

スマートフォンアプリケーションを用いた角度計測において 撮影距離と撮影角度が信頼性および測定値に与える影響

兎澤 良輔^{1,2)}, 川崎 翼³⁾

了徳寺大学・健康科学部・理学療法学科¹⁾

医療法人社団了徳寺会・葛西整形外科内科²⁾

東京国際大学・医療健康学部・理学療法学科

要旨

【目的】対象物までの撮影距離および撮影角度が撮像から角度を計測できるスマートフォン（スマホ）アプリケーション（アプリ）の測定値に与える影響について検討した。【方法】測定対象物として角度を120°に固定した角度計を用いた。撮影距離は1m, 2m, 3mの3条件, 対象物からの撮影角度は0°, 10°, 20°, 30°の4条件で実施した。スマホは2台用いて各条件で連続3回撮影した。アプリを用いて撮像から角度を算出し, 撮影距離の各条件による信頼性および撮影角度変化による測定値の差を算出した。【結果】撮影距離は2mまでは信頼性が高値を示した。また, 撮影角度は角度が大きくなるほど測定値が有意に低値を示した。【考察】撮影距離が遠くなると指標点が小さくなったことで角度計測の難易度が上がり, 信頼性が低下した可能性がある。また, 撮影角度が大きくなると指標点に奥行きが生まれ, 測定値に影響が生じた可能性がある。そのためアプリを用いた角度計測は対象を2m以内で, できる限り正面から撮影した画像で行うと信頼性が高いことが明らかになった。

キーワード：スマートフォン, アプリケーション, 撮影距離, 撮影角度, 信頼性

Effects of shooting distance and shooting angle on the reliability of measurement values in angle measurement using a smartphone application

Ryosuke Tozawa^{1,2)}, Tsubasa Kawasaki³⁾

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Ryotokuji University¹⁾

Kasai Clinic of Orthopedic and Internal Medicine²⁾

Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Tokyo International University³⁾

Abstract

[Purpose] This study aimed to examine the effects of shooting distance and shooting angle of an object on angular measurement values made using a smartphone application. [Methods] The object to be measured, a goniometer, was fixed on box at a 120° angle to be shot from a distance of 1 m, 2 m, and 3 m at four shooting angles from the object: 0°, 10°, 20°, and 30°. Two smartphones were used for each shot, and three consecutive shots were taken with each phone. The goniometer angle was calculated for all images using the app. The reliability of the angle measured from different shooting distances at each shooting angle and the difference between the measured values with different shooting angles were calculated. [Results] The reliability of measurements was high up to a shooting distance of 2 m.

Additionally, the measured goniometer angle reduced significantly as the imaging angle increased. [Discussion] The difference in angular measures increased as the shooting distance was increased in small increments; consequently, the reliability decreased. Furthermore, as the shooting angle increased, depth was created at the index points, which may have affected measurement values. Therefore, angular measurements using the app are highly reliable when the target is within 2 m and in line with the camera.

Keywords: smartphone, application, shooting distance, shooting angle, reliability

I. 背景

スマートフォン(以下, スマホ)は普及率が高く, 近年リハビリテーション分野においてもアプリケーション(以下, アプリ)を利用した多くの測定方法が報告されている^{1,3)}. その中でも関節角度測定はスマホアプリの傾斜計を用いた測定方法^{2,3)}や, 撮像から角度計測する方法^{4,6)}があり, 臨床でも応用されてきている. 撮像から角度を算出する方法は胸腰部の関節可動域測定のように基本軸, 移動軸に角度計を合わせることに困難な場合に用いられている^{4,6)}. また, 同一姿勢を長時間行うことが困難な場合, さらに歩行分析など動画で撮影した映像を一部切り出して解析する場合などにも応用可能であり, 汎用性が高い評価方法である.

