The Effect of Eight Weeks of Neuromuscular Training with Dual Cognitive Tasks on Proprioception and Performance of Futsal Players with Dynamic Knee Valgus Deficit

Hamoongard M[1], Hadadnezhad M[2], Abbasi A[2]

Abstracts

Purpose: Most anterior cruciate ligament (ACL) injuries occur when the athlete's attention is focused on performing tasks and cognitive challenges. Dysfunction of the performance and proprioception of the knee joint in the condition of divided attention exposes a person to ACL injury. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of eight weeks of neuromuscular training with dual cognitive tasks on the performance and proprioception of futsal players with dynamic knee valgus deficits.

Methods: 30 futsal players with dynamic knee valgus deficit (mean age: 21.86 ± 3.27 years, weight: 68.91 ± 9.55 kg, height: 175.6 ± 6.49 cm) were purposefully selected and randomly divided into two groups (control=15, experimental=15). In the pre-test, performance by tuck jump test and single leg triple hop test, as well as proprioception of the knee joint by digital imaging of the goniometric method were evaluated. The experimental group participated in a neuromuscular training program with dual cognitive tasks for eight weeks. Both groups performed a pre-test prior to the training period and performed a post-test one week after the training period in the experimental group. After data collection, univariate analysis of covariance and independent t-test was used to examine the means and differences between groups at a significant level ($p \leq 0.05$).

Results: The results of statistical tests showed that there was a significant difference between the mean scores of the tuck jump test p=0.001) and single leg triple hop test (p=0.001) between the participants of the two groups in the post-test, so the performance of the experimental group was better than to the control group. There was no significant difference in proprioception of the knee (p=0.45), however, the mean error of proprioception was further improved in the experimental group compared to the control group.

Conclusion: The results of the present study showed that performing neuromuscular training with dual cognitive tasks significantly improves performance and reduces knee proprioception error. Therefore, it is possible that combining neuromuscular training with dual cognitive tasks as a new training approach can be effective to prevent ACL injury.

Keywords: Anterior Cruciate Ligament, Proprioception, Performance, Dual cognitive Task, Neuromuscular training, Knee

Received: 2021.11.15 Accepted: 2022.04.17

تأثیر هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر حس عمقی و عملکرد بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو

مجید هامون گرد[1]، ملیحه حدادنژاد[2]، علی عباسی[2]

هدف: اکثر آسیب‌های رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament; ACL) در شرایطی اتفاق می افتد که توجه ورزشکار همزمان معطوف به انجام تکلیف و چالش های شناختی است. اختلال در عملکرد و حس عمقی زانو در شرایط تقسیم توجه، فرد را در معرض آسیب ACL قرار می‌دهد. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر عملکرد و حس عمقی بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو است.

روش بررسی: ۳۰ بازیکن فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو (میانگین سن: ۳/۲۷ ± ۲۱/۸۶ سال، وزن: ۹/۵۵ ± ۶۸/۹۱ کیلوگرم، قد: ۶/۴۹ ± ۱۷۵/۶سانتی متر) به صورت هدفمند انتخاب و به صورت تصادفی در دو گروه ۱۵ نفری کنترل و تجربی

تقسیم شدند. در پیش آزمون عملکرد آزمودنی ها توسط آزمون پرش تاک (Tuck jump test) و سه جهش تک پا (Single leg triple hop test) و حس عمقی زانو توسط روش گونیامتری تصاویر دیجیتال مورد بررسی قرار گرفت. گروه تجربی به مدت هشت هفته در برنامه تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی شرکت کردند. در نهایت پس آزمون در شرایط پیش آزمون و یک هفته پس از جلسه تمرین نهایی برگزار شد. پس از جمع آوری داده‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس تک متغیری و آزمون تی مستقل جهت بررسی میانگین‌ها و تفاوت‌های بین گروهی در سطح معنی داری ($p\leq ۰/۰۵$) استفاده شد.

یافته ها: نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که بین میانگین نمرات آزمون پرش تاک ($p=۰/۰۰۱$) و سه جهش تک پا ($p=۰/۰۰۱$) بین آزمودنی های دو گروه در مرحله پس آزمون تفاوت معنی داری وجود دارد به طوری که گروه تجربی عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشتند. در حس عمقی زانو ($p=۰/۴۵$) تفاوت معناداری مشاهده نشد با این حال خطای حس عمقی در گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل بهبود بیشتری داشت.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد انجام تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی موجب بهبود چشمگیر عملکرد و کاهش خطای حس عمقی زانو می‌شود. بنابراین احتمالا انجام تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه به عنوان یک رویکرد جدید تمرینی در پیشگیری از آسیب ACL می‌تواند موثر باشد.

کلمات کلیدی: رباط صلیبی قدامی، حس عمقی، عملکرد، تکلیف دوگانه شناختی، تمرینات عصبی عضلانی، زانو

نویسنده مسئول: مجید هامون گرد، majidhamoongard@gmail.com، ORCID: 0000-0002-4175-6088

آدرس: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی

۱- دانشجوی دکتری آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

مقدمه

شیوع آسیب های اندام تحتانی در فوتبال طی مطالعات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است اما اطلاعات در رابطه با میزان، شیوع و مکانیسم وقوع آسیب در فوتسال اندک است (۱). محبوبیت فوتسال در جوامع مختلف رو به افزایش است و تاکنون بیش از یک میلیون بازیکن رسمی فوتسال توسط فدراسیون های ملی در سراسر جهان ثبت شده اند، با این حال تلاش های اندکی جهت شناسایی و پیشگیری از آسیب های متداول در فوتسال انجام شده است (۲). وقوع ۵۵/۲ آسیب در هر ۱۰۰۰۰ ساعت شرکت در ورزش، فوتسال را از لحاظ میزان شیوع آسیب جزء ده ورزش خطرناک دنیا قرار داده است (۱). این میزان وقوع آسیب تقریبا ۲/۷ برابر بیشتر از بازیکنان فوتبالی است که ۲۰/۳ آسیب را در هر ۱۰۰۰۰ ساعت شرکت در فعالیت ورزشی تجربه می کنند (۲). آسیب غیربرخوردی رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament: ACL) یکی از شایع ترین آسیب های ورزشی در اندام تحتانی است که مطالعات دامنه وقوع آن را از ۰/۰۶ تا ۳/۷ آسیب در هر ۱۰۰۰ ساعت بازی فوتبال گزارش کرده اند (۳). آسیب ACL باعث تحمیل هزینه های مالی، دوری طولانی مدت از ورزش، اختلالات روحی روانی و بروز ناتوانی های بلند مدت مثل استئوآرتریت، پارگی منیسک و دردهای مبهم زانو در ورزشکاران می شود، به همین دلیل اقدامات جهت شناسایی عوامل خطر و روش های پیشگیری از آسیب معتبر ضروری به نظر می رسد (۴).

آسیب غیربرخوردی ACL طی حرکات همراه با پرش و فرود زمانی اتفاق می افتد که ورزشکار ولگوس پویای زانو (Dynamic Knee Valgus) که شامل نزدیک شدن و چرخش داخلی ران، چرخش خارجی ساق و پرونیشن (Pronation) مچ پا می باشد را نشان دهد (۵). در این شرایط ورزشکار از رباط های زانو به جای عضلات، جهت جذب نیروی عکس العمل زمین و نیروهای تماسی استفاده می‌کند و خطر وقوع آسیب افزایش می یابد (۷، ۶). نقص-های عصبی عضلانی به عنوان اختلال در قدرت عضلانی، توان یا الگوهای فعالسازی که منجر به افزایش تنشن وارد بر مفصل زانو می شود، تعریف شده اند (۸). غلبه رباط زانو (Knee Ligament Dominance Deficit) یکی از مهمترین نقص های کنترل عصبی عضلانی است که با

ولگوس پویای زانو حین پرش و فرود همراه است (۵). مشخص کردن نقص های کنترل عصبی عضلانی بهترین شیوه جهت شناسایی افراد در معرض خطر و توسعه ی برنامه های پیشگیرانه از آسیب می باشد (۳). به دلیل محدودیت های زمانی و مکانی در فوتسال، ورزشکاران بایستی در سریع ترین زمان ممکن فرآیندهای پردازش اطلاعات را انجام دهند (۹). واکنش به محرک های پیش-بینی نشده و محدودیت های توجه در فوتسال بر عملکرد ورزشکاران تأثیر می‌گذارد و می‌تواند فرد را در معرض آسیب قرار دهد (۹). در ورزش هایی مانند (فوتسال، فوتبال و هندبال) که آسیب ACL شایع است، تقریبا هرگز ورزشکاران جهت حرکت از قبل تصمیم گیری نمی کنند، بلکه در پاسخ به اغتشاشات شدید خارجی در حال حرکت هستند (۱). یک فوتسالیست در شرایط مسابقه باید الگوهای حرکتی (Movement Patterns) را همزمان با توجه به حرکات حریف، موقعیت توپ، صدای هم تیمی ها و مربی انجام دهد که این شرایط به دلیل تقسیم توجه (Divided Attention) و چالش های شناختی تحمیل شده بر ورزشکار می تواند فرد را در معرض آسیب ACL قرار دهد (۱۱، ۱۰). Gus و همکاران (۱۲) پژوهشی را با هدف تأثیر تقسیم توجه بر تغییرپذیری کینماتیک اندام تحتانی در زنان ورزشکار انجام دادند، در شرایط تقسیم توجه ورزشکاران فلکشن کمتر و افزایش ولگوس پویای زانو را نشان دادند (۱۲). با وجود ارتباط آشکار بین چالش های شناختی و وقوع آسیب، مورد قابل توجه این است که در تمرینات پیشگیری از آسیب تنها عملکرد حرکتی فرد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به فاکتورهای شناختی اهمیتی داده نمی شود (۱۳). شیوع بالای آسیب های غیربرخوردی ACL درمانگران را به این واداشته است که فاکتورهای بیومکانیکال (Biomechanical)، آناتومیکال (Anatomical)، عصبی عضلانی (Neuromuscular) و عصبی شناختی (Neurocognitive) دخیل در آسیب رباط را شناسایی کنند (۴).

