید کند ورزشکار دارای وضعیت‌های جبرانی، در دستیابی به اوج عملکرد ورزشی موفق بوده است. در پژوهش حاضر نیز گرچه شیرجه‌روها با رعایت مقررات و در نظر گرفتن اصول کلی، تکنیک منتخب را اجرا کردند اما در حقیقت اجرای تکلیف مورد نظر در وضعیت آزاد حرکتی انجام شده است؛ در نتیجه ممکن

در الگوی پیشروی HPF نیز، گام هر دل بیش از گام تیک-آف، شیرجه‌رو را درگیر چالش ناراستایی دینامیک مفاصل کرد؛ اما مقادیر ناراستایی میچ پا در گام تیک-آف نسبت به سایر ناراستایی‌های این گروه بالاتر بود. میانگین ناراستایی‌های میچ پا در گروه HPF به طور معناداری نسبت به گروه TRD بالاتر بود. گرچه الگوی HPF به منظور افزایش ارتفاع پرش شیرجه‌رو استفاده می‌شود اما در صورتی که ورزشکار در حفظ راستای دینامیک مفاصل به حد کافی توانایی نداشته باشد، به نظر می‌رسد الگوی پیشروی HPF می‌تواند یک عامل خطر جدی برای آسیب‌های میچ پای شیرجه‌روها باشد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، گام هر دل بیش از تیک-آف راستای دینامیک اندام تحتانی شیرجه‌روها را در هر دو الگوی پیشروی تحت تأثیر قرار داد. این که گام Hurdle در عملکرد شیرجه‌رو دارای اهمیت است، هم از نظر جنبه‌های عملکردی (۲۱) و هم از نظر اهمیت به عنوان یک ریسک فاکتور (۲۲)، پیش از این در سایر مطالعات نیز به آن اشاره شده است. با توجه به این که شیرجه‌رو در Take-off، از سطح اتکای وسیع‌تری برخوردار است، به نظر می‌رسد در صورت بروز چالش در راستایی پاسچرال، امکان حفظ و تداوم ثبات پاسچرال نسبت به HF راحت‌تر بوده است. اما به خصوص در الگوی پیشروی HPF، راستای دینامیک میچ پا به شدت تحت تأثیر اجرای تیک-آف بود، که می‌تواند

کردند که نیروهای متقابل مفصلی و ساختارهایی که باید آن‌ها را مقاوم کند (برای مثال سطوح مفصلی، لیگامنت‌ها و ساختار عضلانی) با راستای آناتومیک مفاصل و سیستم اسکلتی در ارتباط است، بنابراین راستای هیپ، زانو و مچ پا سهم قابل توجهی را به عنوان عامل خطر بالقوه برای آسیب اندام تحتانی داراست. نتایج این مطالعه نیز به تأثیرپذیری این مفاصل در حین عملکرد شیرجه‌روها روی تخته فدر اشاره می‌کند و هم‌چنین نشان می‌دهد آن چه به عنوان زمان‌های بحرانی در حفظ راستای دینامیک شیرجه‌روها گزارش شد، احتمالاً نه با انجام مطالعات شبیه‌سازی شده بلکه با ارزیابی عملکردی قابل پیش‌بینی و اصلاح می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رویکرد HPF به برخی شیرجه‌روها کمک کرد، نه همه، بنابراین تفاوت‌هایی معنادار در خصوص تأثیر الگوی پیشروی بر ناراستایی‌های اندام تحتانی به عنوان عامل خطر آسیب وجود دارد. ناراستایی‌های کمتری در مچ پا، زانو و هیپ در گروه TRD نسبت به HPF دیده شد. اعتقاد بر این است که آزمودنی‌های بیشتر و یا زمان‌های تمرین طولانی‌تر، مزایای معنادار آماری برای رویکرد HPF نشان دهند. به نظر می‌رسد لازم است که مربیان علاوه بر ارزیابی عملکرد شیرجه‌رو در صفحه‌ی ساجیتال و از نمای جانبی، به وضعیت حرکتی مفاصل در صفحه‌ی فرونتال نیز توجه کنند و همان طور که به راستای اندام در نمای جانبی اهمیت می‌دهند، در نمای قدامی و خلفی هم. به نظر می‌رسد در صورتی که شیرجه‌روها با آمادگی جسمانی بهتر، پیشروی را روی تخته فدر انجام دهند، ضمن برخورداری از تمرینی ایمن‌تر، احتمال کسب موفقیت آن‌ها بیشتر است.