これまでに我々は撮像からの角度計測については固定対象物を用いた研究においてタブレット端末やスマホどちらにおいても検者内及び検者間信頼性が高いこと⁵⁾, さらに三次元動作解析装置との比較で相関係数が0.99以上と高い妥当性を有していることを報告した⁵⁾. また, 実際に生体での測定にも応用し, 角度計での測定難易度が高い胸腰椎屈曲可動域測定にアプリでの角度計測を使用し, 理学療法士と学生の測定であっても検者間信頼性が高く, 測定の習熟度の影響が少ない評価方法であることを報告した⁶⁾. 今後も様々な応用が期待される測定方法であるが, 臨床現場では三脚等は使用せず, スマホの撮影はフリーハンドで行うことが予想されることや, 寸分狂わず真正面から正確に測定することは基本的に不可能である. しかし, 撮影距離や撮影角度がどの程度まで許容することが可能であるのかについてはまだ明らかになっていない. これらの撮影条件を明らかにすることで, 臨床におけるアプリを用いた角度計測において正確性の高い評価を行うことが可能となる. 仮説として, 対象物までの距離が変化すれば撮像の中の測定対象物が小さくなり, 角度測定の難易度が上がることにより測定の信頼性は低下する可能性がある. また, 撮影角度が変化すれば対象撮像から角度計測した数値は実際の角度と異なる可能性がある.

そこで, 本研究ではスマホアプリを用いて撮像から角度計測する方法において, 撮影する際の対象物までの距離が信頼性に与える影響および対象物の撮影角度が測定値に与える影響について検討した.

II. 対象と方法

1. 測定対象物および検者

測定対象物は東大式角度計を120°の角度で動かないよう固定し, 直径約2cmの反射マーカを4カ所に貼り付け, 箱に固定したものを作成した(図1). 測定対象物の撮影および撮像からの角度計測は理学療法士1名が行った.

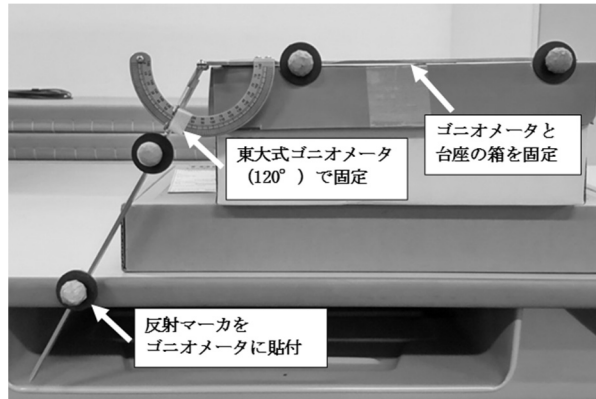


図1 測定対象物の作成方法

2. 方法

対象物と同じ高さになるように三脚を準備した。撮影距離は対象物から1m, 2m, 3mの3条件, さらに撮影角度は対象物から垂直に下ろした床面にマーキングを行い, そこから0° (正面), 10°, 20°, 30°を角度計にて測定して4条件を設定した (図2)。スマホはAQUOS sense5G (SHARP社製) とiPhone8 (Apple社製) を用い, 撮影は各機種のカメラ機能を用いて行った。撮影する際は三脚に垂直にスマホを置き, 各条件において3回連続で撮影を行った。撮影距離3条件×撮影角度4条件×3回撮影×スマホ2台で得られた72枚の撮像についてアプリを用いた角度計測を行った。角度計測はどちらの機種も同一のアプリ (グリッド線撮影アプリ Professional; Naradewa社製) を用いて実施した。アプリによる角度計測は, 撮像を読み込み, 角度計測用の3つの点 (図3-A,B,C) を検者が移動させ, 点Aと点Cからなる線AC, 点Bと点Cからなる線BCが4つの反射マーカの中央をすべて通過するように各点の位置を調整して算出された角度を結果とした (図3)。

