Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

November and December 2023. Volume 12. Num 5

Research Paer

Comparing the Knee joint Proprioception Between Female Volleyball Players With Patellofemoral Pain syndrome and Healthy Peers

Sara Khodarahmi[1], *Ali Fatahi[1], Yahya Sokhanguei[2]

1. Department of Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Physiotherapy, Faculty of Physiotherapy, Physical Therapist, University of Social Welfare and Rehabilitation Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Khodarahmi S, Fatahi A, Sokhanguei Y. [Comparing the Knee joint Proprioception Between Female Volleyball Players With Patellofemoral Pain syndrome and Healthy Peers (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(5):944-955. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.13

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.13

ABSTRACT

Background and Aims Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is one of the common knee disorders, which can cause injuries or more complicated medical conditions. Proprioception is one of the factors that can be considered in the assessment of people with PFPS. The present study aims to compare the knee joint proprioception between female volleyball players with PFPS and healthy peers.

Methods In this quasi-experimental study, 30 female athletes (16 with PFPS and 14 healthy) with a mean age of 24.33±3.39 years, height of 178.72±3.28 cm and weight of 67.76±8.04 kg participated. Knee joint proprioception was evaluated in two modes: weight-bearing (single-leg squat) and non-weight-bearing (knee extension). Kinematic data were recorded by eight motion capture cameras (Vicon, UK) at a frequency of 1000 HZ. Statistical analysis was done in SPSS software, version 26 using independent t-test. The significant level was set at 0.05.

Results Findings showed that the error of reconstruction angles in weight-bearing (P=0.001) and non-weight-bearing (P=0.003) conditions was significantly different between the two groups.

Conclusion The knee joint proprioception is weaker in female volleyball players with PFPS than in healthy peers, which can lead to more injuries. it is recommended to strengthen the proprioception in athletes with PFPS during treatment and rehabilitation, and more accurate tests should be designed to evaluate it.

Keywords Patellofemoral pain syndrome, Knee, Proprioception, Kinematics, Reconstruction angle

Received: 26 May 2023
Accepted: 10 Jun 2023
Available Online: 23 Nov 2023

*** Corresponding Author:***
Ali Fatahi, Professor.
Address: Department of Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Tel: +98 (912) 5607581
E-Mail: ali.fatahi@iauctb.ac.ir

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is one of the common knee disorders, which can cause more injuries or more complicated medical conditions. Proprioception assessment is one of the ways that can be used in the evaluation of these people. Proprioception can change the function of the central nervous system, because sensory information about the body, position and movement of the organs and the environment is transmitted to the brain through this sense. Proprioception can be used as an important factor in the evaluation of musculoskeletal disorders. On the other hand, proprioception plays an important role in maintaining balance. All age groups need proprioception to maintain balance. The study of proprioception in people with PFPS can lead to a better understanding of the mechanism and causes of injury, and help in designing a suitable rehabilitation program for them. Therefore, the present study aims to compare the knee joint proprioception in female volleyball players with PFPS and healthy peers.

Materials and Methods

In this quasi-experimental study, 30 female volleyball players (16 with PFPS and 14 healthy) with a mean age of 24.33±3.39 years, height of 178.72±3.28 cm, and weight of 67.76±8.04 kg participated. Knee joint proprioception in two groups was evaluated in two modes: weight-bearing (single-leg squat) and non-weight-bearing (knee extension). In the single-leg squat movement, the subject was asked to stand on the affected leg with barefoot and perform the squat on one leg. They were allowed to use the fingers of one hand to maintain balance, if necessary. The other leg was in the position of knee flexion at 70-90 degrees and zero-degree hip flexion. The person should stop before reaching the middle range that is comfortable for her and maintain the position for 5 seconds so that the researcher can place the H-frame at this angle. This angle was identified as the target angle. It was performed once with eyes open and once with eyes closed while removing the H-frame and maintaining the target angle for 5 seconds until the data is recorded. This angle was defined as the reconstruction angle. The test was repeated 5 times to record the average of efforts as the final reconstruction angle.

The knee extension was done while the person was sitting on a chair. To prevent the covering of the pelvic markers, the hands were placed on the chest with crossed arms. In this case, the subject was asked to raise her affected leg from 90-degree flexion to 0-degree flexion (full extension). The person performed this movement with open eyes and H-frame five times until she remembered the movement and became familiar with the target angle. Then, she performed it with eyes closed and without the H-frame from the starting point (90-degree flexion), towards the target angle. When she reached the target angle, the reconstructed angle was recorded

The difference between the target and reconstruction angles was determined as the absolute error. Kinematic data were recorded by eight capture cameras (Vicon, UK) at a frequency of 1000 HZ. Shapiro-Wilk test was used to evaluate the normality of data distribution. If the data were normal, the independent t-test was used to examine the difference between the two groups, otherwise, the Mann-Whitney test was used. Statistical analysis was done in SPSS software, version 26. The significant level was set at 0.05.

Results

The distribution of all data was normal (P>0.05). Therefore, independent t-test was used to examine the difference between the two groups. Findings showed that, the error of reconstructed angles in weight bearing (P=0.001) and non-weight-bearing (P=0.003) conditions was significantly different between the two groups.

Conclusion: The knee joint proprioception was weaker in female athletes with PFPS than in their healthy peers which can lead to more injuries. Therefore, it is recommended to strengthen the proprioception in athletes with PFPS during treatment and rehabilitation, and more accurate tests should be designed to evaluate it.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles, such as obtaining informed consent from the participants, protecting their confidentiality, and giving them the right to leave the study, were considered in this study. Ethical approval was obtained from the Ethics Committee of Sport Sciences Research Institute of Iran (Code: IR.SSRI.REC.2207.1768).

