Archives of
Rehabilitation

July 2021. Vol 22. Num 2

Research Paper:

Reliability of Image Capture Technique for the Measurement of Upper Limb Active Joint Position Sense in Healthy Adults

Iraj Abdollahi[1], ***Elnaz Allahverdloo**[1]

1. Department of Physiotherapy, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Abdollahi I, Allahverdloo E. [Reliability of Image Capture Technique for the Measurement of Upper Limb Active Joint Position Sense in Healthy Adults (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2021; 22(2):246-259. https://doi.org/10.32598/RJ.22.2.3224.1

doi https://doi.org/10.32598/RJ.22.2.3224.1

CC BY NC

Received: 07 Jul 2020
Accepted: 07 Dec 2020
Available Online: 01 Jul 2021

Keywords:
Proprioception, Joint position sense, Upper limb, Image capture technique

ABSTRACT

Objective Proprioception is the conscious perception of limb position, motion, balance, and pressure. It has a vital role in movement control, especially motor planning and neuromuscular feedback mechanism. To investigate the proprioceptive function, it is essential to use the best measurement method. Different techniques and approaches have been introduced, which are usually expensive and not applicable for clinical use. One of these methods is the image capture technique which is easy and practical. Stillman introduced this technique to measure the joint position sense of the knee considering all variables affecting it and reported its good reliability. Many studies have used this technique for knee and lower limb joints and reported its good reliability, while few studies have used this technique for the upper limb joints. Therefore, this study investigates the reliability of the image capture technique for measuring the Active Joint Position Sense (AJPS) of the left shoulder and elbow in healthy adults. If it yields a good result, it can be used as an available and cost-effective method by clinicians.

Materials & Methods In this methodological study, the participants were 10 healthy adults (5 men, 5 women) aged 18-40 years. To assess the AJPS, we used image capture technology which is one of the most reliable methods for the lower limb joint position sense measurement. Markers were attached on elbow and shoulder landmarks, and photos were taken during the reproduction of angles by participants. Then, the photos were entered into AutoCAD software, and the angles were calculated by drawing line segments from landmarks and connecting them. The absolute error and relative error (the difference between the initial and reproduced angles) were used to measure accuracy. The AJPS was assessed for internal and external rotation of the shoulder and elbow flexion. The measurements were repeated two hours later to assess intra-day reliability and two days later to assess inter-day reliability. Interclass Correlation Coefficient (ICC) and Standard Error of Measurement (SEM) were used for statistical analysis.

Results The ICC of inter-day reliability of the test for all shoulder and elbow movements in relative and absolute errors was reported as excellent (≥0.92). Intra-day reliability was reported excellent (≥0.90) for elbow flexion, and internal rotation of the shoulder in both relative and absolute errors were excellent (0.94). For external rotation of the shoulder, it was excellent in relative error (0.94) and good in absolute error (0.80). All measurements had absolute reliability based on the SEM results.

Conclusion The image capture technique is a simple, cost-effective, and available method tool for measuring AJPS and proprioception in upper limbs by clinicians and researchers.

***Corresponding Author:**
Elnaz Allahverdloo, MSc.
Address: Department of Physiotherapy, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.
Tel: +98 (901) 2681077
E-Mail: elnazallahverdlo@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Proprioception is the conscious and unconscious perception of limbs, joint position, sense of movement, and sense of force [1]. Joint proprioception arises from a set of afferent messages from muscle mechanoreceptors, tendons, joint capsules, ligaments, and skin. The receptors involved in proprioception include muscle spindles and the Golgi tendon organ [2, 3]. These muscle-tendon receptors transmit information about the static length of the muscles, the change in muscle length, and the force produced by the muscles to the central nervous system [4]. Given that most of the mechanoreceptors associated with proprioception are active at the end range of motion of a joint, the muscle spindle plays a unique role in transmitting proprioceptive messages [5].

For this reason, static proprioception tests are not practical enough because inactive movements do not stimulate the muscle spindle, which is a very sensitive mechanoreceptor [6]. Studies have shown that after damage to the joint capsule, ligament, labrum, or muscles involved, the proprioception gets impaired [7-10]. Damage to the tissues that contain mechanoreceptors causes a relative reduction in afferent messages, which can lead to impaired proprioception and make a person prone to re-injury due to a decrease in proprioceptive feedback [11]. Proprioception and vision together play a special role in controlling movements [12]. Therefore, it is imperative to study proprioception to rehabilitate and prevent re-injury [13, 14] properly.

Joint position sense, which is one of the components of proprioception, is a measure of the ability to reproduce a joint angle accurately. This sensation is done actively and passively, and the amount of angle error is a good criterion for measuring the sense of joint position [15]. To measure the joint position sense, various tools and methods, such as electrogoniometer, Biodex machine [16], inclinometer, motion analyzer [17], isokinetic dynamometer [18], and image capture technique [19] have been used. However, these methods are expensive and specialized. Also, they require a lot of space and are unusable in medical settings. Stillman first proposed the image capture technique in 2000 [6]. Unlike other methods, it does not require complex tools and is not limited to use in laboratories. Smith et al., in a review to determine the reliability of knee joint position sense assessment measures, reported good reliability of image capture technique [20]. This technique has been proposed as an acceptable method for measuring the joint position sense of lower limbs [21, 22]. However, few studies have measured the joint position sense of upper limbs by this technique [23, 24]. Olyayi used the image capture technique in a case study and reported its good reliability [23], but for better knowledge, we need a study with a larger sample size. In a review study by Ager et al. on different methods of measuring the sense of active and passive shoulder joint position, the dynamometer showed the highest reliability (0.92), and the image capture technique had the highest reliability (0.81) for measuring the sense of passive shoulder joint position [24]. Because of the differences in the joints of upper and lower limbs, where the lower limbs are for weight-bearing and walking, and the upper limbs are for movement and delicate tasks, studies are needed to evaluate the reliability of image capture technique for the upper limb joints. Therefore, this study aims to evaluate the reliability of the image capture technique for measuring Active Joint Position Sense (AJPS) in upper limbs to be used as an accessible and usable method in clinics.