統計方法は, 測定距離の変化による信頼性の検討として, 3回連続撮影の結果から級内相関係数 (intraclass correlation coefficients: 以下, ICC) を算出した。また, 2回目, 3回目の結果を用いてBland-Altman分析⁷⁾にて系統誤差の判定を行った。また, 誤差範囲の推定として最小可検変化量 (minimal detectable change: 以下, MDC) の95%信頼区間であるMDC₉₅を算出した⁸⁾。撮影角度の変化による測定値の変化については, 3回の平均値を代表値として, 4条件 (0°, 10°, 20°, 30°) の反復測定分散分析を実施した。多重比較法はShaffer法を用いた。統計処理はすべてR2.8.1を使用し, 有意水準は5%とした。

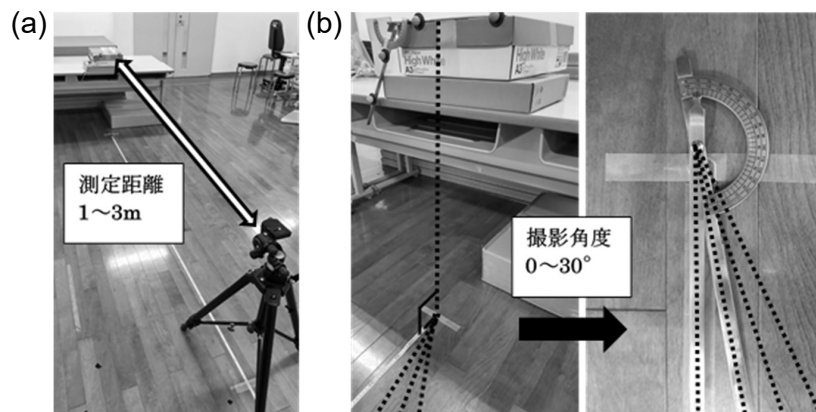


図2 測定距離 (3条件) および撮影角度 (4条件) の撮影方法

a: 測定距離の変化の方法 b: 撮影角度変化の方法

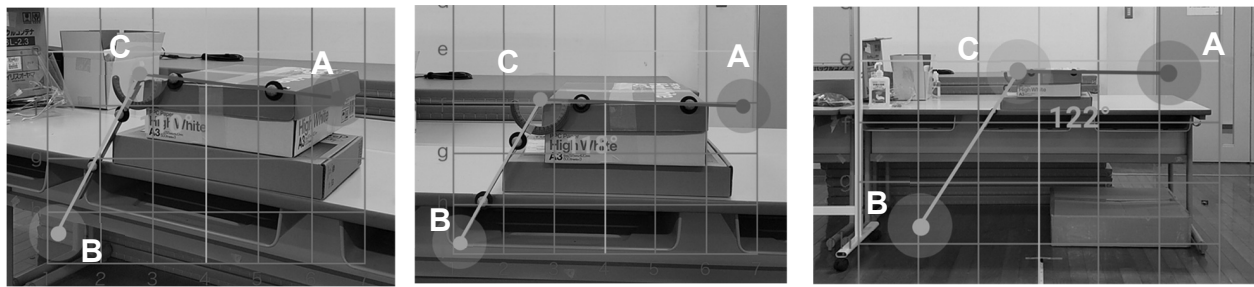


図3 アプリにおける角度測定方法

(左：1m, 30°条件, 中央：1m, 0°条件, 右：3m, 0°条件)

3. 倫理的配慮

本研究はヘルシンキ宣言に基づき実施され、研究協力者には事前に研究の趣旨や個人情報の扱いについて同意を得たうえで実施した。また、本研究は本学生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。(承認番号3011)。

