

報告

超音波画像診断装置と三次元動作解析装置を用いた距離
ならびに角度計測の信頼性に関する予備研究三谷保弘^{1*}, 幸田仁志¹, 植田篤史¹, 松尾高行², 木村佳記³, 山田大智⁴, 小柳磨毅³¹ 関西福祉科学大学 保健医療学部 リハビリテーション学科² 大阪行岡医療大学 医療学部 理学療法学科³ 大阪電気通信大学 医療健康科学部 理学療法学科⁴ 大阪大学医学部附属病院 リハビリテーション部

要旨

【緒言】 身体のランドマーク間の距離や角度を体表から計測することは、理学療法評価として重要である。しかし、身体部位によっては体表からの計測が困難であり、客観的な計測値が得られないことがある。そこで我々は、超音波画像診断装置と三次元動作解析装置を用いた距離と角度の計測法を考案した。本研究では生体での計測に先駆け、ランドマークである鉄球を配置したアクリル板を用いて、考案した計測法の信頼性について検討した。

【方法】 計測対象のアクリル板上には、直径2mmの鉄球7つを設置した。超音波画像診断装置にて全ての鉄球を描出し、同時に超音波プローブに貼付した3つの反射マーカの空間座標を三次元動作解析装置にて求めた。得られた超音波画像と反射マーカの空間座標を基に鉄球の空間座標を算出し、2点間の距離と3点からなる角度を求めた。2名の検者が7回計測を行い、各検者の計測値の信頼性を記述統計にて検討した。

【結果】 2名の検者ともに設定した距離ならびに角度に近似した計測値が得られ、計測値のばらつきも小さかった。

【結論】 本研究における計測環境において、考案した超音波画像診断装置と三次元動作解析装置を用いた距離ならびに角度の計測法は、信頼性が高いことが示唆された。今後は本計測法の臨床応用について検討する必要がある。

受付日 2024年2月14日

採択日 2024年3月24日

*責任著者

三谷保弘

関西福祉科学大学 保健医療学部
リハビリテーション学科

E-mail:

mitani@tamateyama.ac.jp

キーワード

超音波画像診断装置
三次元動作解析装置
信頼性

はじめに

マルアライメントは身体各部の物理的ストレスを増大させ、筋骨格系障害を発生させる要因である^{1,2)}。その一例として、身体重心の後方偏位は大腿四頭筋の収縮を増大させ、脛骨粗面の牽引力を増大し、Osgood-Schlatter病を発生させるとされている^{3,4)}。また、膝の外反や外旋は脛骨粗面の内側に付着する縫工筋や半腱様筋、薄筋を伸張させ、鵞足炎を引き起こすとされている⁵⁾。理学療法におけるこれらのアライメント評価は、体表から行うことが一般的であり、骨の隆起部をランド

マークとして距離や角度を計測することがある。しかし、身体部位によっては体表からのアライメント評価が困難であり、X線像などの画像が用いられることもある。その一例として、立位矢状面でのX線像を基に第1腰椎上縁と第1仙椎上縁のなす角を計測する腰椎前弯角がある⁶⁾。しかし、X線撮影は頻繁に行うことができず、撮影肢位も限られる。また、X線撮影は理学療法士には認められておらず、理学療法におけるアライメント評価としては適していない。近年、野球選手に対する肘障害の評価として超音波画像による肘関節内側間隙の

幅⁷⁻⁸⁾などが計測されているが、超音波画像は描出範囲が狭いことから画角に収まる部位での計測に限られる。

そこで我々は、超音波画像診断装置と三次元動作解析装置を併用することで、ランドマーク間の距離と角度を計測する方法を考案した。これにより、複数の超音波画像を基に骨の隆起間の距離や角度の計測が可能と考えられる。本研究では、生体での計測に先駆け、ランドマークである鉄球を配置したアクリル板を計測対象とし、考案した計測法の信頼性について検討した。