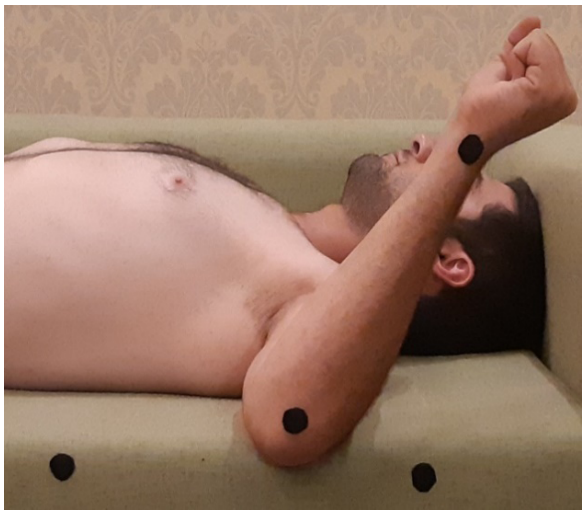
Materials and Methods

This research is a methodological study. By using a convenience non-probability sampling method, 10 healthy individuals (5 females and 5 males) aged 18-40 years [25] were selected from the students of the University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences in Tehran, Iran, in 2019. The sample size was determined according to Relph et al. [21] and using Equation 1. The study process was explained to the participants, and they completed a form containing personal information and signed a consent form to participate in the study. The inclusion criteria were being right-handed (In healthy right-handed people, proprioception in the non-dominant hand is more accurate [25] and no left upper limb injury in the past 6 months [6].

(1)
$$var\tilde{\rho}_I=\frac{2(1-\tilde{\rho}_I)^2(1+(k-1)\,\tilde{\rho}_I)^2}{k(k-1)(n-1)},n=8z^2_{\frac{\alpha}{2}}\frac{(1-\tilde{\rho}_I)^2(1+(k-1)\,\tilde{\rho}_I)^2}{k(k-1)\,\omega^2\,)+1}$$

The subjects attended two similar test sessions two days apart. In each session, the AJPS of the left shoulder and elbow was measured through active reproduction of angles and using the image capture technique. The joints were examined in random order, and the participants were asked to guess the order of shoulder or elbow joint measurements without knowing the contents of the sheets in the envelope. To measure each joint, the respective landmarks were first identified with black circular markers (2-cm diameter). Then, a 16-megapixel digital camera was placed at a distance of 1 m and aligned with the joint level.

The measurement of the AJPS of the elbow was done while the patient was sitting on a chair without an armrest



Archives of Rehabilitation

Figure 1. Active reproduction of the joint angle for shoulder external rotation by the participant

Archives of Rehabilitation

Figure 2. Active reproduction of the joint angle for elbow flexion by the participant

and with closed eyes. Elbow landmarks were affixed to the outer edge of the acromion, lateral epicondyle, and between the distal radioulnar joint. The examiner then created the 100-degree angle with a goniometer. After a pause of two seconds, the elbow was returned to its original position, and the participant was asked to reproduce the angle, pause for two seconds, and return to the original position, repeating this maneuver two more times. In each of these steps, a photograph of the angle reproduced by the participant was taken by the camera. The AJPS of the shoulder was measured in the supine position, and the markers were placed on the tip of the ulna and olecranon bones and on both sides of the hands on the bed. The initial position was at 90 degrees angle for the shoulder and elbow; 50 degrees was applied for internal rotation of the shoulder and 30 degrees for its external rotation. The initial angle was measured with a goniometer, and then the participant performed the rotation with their eyes closed, and a photograph of the angle was taken in each repetition. All these steps were done again 2 hours later and 2 days later. Figures 1 and 2 show the active reproduction of the angles for the shoulder and elbow. At the end of the three phases of evaluation, we imported the relevant photos into the AutoCAD program and obtained the angles by creating line segments from the marker places and connecting them. To obtain the angle reproduction error, the values of absolute error (i.e., the difference between the produced angle and the initial angle without considering the direction of motion) and relative error (i.e., the difference between the produced angle and the initial angle with considering the direction of motion) were calculated [22]. These values for each joint were entered into SPSS v. 19 software. The within-group comparison was performed between the results of the first and second phases to assess intra-day reliability of the test, and a between-group comparison was carried out between the results of the first and third phases to evaluate its inter-day reliability. We used ICC, 95% test power, a significance level of 0.05, and SEM to evaluate absolute repeatability between measurements.

Results

The characteristics of height, weight, and Body Mass Index (BMI) of the participants are presented in Table 1. The

Table 1. Demographic characteristics of the participants

Characteristics	Mean±SD	Median
Age (y)	29.1±4.79	21-37
Weight (kg)	76.3±12.57	60-86
Height (cm)	173.7±11.52	158-190
Body mass index (kg/m^2)	25.52±2.88	30.86-21.8

Archives of Rehabilitation

Table 2. Mean and Standard Deviation (SD) of relative and absolute errors in 3 measurements

Type of Movement		Mean±SD		
		The First Measurement	The Second Measurement	The Third Measurement
Relative error (degree)	Shoulder external rotation	1.33±3.24	0.56±4.39	1.36±3.06
	Shoulder internal rotation	-7.2±2.98	-7.36±3.0	-6.63±3.25
	Elbow flexion	-5.73±2.01	-6.4±1.85	-5.8±1.84
Absolute error (degree)	Shoulder external rotation	2.03±1.59	3.63±2.54	3.30±1.52
	Shoulder internal rotation	7.26±2.81	7.56±2.50	6.90±2.68
	Elbow flexion	5.80±1.86	6.40±1.85	5.8±1.84

Archives of Rehabilitation

mean and standard deviation of absolute and relative errors obtained from the three measurements are shown in Table 2. All P values were ≤0.005. According to Shrout's ICC classification [26], ICC<0.40 indicates poor reliability, 0.40-0.75 indicates moderate reliability, and ICC >0.75 shows excellent reliability. The high ICC for absolute and relative errors in internal and external shoulder rotations and elbow flexion measured in one day indicated that the image capture technique had excellent inter-day reliability to assess AJPS. The high values of ICC for all measurements in several days also indicated the excellent intra-day reliability of this technique. SEM value was also greater than the mean difference in all measurements, indicating absolute repeatability between measurements. Table 3 shows the ICC and SEM values for the measurements.