Funding

This study was extracted from the PhD thesis of Sara Khodarahmi registered by the Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Islamic Azad University, Tehran Central Branch.

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Authors contributed equally to preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the personnel of Roshan Clinic and all participants for their assistance and cooperation in this study.

مقاله پژوهشی

ارزیابی حس عمقی مفصل زانو در ورزشکاران مبتلابه سندرم درد پتلافمورال

سارا خدا رحمی[۱]، *علی فتاحی[۱]، یحیی سخنگویی[۲]

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳. گروه فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Khodarahmi S, Fatahi A, Sokhanguei Y. [Comparing the Knee joint Proprioception Between Female Volleyball Players With Patellofemoral Pain syndrome and Healthy Peers (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(5):944-955. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.13

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.13

CC BY NC

چکیده

مقدمه و اهداف سندرم درد کشککی‌رانی یکی از اختلالات شایع اسکلتی‌عضلانی زانو است که متعاقب آن تغییرات مفصلی در زانو ایجاد می‌شود و می‌تواند زمینه‌ساز آسیب‌های بیشتر و یا پیچیده شدن شرایط درمانی شود. بررسی حس عمقی یکی از مواردی است که در ارزیابی این افراد می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. ازاین‌رو، هدف مطالعه حاضر مقایسه حس عمقی مفصل زانو در والیبالیست‌های زن مبتلا به سندرم پتلافمورال با والیبالیست‌های زن سالم بود.

مواد و روش‌ها دراین تحقیق شبه‌تجربی، ۳۰ نفر (۱۶ نفر مبتلا به سندرم درد پتلافمورال و ۱۴ نفر سالم) با میانگین و انحراف استاندارد سنی ۲۴/۳۳±۳/۳۹ سال، قد ۱۷۸/۷۲±۳/۲۸ سانتی‌متر و وزن ۶۷/۷۶±۸/۰۴ کیلوگرم در این تحقیق به‌عنوان آزمودنی شرکت کردند. حس عمقی مفصل زانوی آن‌ها در ۲ حالت تحمل وزن (اسکات) و عدم تحمل وزن (نشسته) مورد ارزیابی قرار گرفت و اطلاعات کینماتیکی آن ازطریق ۸ دوربین آنالیز حرکت (VICON انگلستان) با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ثبت شد. تحلیل داده‌ها با روش آماری آزمون تی مستقل در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ در سطح P≤ ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها یافته‌های تحقیق نشان داد که در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی متغیر خطای زاویه‌ای مفصل زانو در حالت تحمل وزن (اسکات) (P=۰/۰۰۱) و عدم تحمل وزن (نشسته) (P=۰/۰۰۳) تفاوت معناداری دارد.

نتیجه‌گیری نتایج نشان داد حس عمقی در افراد مبتلا نسبت به افراد سالم ضعیف‌تر است و این حالت می‌تواند زمینه‌ساز آسیب‌های بیشتر شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در درمان و توان‌بخشی این آسیب تقویت حس عمقی نیز برای افراد لحاظ شود و تست‌های دقیق‌تری برای ارزیابی ان طراحی شود.

کلیدواژه‌ها سندرم درد کشککی‌رانی، زانو، حس عمقی، کینماتیک، زاویه بازسازی

تاریخ دریافت: ۰۵ خرداد ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۴۰۲
تاریخ انتشار: ۱۰ آبان ۱۴۰۲

* **نویسنده مسئول:**
دکتر علی فتاحی
نشانی: تهران، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی.
تلفن: ۵۶۰۷۵۸۱ (۹۱۲) ۹۸+
رایانامه: ali.fatahi@iauctb.ac.ir

مقدمه

سندرم درد کشککی‌رانی یا سندرم درد پتلافمورال[1] یکی از شایع‌ترین آسیب‌های سیستم اسکلتی‌عضلانی است که شیوع آن در افراد جوان و فعال (ورزشکار) زیاد است. این آسیب به‌عنوان درد گزارش‌شده ازطرف بیمار در اطراف و پشت پتلا تعریف می‌شود که علائم آن با فعالیت‌هایی که زانو را تحت فشار قرار می‌دهند، مانند اسکات، بالا و پایین رفتن از پله، پریدن و دویدن، مشخص می‌شوند [۱]. در تعریفی دیگر، سندرم درد پتلافمورال به‌عنوان درد قدام زانو یا اطراف پتلا است که بدون وجود پاتولوژی مشخص در زانو و به دلیل راستای حرکتی غیرنرمال پتلا ایجاد شده است [۲]. شیوع سندرم درد پتلافمورال عددی بین ۲۱ تا ۴۵ درصد در افراد جوان فعال ۱۵ تا ۳۰ ساله و بیشتر در زنان است. شیوع این اختلال در افراد بالای ۳۰ سال، ۳۹ درصد و در افراد بالای ۴۰ سال، ۶۹ درصد است. [۱]. باتوجه‌به تفاوت‌های اسکلتی و هورمونی این آسیب در زنان شایع‌تر از مردان است. افراد مبتلا به این سندرم از دردی مبهم در قسمت جلوی زانو که به‌صورت تدریجی افزایش می‌یابد شکایت دارند. این درد با افزایش میزان فعالیت، چمباتمه زدن، راه رفتن، دویدن و بالا و پایین رفتن از پله و غیره تشدید می‌شود [۳]. علائم دیگر شامل کریپتاسیون و خالی کردن زانو است [۴]. به همین دلیل فعالیت‌های فرد، به‌ویژه فعالیت‌های ورزشی او تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۵]. مطالعات نشان داده است که ضعف عضلات چهارسر[2]، به‌ویژه عضله واستوس مدیالیس[3]، عدم تعادل قدرت عضلات چهارسر و همسترینگ[4]، سفتی، راستای غیرطبیعی اندام تحتانی، اختلال در محل قرارگیری کشکک و یا نیمه‌دررفتگی کشکک از عوامل تأثیرگذار در بروز این سندرم هستند [۶، ۷]. همچنین گزارش شده است که این اختلالات بر روی اطلاعات حسی تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش سرعت انتقال پیام می‌شود که به دنبال آن می‌تواند روی فعالیت فرد تأثیر منفی داشته باشد [۸].