حس‌عمقی (Proprioception) به عنوان هماهنگی عصبی عضلانی و توانایی یکپارچه کردن اطلاعات حسی در جهت حفظ آگاهی وضعیت مفاصل و بخش های بدن تعریف می شود (۱۴). به دلیل نقش سیستم حس عمقی در دسترسی به ثبات مفصلی (۱۵) ممکن است شرکت در برنامه ی تمرینات عصبی عضلانی و حس‌عمقی باعث تغییر در قدرت ورزشکار و عملکرد بیومکانیکی تکنیک پرش و فرود (Jump Landing) شود که این مهم می تواند منجر به کاهش خطر آسیب ACL شود (۱۴).

انجام مطلوب الگوهای حرکتی چند مفصلی در صفحات حرکتی مختلف که با انواع انقباضات عضلانی همراه است را عملکرد (Performance) گویند (۱۶). عملکرد ورزشی مرتبط با آزمون های عملکردی ویژه ارزیابی یک مهارت در رشته ورزشی است و عملکرد حرکتی شامل ارزیابی فاکتورهایی نظیر استقامت، قدرت، توان، انعطاف پذیری و کنترل عصبی عضلانی اندام‌های مختلف بدن است که در پیشگیری از آسیب نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۷). درمانگران ورزشی از آزمون های پرشی جهت ارزیابی عملکرد، شناسایی افراد در معرض آسیب و میزان آمادگی جهت بازگشت به رقابت ورزشی (Return to Competition) استفاده می‌کنند (۱۸). آزمون پرش تاک، آزمونی با روایی و اعتبار بالا بوده که مؤلفه های بیومکانیکی و نقص های عصبی عضلانی موجود در تکنیک پرش و فرود ورزشکاران را نمایان می سازد (۵). همچنین Hamilton و همکاران (۱۸) آزمون جهش تک پا را به عنوان یک پیش بین قوی در ارزیابی عملکرد، قدرت، کاهش شتاب، تقارن (Symmetry) و توان معرفی کردند (۱۸).

تکلیف دوگانه (Dual Task) طبق نظریه ظرفیت محدود توجه به عنوان انجام همزمان دو یا چند وظیفه شناختی و حرکتی تعریف می شود (۱۲). در واقع انجام هر تکلیف نیاز به استفاده بخشی از ظرفیت توجه (Attentional Capacity) دارد و در صورتی که منبع پردازش اطلاعات در مغز یکی باشد و یا نیازهای توجه (Attentional Demands) تکالیف از ظرفیت کلی پردازش اطلاعات فرد بیشتر باشد، تداخل در تکالیف رخ خواهد داد (۱۹). تمرینات همراه با تکالیف دوگانه باعث غلبه بر محدودیت های پردازش اطلاعات در سیستم عصبی مرکزی و نهادینه شدن الگوی حرکتی صحیح در قشر خاکستری مغز می شود (۲۰). اکثر مداخلات در رابطه با تمرینات تکالیف دوگانه جهت بررسی تعادل، خطر افتادن و میزان ثبات و جابجایی مرکز فشار در افراد سالمند و کم توان استفاده شده و کمتر مطالعه ایی ورزشکاران را مورد هدف قرار داده است (۲۱). Jardim و همکاران (۲۲) طی پژوهشی با هدف بررسی تأثیر تمرینات تکالیف دوگانه بر عملکرد فیزیکی و شناختی افراد بزرگسال سالم که پروتکل

تمرینی شامل ۲۴ جلسه ۷۵ دقیقه ایی بود به این نتیجه رسیدند تلفیق تکالیف شناختی و حسی با عملکرد حرکتی باعث بهبود استقامت توجه، انعطاف پذیری، عملکرد قلبی عروقی، قدرت، چابکی و بهبود کیفیت زندگی می شود (۲۲).

از تمرینات عصبی عضلانی جهت افزایش کنترل عصبی عضلانی، بهبود ثبات، حس عمقی و توسعه‌ی رفلکس های واکنشی جهت کاهش خطر آسیب استفاده می شود (۲۳). تمرینات عصبی عضلانی با افزایش فعالیت عضلات همسترینگ داخلی، افزایش کنترل تنه و لگن از طریق اصلاح الگوی حرکتی و استراتژی های از پیش برنامه ریزی شده موجب کاهش خطر ولگوس پویای زانو می شوند (۲۴). Myer و همکاران (۲۵) نشان دادند انجام تمرینات عصبی عضلانی باعث بهبود متغیرهای بیومکانیکی اندام تحتانی و افزایش عملکرد (بهبود مسافت پرش و کنترل عصبی عضلانی) در ورزشکاران می شود که می تواند خطر آسیب ACL را کاهش دهد (۲۵). با این حال با وجود برنامه های پیشگیری از آسیب متنوع، میزان وقوع آسیب-های ACL هنوز هم قابل توجه است، احتمالا استفاده از رویکردهای عصبی شناختی بتواند شکاف (Gap) موجود در برنامه های پیشگیری از آسیب را پر نماید (۱۲). تمرینات پیشگیری از آسیب جهت حداکثر تعمیم پذیری با شرایط مسابقه بایستی سیستم عصبی مرکزی را به چالش بکشند و در یکپارچگی اطلاعات بینایی و حس عمقی نقش داشته باشند (۱۰).

احتمالا انجام همزمان تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف شناختی باعث کاهش محدودیت های توجه (Attention Limitations) و خودکار شدن (Automation) الگوهای حرکتی ورزشکاران در شرایط مسابقه می شود (۲۶). اگر هدف توسعه ی اجرای پروتکل های تمرینی معتبر در جهت پیشگیری از آسیب می باشد، نیازهای تکالیف شناختی بایستی در نظرگرفته شوند که ممکن است محدودیت تأثیرگذاری برنامه های تمرینی پیشگیری از آسیب ACL را مشخص کند (۱۲). بر طبق جستجوی محقق، کمتر مطالعه ایی از تمرینات تکالیف دوگانه جهت ارتقای فاکتورهای پیشگیری از آسیب ACL در ورزشکاران استفاده کرده است. نتایج حاصل از این پژوهش موجب توسعه‌ی پروتکل های تمرینی، شناسایی عوامل خطر آسیب و بهبود اثرگذاری برنامه های تمرینی پیشگیری از آسیب می شود. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر حس عمقی و عملکرد بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو می‌باشد.

روش بررسی

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت موضوع و شکل اجرای آن از نوع نیمه تجربی، کاربردی و با طرح پیش آزمون و پس آزمون در دو گروه می باشد. این تحقیق دارای یک گروه تجربی (شامل تمرینات عصبی عضلانی با تکلیف دوگانه شناختی به صورت همزمان) و یک گروه کنترل (بدون مداخله) می باشد. جامعه ی آماری پژوهش حاضر شامل تمام فوتسالیست های مرد استان قم در دامنه‌ی سنی ۱۸ تا ۳۰ سال با نقص عصبی عضلانی ولگوس پویای زانو (Dynamic Knee Valgus Deficit) بودند که توسط آزمون پرش تاک شناسایی شدند.

با استفاده از روش نمونه گیری هدفمند و با توجه به ملاک ورود و خروج از تحقیق، تعداد ۳۲ ورزشکار انتخاب شده و به طور تصادفی به دو گروه تجربی (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) تقسیم شدند، در جریان تحقیق ۲ نفر از آزمودنی-ها به دلیل عدم شرکت در جلسات تمرین پس آزمون از مطالعه حذف شدند و در مجموع ۳۰ نفر مورد بررسی قرار گرفتند. جهت تصادفی سازی آزمودنی ها از قانون تخصیص تصادفی (اختصاص نیمی از آزمودنی ها به گروه تجربی و نیمی دیگر به گروه کنترل به صورت برابر و تصادفی) و برای پنهان سازی تخصیص تصادفی (Allocation Concealment) از جعبه های کدبندی شده با توالی تصادفی استفاده شد. به صورتی که تعدادی جعبه هم اندازه و هم شکل به صورت تصادفی انتخاب و در داخل جعبه ها از مداخله یا برگه هایی که تخصیص تصادفی در آن ثبت شده است، استفاده گردید، همچنین تصادفی سازی توسط فردی غیر از محقق انجام شد.

جهت جلوگیری از ایجاد سوگیری در نتایج تحقیق، کورسازی (Blinding) به روش یک سویه کور انجام گرفت. جهت انتخاب حجم نمونه از آمار توصیفی و به استناد بر مطالعات مشابه قبلی (۱۰،۲۷،۲۸) و با استفاده از نرم افزار G*Power ساخت کشور آلمان (دوسلدورف)، نسخه (3.1.9.2) مبتنی بر آزمون تحلیل کوواریانس تک متغیری در متن مانکوا با توان ۸۰ درصد و ضریب آلفا برابر(

۰/۰۵)، اندازه اثر متوسط برابر (۰/۳) که بر این اساس تعداد نمونه‌ها ۲۴ نفر بدست آمد و با در نظر گرفتن ریزش احتمالی آزمودنی ها در نهایت تعداد ۳۲ آزمودنی در نظر گرفته شدند. سقف ریزش آزمودنی ها ۲۰ درصد در نظر گرفته شد، همه شرکت کنندگان قبل از جمع آوری داده ها و شرکت در آزمون از مزایا و معایب پژوهش فوق آگاه شدند و رضایت شرکت در آزمون از آن ها گرفته و به آن ها اطمینان داده شد که اطلاعات آن ها کاملا محرمانه در اختیار پژوهشگر خواهد ماند.