Discussion and Conclusion

Excellent ICC for relative error (0.9) and absolute error (0.8) of all movements and three measurements indicated high reliability of the joint image capture technique. Olyayi, in a similar study, used the image capture technique by digital camera for the shoulder joint at angles of 30, 45, 65, and 70 degrees while the goniometer was attached to the joint. The obtained results of absolute and relative error of each angle (0.97) showed excellent inter-day reliability of the technique [23]. One of the limitations of their study was its small sample size, which limits the possibility of generalizing the results. Irving et al. compared the reliability of measuring the sense of knee joint position with a goniometer and image capture technique, measured by two examiners in standing position at angles of 20, 40, 75, and 100 degrees. IPad2 was used for taking images, and only one image was taken from each angle, and the participants returned for a second measurement a week later. Their results

Table 3. ICC and SEM values of inter-day and intra-day reliability

Type of Movement		Inter-day Reliability		Intra-Day Reliability	
		Intraclass Correlation Coefficient	Standard Error of Measurement	ICC	SEM
Relative error	Shoulder external rotation	0.98	0.71	0.94	1.73
	Shoulder internal rotation	0.96	1.21	0.98	0.79
	Elbow flexion	0.96	0.71	0.90	1.16
Absolute error	Shoulder external rotation	0.92	0.84	0.8	1.70
	Shoulder internal rotation	0.93	1.35	0.97	0.86
	Elbow flexion	0.96	0.68	0.90	1.11

Archives of Rehabilitation

for the goniometer and image capture technique showed poor to moderate reliability [27]. This result can be related to the long period between two measurements and taking only one picture from an angle [28]. In another study by Relph, the reliability (ICC) of the image capture technique for the knee joint in the sitting and prone positions was reported to be 0.96 by one tester and 0.98 by several testers [21]. For the goniometer, a study reported poor to moderate reliability for measuring the wrist joint position sense at 20 and 45 degrees of extension and flexion, where at 20° flexion angle, it was more reliable [15]. In Dover et al.'s study, an inclinometer was used to measure the AJPS, and a dynamometer was used to measure shoulder force reproduction. They reported very high reliability (0.99). However, they only calculated absolute error [29], while it is better to use relative error because relative error also determines the direction of movement. The inclinometer, like other methods used in studies, has a less clinical aspect.

Few review studies have been performed to find the best measure of the sense of shoulder joint position, which has validated the passive test for the shoulder in the 90-degree abduction and internal rotation [24]. The isokinetic dynamometer has also been suggested as an efficient method for assessing the sense of joint position. Despite low reliability, it allows the evaluation of the cerebral hemispheres in terms of sensorimotor abilities [30]. However, it is not possible to use these facilities in all medical centers. In a study by Juul-Kristensen, the AJPS of the elbow was measured by an electrogoniometer, and the passive joint position sense was measured by the device. The results showed moderate reliability (0.59 and 0.69) for absolute error and poor reliability for variable error of AJPS measured by electrogoniometer [31].

The image capture technique has reliability for measuring the AJPS of the shoulder and elbow. The simplicity and availability of this measurement method make it possible to use it extensively in medical centers and especially in the rehabilitation treatment process to evaluate joint proprioception.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles are considered in this article. The participants were informed about the purpose of the research and its implementation stages. They were also assured about the confidentiality of their information and were free to leave the study whenever they wished, and if desired, the research results would be available to them. Also, this study was approved by the ethics committee of the University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors equally contributed to preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the participants and Mr. Mohsen Khalifpour for their cooperation.

مقاله پژوهشی:

تکرارپذیری اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی با استفاده از تکنیک عکس‌برداری در اندام فوقانی افراد سالم

ایرج عبداللهی[۱]، *الناز الله‌وردلو[۲]

۱. گروه فیزیوتراپی، دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۷ تیر ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۰۷ آذر ۱۳۹۹
تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۰

چکیده

اهداف حس عمقی، درک آگاهانه از وضعیت اندام در فضا را فراهم می‌کند که باعث آگاهی از وضعیت قرارگیری و میزان حرکت مفاصل، تغییرات تعادلی و فشارمفصلی می‌شود. حس عمقی علاوه بر حس حرکت و محل قرارگیری مفصل، در کنترل حرکت به‌ویژه در برنامه‌ریزی حرکتی و مکانیسم فیدبک عصبی‌عضلانی نیز نقش دارد و با توجه به عملکرد مهم حس عمقی حائز اهمیت است تا ابزارها و روش‌های مناسب اندازه‌گیری آن مورد بررسی قرار گیرد. تکنیک‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری مختلفی به منظور اندازه‌گیری اجزای مختلف حس عمقی به کار گرفته شده‌اند که معمولاً پرهزینه و غیربالینی هستند. تکنیک عکس‌برداری از مفاصل که روشی آسان و کاربردی است و ابتدا توسط استیل‌من به منظور بررسی حس وضعیت مفصلی زانو با در نظر گرفتن تمامی متغیرهای اثرگذار بر حس وضعیت مفصلی انجام شد، تکرارپذیری خوبی را نشان داده است. همچنین مطالعات زیادی تکرارپذیری تکنیک عکس‌برداری را در مفاصل اندام تحتانی قابل اعتماد گزارش کرده‌اند، اما مطالعات کمتری در ارتباط با قابل اعتماد بودن این روش در اندام فوقانی وجود دارند. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی تکرارپذیری خطای بازسازی فعال زاویه با استفاده از تکنیک عکس‌برداری در مفاصل آرنج و شانه چپ افراد سالم است تا به عنوان روش در دسترس و کم‌هزینه برای اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی اندام فوقانی در مراکز درمانی مورد استفاده قرار گیرد.

روش بررسی دراین مطالعه متدولوژیک ده فرد سالم (پنج مرد، پنج زن) در بازه سنی ۱۸ تا۴۰ سال با روش نمونه‌گیری در دسترس شرکت داشتند. برای اندازه‌گیری خطای بازسازی فعال زاویه از تکنیک عکس‌برداری مفاصل که از روش‌های با تکرارپذیری بالا برای اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی اندام تحتانی است، استفاده شد. بدین صورت که نشانگرهایی بر لندمارک‌های مختلفی از آرنج و شانه چسبانده می‌شدند و حین بازسازی زوایا توسط شرکت‌کنندگان، از زاویه موردنظر توسط دوربین دیجیتال که روی یک پایه قابل تنظیم قرار گرفته بود، عکس گرفته می‌شد. سپس عکس‌ها در نرم‌افزار اتوکد واردشده و زوایای بازسازی‌شده با اتصال پاره‌خط‌ها از محل نشانگرها به دست آمده و مقدار خطای مطلق و نسبی که حاصل اختلاف زاویه اولیه و زاویه ایجادشده توسط شرکت‌کننده بود، به عنوان معیاری برای سنجش دقت اندازه‌گیری استفاده می‌شد. حس وضعیت مفصلی در حرکت چرخش خارجی شانه، چرخش داخلی شانه و فلکسیون آرنج مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تکرارپذیری در روز، اندازه‌گیری‌ها دو ساعت بعد و برای تکرارپذیری بین روز، دو روز بعد تکرار شد. جهت تحلیل آماری تکرارپذیری از روش تکرارپذیری نسبی (ICC) و تکرارپذیری مطلق (SEM) استفاده شد.