همچنین، به مربیان توصیه می‌شود که تمرینات بهبود دهنده ثبات دینامیک و تمرینات اصلاحی را پس از شناخت زمان‌های پرخطر در حین پیشروی شیرجه‌رو روی تخته فدر، طراحی کنند، تا از این طریق، ضمن کاهش دامنه‌ی ناراستایی‌های دینامیک و پیشگیری از وقوع آسیب‌های ناشی از پرکاری اندام تحتانی، منجر به بهبودی عملکرد شیرجه‌روها شوند.

است همانند نتایج پژوهش درودگر و همکاران، اجرای شیرجه‌روها از وضعیت راستایی اندکی فاصله گرفته باشد، اما احتمالاً بر حسب تجربیات قبلی، در این وضعیت به نتیجه‌ای بهتر دست یافته‌اند. این که بهترین عملکرد ورزشکاران، الزاماً در راستای ایده‌آل اجرا نشده است، احتمالاً موید این نکته است که برای دستیابی به امتیاز بالاتر الزاماً به حفظ راستای دینامیک نیاز نیست اما به نظر می‌رسد برای دستیابی به اوج اجرا و عملکرد مطلوب، ناگزیریم راستای پاسچر دینامیک را حفظ کنیم (۲۴).

برخی پژوهشگران بین آسیب‌ها با راستای زانو (فاصله‌ی بین زانوها در حین ایستادن که به عنوان یک مقیاس واروم/ولگوم درشتنی استفاده شده است)، چرخش داخلی/خارجی هیپ یا طول درشتنی (۲۵)، نابرابری طول ساق، انحراف لگن، راستای زانو (فاصله بین زانوها در هنگام ایستادن) یا وضعیت پشت پا (۲۶)، زاویه‌ی Q زنان فوتبالیست (۲۷) ارتباطی ندیدند. پژوهشگران دریافتند تعادل دینامیک و استاتیک به طور ناخوشایند تحت تأثیر تغییرات در ورودی‌های محیطی ثانویه است تا این که تحت تأثیر آسیب مفصل (۲۸) و تغییرات در ثبات سطح شخص ایستاده (۲۹) باشد؛ این می‌تواند هشدار باشد برای سلامت ورزشکاران زیرا ممکن است ورزشکار علی‌رغم وجود اختلال در راستایی مفاصل، تحت تأثیر ورودی‌های محیطی ثانویه، عملکردی قابل قبول داشته باشد در حالی که مفاصل در معرض خطر آسیب‌های ناشی از پرکاری قرار گرفته‌اند. در مقابل بیانون و همکاران (۳۰) دریافتند که در زنان واروم افزایش یافته‌ی درشتنی، عامل خطر برای اسپرین مچ پاست. و یا در مطالعه‌ای دیگر افزایش واروس زانو با آسیب شین‌اسپلینت در ارتباط بود. یک مطالعه‌ی اپیدمیولوژیک نیز نشان داد که بیش از نیمی از ورزشکاران با یک آسیب ACL، ولگوس دینامیک زانو را به عنوان راستای زمان آسیب گزارش کردند (۳۱). اگر چه مکانیسم دقیق آسیب‌ها همچنان در حال بررسی است اما هنگامی که ورزشکاران یک‌چنین ناراستایی دارند، نیاز دارند که برای اصلاح دینامیک آن آگاه شوند به طوری که خطر آسیب تا حد ممکن کاهش یابد (۳۲).