معیارهای ورود به تحقیق شامل موارد ذیل می باشد: تمام بازیکنان فوتسال استان قم با نقص ولگوس پویای زانو که توسط آزمون پرش تاک شناسایی و ارزیابی شدند (۵)، مردان در دامنه ی سنی ۱۸-۳۰ سال (۲۹)، سابقه ی شرکت در رشته ورزشی فوتسال در سه سال گذشته، عدم شرکت در برنامه های تمرینی پیشگیری از آسیب در یکسال گذشته، عدم آسیب ACL و یا آسیب اندام تحتانی و تنه نیازمند جراحی طی شش ماه گذشته، عدم بدراستایی های قابل رؤیت در اندام تحتانی و تنه (۳۰-۳۲، ۱۰) و یا هرگونه اختلال پزشکی که فرآیند توجه و تکالیف شناختی را تحت تأثیر قراردهد (۳۰) و شاخص توده‌ی بدنی نرمال (۲۷). معیارهای خروج از تحقیق نیز شامل: سابقه‌ی درد و اختلالات اسکلتی عضلانی (۲۸)، عدم رضایت آزمودنی ها و عدم تمایل آن ها به انجام روند تحقیق، عدم شرکت آزمودنی ها در دو جلسه‌ی تمرینی متوالی و سه جلسه غیرمتوالی در تمرینات بود.

هر یک از آزمودنی های تحقیق که بر اساس معیارهای ورود به تحقیق انتخاب شده بودند در طرح پیش آزمون شرکت کردند و اطلاعیه جهت جمع آوری و فراخوانی آزمودنی ها پس از دریافت کد اخلاق و ثبت تحقیق در سامانه کارآزمایی بالینی ایران زده شد. پس از توجیه و پرکردن فرم رضایت نامه کتبی شرکت در پژوهش توسط آزمودنی ها و ذکر ملاحظات اخلاقی تحقیق و همچنین ذکر نکات و آموزش‌هایی که در روند انجام تحقیق و جمع آوری داده ها تداخلی ایجاد نمی کرد، از آزمودنی ها خواسته شد جهت پیشگیری از آسیب، قبل از اجرای تست گرم کردن اولیه را انجام دهند. پروتکل گرم کردن قبل از اجرای آزمون به مدت ۵ دقیقه شامل حرکات اسکات دو پا با وزن بدن (۲ ست- ۸ تکراری)، پرش عمودی دو پا (۲ ست- ۵ تکراری)، دویدن و حرکات کششی پویا بود (۳۰، ۱۰). مداخلات شامل هشت هفته برنامه تمرینی عصبی عضلانی (اسکات دو پا، لانج همراه با قدم زدن، اسکات تک پا، پرش و فرود دو پا، ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار، پرش و فرود تک پا، پرش افقی، پرش بلند با یک پا در حالت ایستاده) همراه با تکلیف دوگانه شناختی (نام بردن کلمات هم خانواده، توالی شماره از یک عدد، جمع و تفریق اعداد، واکنش به رنگ ها و اعداد نمایش داده شده به صورت تصادفی و ...) به صورت همزمان برای گروه تجربی می باشد. گروه کنترل هیچ گونه مداخله ایی دریافت نکردند و تنها به فعالیت روزانه خود پرداختند. پس از هشت هفته پس آزمون در شرایط پیش آزمون و یک هفته پس از اتمام مداخلات برای هر دو گروه کنترل و تجربی انجام شد و داده های جمع آوری شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نحوه انجام آزمون پرش تاک (Tuck jump test)

آزمون پرش تاک یک روش معتبر و قابل اعتماد با ضریب پایایی (۰/۹۶ -۰/۹۴) جهت ارزیابی و تشخیص نقص های عصبی عضلانی وابسته به آسیب ACL می باشد، این آزمون شامل انجام پرش های مداوم با حداکثر ارتفاع برای ده ثانیه است و دارای ده آیتم و تفسیر سیستم امتیاز دهی اصلاح شده ی آن (۰-۲) است که اطلاعات جامعی در مورد افراد با خطر آسیب ACL فراهم می‌کند (جدول ۱). این آزمون علاوه بر نقص غلبه رباط (ولگوس پویای زانو)، قادر به شناسایی نقص غلبه تنه، پا و چهار سر هم می باشد، در تحقیق حاضر افرادی که هنگام فرود چرخش به داخل ران و زانو را نشان دادند و هنگام فرود پاها به اندازه عرض شانه باز نبود به عنوان افراد با نقص ولگوس پویای زانو شناسایی شدند (۵).

به آزمودنی ها آموزش داده شد که پاهای خود را در وسط مستطیل مشخص شده روی زمین قرار دهند، این مربع از چهار مستطیل کوچکتر (به ابعاد ۴۰ × ۳۵) تشکیل شده است، دستورالعمل های اساسی در مورد چگونگی انجام آزمایش شامل اطلاعات مربوط به بلند کردن زانوها تا ارتفاع مفصل ران و تلاش جهت فرود آمدن بر روی همان موقعیت شروع به صورتی که پاها به اندازه عرض شانه، در یک راستا و همزمان با زمین تماس پیدا کنند و خطاهای شایع در آزمون به شرکت کنندگان داده شد. قبل از انجام آزمون ده دقیقه گرم کردن عصبی عضلانی شامل حرکات چند جهتی در ترکیب با تمرینات مقاومتی، کششی، افزایش و کاهش

جدول ۱: ملاک امتیازدهی برای هر آیتم در آزمون اصلاح شده پرش تاک

ملاک	امتیاز (۰)	امتیاز (۱)	امتیاز (۲)
۱. ولگوس اندام تحتانی در فرود	بدون ولگوس	ولگوس اندک	ولگوس قابل مشاهده در هر دو پا
۲. ران ها در اوج پرش موازی نیستند	زانوها بالاتر یا هم سطح ران ها هستند	زانوها اندکی پایین‌تر از ران ها قرار دارند	هر دو زانو کاملاً زیر ران ها قرار دارند
۳. ارتفاع ران های دوطرف مساوی نیست	ران‌های دو طرف مساوی هستند	ران ها اندکی نابرابر هستند	ران ها کاملاً نابرابر هستند (زانوها بالای یکدیگرند)
۴. پاها به اندازه عرض شانه‌ها باز نیستند	پاها دقیقاً اندازه عرض شانه‌ها هستند	پاها بیشتراز عرض شانه‌ها با هم فاصله دارند	هردوپا در زمان فرود یکدیگر را لمس کنند
۵. پاها هنگام فرود موازی نباشند (جلو و عقب)	پاها موازی باشند	پاها اندکی جلو و عقب باشند	پاها کاملاً نامساوی باشند
۶. زمان برخورد پاها با زمین مساوی نیست	زمان برخورد پا با زمین کاملاً مساوی است	زمان برخورد اندکی نابرابر است	زمان برخورد کاملاً نابرابر است
۷. صدای بیش از حد پا حین فرود	صدای کم هنگام فرود	صدا قابل شنیدن باشد (فرود با پاشنه)	سرو صدا زیاد هنگام پرش فرود
۸. وقفه بین پرش ها	پرش های رفلکسی و واکنشی	وقفه کوتاه بین پرش ها	مکث و وقفه زیاد بین پرش ها
۹. افت تکنیک قبل از ده ثانیه	عدم افت تکنیک	افت تکنیک بعد از ۵ ثانیه	افت تکنیک قبل از ۵ ثانیه
۱۰. فرود در مکان های مختلف صورت گیرد	فرود در موقعیت شروع پرش باشد	در نقطه شروع پرش، فرود نیاید اما داخل منطقه تعیین شده باشد	فرود در بیرون از منطقه تعیین شده باشد

شتاب انجام شد، همچنین شرکت کنندگان قبل از جمع آوری داده ها مجاز به انجام بیش از دو آزمایش نبودند بعد از دریافت اطلاعات پایه در مورد نحوه‌ی چگونگی انجام آزمون، شرکت کنندگان شروع به انجام پرش های متوالی در محل طراحی شده برای ده ثانیه کردند (حدود ۵ پرش)، یک دوربین (Samsung Galaxy Note 4) ساخت کره به صورت ۳۰ فریم در ثانیه در نمای روبرو جهت ارزیابی ولگوس پویای زانو و یک دوربین در نمای جانب جهت بازبینی و امتیازدهی به آزمودنی ها در فاصله ۳ متری قرار داده شد. جهت بهبود در دقت ارزیابی، دوربین ها با توجه به قد آزمودنی تنظیم شدند. برای اینکه آزمون ناکارآمد در نظر گرفته شود، خطای تکنیکی خاص بایستی دو یا چند مرتبه در طول آزمون تکرار شود (۵). سینک فیلم ها جهت تشخیص نقص های عصبی عضلانی با استفاده از کینماتیک دو بعدی و نرم افزار کینووآ ساخت آمریکا، مدل (0.8.15) (۳۳) صورت پذیرفت. در پژوهش حاضر از آزمون پرش تاک جهت شناسایی افراد با نقص ولگوس پویای زانو و ارزیابی عملکرد استفاده شد (تصویر ۱).

نحوه انجام آزمون سه جهش تک پا (Single leg Triple Hop Test)

آزمون سه جهش تک پا به منظور برآورد مسافت طی شده یک آزمون معتبر با ضریب پایایی ۰/۹۵ می باشد از این آزمون جهت ارزیابی قدرت فانکشنال (Functional)، توان و کنترل عصبی عضلانی در حین مسافت طی شده، توانایی افراد در کاهش شتاب حرکات در طول فرود از پرش با یک پا و شناسایی افراد در معرض آسیب اندام تحتانی استفاده می شود (۳۴).