Ⅲ. 結果

撮影距離の違いによる信頼性はICC (1, 1) が3mで0.548, ICC (1, 3) で0.784となったが, 2m, 1mにおいてはICC (1, 1) およびICC (1, 3) は0.880以上となった。Bland-Altman分析の結果, すべての撮影距離で加算誤差, 比例誤差は認められず, MDC₉₅は最大が3mで5.78°, 最小は1mでは1.26°となった(表1)。3回の平均値を代表値として撮影角度による比較を行った結果, 10°と20°の間のみ有意な差は認められなかったが, その他はすべて撮影角度が大きくなると測定値が有意に小さくなった。

表1 撮影距離の違いによる信頼性の変化

撮影距離		3m	2m	1m
級内相関係数*	ICC(1, 1)	0.548 (0.128 - 0.870)	0.880 (0.672 - 0.972)	0.984 (0.950 - 0.997)
	ICC(1, 3)	0.784 (0.305 - 0.953)	0.957 (0.860 - 0.990)	0.995 (0.983 - 0.999)
Bland-Altman分析†	加算誤差	なし 0.43 (-3.34 to 1.59)	なし 0.52 (-1.12 to 0.62)	なし 0.60 (-0.41 to 0.66)
	比例誤差	なし 0.36 [-0.35]	なし 0.75 [-0.06]	なし 0.58 [0.05]
	MDC ₉₅	5.78°	2.03°	1.26°

*: 級内相関係数 (95%信頼区間), †: p値 (95%信頼区間), [回帰分析の傾き]

ICC: intraclass correlation coefficients, MDC₉₅: 95% confidence interval of minimal detectable change.

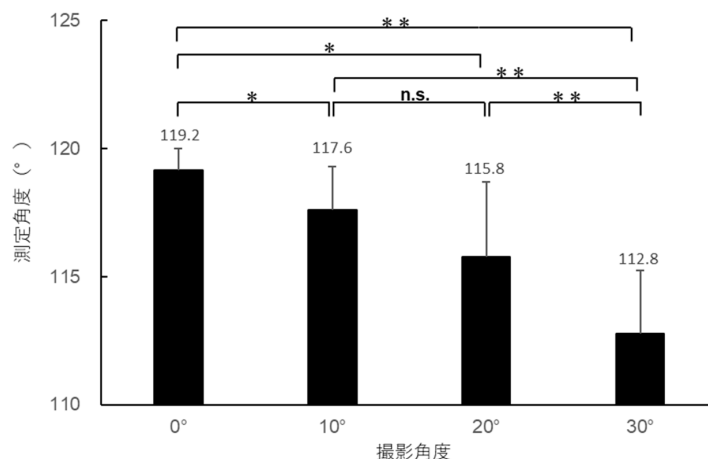


図4 撮影角度による測定値の変化

グラフの縦軸の幅は15°で下限は110°，上限は125°とした。

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, n.s. : not significant

IV. 考察

本研究では測定対象物を用いて撮影距離および撮影角度が信頼性や測定値に及ぼす影響について検討した。その結果，撮影距離は3mで最も級内相関係数が低下し， MDC_{95} も大きくなった。また，撮影角度は角度が大きくなると測定値が有意に変化することが明らかになった。

撮影距離については，3mのICC (1, 1) が0.548と最も低値となった。級内相関係数は0.81以上が“almost perfect”，0.61から0.80の間は“substantial”，0.41から0.60の間は“moderate”とされており⁹⁾，3mのICC (1, 1) は“moderate”に該当し，中等度の信頼性であった。先行研究では同じアプリを用いた角度計測でICC (1, 1) が0.99と高値を示しているため⁵⁾，アプリの精度の問題ではなく，対象物との距離が遠くなるにつれて，指標点となる反射マーカが小さくなり，撮像からの角度測定の高難易度が高くなったことが要因として考えられる。図3からも1m条件と3m条件では反射マーカの大きさが異なることが確認できる。1mでは反射マーカの中央を通る線は容易に確認できるが3mでは線とマーカが重なり，反射マーカのどのあたりを通っているのかを判別することは難しい。そのため測定値のばらつきが大きくなり，信頼性が低下したと考えられる。一方でICC (1, 3) は0.784となり，3mでの撮像の測定においても複数回の測定の平均値を用いることで信頼性は担保できる可能性が示唆された。また，その他の撮影距離(2m, 1m)においてはICC (1, 1) が0.880以上となり，非常に高い信頼性となった。偶然誤差の範囲である MDC_{95} についても1m, 2mは1.26°から2.03°の範囲で先行研究⁵⁾に近い数値であったが，3mについては5°以上の誤差が含まれることが明らかになった。つまり，測定距離については対象物に近ければ近いほど信頼性は高くなり，指標点(今回は約2cm反射マーカ)の大きさにも依存するが，少なくとも2m以内で撮影することが望ましいと考えられる。