یافته‌ها نتایج حاصل از آزمون تکرارپذیری نسبی برای اندازه‌گیری‌های بین روز تمامی حرکات شانه و آرنج در خطای مطلق و نسبی، عالی (≥۰/۹۲) گزارش شده است. تکرارپذیری در روز نیز برای آرنج و چرخش داخلی شانه در خطای مطلق و نسبی عالی (≥۰/۹۲) و در چرخش خارجی شانه برای خطای نسبی عالی (۰/۹۴) و برای خطای مطلق خوب (۰/۸۰) گزارش شده است. همچنین تمام اندازه‌گیری‌ها دارای تکرارپذیری مطلق نیزبودند.

نتیجه‌گیری روش عکس‌برداری از مفاصل روشی آسان، با هزینه کم و در دسترس است که می‌تواند یک روش قابل اعتماد به منظور ارزیابی حس وضعیت فعال مفصل باشد و به صورت کلی با ارزیابی حس عمقی اندام فوقانی و به صورت بالینی، توسط درمانگرها یا در تحقیقات مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها:
حس عمقی، تکرارپذیری، خطای بازسازی زاویه، اندام فوقانی، تکنیک عکس‌برداری مفاصل

*نویسنده مسئول:
الناز الله‌وردلو
نشانی: تهران، دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی، گروه فیزیوتراپی.
تلفن: (۹۰۱) ۲۶۸۱۰۷۷ ۹۸+
رایانامه: elnazallahverdlo@gmail.com

مقدمه

حس عمقی یا پروپریوسپشن درک آگاهانه و ناآگاهانه از وضعیت اندام درفضاست که شامل آگاهی از وضعیت مفصل، حس حرکت و حس مقاومت یا نیرو است [۱]. حس عمقی مفصل از مجموعه پیام‌های آوران از مکانورسپتورهای عضلات، تاندون‌ها، کپسول مفصلی، لیگامان‌ها و پوست ناشی می‌شود. گیرنده‌های عضلانی تاندونی حس عمقی شامل دوک‌های عضلانی و دستگاه گلژی تاندونی است [۲، ۳]. گیرنده‌های عضلانی تاندونی اطلاعاتی درباره طول استاتیک عضلات، میزان تغییر طول عضله و نیروی تولیدشده درعضلات به سیستم عصبی مرکزی مخابره می‌کنند [۴]. با توجه به اینکه اکثر مکانورسپتورهای مرتبط با حس عمقی در انتهای دامنه حرکات مفصل فعال هستند دوک عضلانی نقش ویژه‌ای درانتقال پیام‌های حس عمقی ایفا می‌کند [۵]. به همین دلیل تست‌های غیرفعال حس عمقی به اندازه کافی کاربردی نیستند، زیرا حرکات غیرفعال دوک عضلانی را که مکانورسپتور بسیار حساسی است تحریک نمی‌کند [۶].

مطالعاتی نشان داده‌اند که بعد از آسیب به کپسول، لیگامان، لابروم یا عضلات اطراف حس عمقی دچار اختلال می‌شود [۷-۱۰]. ضربه به بافت‌هایی که حاوی مکانورسپتور هستند باعث کاهش نسبی پیام‌های آوران می‌شود که می‌تواند باعث نقص حس عمقی شود و فرد را به علت کاهش فیدبک حس عمقی مستعد آسیب دوباره کند [۱۱]. همچنین حس عمقی به همراه بینایی در کنترل حرکات نقش ویژه‌ای دارد [۱۲]. درنتیجه بررسی حس عمقی به منظور توان‌بخشی صحیح و جلوگیری از آسیب مجدد اهمیت فراوانی دارد [۱۳، ۱۴].

حس وضعیت مفصل[1] که یکی از ارکان حس عمقی است، درواقع اندازه‌گیری توانایی بازسازی دقیق یک زاویه مفصلی است که به دو روش بازسازی فعال و غیرفعال انجام می‌شود و میزان خطای زاویه، معیار مناسبی برای اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی محسوب می‌شود [۱۵]. به منظور اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی از ابزارو روش‌های مختلفی چون الکتروگونیامتر، Biodex [۱۶]، Motion analyzer، Inclinometer[۱۷]، dynamometer isokinetic [۱۸] و تکنیک عکس‌برداری از مفاصل[2] [۱۹] استفاده شده است. ایراداتی که به این روش‌های اندازه‌گیری وارد است، گران بودن، پیچیده بودن، نیاز به فضای زیاد داشتن و غیر قابل استفاده بودن در مراکز درمانی است. دستگاه ایزوکینتیک، بایودکس و آنالیزور حرکت بسیار پرهزینه و تخصصی‌ای است که بیشتر در تحقیقات استفاده می‌شود و برای ارزیابی‌های معمول توسط درمانگران طراحی نشده است.

تکنیک عکس‌برداری از مفاصل که ابتدا توسط استیل‌من[3] در سال ۲۰۰۰ میلادی مطرح شد که از جمله تکنیک‌های کاربردی و دردسترس درمانگران است و بر خلاف سایر روش‌های نامبرده نیاز به ابزارهای پیچیده ندارد و محدود به استفاده در آزمایشگاه‌ها نیست [۶]. اسمیت در یک مطالعه مروری به بررسی تکرارپذیری روش‌های بررسی حس وضعیت مفصلی در زانو پرداخته و تکرارپذیری خوبی برای تکنیک عکس‌برداری گزارش کرده است [۲۰]. تکنیک عکس‌برداری به عنوان یک روش قابل قبول برای اندازه‌گیری حس وضعیت مفصل اندام تحتانی پیشنهاد شده است [۲۱، ۲۲]. در حالی که مطالعاتی که حس وضعیت مفصلی اندام فوقانی را با تکنیک عکس‌برداری بررسی کرده باشند، اندک هستند [۲۳، ۲۴]. علیایی[4] در یک مطالعه موردی از تکنیک عکس‌برداری بهره گرفته و تکرارپذیری خوبی گزارش کرده است [۲۳]، اما برای استناد بهتر نیاز به نمونه آماری بزرگ‌تری داریم. همچنین در مطالعه مروری که توسط اجر[5] در جهت بررسی روش‌های مختلف اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی فعال و غیرفعال شانه انجام شد، دینامومتر بالاترین تکرارپذیری (۰/۹۲) را به خود اختصاص داده و تکنیک عکس‌برداری از مفاصل نیز تکرارپذیری بالایی (۰/۸۱) برای مفصل شانه در حالت پسیو داشته است [۲۴]. درنتیجه باتوجه به تفاوت ماهیت مفاصل اندام‌های فوقانی و تحتانی (اندام تحتانی برای تحمل وزن و راه رفتن و اندام فوقانی برای حرکت و کارهای ظریف طراحی شده است)، نیاز به انجام مطالعاتی برای بررسی قابل اعتماد بودن تکنیک عکس‌برداری در مفاصل اندام فوقانی مشاهده می‌شود. بنابراین در این مطالعه هدف، بررسی تکرارپذیری این روش ارزیابی حس وضعیت فعال مفصلی در اندام فوقانی است تا بتواند به عنوان روشی آسان و قابل استفاده در بالین به کارگرفته شود.