تصویر ۱: محیط و نحوه اجرای آزمون پرش تاک جهت تشخیص نقص های عصبی عضلانی

آزمون در محلی که ویژه ورزشکاران رشته ورزشی (فوتسال) می باشد، انجام و از یک نشانگر ۸ متری و یک نوار ۳ متری عمود بر انتهای آن جهت آماده سازی محل انجام آزمون استفاده شد. بعد از برنامه تمرینی گرم کردن ورزشکار با پای مورد آزمون (پای برتر) به طوری که انگشت شست خود را روی خط شروع قرار می دهد، می ایستد. آزمونگر بایستی فاصله ی پرش از خط شروع تا نقطه ایی که پاشنه ی ورزشکار در پرش سوم به طور کامل فرود می آید را اندازه گیری کند. حرکات اندام فوقانی در طول اجرای آزمون نبایستی محدود باشند. به آزمودنی ها آموزش داده شد که در آخرین پرش وضعیت فرود را دو ثانیه حفظ کنند

تا آزمون موفقیت آمیز ارزیابی شود. در طول فرود آزمودنی نبایستی جابجا شود، بچرخد یا اینکه از پای مقابل جهت حمایت استفاده کند. به آزمودنی ها اجازه داده شد در صورت از دست رفتن تعادل در حین پرش، آزمون مجدد تکرار شود، جهت آشنایی با نحوه‌ی انجام آزمون و جلوگیری از خستگی، شرکت کنندگان آزمون را دو مرتبه انجام دادند بعد از انجام تمرین سه آزمون برای هر پا به طور متناوب انجام شد و ۳۰ ثانیه استراحت بین هر تمرین و آزمون در نظر گرفته شد و در نهایت میانگین فاصله ی طی شده در سه آزمون (Trial) با پای برتر (Dominant Leg) جهت برآورد مسافت طی شده در اندام تحتانی محاسبه شد (۳۴) (تصویر ۲).

تصویر ۲: نحوه انجام آزمون سه جهش تک پا

نحوه اندازه‌گیری حس عمقی زانو

سنجش و اندازه‌گیری حس‌عمقی با استفاده از روش گونیامتری تصاویر دیجیتال که دارای روایی و اعتبار بالایی جهت ارزیابی حس وضعیت مفاصل می باشد، صورت پذیرفت (۳۵). به منظور ارزیابی حس‌عمقی مفصل زانو، از روش بازسازی زاویه‌ی هدف در ۳۰ درجه فلکشن زانو در وضعیت نیمه اسکات تک پا استفاده شد، وضعیت همراه با تحمل وزن (زنجیره حرکتی بسته) نسبت به وضعیت بدون تحمل وزن، کاربردی تر می باشد (۳۶، ۳۵).

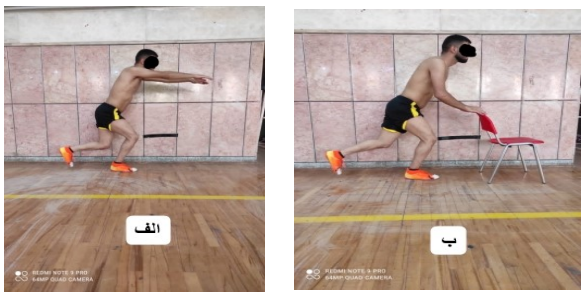
پای برتر (به عنوان پایی که از آن برای ضربه زدن در حداکثر فاصله ممکن استفاده می شود) به عنوان پای مورد آزمون انتخاب شد، نشان داده شده است که تفاوت چشمگیری بین پای برتر و غیربرتر وجود ندارد (۱۳). به منظور اندازه‌گیری زاویه هدف از سیستم متشکل از مارکرگذاری پوستی، عکس برداری دیجیتال و نرم افزارکینووا (Kinovea) ساخت آمریکا، مدل (0.8.15) استفاده شد (۳۳).

همه آزمودنی ها قبل از شروع آزمون، با نحوه انجام آن آشنا شدند. محل انجام آزمون در سالن ورزشی بود. آزمودنی با چشمان باز و قامت صاف در حالتی که پاها به اندازه ی عرض شانه ها باز می باشد، می ایستد و از وی خواسته شد پایی که مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد (پای مقابل) را از زمین بلند کند و وضعیت نیمه اسکات تک پا با پای مورد آزمون (پای برتر) را به خود بگیرد و به آرامی با پای مورد آزمون از وضعیت آغاز که زانو صاف و در زاویه صفر درجه است تا زاویه‌ی ۳۰ درجه که همان زاویه هدف است، خم شود (زاویه خم شدن زانو که معرف زاویه هدف است، توسط نشانگر بر روی دیوار مشخص شد) و این وضعیت را نگه دارد. جهت مشخص شدن حس وضعیت مفصل زانو، به صورت ایزومتریک ۵ ثانیه این وضعیت را حفظ کند و به وضعیت ایستاده روی دو پا در حالت تحمل وزن بازگردد و ۷ ثانیه استراحت کند، سپس از آزمودنی خواسته شد با چشمان بسته (جهت حذف اثر بینایی و تکیه بر حس عمقی مفصل زانو) توسط پای مورد آزمون، زاویه هدف را بازسازی کند و هر زمان که تصور می کرد به زاویه-ی مورد نظر رسیده است، در همان وضعیت به مدت ۳ ثانیه تمرکز کند و با کلمه (رسیدم) به آزمونگر اطلاع بدهد. دست های بدن جهت حفظ تعادل در وضعیت چشم بسته بر روی صندلی قرار می گیرد، زمان نگه‌داری وضعیت زانو بر اساس مطالعات قبلی می‌باشد (۳۵).

هر بار در وضعیت زاویه هدف با چشمان باز و بسته از ورزشکار توسط دوربین (Samsung Galaxy Note 4) ساخت کره، تصویربرداری شد و جهت به دست آوردن اختلاف زوایای بازسازی شده با چشمان باز و بسته در زاویه مورد نظر، تصاویر در نرم افزار کینووا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای مارکرگذاری هر فرد از شلوارک ورزشی و در صورت امکان از کمترین پوشش استفاده شد، مارکرها در بخش پروگزیمال (Proximal) خط مفصلی تروکانتر بزرگ (Great trochanter) تا بخش خارجی زانو، بالای گردن نازک‌نی، بالای بخش پروگزیمال قوزک خارجی و بالای نوار ایلیوتیبیال (Iliotibial band) باند نزدیک لبه-ی فوقانی کشکک قرار گرفتند (۳۵). اندازه گیری وضعیت مفصل زانو سه بار و میانگین آن ها محاسبه شدند، دوربین-های دیجیتالی در وضعیت ۱۸۵ سانتی متری از آزمودنی-ها و ۶۵ سانتی متری از زمین قرار گرفتند (تصویر ۳).

پروتکل تمرینات عصبی عضلانی

مطابق با پروتکل Ghanati و همکاران (۲۷) تمرینات عصبی عضلانی شامل هشت هفته تمرینات ویژه رشته ی ورزشی، چابکی، تعادلی، هماهنگی عصبی عضلانی، تمرینات قدرتی، حس عمقی و پلایومتریک بود، این پروتکل



تصویر ۳: محیط و نحوه ارزیابی حس عمقی زانو
الف) بازسازی زاویه ۳۰ درجه فلکشن زانو با چشم باز ، ب) بازسازی زاویه ۳۰ درجه فلکشن زانو در وضعیت چشم بسته

تمرینی، نوع برنامه‌ی تمرینی، زمان و تکرار آن جهت پیشگیری از آسیب ACL توصیه شده است (۲۷).

برنامه‌ی تمرینی عصبی عضلانی (شامل اسکات دو پا، لانگز همراه با قدم زدن، اسکات تک پا، پرش و فرود دو پا، ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار، پرش و فرود تک پا، پرش افقی، پرش بلند با یک پا در حالت ایستاده) در طول هفته‌ی ۱-۶ شامل سه جلسه‌ی تمرینی در هفته و در طول هفته ۷-۸ دو جلسه تمرینی در هفته بود (مجموعا ۲۲ جلسه). مداخلات برنامه تمرینی شامل: ۱۰ دقیقه گرم کردن عمومی زیر بیشینه بر روی دوچرخه ثابت، ۴۰ دقیقه انجام تمرینات، ۳۰ تا ۶۰ ثانیه استراحت بین هر ست و ۵ دقیقه جهت سرد کردن بدن در نظر گرفته شد. در نهایت زمان کلی انجام تمرینات بین ۴۵ تا ۶۰ دقیقه بود. تمرین اسکات با وزن بدن انجام شد و جهت ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار از یک کوشن بال استفاده شد (۲۷) (جدول ۲).

پروتکل تمرینات تکالیف دوگانه شناختی

از پروتکل تکلیف شناختی Rezola و همکاران (۳۷) شامل (وظایف محاسباتی، نام بردن کلمات هم خانواده، واکنش به رنگ ها، اعداد تصادفی و ...) همزمان با تمرینات عصبی عضلانی استفاده شد، تعیین فاصله ی ایده آل بین محرک ها (زمان بین محاسبات شناختی) جهت انجام تکلیف دوگانه چالش برانگیز می باشد، نشان داده شده است اگر محرک سریع تر از یک تا یک و نیم ثانیه باشد، خطای شناختی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین استفاده از دو ثانیه فاصله بین محرک ها در افراد سالم مناسب می باشد که در پژوهش حاضر مداخلات شناختی با فاصله زمانی ۲ ثانیه ارائه می شدند (۳۸).

از آزمودنی‌ها خواسته شد که محاسبه را به دقت و سریع با فاصله زمانی ۲ ثانیه در حین انجام تمرینات عصبی عضلانی انجام دهند. آزمودنی های گروه تجربی در فواصل زمانی یک ساعت و به صورت ۲ گروه تقسیم شده در زمان مشخص جهت جلوگیری از ایجاد تداخل در انجام تمرینات به باشگاه ورزشی مراجعه کردند. راهنمایی ها قبل از هر جلسه ی تمرینی اعمال شد و در هفته اول جلسات تمرینی جهت آموزش راستای صحیح مفاصل به آزمودنی ها حین انجام تکالیف از بازخورد خارجی، داخلی و دستورالعمل های کلامی استفاده شد (جدول ۳).