対象と方法

1. ランドマークの配置

計測対象のアクリル板上には、ランドマークとして直径2mmの鉄球7つ(A~G)を一定の距離と角度にて設置した(図1)。なお、アクリル板は方眼目盛りと角度線が書かれたボード上に置き、A-B, A-D, A-Fの間隔は50mm, A-C, A-E, A-Gの間隔は100mm, $\angle BAD$, $\angle CAE$ は 30° , $\angle BAF$, $\angle CAG$ は 60° とした。

2. ランドマークの空間座標の推定方法

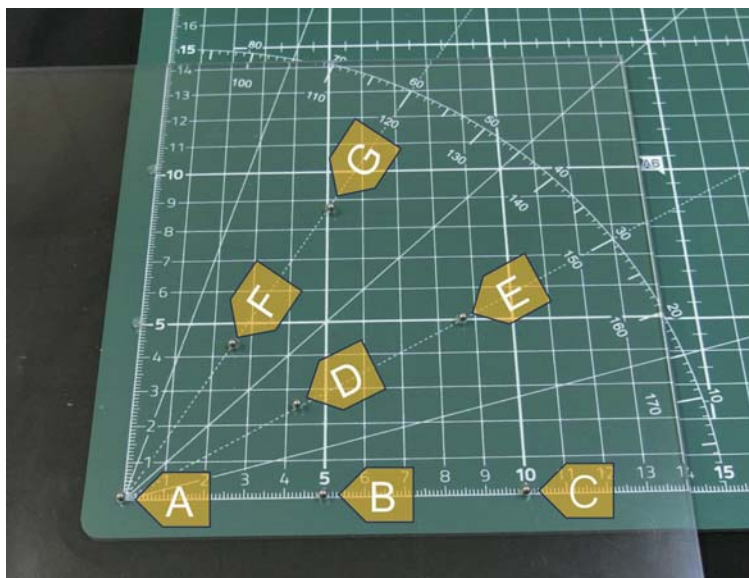
図2の計測環境において、ランドマークであるそれぞれの鉄球の空間座標を求めた。鉄球の上には厚さ5mmのエコーゲルパッド(八十島プロシード社)を置いた。超音波画像診断装置(ポケットエコー miruco, 日本シグマックス社)と直径9.5mmの反射マーカを3つ貼付したりニアプローブ(10MHz)を用いて、Bモードにて鉄球の超音波画像を描出した(図3)。得られた超音波画像はコンピューターに保存した。計測時はリニアプ

ローブをスタンドに固定した。リニアプローブに貼付した反射マーカは、3つのカメラ(120Hz, 解像度 640×480 pixel)を搭載した三次元動作解析装置(OptiTrack V120 TRIO, Acuity社)にて撮影し、動作解析ソフト(VENUS 3D R Light, ノビテック社)を用いてそれぞれの反射マーカの空間座標を求めた。なお、鉄球の超音波画像は、3つの反射マーカ(P1~3)の空間座標を通る平面上に描出される。反射マーカのP1とP2の空間座標を結ぶ線を平面の横軸とし、その横軸に対するP3の空間座標を通る垂線を平面の縦軸と定義した(図4)。

鉄球の超音波画像は、画像解析ソフト(Image-J, NIH)に取り込み、パソコンの画面上に表示した。なお、超音波画像の上端はリニアプローブの音響レンズの面と一致する。表示された超音波画像の左端、つまり音響レンズの左端から鉄球までの距離(x)と、超音波画像の上端、つまり音響レンズの面から鉄球までの距離(y)をImage-Jにより求めた(図5)。反射マーカのP1から音響レンズの面までの距離(a)と、P1から音響レンズの左端までの距離(b)は予め直尺を用いて計測しており、3つの反射マーカの空間座標と、Image-Jにより求めたxとyの値を基に鉄球の空間座標を算出した(図6)。これらの方法を用いて全ての鉄球の空間座標を算出した。