روش بررسی

مطالعه حاضر یک مطالعه متدولوژیک است و برای ارزیابی تکرارپذیری با روش نمونه‌گیری ساده غیراحتمالی، ده فرد سالم (پنج زن و پنج مرد) در محدوده سنی ۱۸ تا ۴۰ سال [۲۵] از بین دانشجویان دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی انتخاب شدند. حجم نمونه با توجه به مطالعه رلف[6] و همکاران [۲۱] و فرمول شماره ۱ محاسبه شده است. این مطالعه در شهر تهران و درسال ۱۳۹۸ انجام شد. روند انجام مطالعه به شرکت کنندگان توضیح داده شده و تمامی افراد فرم حاوی اطلاعات شخصی و رضایت شرکت در مطالعه را تکمیل کردند. معیارهای ورود به مطالعه راست دست بودن و عدم وجود آسیب در اندام فوقانی چپ طی شش ماه گذشته بود [۶]. علت انتخاب معیارهای ورود به مطالعه، مطالعات پیشین گوبل[7] بود که دیده شده در افراد سالم راست دست، حس عمقی در دست غیرغالب دقیق‌تر است.

1. Joint position sense
2. Image capture technique
3. Still man
4. Olyayi
5. Ager
6. Relph
7. Goble

۱.

$$var\tilde{\rho}_1 = \frac{2(1-\tilde{\rho}_1)^2(1+(k-1)\tilde{\rho}_1)^2}{k(k-1)(n-1)}$$

$$\omega = 2z^2_{\frac{\alpha}{2}}(var\tilde{\rho}_1)^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 8z^2_{\frac{\alpha}{2}}\frac{(1-\tilde{\rho}_1)^2(1+(k-1)\tilde{\rho}_1)^2}{k(k-1)\omega^2)+1}$$

افراد در دو جلسه آزمون مشابه که با فاصله دو روز انجام می‌گرفت، حضور یافتند و در هر جلسه حس وضعیت مفصلی فعال شانه و آرنج چپ از طریق بازسازی فعال زوایا و تکنیک عکس‌برداری اندازه‌گیری شد. ترتیب بررسی مفاصل به صورت تصادفی بود و از افراد شرکت‌کننده خواسته می‌شد تا بدون آگاهی از محتوای برگه‌هایی که در پاکت قرار داشت، ترتیب اندازه‌گیری مفاصل شانه یا آرنج را تعیین کنند. در **تصویر شماره ۱** مراحل انجام مطالعه به اختصار نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری هر مفصل ابتدا لندمارک‌های مربوطه با نشانگرهایی به رنگ مشکی به قطر ۲ سانتی‌مترمشخص می‌شدند. سپس یک پایه و دوربین دیجیتال ۱۶مگاپیکسلی به فاصله یک متر و هم‌راستا با مفصل موردنظر قرار داده می‌شد. اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی آرنج در حالت نشسته بر صندلی بدون دسته و با چشمان بسته انجام می‌گرفت. لندمارک‌های آرنج در لبه خارجی آکرومیون، اپی کندیل خارجی آرنج و بین مفصل رادیواولنار تحتانی چسبانده می‌شد. سپس زاویه ۱۰۰ درجه توسط آزمونگر با گونیامتر ایجاد می‌شد و پس از ۲ ثانیه مکث آرنج به حالت اولیه بازگردانده شده و از شرکت‌کننده خواسته می‌شد تا زاویه را بازسازی کند و ۲ ثانیه مکث کرده و به حالت اولیه بازگردد و این کار را دو بار دیگر تکرار کند. در هریک از این مراحل توسط دوربینی که روی پایه قرار گرفته بود، یک عکس از زاویه‌ای که شرکت‌کننده می‌ساخت، گرفته می‌شد.

به منظور اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی شانه، فرد طاق‌باز روی تخت دراز کشیده و نشانگرها در محل سر استخوان اولنا، اوله کرانون و دو طرف دست بر تخت قرار می‌گرفت. وضعیت اولیه زاویه ۹۰ شانه و آرنج بود که برای چرخش داخلی شانه زاویه ۵۰ درجه و برای چرخش خارجی زاویه ۳۰ درجه اعمال می‌شد که ابتدا با گونیامتر اندازه‌گیری زاویه اولیه انجام و سپس با چشمان بسته توسط شرکت‌کنندگان انجام می‌شد و در هر تکرار یک عکس از زاویه ساخته‌شده گرفته می‌شد. تمام این مراحل یک ساعت بعد و دو روز بعد مجدداً انجام شدند. **تصاویر ۲ و ۳** بازسازی فعال زوایا در شانه و آرنج را نشان می‌دهند.