جهت بررسی نرمال بودن و همگنی داده ها از آزمون شاپیروویلک (Shapiro–Wilk) و بررسی همگنی واریانس ها از آزمون لون (Levene’s tests) استفاده شده است. سپس از آزمون تی مستقل (Independent Samples t-test) جهت مقایسه ویژگی های دموگرافیک آزمودنی های دو گروه استفاده شد. در ادامه با توجه به طرح تحقیق، از آزمون تحلیل کوواریانس تک متغیری (One-way Analysis of Covariance; ANCOVA) برای بررسی تأثیر مداخلات استفاده شد. لازم به ذکر است که متغیر پیش آزمون به عنوان متغیر کووریت (Covariate) در نظر گرفته شد. همچنین پیش فرض - های اجرای تحلیل کوواریانس (شامل: نرمال بودن توزیع داده‌ها، همگنی واریانس‌ها و همگنی شیب رگرسیون) رعایت شد. به منظور بالا بردن توان تحلیل، علاوه بر ارزش p، درصد پیشرفت پس آزمون نسبت به پیش آزمون و اندازه اثر (Effect size; ES) دو گروه در پیش و پس آزمون گزارش شد. تجزیه و تحلیل یافته ها در سطح معناداری ۹۵ درصد و میزان آلفای کوچکتر یا مساوی ۰/۰۵ و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شده است.

یافته ها

اطلاعات فردی آزمودنی ها از قبیل میانگین و انحراف معیار سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی و سابقه فعالیت جهت همسانسازی دو گروه کنترل و تجربی در (جدول ۴) گزارش شده است. نتایج آزمون تی مستقل حاکی از عدم وجود تفاوت معنادار در ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی ها بین گروه کنترل و تجربی می باشد.

نرمال بودن توزیع داده ها بر اساس آزمون شاپیرویلک مورد بررسی قرار گرفت. برای گروه تجربی متغیر آزمون

جدول ۲: پروتکل تمرینات عصبی عضلانی

تمرین	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸
اسکات دوپا	۳×۶	۳×۶	–	–	–	–	–	–
لانگژ با قدم زدن	۳×۶	۳×۶	–	–	–	–	–	–
اسکات تک پا	۳×۶	۳×۶	۴×۸	۴×۸	۴×۱۲	–	–	–
پرش و فرود دو پا	–	–	۳×۶	۴×۱۰	۴×۱۲	–	–	–
ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار	–	–	۳×۳۰ ثانیه	۳×۳۰ ثانیه	۴×۳۰ ثانیه	۴×۳۰ ثانیه	۳×۳۰ ثانیه	۳×۳۰ ثانیه
پرش و فرود تک پا	–	–	۳×۶	۳×۸	۴×۸	۴×۱۰	۳×۸	۳×۶
پرش افقی تک پا	–	–	–	–	–	۴×۸	۵×۱۰	۳×۸
پرش طولی در وضعیت ایستاده تک پا	–	–	–	–	–	۴×۸	۵×۸	۳×۸

(تکرار یا ثانیه × ست برای هر تمرین در ۸ هفته تمرینات عصبی عضلانی)

جدول۳: پروتکل تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی

تمرین	هفته ۱ و ۲	هفته ۳، ۴ و ۵	هفته ۶، ۷ و ۸
اسکات دوپا **لانگژ با قدم زدن** **اسکات تک پا**	محاسبه اعداد با توالی جلو و عقب از یک شماره تصادفی. نام بردن ماه‌های سال و روزهای هفته به ترتیب و شروع تصادفی روز و ماه با توالی جلو و عقب.	–	–
اسکات تک پا **پرش و فرود دوپا** **ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار** **پرش و فرود تک پا**	–	محاسبه اعداد با توالی ۲ شماره به بالا و ۳ شماره به پایین (همراه با جمع، تفریق، ضرب و تقسیم). واکنش به رنگه ای نمایش داده شده به صورت کلامی و تکرار کلمات و رنگ ها به صورت متوالی و برعکس	–
ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار **پرش و فرود تک پا** **پرش افقی تک پا** **پرش طولی در وضعیت ایستاده تک پا**	–	–	نام بردن کلمات هم خانواده و متعلق به یک دسته (حیوانات، اجسام و ...). واکنش برعکس به رنگهای نمایش داده شده به صورت کلامی و دیداری. جابجایی توجه آزمودنی از یک تکلیف شناختی به تکلیف شناختی دیگر (از محاسبه اعداد به واکنش رنگ‌ها و...)

جدول ۴: ویژگی دموگرافیک آزمودنی ها

متغیر	کل آزمودنی‌ها (۳۰) (انحراف معیار± میانگین)	گروه کنترل (۱۵) (انحراف معیار± میانگین)	گروه تجربی (۱۵) (انحراف معیار± میانگین)	p- مقدار
سن (سال)	۲۱/۸۶ ± ۳/۲۷	۲۱/۲ ± ۲/۸۰	۲۲/۵۳ ± ۳/۶۶	۰/۲۷
وزن (کیلوگرم)	۶۸/۹۱ ± ۹/۵۵	۶۹/۵۳ ± ۹/۵۵	۶۸/۳ ± ۱۰/۸۵	۰/۶۳
قد (سانتی متر)	۱۷۵/۶ ± ۶/۴۹	۱۷۴/۷ ± ۶/۲۵	۱۷۵/۹ ± ۶/۸۸	۰/۷۱
شاخص‌توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۲۲/۳۶ ± ۲/۲۹	۲۲/۶۴ ± ۱/۸۵	۲۲/۰۸ ± ۲/۷۰	۰/۵۴
سابقه ورزشی (سال)	۵/۸۳ ± ۲/۱۸	۵/۲۰ ± ۲/۱۴	۶/۴۶ ± ۲/۰۹	۰/۱۱

پرش تاک در پیش آزمون (df=۱۵، p=۰/۲۱) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۰۵)، متغیر جهش تک پا در پیش آزمون (df=۱۵، p=۰/۵۵) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۹۹)، متغیر حس عمقی در پیش آزمون (df=۱۵، p=۰/۰۸) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۰۷) و برای گروه کنترل متغیر آزمون پرش تاک در پیش آزمون (df=۱۵، p=۰/۱۶) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۰۹)، متغیر جهش تک پا در پیش آزمون (df=۱۵، p=۰/۴۲) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۶۵)، متغیر حس عمقی در پیشآزمون (df=۱۵، p=۰/۴۱) و پس آزمون (df=۱۵، p=۰/۰۶) فرض طبیعی بودن توزیع داده ها مورد تأیید قرار گرفت.

همگنی واریانس ها نیز بر اساس آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای حس عمقی زانو (p=۰/۷۵ و ۰/۰۹ $F_{1,28}$=)، آزمون پرش تاک (p=۰/۵۹ و $F_{۱،۲۸}$=۰/۲۹) و آزمون جهش تک پا (p=۰/۲۱ و $F_{۱،۲۸}$= ۱/۴۱) مورد بررسی از لحاظ آماری معنی دار نبودند. سطح معنی داری بزرگ‌تر از (p >۰/۰۵) حاکی از آن است که مفروضه همگنی واریانس ها تأیید شده است. با توجه به رعایت پیش فرض های مذکور، اثر بخشی هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر حس عمقی و عملکرد بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو، از آزمون تحلیل کواریانس تک متغیری استفاده شد. هدف از اجرای تحلیل کواریانس مقایسه ی نمرات متغیرهای پژوهش در پیش آزمون و پس آزمون گروه تجربی و کنترل است.

در نهایت نتایج آزمون تحلیل کوواریانس تک متغیری نشان داد که در میانگین نمرات پس آزمون و پیش آزمون پرش تاک (Eta =۰/۷۱ , p=۰/۰۰۱<۰/۰۵) و آزمون جهش تک پا (Eta =۰/۳۴ , p=۰/۰۰۱<۰/۰۵) بین گروه کنترل و تجربی پس از حذف اثر پیش آزمون تفاوت معنی داری وجود دارد. در رابطه با متغیر حس عمقی زانو (Eta =۰/۰۲ , p=۰/۴۵>۰/۰۵) تفاوت ها معنی دار نبود. با این حال میانگین خطای حس عمقی زانو در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل بهبود بیشتری داشته است اما از لحاظ آماری معنی دار نبوده است. علاوه بر آن مقادیر حاصل از اندازه اثر تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی که به روش اتااسکوئر (Etasquare) مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده اثر بالای تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر آزمون پرش تاک و جهش تک پا می باشد (جدول ۵).

بحث و نتیجه گیری

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تأثیر انجام هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر حس عمقی و عملکرد بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در آزمون پرش تاک و سه جهش تک پا، آزمودنی های گروه تجربی نتایج بهتری را در پس آزمون نسبت به پیش آزمون بدست آوردند، اما در گروه کنترل تغییرات معنی داری مشاهده نشد. همچنین بررسی اندازه اثر تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی به روش اتااسکوئر، حاکی از اندازه اثر بزرگ این تمرینات بر آزمون های عملکردی مورد استفاده در این پژوهش دارد. از طرفی دیگر بهبود خطای بازسازی حس عمقی در گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد اما این میزان از لحاظ آماری معنی دار نبود.

حس عمقی یکی از عوامل مهم در کاهش خطر آسیب در ورزشکاران محسوب می شود و هرگونه اختلال در آن فرد را در معرض آسیب قرار می دهد (۳۹). احتمالا نقص-های عصبی عضلانی در طی فعالیت های همراه با پرش و فرود، حس عمقی را دچار اختلال کرده و این مهم فعالیت پیش بین (Anticipatory) عضلات ثبات دهنده زانو را مختل می کند که در نهایت می تواند فرد را در معرض آسیب ACL قرار دهد (۴۰). کنترل عصبی عضلانی سازوکاری است که با استفاده از ورودی های آوران ارسالی از گیرنده‌های مکانیکی و تنظیم رفلکس های عضلانی نقش مهمی در ثبات مفصل زانو ایفا می‌کند (۳۹). افزایش قابلیت های حس عمقی و کنترل عصبی عضلانی از فاکتورهای ضروری پیشگیری از آسیب محسوب می شوند (۳۹).