3. ランドマーク間の距離と角度の算出

それぞれの鉄球の空間座標を基に、三次元空間における二点間の距離の公式を用いてA-B間の距離(設定50mm)とA-C間の距離(設定100mm)を求めた。また、



A-B, A-D, A-F : 50mm
 A-C, A-E, A-G : 100mm
 $\angle BAD$, $\angle CAE$: 30°
 $\angle BAF$, $\angle CAG$: 60°

図1. ランドマークである鉄球を配置したアクリル板
 アクリル板上に7つの鉄球を一定の距離と角度にて設置した。

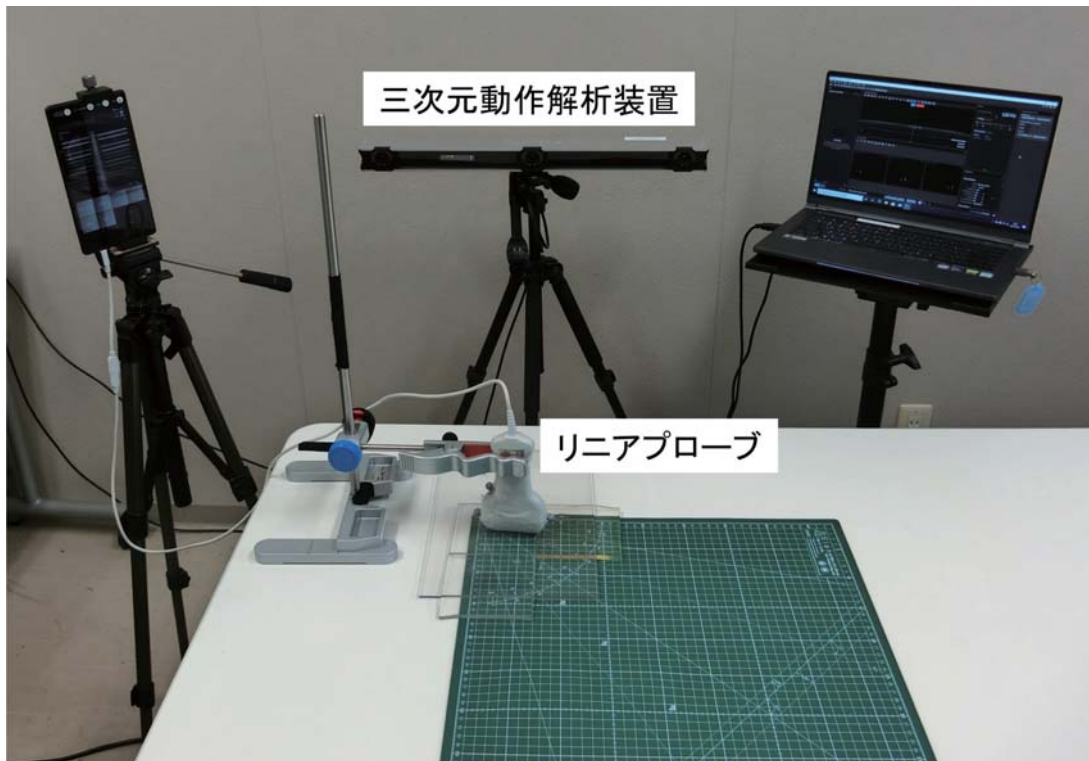


図 2. 計測環境



図 3. 鉄球の超音波画像

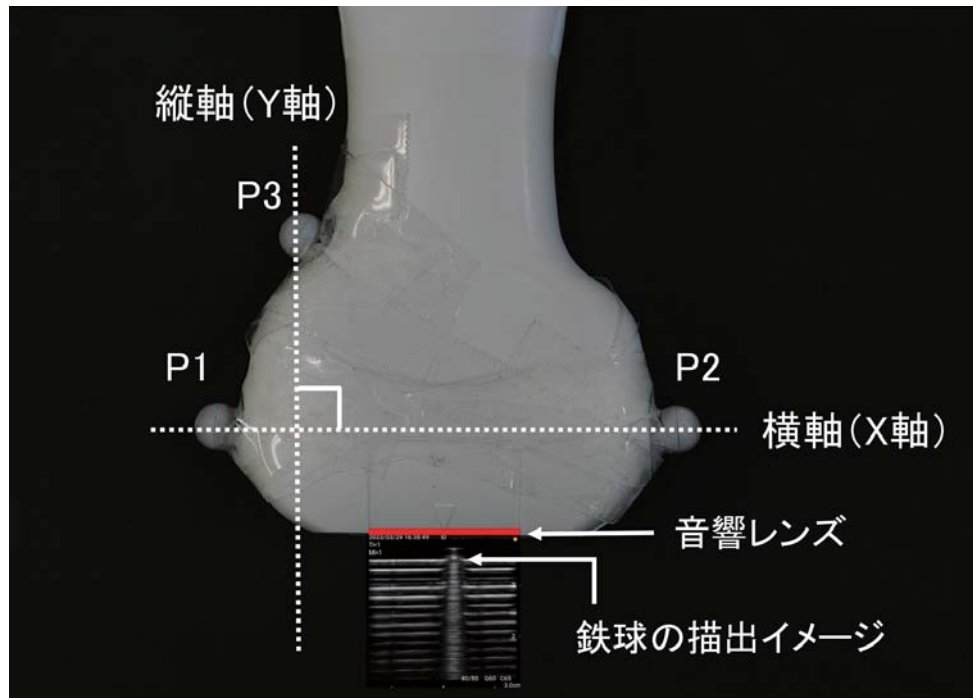


図4. 超音波画像の描出イメージ