حس عمقی یکی از فاکتورهایی است که می‌تواند عملکرد سیستم عصبی مرکزی را تغییر دهد، زیرا ازطریق این حس فرد، اطلاعات حسی از بدن، موقعیت و حرکت اندام‌ها نسبت به یکدیگر و محیط به مغز مخابره می‌شود تا با پردازش این اطلاعات درون سیستم عصبی مرکزی، مغز بتواند دستورات و فرایندهای صحیح حرکتی مناسب را تعیین کند [۸]. حس عمقی، وظیفه درک حرکت و وضعیت بخش‌های مرتبط بدن با هم را بدون استفاده از بینایی عهده‌دار است. به دلیل سرعت بالای سیگنال‌ها، حس عمقی به‌عنوان مکانیسم حرکتی مهم حتی در مقایسه با درد مطرح است [۹]. همچنین اطلاعات حس عمقی از طول، تون عضله و موقعیت مفصل به همراه اطلاعات و ستیبولار و بینایی در جهت حفظ تعادل، کنترل پاسچر، ثبات در یک وضعیت خاص و یا در طی حرکت داینامیک مورد نیاز است. ازآنجایی‌که زانو و ساختار آن نقش انتقال اطلاعات مربوط به حس وضعیت و حرکت مفصل را به علت دارا بودن گیرنده‌های مکانیکی فراوانش به عهده دارد. آسیب به این ساختار به آسیب به حس وضعیت مفصل و کم شدن حس عمقی منجر می‌شود. بنابراین فعالیت گیرنده‌های مکانیکی در ارسال اطلاعات به سیستم عصبی مرکزی با مشکل مواجه می‌شود. تغییر در سیگنال‌های آوران گیرنده‌های مفصل زانو می‌تواند سبب کاهش فعالیت نرون حرکتی گاما شود و الگوی تحریک‌پذیری کورتیکال و آستانه تحریکی قشر حرکتی را تغییر دهد. به‌طورکلی همکاری سیستم عصبی‌مرکزی با سیستم اسکلتی‌عضلانی به پاسخ حرکتی مطلوب منجر می‌شود و بنابراین به دنبال اختلال در سیستم اسکلتی‌عضلانی و برنامه‌ریزی عصبی‌مرکزی، فعالیت عضو دچار نقص خواهد شد [۱۰].

ازآنجایی‌که تحقیقات بسیاری درمورد حس عمقی و درد زانو انجام شده، نشان داده شده است که حس عمقی در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی کاهش می‌یابد [۸، ۱۱]، اما در تحقیقی دیگر نتایج متضادی برای آن بیان شده است [۱۲]. بنابراین بررسی حس عمقی می‌تواند به‌عنوان فاکتوری مهم در ارزیابی اختلالات اسکلتی‌عضلانی مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر، همچنین حس عمقی نقش مهمی در حفظ تعادل افراد دارد به‌طوری‌که تأثیر حس عمقی در غیاب دیگر سیستم‌های مرتبط با تعادل افراد، در گروه‌های سنی مختلف بررسی شده و مشخص شده است که همه گروه‌های سنی برای حفظ و نگهداری تعادل به حس عمقی وابسته‌اند [۱۳]. ازاین‌رو، مطالعه حس عمقی در این افراد می‌تواند به درک بهتری از مکانیسم آسیب و علت پیشرفت آن منجر شود و از نتایج حاصل از این بررسی می‌توان در طراحی برنامه توان‌بخشی و درمان مناسب برای این گروه پیشنهاداتی ارائه کرد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی حس عمقی افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن است در مقایسه با گروه کنترل (افراد سالم) . فرض اولیه ما در این تحقیق این بود که حس عمقی مفصل زانو در والیبالیست‌های زن مبتلا به سندرم پتلافمورال با والیبالیست‌های زن سالم متفاوت است.

مواد و روش‌ها

شرکت کنندگان

روش تحقیق حاضر شبه‌تجربی[5] و نوع آن کاربردی بود. جامعه آماری تحقیق حاضر را زنان والیبالست بالای ۲۰ سال (۱۶ نفر مبتلا به سندرم درد پتلافمورال و ۱۴ نفر سالم) تشکیل دادند. برای تعیین تعداد نمونه آماری، با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور،

1. Patellofemoral Pain Syndrome
2. Quadriceps
3. Vastus Medialis
4. Hamstring
5. Quasi-experimental

برای توان آماری[6] ۸۰ درصد، میزان خطای نوع اول[7] ۰/۰۵ و دستیابی به اندازه اثر[8] ۰/۸۰، حداقل ۳۰ نفر مشخص شد. قبل از اندازه‌گیری، تمامی مراحل به افراد توضیح داده شد. آزمودنی‌ها با آگاهی کامل از نحوه انجام مراحل، برای شرکت در تحقیق پس از اعلام رضایتمندی و تکمیل فرم مربوطه، مشخصات فردی آن‌ها در پرسش‌نامه ثبت شد.