پس از پایان سه جلسه، عکس‌های مربوطه را در برنامه اتوکد وارد کرده و زوایا با ایجاد پاره‌خط‌هایی از محل نشانگرها و اتصال به یکدیگر به دست آمد. برای به دست آوردن خطای بازسازی از مقادیر خطای مطلق که اختلاف زاویه ایجادشده با زاویه اولیه بدون در نظر گرفتن جهت حرکت است[8] و خطای نسبی که اختلاف زاویه ایجادشده با زاویه اولیه با درنظرگرفتن جهت حرکت است[9] **[۲۲]** استفاده شد که این مقادیر را برای هر مفصل در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ وارد کردیم. هم‌بستگی درون‌گروهی برای تست اول و دوم به منظور ارزیابی تکرارپذیری در روز، و بین تست اول و سوم به منظور ارزیابی تکرارپذیری بین روز انجام شد. از تست‌های آماری ICC با توان آزمون ۹۵ درصد و سطح معناداری ۰/۰۵ و از SEMبرای ارزیابی تکرارپذیری مطلق استفاده شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های قد، وزن و شاخص توده بدنی شرکت‌کنندگان در **جدول شماره ۱** آورده شده است.

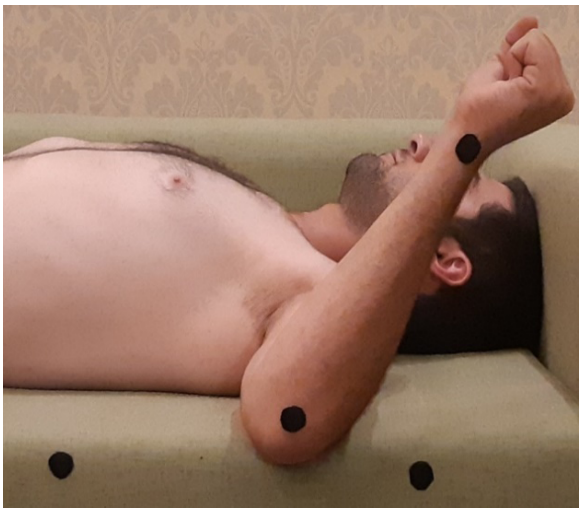
همچنین میانگین و انحراف معیارخطاهای مطلق و نسبی به‌دست‌آمده در سه بار اندازه‌گیری در **جدول شماره ۲** آمده است.

در مطالعه حاضر تمامی مقادیر P≤۰/۰۰۵ است. بنابر تقسیم‌بندی ICC، Shrout زیر ۰/۴۰ ضعیف، بین ۰/۴۰ تا ۰/۷۵ متوسط و مقادیر بالای ۰/۷۵ عالی در نظر گرفته می‌شود **[۲۶]**. میزان بالای ICC خطای مطلق و نسبی، برای حرکت چرخش

8. Absolute error
9. Relative error

تصویر ۱. مراحل انجام مطالعه

توانبخشی



توانبخشی

تصویر ۲. بازسازی فعال زاویه در چرخش خارجی شانه توسط شرکت‌کنندگان

توانبخشی

تصویر ۳. بازسازی فعال زاویه در فلکشن آرنج توسط شرکت‌کنندگان

داخلی و خارجی شانه و فلکشن آرنج در یک روز نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک عکس‌برداری برای ارزیابی حس وضعیت مفصلی فعال از تکرارپذیری عالی برای اندازه‌گیری در روز برخوردار است. همچنین میزان بالای ICC برای تمام حرکات در چند روز نیز نشان‌دهنده تکرارپذیری عالی این تکنیک برای اندازه‌گیری بین روز است.

SEM نیز در تمام موارد از اختلاف میانگین‌ها بیشتر است که نشان‌دهنده تکرارپذیری مطلق در بین تست‌هاست. **جدول شماره ۳** نشان‌دهنده مقادیر ICC و SEM برای تست‌هاست.

بحث

میزان عالی ICC در این مطالعه بیانگر تکرارپذیری عالی تکنیک عکس‌برداری از مفاصل است. ICC عالی (۰/۹) برای خطای نسبی تمام حرکات و در سه بار اندازه‌گیری بیانگر تکرارپذیری بالای این تکنیک برای خطای نسبی است. همچنین ICC عالی (۰/۸) برای خطای مطلق تمام حرکات در سه بار اندازه‌گیری نیز تکرارپذیر بودن تکنیک را نشان می‌دهد. میزان ICC برای خطای مطلق در اندازه‌گیری در روز، از اندازه‌گیری در روز کمتر است.

در مطالعه مشابهی که توسط ایروینگ[10] انجام شد با تکنیک عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتال برای مفصل شانه در بررسی خطای مطلق و نسبی هریک از زوایای ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۷۰ درجه در حالی که گونیامتر به مفصل چسبیده بود، تکرارپذیری در روز عالی (۰/۹۷) گزارش شد. همچنین این روش از پایایی نیز برخوردار بود [۲۳].

ایروینگ و همکارانش به منظور مقایسه تکرارپذیری اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی با گونیامتر و تکنیک عکس‌برداری مطالعه‌ای طراحی کردند که توسط دو آزمونگر، مفصل زانو در حالت ایستاده در زوایای ۲۰، ۴۰، ۷۵ و ۱۰۰درجه مورد آزمون قرار می‌گرفت. در تکنیک عکس‌برداری از iPad2 استفاده شد و از هر زاویه فقط یک عکس گرفته می‌شد و شرکت‌کنندگان یک هفته بعد مجدداً برای اندازه‌گیری دوم مراجعه می‌کردند. نتایج تکرارپذیری برای گونیامتر و عکس‌برداری ضعیف تا متوسط بود [۲۷] که می‌توان آن را به فاصله طولانی‌مدت بین دو اندازه‌گیری و فقط یک‌بار عکس‌برداری از زاویه مرتبط دانست [۲۸]. در حالی که در مطالعه دیگری که توسط رلف انجام شد، تکرارپذیری (ICC) استفاده از تکنیک عکس‌برداری برای مفصل زانودر وضعیت نشسته و دمر توسط یک آزمونگر ۰/۹۶و توسط چند آزمونگر ۰/۹۸ گزارش

10. Olyayi

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر

متغیر	میانگین±انحراف معیار	دامنه
سن (سال)	۲۹/۱±۴/۷۹	۲۱-۳۷
وزن (کیلو گرم)	۷۶/۳±۱۲/۵۷	۶۰-۸۶
قد (سانتی‌متر)	۱۷۳/۷±۱۱/۵۲	۱۵۸-۱۹۰
BMI	۲۵/۵۲±۲/۸۸	۲۱/۸-۳۰/۸۶

توانبخشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار خطاهای نسبی و مطلق در سه بار اندازه‌گیری

نوع حرکت		میانگین±انحراف معیار (درجه)		
		اندازه‌گیری اول	اندازه‌گیری دوم	اندازه‌گیری سوم
خطای نسبی	چرخش خارجی شانه	۳/۲۴±۱/۳۳	۴/۳۹±۰/۵۶	۳/۰۶±۱/۳۶
	چرخش داخلی شانه	۲/۹۸±-۷/۲	۳±-۷/۳۶	۳/۲۵±-۶/۶۳
	فلکشن آرنج	۲/۰۱±-۵/۷۳	۱/۸۵±-۶/۴	۱/۸۴±-۵/۸
خطای مطلق	چرخش خارجی شانه	۱/۵۹±۲/۰۳	۲/۵۴±۳/۶۳	۱/۵۲±۳/۳۰
	چرخش داخلی شانه	۲/۸۱±۷/۲۶	۲/۵۰±۷/۵۶	۲/۶۸±۶/۹۰
	فلکشن آرنج	۱/۸۶±۵/۸۰	۱/۸۵± ۶/۴۰	۱/۸۴±۵/۸

توانبخشی

شده است [۲۱].