3つの反射マーカ (P1~3) の空間座標を通る平面上に鉄球の超音波画像が描出される。

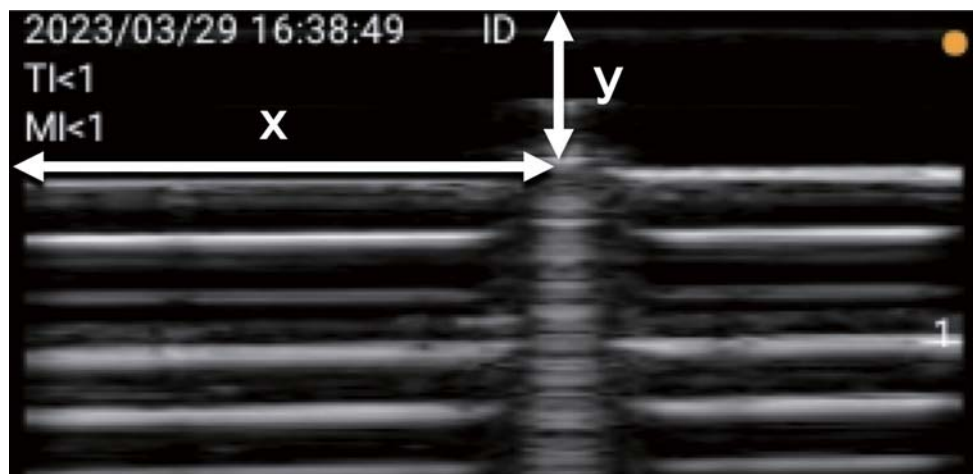


図5. 音響レンズから鉄球までの距離の計測
画像解析ソフト (Image-J) を用いて、超音波画像の左端 (音響レンズの左端) から鉄球までの距離 (x) と超音波画像の上端 (音響レンズの面) から鉄球までの距離 (y) を求めた。

空間ベクトルの内積から $\cos \theta$ を算出することで、 $\angle BAD$ (設定 30°)、 $\angle CAE$ (設定 30°)、 $\angle BAF$ (設定 60°)、 $\angle CAG$ (設定 60°) を求めた。

4. 統計解析

それぞれの設定条件に対して2名の検者 (検者 I、II) が7回計測を行った。なお、検者 I は27年目、検者 II は11年目の理学療法士である。平均値、標準偏差、