معیارهای ورود افراد برای این تحقیق برای گروه مبتلا: داشتن درد در قسمت قدامی زانو دست کم ۳ ماه تا حداکثر ۲ سال که بعد از معاینه توسط فیزیوتراپیست علت آن درد کشککی‌رانی بود؛ عدم داشتن سابقه پیچ‌خوردگی مچ پا، شکستگی در اندام تحتانی در طی ۶ ماه گذشته، عدم داشتن سابقه جراحی به‌ویژه در اندام تحتانی در ۱ سال گذشته، عدم استفاده از بریس اندام تحتانی در طول مطالعه، عدم ابتلا به بیماری‌هایی که می‌تواند روی عملکرد فرد (راه رفتن، تعادل) تأثیرگذار باشد. معیار خروج: داشتن درد نه به علت سندرم درد کشککی‌رانی، وجود تجمع مایعات در مفصل، سابقه جراحی، اضافه‌وزن و همخوانی نداشتن با معیارهای ورود به مطالعه.

ابزار و روش‌ها

ثبت اطلاعات زمینه‌ای مشخصات فردی مثل شغل، سابقه ورزش منظم به‌مدت ۲ تا ۳ سال، سابقه آسیب، مدت آسیب، سمت آسیب و غیره ازطریق پرسش‌نامه، اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر قد توسط قدسنج seca ساخت آلمان با دقت ۱ میلی‌متر و محاسبه وزن ازطریق ترازو beurer با دقت ۰/۱ کیلوگرم ساخت آلمان انجام شد.

همچنین به‌منظور ثبت داده‌های کینماتیکی درست و بدون نویز از ۸ دوربین‌های آنالیز حرکت VICON انگلستان استفاده شد. دوربین‌ها به‌صورت دایره با زاویه ۴۵ درجه نسبت به هم طوری قرار داده شده بود که هر مارکر در هر لحظه حداقل توسط ۳ دوربین تصویربرداری می‌شد. قبل از انجام تست‌ها کالیبراسیون دستگاه با استفاده یک T-wand انجام گرفت که ۵ LED روی آن قرار داشت.

بعد از انجام ارزیابی ساختاری و معاینات لازم برای ثبت اطلاعات از آزمودنی‌ها خواسته شد لباس مناسب بپوشند. ۱۶ مارکر انعکاس‌دهنده نور طبق مدل پلاگ این گیت[9] بر روی لندمارک‌های اندام تحتانی (خار خاصره قدامی فوقانی، خار خاصره خلفی فوقانی، قسمت خارجی ران، کندیل خارجی زانو، قسمت خارجی درشتنی، قوزک خارجی، پاشنه و انتهای استخوان متاتارسال پنجم سمت چپ و راست ازطریق چسب و به‌صورت ۲ طرفه قرار گرفت.

در تحقیق حاضر برای اندازه‌گیری حس عمقی در هر ۲ گروه سالم و مبتلا به سندرم درد پتلافمورال، در ۲ موقعیت تحمل وزن (اسکات تک‌پا) و عدم تحمل وزن (باز کردن زانو) برای مفصل زانو مورد مطالعه قرار گرفت.

مقیاس دیداری درد[10]

این روش یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های ارزیابی و طبقه‌بندی درد است. این روش شامل یک خط‌کش است که از صفر که حداقل درد را نشان می‌دهد تا شماره ۱۰ که معرف حداکثر درد است شماره‌گذاری شده است. از بیمار خواسته می‌شود تا میزان درد خود را روی خط‌کش نشان دهد [۱۴].

اسکات تک‌پا[11]

در حرکت اسکات تک‌پا از آزمودنی خواسته می‌شد تا روی پای مبتلا (پا می‌بایست برهنه باشد) بایستد و به‌صورت تک‌پا حرکت اسکات را انجام دهد. آزمودنی‌ها اجازه داشتند از انگشتان یک دست برای حفظ تعادل در صورت لزوم استفاده کنند. پای دیگر هم در وضعیت فلکشن زانو در دامنه ۷۰ تا ۹۰ درجه و فلکشن صفر درجه مفصل هیپ قرار داشت. فرد می‌بایست کمی قبل از رسیدن به دامنه میانی که برای شخص آزمون‌شونده راحت باشد، توقف کند و تا چند ثانیه این موقعیت را حفظ کند تا شخص محقق H-frame را در این زاویه قرار دهد. قاب H تشکیل‌شده از ۲ پایه که یک طناب الاستیک نسبتاً محکم مشکی‌رنگ را از ۲ طرف نگه می‌دارد و به شرکت‌کننده کمک می‌کند که از فاکتور بینایی که از عناصر مهم حفظ تعادل است، بهتر استفاده کند [۱۵، ۱۶]. این زاویه به عنوان زاویه هدف[12] شناسایی می‌شد [۱۷]. فرد این حرکت را با چشمان باز ۵ مرتبه تا انجام می‌داد تا اینکه حرکت را به خاطر بسپارد و با زاویه هدف آشنا بشود.

برای انجام تست، سپس درحالی‌که چشمان آزمون‌شونده بسته است و H-frame حذف شده است، تا جایی که به زاویه هدف برسد پایین می‌رود تا با فرمان STOP، متوقف شود و زاویه هدف را ۵ ثانیه حفظ می‌کند تا داده ها ثبت شوند. این زاویه، زاویه بازسازی‌شده[13] نام می‌گیرد. این آزمایش ۵ بار تکرار می‌شد تا میانگین تلاش‌ها به‌عنوان زاویه بازسازی‌شده نهایی ثبت شود [۱۵].