کنترل عصبی عضلانی در واقع پاسخ حرکتی به اطلاعات آوران می باشد، دو مکانیسم حرکتی در تفسیر اطلاعات آوران و وابران مشارکت می کنند که شامل کنترل عصبی عضلانی فیدفورواردی (برنامه ریزی حرکات به صورت از پیش برنامه ریزی شده بر پایه اطلاعات و تجربیات قبلی) و فیدبکی (برنامه ریزی حرکات به صورت رفلکسی و واکنشی) می باشد (۱۵). این مکانیسم های حرکتی با تحریک مکرر مسیرهای سنسوری موتور (Sensorimotor) و افزایش سازگاری سیناپس ها به یک محرک خاص موجب بهبود حس عمقی و افزایش ثبات مفصلی می شوند (۴۰). نقص در سیستم حس عمقی می تواند موجب تأخیر در

جدول ۵: نتایج آزمون آنالیز کوواریانس تک متغیری جهت مقایسه دو گروه کنترل و تجربی

متغیر	گروه	پیش آزمون (انحراف معیار± میانگین)	پس آزمون (انحراف معیار± میانگین)	F	P- مقدار	اندازه اثر
آزمون پرش تاک	تجربی	۶/۸۰±۲/۵۱	۲/۵۳±۱/۳۵	۷۱/۸۰	۰/۰۰۱	۰/۷۱
	کنترل	۷/۸۶±۱/۸۴	۷/۶۶±۱/۹۱			
جهش تک پا	تجربی	۵/۱۸±۰/۶۰	۵/۶۷±۰/۶۰	۱۴/۹۳	۰/۰۰۱	۰/۳۴
	کنترل	۴/۷۴±۰/۷۰	۴/۶۷±۰/۷۸			
حس‌عمقی زانو	تجربی	۶/۷۳±۴/۲۵	۴/۱۳±۳/۱۵	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۰۲
	کنترل	۵/۶۶±۳/۴۹	۶/۰۰±۳/۳۵			

پاسخ های رفلکسی ایجاد کننده ثبات مفصلی و اختلال در تمامی سیستم سنسوری موتور شود (۱۵). اطلاعات ناقص از گیرنده های آوران، پردازش اطلاعات در سیستم عصبی مرکزی را تحت تأثیر قرار می دهد که در نهایت بر پاسخ وابران و عملکرد مفصلی تأثیر منفی می گذارد (۴۱). بنابراین هر عاملی که باعث اختلال در حس عمقی گردد می تواند موجب بروز بی‌ثباتی مکانیکال (Mechanical Instability) و کاهش ثبات مفصلی شود (۳۹).

از آنجایی که تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی (Dual Cognitive Task) یک رویکرد تمرینی جدید می باشد و ادبیات پژوهش در زمینه بکارگیری تمرینات عصبی شناختی در پیشگیری از آسیب اندک است، لذا با توجه به جستجوی پژوهشگران، مطالعاتی که بتوان نتایج آن ها را به صورت مستقیم با نتایج تحقیق حاضر مورد مقایسه و بررسی قرار داد یافت نشد. با این حال Hamoongard و همکاران (۴۲) نشان دادند هشت هفته تمرینات تکالیف دوگانه باعث بهبود متغیرهای کینماتیکی فرود در بازیکنان فوتسال با نقص غلبه رباط زانو می شود (۴۲). می‌توان نتایج مطالعاتی که از تمرینات عصبی عضلانی استفاده کرده اند را با نتایج تحقیق حاضر مورد مقایسه قرار داد، در رابطه با متغیر حس عمقی زانو نتایج پژوهش حاضر با مطالعات BALBA و همکاران (۴۳)، Ribeiro و همکاران (۴۴)، Bouet و همکاران (۴۵)، Pohl و همکاران (۴۶) هم راستا است. در مطالعاتی که تغییرات معنی داری در حس عمقی مشاهده نشد اکثرا از تمرینات مقاومتی صرف و یا تمرینات ثبات مرکزی استفاده کرده بودند.

مطالعات Ghaderi و همکاران (۲۹)، Kaya و همکاران (۴۷)، Paul و همکاران (۴۸)، Lee و همکاران (۴۹) با نتایج پژوهش حاضر در توافق نمی باشند، در مطالعات نام برده شده از تمرینات عصبی عضلانی به عنوان مداخله استفاده شده است و اکثر آزمودنی ها از افراد با سابقه بازسازی ACL و افراد مستعد آسیب بودند. همچنین جهت ارزیابی حس عمقی از روش عکس برداری دیجیتال و گونیامتری در وضعیت با و بدون تحمل وزن استفاده شده بود. Ghaderi و همکاران (۲۹) طی تحقیقی با هدف بررسی تأثیر برنامه ی تمرینی عصبی عضلانی بر حس‌عمقی زانو در ورزشکاران با سابقه ی بازسازی ACL. به این نتیجه رسیدند که خطای حس وضعیت زانو ۵۱ درصد در گروه تجربی و تنها ۸ در گروه کنترل کاهش پیدا کرده است (۲۹).

یک توصیف احتمالی از عدم معنی داری حس عمقی در زاویه ۳۰ درجه اسکات تک پا این می باشد که دامنه ابتدایی حرکت مفصل زانو طی فعالیت های فانکشنال مختلف از قبیل دویدن، راه رفتن و ... در نظرگرفته می شود و مفصل به صورت مکرر در این زاویه فعالیت دارد، بنابراین مکانورسپتورهای مفصلی حداکثر حساسیت و دقت در این زاویه را دارا می باشند و خطای حس عمقی در حداقل است (۴۱). به علاوه در اکثر مطالعات که میزان تغییرات خطای حس عمقی معنی دار بوده است، آزمودنی ها افراد با سابقه بازسازی ACL بودند که ممکن است اثر تمرینات بر متغیر پیش آزمون بیشتر باشد. تفاوت در دامنه حرکتی، سرعت حرکت، روش و ابزار اندازه گیری حس عمقی برای مثال ارزیابی در وضعیت با و بدون تحمل وزن، استفاده از گونیامتر دیجیتال و دینامومتر ایزوکینتیک و همچنین کم بودن حجم نمونه در پژوهش حاضر از دیگر دلایل عدم معنی داری نتایج می باشد.

ارزیابی ورزشکاران در معرض آسیب به وسیله آزمون های میدانی و کاربردی، می تواند اطلاعات ارزشمند و مفیدی را در اختیار محققان قرار داده و گام مهمی در کاهش خطر وقوع آسیب می باشد (۵۰). اما آن چیزی که احتمالا اهمیت بیشتری دارد توانایی افراد در کنترل عصبی عضلانی مفصل زانو طی پرش و فرود می باشد، حرکات زانو و لود (Load) وارد شده بر آن طی فعالیت های همراه با پرش و فرود به عنوان پیش‌بین قوی آسیب های ACL گزارش شده است (۵۱). ورزشکاران ممکن است میزان قابل قبول در مسافت پرش و تقارن مطلوب در اندام تحتانی را طی تست های جهشی (Hopping) نشان دهند اما اینکه نقص های آن ها به طور کامل برطرف شده است و آماده بازگشت به ورزش و رقابت هستند، مشخص نمی باشد (۳۰). در واقع آزمون های فانکشنال تنها عملکرد فیزیکی را در شرایط بدون بار شناختی (Cognitive Load) مورد ارزیابی قرار می دهند در صورتی که ورزشکاران در محیط رقابتی اغلب چندین وظیفه شامل تقسیم توجه، پردازش فرآیندهای فضایی-زمانی (Spatiotemporal)، توجه بینایی (Visual Attention) و تقابل با چالش های شناختی را به صورت همزمان با عملکرد ورزشی انجام می دهند (۵۲).

به طور کلی مطالعات کمی رویکردهای عصبی شناختی را با آزمون های فانکشنال جهت برآورد معیار و ملاک (Criteria) صحیح بازگشت به ورزش ترکیب کرده اند (۵۰). نیاز است جهت شبیه سازی (Similarity) بهتر چالش های ورزشی که منجر به آسیب می شوند، آزمون های جهشی با رویکردهای عصبی شناختی به صورت یکپارچه درآیند تا باعث بهبود نتایج آزمون های بالینی شوند (۵۰). Ness و همکاران (۳۰) پژوهشی را با هدف بررسی افزودن تکلیف ثانویه شناختی بر عملکرد آزمون های جهشی در افراد سالم انجام دادند، تکلیف شناختی شامل تکالیف دوگانه به صورت واکنش به اعداد نمایش داده شده بود، در نهایت تفاوت معنی داری در مسافت آزمون جهشی مشاهده نشد (۳۰). همچنین Milikan و همکاران (۵۰) بهبود عملکرد (مسافت پرش) در شرایط افزودن تکالیف عصبی شناختی به آزمون جهش تک پا را گزارش کردند (۵۰).

آزمون پرش تاک، آزمونی با روایی و اعتبار بالا بوده که مؤلفه های بیومکانیکی و نقص های عصبی عضلانی موجود در تکنیک پرش و فرود ورزشکاران را نمایان می سازد که با توجه به نتایج آن، می توان به رفع این نقص ها اقدام کرد (۶). در رابطه با افزوردن تکلیف شناختی به آزمون پرش تاک، Schnittjer و همکاران (۳۸) طی تحقیقی با هدف بررسی تأثیر افزودن بار شناختی بر کیفیت حرکت پرش و فرود که در این تحقیق از آزمون پرش تاک جهت ارزیابی کیفیت حرکت پرش و فرود و یک تکلیف دوگانه جهت تعیین تأثیر بار شناختی بر کیفیت انجام حرکت استفاده شده بود، افزایش چشمگیر امتیازات آزمون پرش تاک (کاهش کنترل عصبی عضلانی و افزایش احتمال خطر آسیب) در هر دو تکلیف دوگانه ساده و سخت مشاهده شد اما تفاوت امتیازات چشمگیر نبود (۳۸).