変動係数 (coefficient of variation: CV) を求め、各検者の計測値の正確性とばらつきについて検討した。

5. 倫理的配慮

本研究は、「人を対象とする生命科学・医学研究に関する倫理指針」の対象外であり、人体への負荷や個人情報、人体から採取された試料等を扱うものでなく、倫理審査の対象外である。

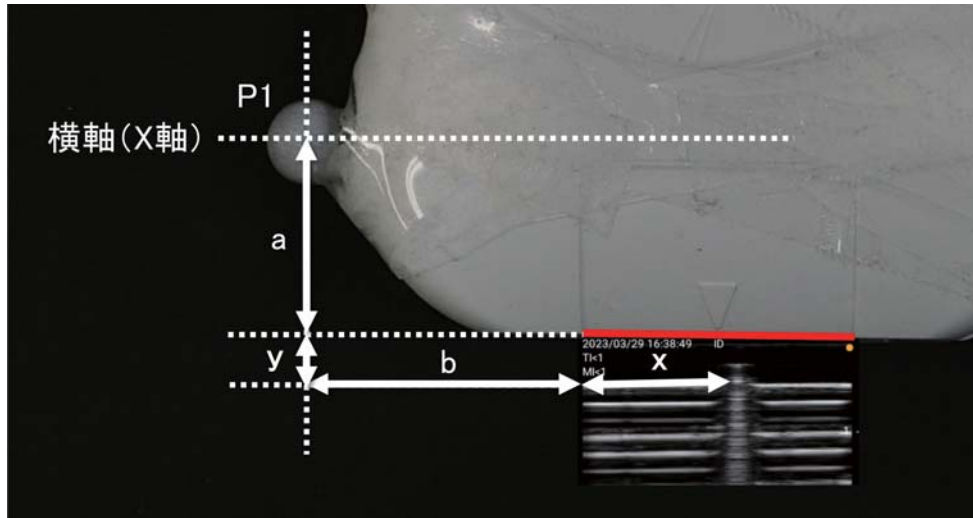


図 6. 鉄球の空間座標の算出

反射マーカから音響レンズまでの距離 (a, b) はあらかじめ直尺を用いて計測した。3つの反射マーカ (P1~3) の空間座標と Image-J により求めた x と y の値から鉄球の空間座標を求めた。

結果

結果は、平均値±標準偏差 (CV) で示す。A-B 間の距離 (設定 50mm) の計測値は、検者Ⅰが $49.8 \pm 0.7\text{mm}$ (CV: 0.014)、検者Ⅱが $49.4 \pm 1.2\text{mm}$ (CV: 0.024) であった。A-C 間の距離 (設定 100mm) の計測値は、検者Ⅰが $98.9 \pm 0.5\text{mm}$ (CV: 0.005)、検者Ⅱが $99.6 \pm 1.1\text{mm}$ (CV: 0.011) であった (表 1)。

∠BAD (設定 30°) の計測値は、検者Ⅰが $30.5 \pm 0.6^\circ$

(CV: 0.018)、検者Ⅱが $30.7 \pm 0.4^\circ$ (CV: 0.012)、∠CAE (設定 30°) の計測値は、検者Ⅰが $30.2 \pm 0.3^\circ$ (CV: 0.011)、検者Ⅱが $29.9 \pm 0.3^\circ$ (CV: 0.012)、∠BAF (設定 60°) の計測値は、検者Ⅰが $60.8 \pm 1.2^\circ$ (CV: 0.020)、検者Ⅱが $60.4 \pm 1.3^\circ$ (CV: 0.022)、∠CAG (設定 60°) の計測値は、検者Ⅰが $60.4 \pm 0.5^\circ$ (CV: 0.008)、検者Ⅱが $60.4 \pm 0.8^\circ$ (CV: 0.014) であった (表 2)。