از تکنیک‌های دیگری که برای حس وضعیت مفصلی استفاده می‌شود و در دسترس‌تر است، گونیامتر است که تکرارپذیری ضعیف تا متوسطی را برای حس وضعیت مفصل مچ دست در زاویه ۲۰ و ۴۵ درجه اکستنشن و فلکشن گزارش کرده است که زاویه ۲۰ درجه فلکشن از تمامی حالات قابل اعتمادتر است [۱۵]. در مطالعه داور[11] و همکارش از اینکلاینومتر به منظور اندازه‌گیری حس وضعیت فعال مفصلی و از دینامومتر به منظور اندازه‌گیری بازتولید نیروی شانه استفاده شد که تکرارپذیری بسیار بالایی (۰/۹۹)گزارش شد و در این مطالعه فقط از خطای مطلق استفاده شده است [۲۹]. در حالی که بهتر است از خطای نسبی نیز استفاده شود، زیرا خطای نسبی جهت حرکت را نیز مشخص می‌کند. همچنین اینکلاینومتر نیز مانند سایر روش‌ها در تحقیقات استفاده‌شده و جنبه بالینی کمتری دارد.

تاکنون مطالعات مروری اندکی به منظوردسترسی به بهترین معیار اندازه‌گیری حس وضعیت مفصلی شانه انجام شده است که آزمون غیرفعال را برای شانه در وضعیت ۹۰ درجه ابداکشن شانه و چرخش داخلی معتبر دانسته‌اند [۲۴]. همچنین استفاده از دستگاهی مانند ایزوکینتیک پیشنهاد شده است و حس وضعیت مفصلی با وجود پایایی کم به عنوان روشی کارا عنوان شده که امکان ارزیابی نیمکره‌های مغزی را در توانایی‌های حسی حرکتی فراهم می‌کند [۳۰] در حالی که امکان استفاده از این امکانات در تمامی مراکز درمانی وجود ندارد.

در یک مطالعه که توسط جول-کریستنسن[12] انجام شد تکرارپذیری حس وضعیت فعال مفصلی آرنج توسط الکترو گونیامتر و حس آستانه حرکت پسیو توسط دستگاه اندازه‌گیری شد و نتایج حاکی از تکرارپذیری متوسطی (۰/۵۹ و ۰/۶۹) برای خطای مطلق بودند و تکرارپذیری برای خطای متغیر حس وضعیت فعال مفصلی، با استفاده از الکتروگونیامتر ضعیف گزارش شده است [۳۱].

11. Dover

12. Juul-Kristensen

جدول ۳. ضرایب ICC و SEM تکرارپذیری بین روز و تکرارپذیری در روز

نوع حرکت		تکرارپذیری بین روز		تکرارپذیری در روز	
		ICC	SEM	ICC	SEM
خطای نسبی	چرخش خارجی شانه	۰/۹۸	۰/۷۱	۰/۹۴	۱/۷۳
	چرخش داخلی شانه	۰/۹۶	۱/۲۱	۰/۹۸	/۷۹
	فلکشن آرنج	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۹۰	۱/۱۶
خطای مطلق	چرخش خارجی شانه	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۸	۱/۷۰
	چرخش داخلی شانه	۰/۹۳	۱/۳۵	۰/۹۷	۰/۸۶
	فلکشن آرنج	۰/۹۶	۰/۶۸	۰/۹۰	۱/۱۱

توانبخشی

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان می‌دهد ارزیابی حس وضعیت مفاصل شانه و آرنج با تکنیک عکس‌برداری از تکرارپذیری بالایی برخوردار است. سادگی و دردسترس بودن این روش اندازه‌گیری، امکان استفاده گسترده در مراکزدرمانی و به‌ویژه در روند درمان توان‌بخشی به منظور ارزیابی حس عمقی را فراهم می‌کند. یکی از محدودیت‌های این مطالعه حجم نمونه آن است که امکان بسط نتایج را محدود می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی تماماً در این مقاله رعایت شده است. شرکت کنندگان اجازه داشتند هر زمان که مایل بودند از پژوهش خارج شوند. همچنین همه شرکت کنندگان در جریان روند پژوهش بودند. اطلاعات آن ها محرمانه نگه داشته شد. همچنین این مقاله مورد تایید کمیته اخلاق دانشگاه علوم توانبخشی و سلامت اجتماعی قرار گرفته است.

حامی مالی

این تحقیق هیچ گونه کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های عمومی ، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرد.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از کلیه افراد شرکت‌کننده در مطالعه، اساتید گرامی و همچنین جناب آقای محسن خلیف‌پور که با همکاری همه‌جانبه به پیشبرد این مطالعه کمک کردند کمال قدردانی را داریم.