با توجه به این که مورفی و همکاران (۳۳)، گزارش

Sciences The University of Sydney September 2017.

9. Dill KE, Begalle RL, Frank BS, Zinder SM, Padua DA. Altered Knee and Ankle Kinematics During Squatting in Those With Limited Weight-Bearing-Lunge Ankle- Dorsiflexion Range of Motion. *J Athletic Train*. 2014;49(6):723-732.

10. Lee A, Raina S, Kulić D. Automated Assessment of Dynamic Knee Valgus and Risk of Knee Injury During the Single Leg Squat; Published online 2017 Nov 14.

11. Tamura A, Akasaka K, Otsudo T, Shiozawa J, Toda Y, Yamada K. Dynamic knee valgus alignment influences impact attenuation in the lower extremity during the deceleration phase of a single-leg landing; US National Library of Medicine National Institutes of Health. 2017. Published: June 20, 2017; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179810>.

12. Wikstrom EA, Tillman MD, Schenker S, Borsa PA. Failed jump landing trials: deficits in neuromuscular control; *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18:55-61.

13. Quatman CE, Ford KR, Myer GD, Timothy E. Maturation Leads to Gender Differences in Landing Force and Vertical Jump Performance; *AJSM PreView*, 2005. published on December 28, 2005 as doi:10.1177/0363546505281916.

14. Elwardany SH, El-Sayed WH, Ali MF. "Validity of Kinovea Computer Program in Measuring Cervical Range of Motion in Frontal Plane". *Med J Cairo Uni*. 2016;84(1):579-587.

15. Puig-Diví A, Padullés-Riu JM, Busquets-Faciabén A, Padullés-Chando X, Escalona-Marfil C, Marcos-Ruiz D. Validity and Reliability of the Kinovea Program in Obtaining Angular and Distance Dimensions; *Open Access Library Journal*, September 2015. 2: e1916.

16. Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ, Sterett WI, Richard Steadman J. Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clin Biomech*. 2003;18(7):662-669.

17. Brown TN, O'Donovan M, Hasselquist L, Corner B, Schiffman JM. Lower limb flexion posture relates to energy absorption during drop landings with soldier-relevant body borne loads. *Appl Ergon*. 2016;52:54-61.

18. McNitt-Gray JL. Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *J Biomech*. 1993; 26:1037-1046.

19. Miller DI, Zecevic A, Taylor GW. Hurdle Preflight in Springboard Diving: A Case of Diminishing Returns. (*Biomechanics*). *Res Quart Exer Sport*. 2013:134-145.

20. Sultvedt SM, Hinrichs RN. The Effect Of A Hurdle Preflight Approach On Takeoff Velocities In Springboard Diving. *Med Sci Sports Exer*. 2005;37(5):S124-S125.

21. Walker CA. Functional analysis of stability and variability in multiple forward somersaulting dives

نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به شناخت بهتر عوامل خطرزای بروز آسیب‌های اندام تحتانی در شیرجه‌روهای نخبه کمک کند؛ هم‌چنین پیش‌بینی می‌شود تصویری روشن‌تر از ارتباط بین پاسچر (ناراستایی پویا) شیرجه‌روهای نخبه و کیفیت عملکرد تکنیکی آنان ارائه‌ی شود. با توجه به شناخت زمان‌های پرخطر در حین پیشروی شیرجه‌رو روی تخته فیر، شایسته است که مربیان در طول فصل آماده‌سازی، با تمرینات بهبود دهنده ثبات دینامیک، ضمن بهبودی عملکرد شیرجه‌روها، دامنه‌ی ناراستایی‌های دینامیک را به حداقل برسانند و از وقوع آسیب‌های اندام تحتانی پیشگیری کنند. به نظر می‌رسد اجرای پیشروی با الگوی HPF نسبت به TRD نیاز به آمادگی جسمانی بالاتری دارد که پیش‌نیاز اجرای شیرجه‌روهاست.