表 1. 距離の計測

| | 検者Ⅰ | 検者Ⅱ |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| A-B間の距離 (設定50mm) | $49.8 \pm 0.7\text{mm}$ (CV:0.014) | $49.4 \pm 1.2\text{mm}$ (CV:0.024) |
| A-C間の距離 (設定100mm) | $98.9 \pm 0.5\text{mm}$ (CV:0.005) | $99.6 \pm 1.1\text{mm}$ (CV:0.011) |

平均 ± 標準偏差

CV: coefficient of variation

表 2. 角度の計測

| | 検者Ⅰ | 検者Ⅱ |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ∠BAD (設定 30°) | $30.5 \pm 0.6^\circ$ (CV:0.018) | $30.7 \pm 0.4^\circ$ (CV:0.012) |
| ∠CAE (設定 30°) | $30.2 \pm 0.3^\circ$ (CV:0.011) | $29.9 \pm 0.3^\circ$ (CV:0.012) |
| ∠BAF (設定 60°) | $60.8 \pm 1.2^\circ$ (CV:0.020) | $60.4 \pm 1.3^\circ$ (CV:0.022) |
| ∠CAG (設定 60°) | $60.4 \pm 0.5^\circ$ (CV:0.008) | $60.4 \pm 0.8^\circ$ (CV:0.014) |

平均 ± 標準偏差

CV: coefficient of variation

考察

考案した超音波画像診断装置と三次元動作解析装置を用いた距離ならびに角度の計測法は、2名の検者ともに設定した値に近似した計測値が得られ、計測値のばらつきも小さかった。本研究では、超音波画像診断装置にて鉄球を描出する際にエコーゲルパッドを用いたが、その厚みが5mmと薄かったことから鉄球が明瞭に描出されたと考えられる。また、計測対象の亚克力板は机上に設置し、反射マーカを貼付したリニアプローブはスタンドに固定したことから、超音波画像を描出中の反射マーカの空間座標が正確に計測できたと考えられる。さらには、本研究の計測環境ではリニアプローブに貼付した反射マーカが隠れることなく撮影できた。これらのことから、本計測法により鉄球間の距離と角度が正確に計測できたと考えられる。したがって、生体にて計測を行う場合も、対象部位が超音波画像診断装置にて明瞭に描出でき、リニアプローブに貼付した反射マーカが隠れることなく三次元動作解析装置によって撮影できる環境が必要である。また、計測対象とリニアプローブを固定する必要がある。したがって、生体での計測を行う場合は、このような条件を十分に考慮しなければならない。

本計測法の臨床応用として、膝蓋骨後傾角や膝蓋骨の高さの計測に用いることができると考えられる。膝蓋骨の後傾は膝蓋腱症の発生と関係するとされており、矢状面でのMRI画像を用いて膝蓋骨上極と下極を結ぶ線と膝蓋骨の下極と脛骨粗面を結ぶ線のなす角が計測されている⁹⁾。また、膝蓋骨高位はOsgood-Schlatter病の発症に関係するとされており¹⁰⁾、矢状面でのX線像において膝蓋骨上極と下極間の距離と膝蓋骨下極と脛骨粗面間の距離の比 (Insall-Salvati法)¹¹⁾が計測されている。膝蓋骨上極と下極、脛骨粗面は浅層に位置し、骨の突起や隆起として分かりやすいことから、超音波画像診断装置にて明瞭に描出できると考えられる。また、計測中にリニアプローブに貼付した反射マーカが隠れる可能性も低い。このため、対象部位とリニアプローブの固定方法を考慮すれば本計測法においても膝蓋骨後傾角や膝蓋骨の高さを計測できる可能性がある。今後は、本計測法の生体での適応部位と計測の信頼性について検討する必要がある。

利益相反

開示すべき利益相反はない。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 (基盤 C, 課題番号 21K11487) の助成を受けたものである。