بازکردن فعال زانو[14]

بازکردن زانو در حالت عدم تحمل وزن، در حالی صورت می‌گیرد که فرد روی صندلی نشسته و عمل اکستنشن (باز کردن) زانو را انجام دهد. صندلی به ارتفاع ۸۰۰ سانتی‌متر وحفره پوپلیته تقریباً

6. Statistical power
7. Alfa error
8. Size effect
9. Plug-In-Gait

10. Visual Analogue Scale
11. Single Leg Squat
12. Target Angle
13. Reconstruction angle
14. Active Knee Extension

به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از لبه صندلی قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از انسداد مارکرهای لگنی دست‌ها به حالت ضربدری روی قفسه سینه قرار می‌گیرند. در این حالت از آزمودنی خواسته می‌شود تا پای مبتلای خود را از حالت ۹۰ درجه فلکشن به صفر درجه فلکشن (اکستنشن کامل) بالا بیاورد. در این حالت نیز فرد می‌بایست کمی قبل از رسیدن به دامنه میانی که برای شخص آزمون‌شونده راحت باشد، توقف کند و تا چند ثانیه این موقعیت را حفظ کند. این حرکت در فریمی به نام H-frame انجام می‌شد و این زاویه به‌عنوان زاویه هدف[15] شناسایی می‌شد [۱۵، ۱۶]. فرد این حرکت را با چشمان باز ۵ مرتبه تا انجام می‌داد تا اینکه حرکت را به خاطر بسپارد و با زاویه هدف آشنا شود. سپس درحالی‌که چشمان آزمون‌شونده بسته است و H-frame حذف شده است، از نقطه شروع یعنی فلکشن ۹۰ درجه به سمت زاویه هدف حرکت می‌کرد. هر دفعه با رسیدن به زاویه هدف با فرمان STOP، به آزمونگر به‌صورت کلامی رسیدن به زاویه هدف اعلام می‌شد که این زاویه، زاویه بازسازی‌شده نام می‌گرفت.

در هر دوی این موقعیت‌ها فرد می‌بایست در ۲ حالت چشم باز و چشم بسته موقعیت آموزش داده‌شده را ۵ ثانیه حفظ می‌کرد تا اطلاعات کینماتیکی وی ثبت شود و ۵ مرتبه این کار را تکرار می‌کرد. سپس از اختلاف میانگین عملکرد فرد در این ۲ حالت (تفاوت بین زاویه هدف و بازسازی‌شده) خطای زاویه‌ای مفصل و یا خطای مطلق[16] مشخص می‌شد [۱۸]. در افراد سالم اگر این تفاوت کمتر از ۵ درجه باشد حس عمقی خوب و در غیر این صورت ضعیف ارزیابی می‌شد [۱۹، ۲۰]

مراحل اجرا و پردازش داده‌ها

پس از ثبت اطلاعات، فرایند پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار نکسوس نسخه ۲/۱۰ صورت پذیرفت که شامل نام‌گذاری مارکرها، بررسی صحیح بودن ثبت اطلاعات و فیلترینگ باترورث پایین‌گذر مرتبه ۴ و محاسبه زاویه خطا در مفصل زانو در ۲ حالت تحمل وزن و بی‌وزنی برای هر دو گروه سالم و مبتلا بود. در ادامه برای تحلیل داده‌ها و انجام محاسبات ریاضی بر روی اطلاعات خام از روش آماری استفاده شد.

15. Target angle
16. Absolute Error

تحلیل آماری

به‌منظور سازمان‌بندی، خلاصه کردن و محاسبه میانگین و انحراف استاندارد اطلاعات کمی، از آمار توصیفی و به‌منظور تفسیر داده‌ها از آمار استنباطی استفاده شد. برای بررسی همگنی ۲ گروه در خصوصیات جمعیت‌شناختی از آزمون تی مستقل[17] استفاده شد. برای ارزیابی نرمال بودن داده‌های حس عمقی از آزمون شاپیرو ویلک[18] استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها، برای به دست آوردن تفاوت بین گروه‌ای مبتلا و سالم از آزمون تی مستقل استفاده شد و در صورت نرمال نبودن از آزمون من‌ویتنی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ با سطح معناداری P≤۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها

مشخصات شرکت‌کنندگان

در این تحقیق، شرکت‌کنندگان شامل ۳۰ نفر زن ورزشکار عضو تیم ملی تیم بانوان والیبال بزرگسال و امید (بالای ۲۰ سال) بودند. افراد با میانگین و انحراف استاندارد سنی ۲۴/۳۳±۳/۳۹ سال، قد ۱۷۸/۷۲±۳/۲۸ سانتی‌متر و وزن ۶۷/۷۶±۸/۰۴ کیلوگرم به‌عنوان آزمودنی در تحقیق شرکت کردند که به ۲ گروه ۱۴ نفر سالم و ۱۶ نفر مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی تقسیم شده بودند. در جدول شماره ۱ میانگین و انحراف‌معیار خصوصیات جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان شامل سن، قد و وزن و نیز نمره درد آن‌ها بر اساس مقیاس دیداری درد ارائه شده است. نتایج نشان داد تفاوت معناداری در خصوصیات جمعیت‌شناختی و نیز نمره درد بین ۲ گروه سالم و سندرم درد پتلافمورال وجود نداشت (P>۰/۰۵).

نتایج نرمالیتی نشان داد که توزیع تمام داده‌ها داده‌ها در سطح ۰/۰۵ نرمال بود (P>۰/۰۵) (جدول شماره ۲). بنابراین، از آزمون تی مستقل به‌منظور بررسی تفاوت بین ۲ گروه آزمودنی و درنتیجه آزمون فرضیه‌های تحقیق استفاده شد.

۱۷. Independent Samples T-Test
18. Shapiro-Wilk Test

جدول ۱. مشخصات جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان تحقیق (n=۳۰).