در رابطه با متغیر سه جهش تک پا نتایج مطالعات Sofian و همکاران (۵۳)، Ohji و همکاران (۵۴)، Herrington و همکاران (۲۴)، Myer و همکاران (۲۵) با پژوهش حاضر هم راستا می‌باشد و با مطالعات Gokeler و همکاران (۵۵) و Holm و همکاران (۵۶) در توافق نیست. Holm و همکاران (۵۶) در پژوهشی به بررسی اثر تمرینات عصبی عضلانی بر حس عمقی، تعادل، قدرت عضلانی، و عملکرد اندام تحتانی در بازیکنان زن هندبال پرداختند، تعادل پویا بهبود یافت اما تفاوت چشمگیری در حس عمقی، قدرت، تعادل ایستا و عملکرد مشاهده نگردید، آنها در نهایت عنوان کردند احتمالا تمرینات عصبی عضلانی به تنهایی قادر به کاهش خطر آسیب در اندام تحتانی نمی-باشند (۵۶). شاید با تلفیق تمرینات عصبی عضلانی با رویکردهای عصبی شناختی بتوان باعث حفظ (Retention) الگوی حرکتی صحیح در سیستم عصبی مرکزی و بهبود متغیرهای پیشگیری از آسیب شد. Gokeler و همکاران (۵۵) طی پژوهشی با هدف بررسی تاثیر افزودن تمرکز داخلی و خارجی توجه به تمرینات عصبی عضلانی بر عملکرد و کینماتیک مفصل زانو در افراد با سابقه بازسازی ACL عنوان کردند با اینکه عملکرد در گروه تمرکز خارجی بهتر بود اما تفاوت چشمگیری بین دو گروه مشاهده نشد. از دلایل عدم مشاهده تغییرات چشمگیر در عملکرد می‌توان به پروتکل تمرینی اعمال شده، تفاوت آزمودنی ها و کم بودن حجم نمونه در این تحقیق اشاره کرد (۵۵).

در رابطه با آزمون پرش تاک نتایج پژوهش حاضر با مطالعات Read و همکاران (۵۷)، Oliver و همکاران (۵۸)، Sue و همکاران (۵۹) در توافق است و با مطالعه

Mandelbaum و همکاران (۱۴) هم راستا نیست. آن ها معتقد بودند تعداد کم حضور آزمودنی ها در جلسات تمرینی و اختصاصی نبودن برنامه تمرینی و آزمون های عملکردی از دلایلی بود که احتمالا بر عدم نتیجه گیری آنان در این مطالعه اثر گذاشته است (۱۴). کاهش خطای امتیازات آزمون پرش تاک می تواند نشان دهنده کاهش نقص‌های عصبی عضلانی در هر یک از مؤلفه های آزمون و بهبود بیومکانیک پرش و فرود در آزمودنی ها باشد (۳۸). کاهش زاویه ولگوس پویای زانو، الگوی فرود متقارن، تقارن در هر دو اندام تحتانی و موازی بودن ران ها در نقطه اوج پرش که به دنبال برنامه تمرینات عصبی عضلانی و تکالیف دوگانه شناختی در پژوهش حاضر مشاهده شد، ممکن است به دلیل تغییر و تعدیل فاکتورهای بیومکانیکی و عصبی عضلانی مفصل زانو و بهبود هم انقباضی عضلات چهارسررانی و همسترینگ باشد (۶۰). در پژوهش حاضر بهبود مسافت آزمون جهش تک پا و کاهش نمرات آزمون پرش تاک، پس از هشت هفته انجام تمرینات تکالیف دوگانه مشاهده شد. تشابه عملکردی بین آزمون های جهش تک پا و پرش تاک با برخی از تمرینات عصبی عضلانی در پروتکل تمرینی می تواند عاملی باشد که بهبود عملکرد در بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو در پس آزمون را توجیه کند.

در جهت پیشرفت برنامه های پیشگیری از آسیب، تمرینات عصبی عضلانی باید فرآیندهای ادراکی، شناختی و حرکتی را مورد هدف قرار دهند تا با نیازهای خاص رشته ورزشی (Sport-Specific Demands) سازگار و در نهایت باعث کاهش خطر الگوهای حرکتی آسیب رسان شوند (۵۲). بهبود عملکرد بازیکنان فوتسال در پژوهش حاضر به دنبال افزودن همزمان تکالیف شناختی به تمرینات عصبی عضلانی، احتمالا به دلیل بهبود کنترل عصبی عضلانی، بهبود هم انقباضی (Coactivation) عضلانی و نهادینه شدن الگوهای حرکتی صحیح بدون نیاز به توجه در سیستم عصبی مرکزی می باشد.

از جمله محدودیت های پژوهش حاضر تعداد کم آزمودنی ها، عدم وجود گروهی دیگر که تمرینات عصبی عضلانی را به تنهایی انجام دهند تا بتوان نتایج آن را با گروه تمرینات تکالیف دوگانه مورد مقایسه قرار داد. عدم کنترل انگیزه، تغذیه، دقت و تمرکز افراد حاضر در پژوهش در شرایط انجام تمرینات و آزمون ها و همچنین استرس و فشارهای روحی و روانی ناشی از پاندمی ویروس منحوس کرونا که ممکن است بر نتایج پژوهش حاضر تأثیر بگذارد، بود. همچنین آزمودنی های مرد با نقص ولگوس پویای زانو و بدون سابقه جراحی در اندام تحتانی مورد بررسی قرار گرفتند. بنابراین نتایج پژوهش حاضر قابل تعمیم به آزمودنی های زن و افراد با سابقه آسیب ACL نیست. پروتکل تمرینات شناختی در پژوهش حاضر شامل محاسبه اعداد، نام بردن اسامی و .. بود که مرتبط با چالش های شناختی ویژه بازیکنان فوتسال نیست. بنابراین پیشنهاد می شود پژوهش های آینده از تکالیف شناختی ویژه ورزشی (توجه به حرکات حریف و ...) استفاده کنند و همچنین سایر رویکردهای عصبی شناختی را با تکالیف دوگانه مورد مقایسه قرار دهند تا اثر گذاری بیشتر این تمرینات در پیشگیری از آسیب ACL مشخص شود.

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گیری کرد که انجام همزمان تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی باعث کاهش خطای حس عمقی زانو و بهبود چشمگیر عملکرد در بازیکنان فوتسال با نقص ولگوس پویای زانو شده است. این یافته اهمیت تلفیق تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف شناختی جهت بهبود انتقال (Transfer)، خودکاری مهارت های حرکتی، کاهش تداخل، و ثبات مفاصل اندام تحتانی طی حرکات عملکردی را نشان می‌دهد. انجام تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی بر کاهش عوامل خطر افراد مستعد آسیب نقش مهمی دارد. با توجه به اینکه مطالعه مشابهی تأثیر تمرینات پیشگیری از آسیب در شرایط تلفیق تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی را مورد بررسی قرار نداده بود، نتایج ما یک راهبرد مناسب جهت ارزیابی عوامل خطر و به دنبال آن اجرای برنامه مناسب تمرینی در افراد مستعد آسیب به شمار می رود. بنابراین به مربیان، بازیکنان و متخصصان پیشگیری از آسیب و بازگشت به ورزش توصیه می‌شود به منظور بهبود حس عمقی زانو، عملکرد و کاهش نقص‌های عصبی عضلانی مرتبط با آسیب ACL در بازیکنان فوتسال، تمرینات عصبی عضلانی با تکالیف دوگانه شناختی را انجام دهند.

سپاسگزاری

پژوهشگران مطالعه حاضر از تمامی آزمودنی ها که حداکثر همکاری را در انجام تحقیق به عمل آوردند کمال تقدیر و

تشکر را دارند و قابل ذکر است که این مقاله، حاصل پایان-نامه کارشناسی ارشد گرایش آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی می باشد که در دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد. شایان ذکر است که این پژوهش توسط کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی با شناسهٔ (IR.SSRI.REC.1400.1071) مورد تأیید قرار گرفت و به صورت کارآزمایی بالینی با کد (IRCT2021 0602051477N1) در مرکز کارآزمایی‌های بالینی ایران ثبت شد.

منابع

1. Junge A, Dvorak J. Injury risk of playing football in Futsal World Cups. Br J Sports Med 2010; 44(15): 1089-1092.

2. Angoorani H, Haratian Z, Mazaherinezhad A, Younespour S. Injuries in Iran futsal national teams: a comparative study of incidence and characteristics. Asian J Sports Med 2014; 5(3): e23070.

3. Myer GD, Ford KR, Hewett T. Preventing ACL injuries in women. Journal of Musculoskeletal Medicine 2006; 23(1): 12.

4. Dill KE, Begalle RL, Frank BS, Zinder SM, et al. Altered knee and ankle kinematics during squatting in those with limited weight-bearing–lunge ankle-dorsiflexion range of motion. J Athl Train 2014; 49(6): 723-732.

5. Fort-Vanmeerhaeghe A, Montalvo AM, Lloyd RS, Read P, et al. Intra-and inter-rater reliability of the modified tuck jump assessment. J Sports Sci Med 2017; 16(1): 117-124.

6. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. Journal of athletic training; 2004; 39(4): 352-364.

7. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. The American Journal of Sports Medicine 2007; 35(3): 359-367.

8. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Hewett TE. Neuromuscular training techniques to target deficits before return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. The Journal of Strength & Conditioning Research 2008; 22(3): 987-1014.