References

[1] Batson G. Update on proprioception: Considerations for dance education. Journal of Dance Medicine & Science. 2009; 13(2):35-41. [PMID]

[2] Sharma L. Proprioceptive impairment in knee osteoarthritis. Rheumatic Disease Clinics. 1999; 25(2):299-314. [DOI:10.1016/S0889-857X(05)70069-7] [PMID]

[3] Stillman BC. Making sense of proprioception: The meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms. Physiotherapy. 2002; 88(11):667-76. [DOI:10.1016/S0031-9406(05)60109-5]

[4] Cohen HS, editor. Neuroscience for rehabilitation. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999. https://books.google.com/books?id=mnFOEsSjZ_UC&dq

[5] Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: The role of proprioception in motor control and functional joint stability. Journal of Athletic Training. 2002; 37(1):80-4. [PMID] [PMCID]

[6] Stillman BC. An investigation of the clinical assessment of joint position sense [PhD. dissertation]. Victoria: The University of Melbourne; 2000. https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/38786

[7] Lephart SM, Warner JJP, Borsa PA, Fu FH. Proprioception of the shoulder joint in healthy, unstable, and surgically repaired shoulders. Journal of Shoulder and Elbow Surgery. 1994; 3(6):371-80. [DOI:10.1016/S1058-2746(09)80022-0]

[8] Lephart SM, Henry TJ. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity. Journal of Sport Rehabilitation. 1996; 5(1):71-87. [DOI:10.1123/jsr.5.1.71]

[9] Kaya D, Yosmaoglu B, Doral MN, editors. Proprioception in orthopaedics, sports medicine and rehabilitation. Cham: Springer; 2018. [DOI:10.1007/978-3-319-66640-2]

[10] Fakoor Rashid H, Fadaei Dehcheshmeh T, Daneshmandi H, Norasteh AA. Investigating knee joint position sense after anterior cruciate ligament reconstruction in male soccer players. Physical Treatments: Specific Physical Therapy Journal. 2020; 10(1):41-8. [DOI:10.32598/ptj.10.1.437.1]

[11] Fyhr Ch, Gustavsson L, Wassinger C, Sole G. The effects of shoulder injury on kinaesthesia: A systematic review and meta-analysis. Manual Therapy. 2015; 20(1):28-37. [DOI:10.1016/j.math.2014.08.006]

[12] Norouzi E, Farsi AR, Vaezmousavi M. Effects of proprioceptive and visual disturbance on inphase and anti-phase hand performance. Physical Treatments: Specific Physical Therapy Journal. 2015; 5(1):41-8. http://ptj.uswr.ac.ir/article-1-164-en.html

[13] Mandehgari Najafabadi M, Azad A, Mehdizadeh H, Taghizadeh Gh. Predictive value of somatosensation for manual dexterity and upper Limb Motor function in stroke survivors. Iranian Rehabilitation Journal. 2018; 16(2):185-94. [DOI:10.32598/irj.16.2.185]

[14] Khodabakhshi M, Ebrahimi-A'tri A, Hashemi-Javaheri SAA, Khan-Zadeh R, Zandi M. [The effect of 5 weeks proprioceptive training on basketball players' dynamic balance inflicted with chronic ankle sprain (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2014; 15(3):44-51. http://rehabilitationj.uswr.ac.ir/article-1-1195-en.html

[15] Pilbeam Ch, Hood-Moore V. Test-retest reliability of wrist joint position sense in healthy adults in a clinical setting. Hand Therapy. 2018; 23(3):100-9. [DOI:10.1177/1758998318770227]

[16] Moharrami R, Shoja'eddin S, Sadeghi H. [The effect of theraband training on position sense of internal and external rotator muscles in male athletes with shoulder impingement syndrome (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2015; 16(3):228-33. http://rehabilitationj.uswr.ac.ir/article-1-1440-en.html

[17] Shaghayegh-Fard B, Ahmadi A, Ma'roufi N, Sarraf-Zadeh J. [The evaluation of cervical position sense in forward head posture subjects and its comparison with normal subjects (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2015; 16(1):48-57. http://rehabilitationj.uswr.ac.ir/article-1-1539-en.html

[18] Rastgar M, Nodehi Moghadam A, Bakhshi E, Sarabadani Tafreshi E, Toluee S. [Comparison of shoulder proprioception in women with and without generalized joint laxity (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2016; 17(2):128-35. [DOI:10.21859/jrehab-1702128]

[19] Beyranvand R, Sahebozamani M, Daneshjoo A. [The role of ankle and knee joints proprioceptive acuity in improving the elderly balance after 8-week aquatic exercise (Persian)]. Salmand: Iranian Journal of Ageing. 2018; 13(3):372-83. [DOI:10.32598/sija.13.3.372]

[20] Smith TO, Davies L, Hing CB. A systematic review to determine the reliability of knee joint position sense assessment measures. The Knee. 2013; 20(3):162-9. [DOI:10.1016/j.knee.2012.06.010]

[21] Relph N, Herrington L. Interexaminer, intraexaminer, and test-retest reliability of clinical knee joint-position-sense measurements using an image-capture technique. Journal of Sport Rehabilitation. 2015; 24(2). [DOI:10.1123/jsr.2013-0134]

[22] Stillman BC, McMeeken JM. The role of weightbearing in the clinical assessment of knee joint position sense. Australian Journal of Physiotherapy. 2001; 47(4):247-53. [DOI:10.1016/S0004-9514(14)60272-5]

[23] Noor R, Olyaei GR, Hadian MR, Talebian S, Bashir MS. A reliable and accurate system of joint position sense measurement. Biomedical Research. 2018; 29(12):2528-31. [DOI:10.4066/biomedical-research.29-18-410]

[24] Ager AL, Roy JS, Roos M, Belley AF, Cools A, Hébert LJ. Shoulder proprioception: How is it measured and is it reliable? A systematic review. Journal of Hand Therapy. 2017; 30(2):221-31. [DOI:10.1016/j.jht.2017.05.003]

[25] Goble DJ. Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: From basic science to general practice. Physical Therapy. 2010; 90(8):1176-84. [DOI:10.2522/ptj.20090399]

[26] Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. Psychological Bulletin. 1979; 86(2):420-8. [DOI:10.1037/0033-2909.86.2.420]

[27] Irving F, Russell J, Smith T. Reliability of knee joint position sense measurement: A comparison between goniometry and image capture methods. European Journal of Physiotherapy. 2016; 18(2):95-102. [DOI:10.3109/21679169.2015.1127418]

[28] Selfe J, Callaghan M, McHenry A, Richards J, Oldham J. An investigation into the effect of number of trials during proprioceptive testing in patients with patellofemoral pain syndrome. Journal of Orthopaedic Research. 2006; 24(6):1218-24. [DOI:10.1002/jor.20127]

[29] Dover G, Powers ME. Reliability of joint position sense and force-reproduction measures during internal and external rotation of the shoulder. Journal of Athletic Training. 2003; 38(4):304-10. [PMID] [PMCID]

[30] 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]

[31] Juul-Kristensen B, Lund H, Hansen K, Christensen H, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Test-retest reliability of joint position and kinesthetic sense in the elbow of healthy subjects. Physiotherapy Theory and Practice. 2008; 24(1):65-72. [DOI:10.1080/09593980701378173]

This Page Intentionally Left Blank