مشخصات جمعیت‌شناختی		میانگین±انحراف معیار			درد (VAS)
گروه	تعداد	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلومتر)	
سالم	۱۴	۲۲/۰۷±۳/۶۷	۱/۷۵±۰/۰۵	۶۶/۴±۷/۳	۵±۲/۹
مبتلا به سندرم درد پتلافمورال	۱۶	۲۱/۹±۲/۷۳	۱/۷۶±۰/۰۶	۶۹/۷۲±۱۰/۷۶	۵±۲/۳

جدول ۲. نتایج آزمون شاپیروویک برای تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها (n=۲۴).

متغیر	سطح معنی‌داری
سن (سال)	۰/۴۲۴
قد (سانتی‌متر)	۰/۳۸۱
وزن (کیلومتر)	۰/۳۴۶
زاویه زانو در حالت اسکات تک‌پا چشم باز (درجه)	۰/۳۴۳
زاویه زانو در حالت اسکات تک‌پا چشم بسته (درجه)	۰/۲۴۳
زاویه زانو در حالت نشسته چشم باز (درجه)	۰/۱۸۱
زاویه زانو در حالت نشسته چشم بسته (درجه)	۰/۲۲۳

طب توانبخشی

میانگین و انحراف معیار و نتایج آزمون تی مستقل برای متغیرهای موردنظر در حالات مختلف آزمون (تحمل وزن و عدم تحمل وزن) در جداول شماره ۳ و ۴ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در خطای زوایای بازسازی‌شده مفصل زانو در حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن بین گروه سالم و مبتلا تفاوت معناداری دیده شد و به ترتیب میزان سطح معناداری P=۰/۰۱ و P=۰/۰۳ است. همچنین در حالت تحمل وزن اختلاف خطای بازسازی‌شده در افراد سالم و مبتلا بیشتر از حالت عدم تحمل وزن است.

بحث

ازآنجایی‌که در فرایند توان‌بخشی، بهبود کنترل حس عمقی و عصبی‌عضلانی یکی از مسائل کمتر شناخته‌شده است، هدف اصلی این تحقیق مقایسه حس عمقی مفصل زانو در والیبالیست‌های زن مبتلا به سندرم درد پتلافمورال با والیبالیست‌های زن سالم در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن بود. باتوجه‌به یافته‌های آماری تحقیق حاضر می‌توان گفت که افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی در مقایسه با افراد سالم، حس عمقی ضعیف‌تری دارند و بنابراین فرضیه تحقیق ما نیز تأیید شد. در تحقیق حاضر، حس عمقی در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن مورد ارزیابی قرار گرفت و در هر ۲ حالت تفاوت معنادار بود. در حالت عدم تحمل وزن حس عمقی تنها در زانو در حرکت اکستنشن مورد بررسی قرار گرفت. درحالی‌که در حالت تحمل وزن علاوه‌بر زانو، اطلاعات حس عمقی از سایر مفاصل نیز دریافت می‌شد.

درمورد حالت تحمل وزن، یافته‌های حاضر با نتایج بررسی‌های انجام‌شده درارتباط‌با مقایسه حس عمقی زانو در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی و سالم همسو بود. در بررسی‌ای که جروج و همکاران بر روی افراد سالم و مبتلا انجام دادند به نتایج

جدول ۳. میانگین و انحراف‌معیار زاویه بازسازی‌شده (خطای مطلق) زانو در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی

گروه		تعداد	متغیر	میانگین±انحراف معیار
زاویه بازسازی‌شده	سالم	۱۲	تحمل وزن	۱/۲۷±۱/۳۹
			عدم تحمل وزن	۲/۰۸±۱/۱۴
	مبتلا	۱۶	تحمل وزن	۴/۰۳±۳/۵۸
			عدم تحمل وزن	۴/۱۷±۲/۸۸

طب توانبخشی

جدول ۴. اختلاف زاویه بازسازی‌شده (خطای مطلق) زانو در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی (n=۱۶) و سالم (n=۱۲)

گروه		سالم و مبتلا
زاویه بازسازی‌شده	تحمل وزن	P=۰/۰۱
	عدم تحمل وزن	P=۰/۰۳

سطح معناداری P≤۰/۰۵

طب توانبخشی

مشابهی دست یافته بودند. هرچند روش ارزیابی حس عمقی در بررسی آن‌ها متفاوت بود. آن‌ها در این بررسی که بر روی ۴۳ بیمار و ۳۰ فرد سالم انجام داده بودند از تکنیک آستانه حرکت (تست به‌صورت پسیو انجام می‌شد) استفاده کرده بودند [۲۱]. در تحقیقاتی مشابه، بیکر (۲۰۰۲) [۱۱] و هاذنچی و همکاران (۲۰۰۵) [۲۲] نیز بیان کردند حس عمقی در افراد سالم و مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی متفاوت است. اما در این بین نتایج بررسی‌های کارمار و همکاران (۱۹۹۷) با نتایج تحقیق حاضر متفاوت بود و آن‌ها تفاوتی بین حس عمقی در افراد مبتلا و افراد سالم نیافته بودند و علت آن را میزان سطح فعالیت افراد بیان کرده بودند، زیرا آزمودنی‌ها در تحقیق آن‌ها ورزشکاران تفریحی و نه حرفه‌ای بودند. سطح فعالیت شرکت‌کنندگان می‌تواند عامل تفاوت نتایج باشد [۱۲].