文献

- 1) 横江清司: 下肢のアライメント. 計測と制御 31: 377-382, 1992.
- 2) 浦辺幸夫: スポーツ動作における下肢アライメントの意義に関する研究. 理学療法学 24: 164-168, 1997
- 3) Sarcevic Z: Limited ankle dorsiflexion: a predisposing factor to Morbus Osgood Schlatter? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 16: 726-728, 2008
- 4) Watanabe H, Fujii M, Yoshimoto M: Pathogenic factors associated with Osgood-Schlatter disease in adolescent male soccer players: a prospective cohort study. Orthop J Sports Med 6: 232596711879219, 2018
- 5) 高橋佐江子: 膝のランニング障害へのリハビリテーションとリコンディショニング. 増田雄一 (編集): ランニング障害のリハビリテーションとリコンディショニング - リスクマネジメントに基づいたアプローチ -, pp158-168, 文光堂, 2012
- 6) Polly DW Jr, Kilkelly FX, McHale KA, et al.: Measurement of lumbar lordosis. Evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability. Spine 21: 1530-1535, 1996
- 7) Nazarian LN, McShane JM, Ciccotti MG, et al.: Dynamic US of the anterior band of the ulnar collateral ligament of the elbow in asymptomatic major league baseball pitchers. Radiology 227: 149-154, 2003
- 8) Shanley E, Smith M, Mayer BK, et al: Using stress ultrasonography to understand the risk of UCL injury among professional baseball pitchers based on ligament morphology and dynamic abnormalities. Orthop J Sports Med 6: 2325967118788847, 2018
- 9) Loose K, Pennekamp S, Hitzl W, et al.: MRI characteristics and alterations in patellar height in patients with patellar tendinopathy: a retrospective study. J Pers Med 13: 698, 2023
- 10) Jakob RP, von Gumpfenberg S, Engelhardt P: Does Osgood—Schlatter disease influence the position of the patella? J Bone Joint Surg Br 63B: 579-582, 1981
- 11) Insall J, Salvati E: Patella position in the normal knee joint. Radiology 101: 101-104, 1971



Report

Assessment of the reliability of distance and angle measurements using an ultrasound imaging system and a three-dimensional motion analyzer: a pilot study

Yasuhiro Mitani^{1*}, Hitoshi Koda¹, Atsushi Ueda¹, Takayuki Matsuo², Yoshinori Kimura³, Daichi Yamada⁴, Maki Koyanagi³

¹ Department of Rehabilitation Sciences, Faculty of Allied Health Sciences, Kansai University of Welfare Sciences

² Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Osaka Yukioka College of Health Science

³ Department of Physical Therapy, Faculty of Medical Science and Health-Promotion, Osaka Electro-Communication University

⁴ Department of Rehabilitation, Osaka University Hospital

ABSTRACT

【Introduction】 Measuring distances between body landmarks, joint angles, and postural alignments from the body surface is crucial in physical therapy assessment. However, certain body parts pose challenges for such measurement, making it difficult to obtain objective values. To address this, we developed a method using an ultrasound imaging system and a three-dimensional motion analyzer to measure distances and angles. In this study, we assessed the reliability of our measurement method in a model prior to measurements on humans.

【Methods】 The measurement object consisted of iron balls of 2-mm diameter, affixed to an acrylic plate. An ultrasound imaging system was employed to capture images of all iron balls. Simultaneously, a three-dimensional motion analyzer recorded the spatial coordinates of three markers attached to the ultrasound probe. The spatial coordinates of iron balls were determined based on the ultrasound images and the spatial coordinates of the markers. Subsequently, the distance between the two iron balls and the angle formed by the three iron balls were calculated. Two examiners conducted seven measurements each, and the reliability of each examiner's measurement was assessed using descriptive statistics.

【Results】 The distance and angle values measured by both examiners closely matched the set values, with minimal variation in the measurement.

【Conclusion】 In the study's measurement environment, the proposed method for measuring distances and angles using an ultrasound imaging system and a three-dimensional motion analyzer was found to be reliable. Future research should explore the reliability and clinical application of this measurement approach in humans.

Key words: ultrasound imaging system, three-dimensional motion analyzer, reliability