## References

1. Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, et al. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med*. 1999;27:585-93.

2. Twellaar M, Verstappen FT, Huson A. Physical characteristics as risk factors for sports injuries: a four year prospective study. *Int J Sports Med*. 1997;18:66-71

3. Harrison SM, Cohen R.C.Z., Cleary PW, Barris S, Rose G. Force on the body during elite competitive platform diving. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. December 2012. CSIRO, Melbourne, Australia. 10-12.

4. Silva CC, Teixeira AS, Goldberg TBL. O esporte e suas implicações na saúde óssea de atletas adolescentes. *Rev Bras Med Esporte*. 2003;19(6):426-32.

5. Ying Liu. A study of the leg joints muscle strengths ratios for diving athletes. ISBS 2005, P 526/ Beijing, China.

6. Miller DI, Osborne M, Jones IC. Springboard oscillation during hurdle flight. *J Sports Sci*. 1998;16(6):571-583.

7. Miller DI, Zecevic A, Taylor GW. Hurdle preflight in springboard diving: a case of diminishing returns. *Res Quart Exer Sport*. 2002;73(2), :134-145.

8. Hons B. Functional analysis of stability and variability in multiple forward somersaulting dives from the 3m springboard., Cherie Anne Walker., A thesis submitted in fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy Discipline of Exercise and Sport Science Faculty of Health

from the 3m springboard. A thesis submitted in fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy Discipline of Exercise and Sport Science Faculty of Health Sciences. September 2017. The University of Sydney.

22. Barss P, Djerrari H, Leduc BE, Lepage Y, Dionne CE. Risk factors and prevention for spinal cord injury from diving in swimming pools and natural sites in Quebec, Canada: a 44-year study. *Accid Anal Prev*. 2008 Mar;40(2):787-97.

23. Doroudgar A, khayambashi KH, Zolaktaf V. The Effect of Foot Placement on Vertical Jump Performance. *J Sport Med*. 2009;1(2):37-90.

24. Elphinston J. *Stability, Sport and Performance Movement, Great technique without injury*; First published in 2008 by Lotus Publishing; Apple Tree Cottage, Inlands Road, Chichester, PO 18 8RJ and North Atlantic Books; POBox 12327, Berkeley, California 94712.

25. Milgrom C, Shlamkovitch N, Finestone A. Risk factors for lateral ankle sprain: a prospective study among military recruits. US National Library of Medicine National Institutes of Health, 1991. *Foot Ankle*. 1991;12:26–30.

26. Twellaar M, Verstappen FT, Huson A, et al. Physical characteristics as risk factors for sports injuries: a four year prospective study. *Int J Sports Med*. 1997;18:66–71.

27. Soderman K, Alfredson H, Pietila T, et al. Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. US National Library of Medicine National Institutes of Health. 2001. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2001;9:313–21.

28. Olmsted LC, Carcia CR, Hertel J, Shultz SJ. Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in determining reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2003;37:501–506.

29. Riemann BL, Caggiano NA, Lephart SM. Examination of a clinical method of assessing postural control during a functional performance task. *J Sport Rehabil*. 1999;8:171–183.

30. Beynnon BD, Renstrom PA, Alosa DM, et al. Ankle ligament injury risk factors: a prospective study of college athletes. *J Orthop Res*. 2001;19.

31. Kobayashi H, Kanamura T, Koshida S, Miyashita K, Okado T, Shimizu T, et al. Mechanisms of the anterior cruciate ligament injury in sports activities: a twenty-year clinical research of 1,700 athletes. *J Sport Sci Med*. 2010;9:669-675.

32. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sport Med*. 2005;33:492-501.

33. Murphy DF, Connolly DAJ, Beynnon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the

literature. *Br J Sports Med*. 2003.