9. Liu R, Liu J, Ma X, Li Q, An R, et al. Effect of FIFA 11+ intervention on change of direction performance in soccer and futsal players: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Sports Science & Coaching 2021; 16(3): 862-872.

10. Dai B, Cook RF, Meyer EA, Sciascia Y, et al. The effect of a secondary cognitive task on landing mechanics and jump performance. Sports

biomechanics 2018; 17(2): 192-205.

11. Nazary-Moghadam S, Salavati M, Esteki A, Akhbari B, et al. Reliability of kinematic measures in subjects with anterior cruciate ligament deficiency during dual-task walking. Journal of Bodywork and Movement Therapies 2017; 21(4): 852-859.

12. Almonroeder TG, Kernozek T, Cobb S, Slavens B, et al, Divided attention during cutting influences lower extremity mechanics in female athletes. Sports biomechanics 2019; 18(3): 264-276.

13. Monfort SM, Pradarelli JJ, Grooms DR, Hutchison KA, et al. Visual-spatial memory deficits are related to increased knee valgus angle during a sport-specific sidestep cut. The American Journal of Sports Medicine 2019; 47(6): 1488-95.

14. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. The American Journal of Sports Medicine 2005; 33(7): 1003-1010.

15. Nagai T, Schilaty ND, Strauss JD, Crowley EM, et al. Analysis of lower extremity proprioception for anterior cruciate ligament injury prevention: Current opinion. Sports Medicine 2018; 48(6): 1303-1309.

16. Tegner Y, Lysholm J, Lysholm M, Gillquist J. A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. The American Journal of Sports Medicine 1986; 14(2): 156-159.

17. D'Isanto T, D'Elia F, Raiola G, Altavilla G. Assessment of sport performance: Theoretical aspects and practical indications. Sport Mont 2019; 17(1): 79-82.

18. Hamilton RT. Single-Leg Triple Hop Test as a predictor of lower limb strength, power, and balance: The University of North Carolina at Greensboro; 2006.

19. Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Psychological bulletin 1994; 116(2): 220-244.

20. Ruthruff E, Van Selst M, Johnston JC, Remington R. How does practice reduce dual-task interference: Integration, automatization, or just stage-shortening? Psychological research 2006; 70(2): 125-142.

21. Abdallat R, Sharouf F, Button K, Al-Amri M. Dual-Task Effects on Performance of Gait and Balance in People with Knee Pain: A Systematic Scoping Review J. Clin. Med 2020; 9(5): 1554.

22. Jardim NYV, Bento-Torres NVO, Costa VO, Carvalho JPR, et al. Dual-Task Exercise to Improve Cognition and Functional Capacity of Healthy Older Adults. Frontiers in Aging Neuroscience 2021; 13(33): 589299.

23. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trial. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation 2021; 13(1): 1-11.

24. Herrington L. The effects of 4 weeks of jump training on landing knee valgus and crossover hop performance in female basketball players. The Journal of Strength & Conditioning Research 2010; 24(12): 3427-32.

25. Myer GD, Ford KR, PALUMBO OP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. The Journal of Strength & Conditioning Research 2005; 19(1): 51-60.

26. Monfort SM, Comstock RD, Collins CL, Onate JA, et al. Association between ball-handling versus defending actions and acute noncontact lower extremity injuries in high school basketball and soccer. The American Journal of Sports Medicine 2015; 43(4): 802-807.

27. Ghanati HA, Letafatkar A, Almonroeder TG, Rabiei P. Examining the Influence of Attentional Focus on the Effects of a Neuromuscular Training Program in Male Athletes .Journal of strength and conditioning research 2022; 36(6); 1568-1575.

28. Saito A, Okada K, Sasaki M, Wakasa M. Influence of the trunk position on knee kinematics during the single-leg landing: Implications for injury

prevention. Sports Biomechanics 2022: 21(7): 810-823.

29. Ghaderi M, Letafatkar A, Almonroeder TG, Keyhani S. Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled trial. Clinical Biomechanics 2020; 80: 105157.

30. Ness BM, Zimney K, Kernozek T, Schweinle WE, et al. Incorporating a Dual-Task Assessment Protocol with Functional Hop Testing. Int J Sports Phys Ther 2020; 15(3): 407-420.

31. Numata H, Nakase J, Kitaoka K, Shima Y, et al. Two-dimensional motion analysis of dynamic knee valgus identifies female high school athletes at risk of non-contact anterior cruciate ligament injury. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy 2018; 26(2): 442-447.

32. Kajiwara M, Kanamori A, Kadone H, Endo Y, et al. Knee biomechanics changes under dual task during single-leg drop landing. Journal of experimental orthopaedics 2019; 6(1): 1-6.

33. Dingenen B, Barton C, Janssen T, Benoit A, et al. Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. Physical Therapy in Sport 2018; 33: 40-47.

34. Williams M, Squillante A, Dawes J. The Single Leg Triple Hop for Distance Test. Strength & Conditioning Journal 2017; 39(3): 94-98.

35. Mir S, Hadian M, Talebian S ,Nasseri N. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med 2008; 42(4): 300-303.

36. Stillman BC, McMeeken JM. The role of weightbearing in the clinical assessment of knee joint position sense. Australian Journal of Physiotherapy 2001; 47(4): 247-253.

37. Rezola-Pardo C, Arrieta H, Gil SM, Yanguas JJ, et al. A randomized controlled trial protocol to test the efficacy of a dual-task multicomponent exercise program in the attenuation of frailty in long-term nursing home residents: Aging-ON DUAL-TASK study. BMC geriatrics 2019; 19(1): 1-9.

38. Schnittjer A, Simon JE, Yom J, Grooms DR. The Effects of a Cognitive Dual Task on Jump-landing Movement Quality. Int J Sports Med. 2021 42(01); 90-95.

39. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph KS, Buchanan TS, et al. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. Journal of orthopaedic & sports physical therapy: JOSPT 2001; 31(10): 546-566.

40. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations-update 2010. N Am J Sports Phys Ther: NAJSPT 2010; 5(4) 234-251.

41. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. J Athl Train 2002; 37(1): 80-84.

42. Hamoongard M, Hadadnezhad M, Abbasi A. Effect of combining eight weeks of neuromuscular training with dual cognitive tasks on landing mechanics in futsal players with knee ligament dominance defect: a randomized controlled trial. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation 2022: 14(1): 1-12.

43. Balba AE-DA, Alaa IE-K, Ahmed H, Mohammad MM. Effect of Core Stability Training on Knee Proprioception after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. The Medical Journal of Cairo University 2018; 86: 231-240.

44. Ribeiro F, Oliveira J. Effect of physical exercise and age on knee joint position sense. Archives of gerontology and geriatrics 2010; 51(1): 64-67.

45. Bouët V, Gahéry Y. Muscular exercise improves knee position sense in humans. Neuroscience letters 2000; 289(2): 143-146.

46. Pohl T, Brauner T, Wearing S, Stamer K, et al. Effects of sensorimotor training volume on recovery of sensorimotor function in patients following lower limb arthroplasty. BMC musculoskeletal disorders 2015; 16(1): 1-9.

47. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, et al. Effects on lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength,

and functional level in patients with ACL reconstruction. BioMed research international 2019; Article ID 1694695, 1-7.

48. Paul J, Nagaraj M, Solomon J. Effectiveness of coordination exercise on proprioception of knee injured male professional footballers. Drug Invention Today 2018; 10(10): 1887-1891.

49. Lee SJ, Ren Y, Chang AH, Geiger F, et al. Effects of pivoting neuromuscular training on pivoting control and proprioception. Med Sci Sports Exerc 2014; 46 (7): 1400-1409.

50. Millikan N, Grooms DR, Hoffman B, Simon JE. The development and reliability of 4 clinical neurocognitive single-leg hop tests: implications for return to activity decision-making. Journal of sport rehabilitation 2019; 28(5): 536-544.

51. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, 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. The American journal of sports medicine. 2005; 33(4): 492-501.

52. Grooms DR, Onate JA. Neuroscience application to noncontact anterior cruciate ligament injury prevention. Sports Health 2016; 8(2): 149-152.

53. Kasmi S, Zouhal H, Hammami R, Clark CC, et al . The effects of eccentric and plyometric training programs and their combination on stability and the functional performance in the post-ACL-surgical rehabilitation period of elite female athletes. Frontiers in Physiology 2021; 12(688385).

54. Ohji S, Aizawa J, Hirohata K, Ohmi T, et al. Single-leg hop distance normalized to body height is associated with the return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Experimental Orthopaedics 2021; 8(1): 1-7.

55. Gokeler A, Benjaminse A, Welling W, Alferink M, et al. The effects of attentional focus on jump performance and knee joint kinematics in patients after ACL reconstruction. Physical therapy in sport 2015; 16(2): 114-120.

56. Holm I, Fosdahl MA, Friis A, Risberg MA, et al. Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. Clinical Journal of Sport Medicine 2004; 14(2): 88-94.

57. Read PJ, Oliver JL, Dobbs IJ, Wong MA, et al. The Effects of a Four-Week Neuromuscular Training Program on Landing Kinematics in Pre-and Post-Peak Height Velocity Male Athletes. Journal of Science in Sport and Exercise. 2021;3(1):37-46.

58. Oliver G, Roling K, Dittmore S, Moiseichik M. The Effects of a Lumbopelvic-Hip Strengthening Intervention Program on Functional Testing in Collegiate Female Tennis Players. Clinical Kinesiology (Online Edition) 2012; 66(1): 13-18.

59. Sue D, Barber-Western S, Hermato A, Noyes F. Six Week Neuromuscular Performance Training Program Improve Speed agility, Dynamic Balance and Core Endurance in Junior Tennis Player. J Athl Enhancement 2015; 4(1): 1-8.

60. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, et al. The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. The American journal of sports medicine 2005; 33(2): 197-207.