همچنین در تحقیق حاضر میزان خطای بازسازی‌شده در حالت تحمل وزن (فلکشن) نسبت به حالت عدم تحمل وزن (اکستنشن) بیشتر بود که نشان‌دهنده اختلال بیشتر حس عمقی در حالت فلکشن زانو است که باتوجه‌به تحقیقات انجام‌شده درمورد کینماتیک مفصل زانو در افراد مبتلا به این سندرم میزان فلکشن در این افراد افزایش می‌یابد و افزایش آن یکی از علل ایجاد درد و گسترش علائم است. بنابراین می‌توان بیان کرد کاهش حس عمقی می‌تواند بر این افزایش حرکت نقش داشته باشد و به دنبال آن استرس مکانیکی و درد در افراد افزایش می‌یابد [۲۳]. یاسماگلو و همکاران، از آزمون ارزیابی موقعیت مفصل[19] فعال ازطریق اسکات افقی استفاده کردند با وجود اینکه ابزار اندازه‌گیری عکاسی دیجیتال و یک سیستم اسکات کامپیوتری بود که با ابزار تحقیق پیش‌رو تفاوت دارد، اما نتایجی مشابه با تحقیق ما گزارش کردند. آن‌ها نیز گروه کنترلشان را افراد سالم تشکیل می‌دادند [۲۴]. رود و همکاران که از روش ارزیابی و اندازه‌گیری مشابه استفاده کردند، نتایج متفاوت با تحقیق ما گزارش کردند و تفاوت معناداری بین حس عمقی زانوی مبتلا و سالم نیافتند. آن‌ها زانوی سالم و مبتلا را در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی مورد مطالعه قرار دادند [۲۵] که همین موضوع می‌تواند نتایج متفاوت را توجیح کند؛ چراکه برخی محقق‌ها اعتقاد دارند اگر درد مزمن شود می‌تواند روی فاکتور تعادل و حس عمقی پای سالم نیز تأثیر بگذارد [۲۵، ۲۶].علاوه‌بر موارد ذکرشده، اختلاف معنادار حس عمقی در حالت تحمل وزن نشان‌دهنده این است که سایر مفاصل (مچ و ران)، عضلات (چهارسر و عضلات ساق) [۲۷] و حس سطحی و عمقی در پا [۲۸] نمی‌تواند این کاهش حس عمقی در زانو را در این افراد جبران کند.

امروزه استفاده از فناوری‌های جدید مانند نوروفیدبک[20]، بیوفیدبک[21] و تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال[22] به‌عنوان روش‌های ایمن و بدون درد برای بهبود عملکرد مغز، حس عمقی و تعادل مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین مطالعات بیشتری مورد نیاز است تا تأثیر این مداخلات را بر حس عمقی افراد مبتلا به سندرم درد پتلافمورال بررسی کند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد حس عمقی در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی نسبت به افراد سالم ضعیف‌تر است و این حالت می‌تواند زمینه‌ساز آسیب‌های بیشتر شود و بنابراین پیشنهاد می‌شود در درمان و توان‌بخشی این آسیب تقویت حس عمقی نیز برای این افراد لحاظ شود و تست‌های دقیق‌تری برای ارزیابی آن طراحی شود. در حین اکستنشن فعال زانو در افراد با درد کشککی‌رانی میانگین خطای بازسازی بیشتر بود که می‌تواند منعکس‌کننده حس عمقی کمتر به‌طور خاص در مفصل زانو باشد، اگرچه تفاوت در هر حالت تست معنی‌دار بود.

باتوجه‌به شرایط موجود و محدودیت زمانی‌ای که در این تحقیق وجود داشت، مقایسه حس عمقی مفصل زانو در ۲ حالت تحمل وزن و عدم تحمل وزن ارزیابی شد، اما همچنان این نکته مجهول باقی می‌ماند که کاهش حس عمقی منجر به بروز این سندرم در افراد مبتلا شده است و یا اینکه سندرم درد کشککی‌رانی منجر به کاهش حس عمقی در افراد شده است که نیاز به بررسی‌های بیشتری در مطالعات آینده دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره SSRI.REC.2207.1768 دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه خانم سارا خدارحمی در گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز است. این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

19. Joint Position Sense (JPS)

20. Neurofeedback
21. Biofeedback
22. Transcranial direct current stimulation (tDCS)

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از اساتید محترم ازجمله دکتر علی فتاحی و یحیی سخنگویی همچنین پرسنل مرکز آنالیز گیت روشان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1] Smith BE, Selfe J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018; 13(1):e0190892. [DOI:10.1371/journal.pone.0190892][PMID]

[2] Willy RW, Hoglund LT, Barton CJ, Bolgla LA, Scalzitti DA, Logerstedt DS, et al. Patellofemoral pain. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2019; 49(9):CPG1-95. [DOI:10.2519/jospt.2019.0302] [PMID]

[3] Sundemo D, Hamrin Senorski E, Karlsson L, Horvath A, Juul-Kristensen B, Karlsson J, et al. Generalised joint hypermobility increases ACL injury risk and is associated with inferior outcome after ACL reconstruction: A systematic review. BMJ Open Sport & Exercise Medicine. 2019; 5(1):e000620. [DOI:10.1136/bmjsem-2019-000620] [PMID]

[4] Saltychev M, Dutton RA, Laimi K, Beaupré GS, Virolainen P, Fredericson M. Effectiveness of conservative treatment for patellofemoral pain syndrome: A systematic review and meta-analysis. Journal of Rehabilitation Medicine. 2018; 50(5):393-401. [DOI:10.2340/16501977-2295] [PMID]

[5] Tállay A, Kynsburg A, Tóth S, Szendi P, Pavlik A, Balogh E, et al. [Prevalence of patellofemoral pain syndrome. Evaluation of the role of biomechanical malalignments and the role of sport activity (Hungarian)]. Orvosi Hetilap. 2004; 145(41):2093-101. [PMID]

[6] Petersen W, Ellermann A, Gösele-Koppenburg A, Best R, Rembitzki IV, Brüggemann GP, et al. Patellofemoral pain syndrome. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA. 2014; 22(10):2264-74. [DOI:10.1007/s00167-013-2759-6] [PMID]

[7] Lin YF, Lin JJ, Cheng CK, Lin DH, Jan MH. Association between sonographic morphology of vastus medialis obliquus and patellar alignment in patients with patellofemoral pain syndrome. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2008; 38(4):196-202. [DOI:10.2519/jospt.2008.2568] [PMID]

[8] Akseki D, Akkaya G, Erduran M, Pinar H. [Proprioception of the knee joint in patellofemoral pain syndrome (Turkish)]. Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica. 2008; 42(5):316-21. [DOI:10.3944/AOTT.2008.316] [PMID]

[9] Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, Karzis K, Drakoulakis E, Michos J, et al. Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. The Knee. 2011; 18(2):76-82. [DOI:10.1016/j.knee.2010.01.009] [PMID]

[10] Konishi Y, Fukubayashi T, Takeshita D. Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2002; 34(9):1414-8. [DOI:10.1097/00005768-200209000-00003] [PMID]

[11] Baker V, Bennell K, Stillman B, Cowan S, Crossley K. Abnormal knee joint position sense in individuals with patellofemoral pain syndrome. Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society. 2002; 20(2):208-14. [DOI:10.1016/S0736-0266(01)00106-1] [PMID]

[12] Kramer J, Handfield T, Kiefer G, Forwell L, Birmingham T. Comparisons of weight-bearing and non-weight-bearing tests of knee proprioception performed by patients with patello-femoral pain syndrome and asymptomatic individuals. Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine. 1997; 7(2):113-8. [DOI:10.1097/00042752-199704000-00007] [PMID]

[13] Vaugoyeau M, Viel S, Amblard B, Azulay JP, Assaiante C. Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. Gait & Posture. 2008; 27(2):294-302. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2007.04.003] [PMID]

[14] Langley GB, Sheppeard H. The visual analogue scale: Its use in pain measurement. Rheumatology International. 1985; 5(4):145-8. [DOI:10.1007/BF00541514] [PMID]

[15] Clark NC, Akins JS, Heebner NR, Sell TC, Abt JP, Lovalekar M, et al. Reliability and measurement precision of concentric-to-isometric and eccentric-to-isometric knee active joint position sense tests in uninjured physically active adults. Physical Therapy in Sport. 2016; 18:38-45. [DOI:10.1016/j.ptsp.2015.06.005] [PMID]

[16] Röijezon U, Clark NC, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. Manual Therapy. 2015; 20(3):368-77. [DOI:10.1016/j.math.2015.01.008] [PMID]

[17] Guney-Deniz H, Harput G, Kaya D, Nyland J, Doral MN. Quadriceps tendon autograft ACL reconstructed subjects overshoot target knee extension angle during active proprioception testing. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2020; 28(2):645-52. [DOI:10.1007/s00167-019-05795-7] [PMID]

[18] Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y. Assessing proprioception: A critical review of methods. Journal of Sport and Health Science. 2016; 5(1):80-90. [DOI:10.1016/j.jshs.2014.10.004] [PMID]

[19] Ogard WK. Proprioception in sports medicine and athletic conditioning. Strength and Conditioning Journal. 2011; 33(3):111-18. [DOI:10.1519/SSC.0b013e31821bf3ae]

[20] Bennell K, Wee E, Crossley K, Stillman B, Hodges P. Effects of experimentally-induced anterior knee pain on knee joint position sense in healthy individuals. Journal of Orthopaedic Research. 2005; 23(1):46-53. [DOI:10.1016/j.orthres.2004.06.008] [PMID]

[21] Jerosch J, Schmidt K, Prymka M. [Proprioceptive capacities of patients with retropatellar knee pain with special reference to effectiveness of an elastic knee bandage (German)]. Der Unfallchirurg. 1997; 100(9):719-23. [DOI:10.1007/s001130050183] [PMID]

[22] Hazneci B, Yildiz Y, Sekir U, Aydin T, Kalyon TA. Efficacy of isokinetic exercise on joint position sense and muscle strength in patellofemoral pain syndrome. American Journal of physical Medicine & Rehabilitation. 2005; 84(7):521-7. [DOI:10.1097/01.phm.0000167682.58210.a7] [PMID]

[23] Thijs Y, Witvrouw E, Evens B, Coorevits P, Almqvist F, Verdonk R. A prospective study on knee proprioception after meniscal allograft transplantation. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2007; 17(3):223-9. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2006.00565.x] [PMID]

[24] Yosmaoglu HB, Kaya D, Guney H, Nyland J, Baltaci G, Yuksel I, et al. Is there a relationship between tracking ability, joint position sense, and functional level in patellofemoral pain syndrome? Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2013; 21(11):2564-71. [DOI:10.1007/s00167-013-2406-2] [PMID]

[25] Rhode C. Proprioceptive differences in individuals with Anterior knee pain [MSc thesis]. Stellenbosch: Stellenbosch University; 2018. [Link]

[26] Hillier S, Immink M, Thewlis D. Assessing proprioception: A systematic review of possibilities. Neurorehabilitation and Neural Repair. 2015; 29(10):933-49. [DOI:10.1177/1545968315573055] [PMID]

[27] Refshauge KM, Chan R, Taylor JL, McCloskey DI. Detection of movements imposed on human hip, knee, ankle and toe joints. The Journal of Physiology. 1995; 488 (Pt 1)(Pt 1):231-41. [DOI:10.1113/jphysiol.1995.sp020961] [PMID]

[28] Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. Neuroreport. 1998; 9(14):3247-52. [DOI:10.1097/00001756-199810050-00021] [PMID]