撮影角度については10°と20°の間のみ測定値間に有意な差は認められなかったが，それ以外の撮影角度ではすべての測定値間に有意差を認めた。これは撮像からの測定の限界にもなるが，3次元の対象物を2次元で捉えている問題が考えられる。撮影角度が大きくなると反射マーカに奥行きが生まれるが，撮像からの角度計測では奥行きを補正することができない。そのため，正面からの撮影と比較した際に測定値に変化が生じたものと考えられる。今回の結果からは10°でも有意な差を生じていたため，臨床においても

角度計測に用いる際は対象に対して、できる限り正面から撮影する必要があることが示唆された。

本研究の限界として、撮影距離の信頼性の検討では反射マーカの大きさの違いによる比較はできなかった。本研究で使用した反射マーカは実際に三次元動作解析などにおいて生体での計測に使用されるものであり、大きさも適当であると考えられるが、反射マーカの大きさが変化すれば撮影距離による信頼性は変化する可能性がある。また、撮影角度については、今回は最小角度変化を 10° として有意差を生じたが、 10° 未満の場合ほどの程度まで許容されるのかについては確認することはできなかった。また、本研究では三脚を用いて高さを一定にして撮影したため、撮像が画面の中央に収まっているが、スマホカメラのレンズの歪みにより、画面の中央部と末端部で測定値が変化する可能性は否定できない。今後も反射マーカの大きさや許容される撮影角度、レンズの歪みによる影響を検討していくことで臨床に応用する際の基礎データを提供していく。

V. 結論

アプリを用いた撮像からの角度計測において指標点が約2cmである場合、撮影距離は2m以内で行い、できる限り対象を正面から撮影することで信頼性の高い角度計測が可能となることが明らかになった。

文献

- 1) Ketenci İE, Yanık HS, Erdoğan Ö, et al. (2021) Reliability of 2 Smartphone Applications for Cobb Angle Measurement in Scoliosis. Clin Orthop Surg. 13(1), 67-70.
- 2) Koong DP, Lee J, Cheng TL, et al. (2020) Validity and reliability of smartphone inclinometer applications for measurement of elbow range of motion in paediatric patients. J Child Orthop. 14(5), 488-494.
- 3) Ganokroj P, Sompornpanich N, Kerdsonmuck P, et al. (2021) Validity and reliability of smartphone applications for measurement of hip rotation, compared with three-dimensional motion analysis. BMC Musculoskelet Disord. 22(1), 166.
- 4) 兎澤良輔, 浅田菜穂, 荒井沙織, ほか (2020) 胸腰部屈曲可動域測定とmodified Schober testの関連—若年男性を対象とした測定値間の相関について—. 了徳寺大学研究紀要. 14, 93-97.
- 5) 兎澤良輔, 浅田菜穂, 川口沙織, ほか (2019) スマートフォンアプリケーションを使用した関節可動域測定の予備的研究—固定物を用いた画面の大きさ (スマートフォン, タブレット端末) の違いによる信頼性と妥当性の検討—. 了徳寺大学研究紀要. 13, 209-214.
- 6) 兎澤良輔, 浅田菜穂, 荒井沙織, ほか (2020) スマートフォンアプリケーションを使用した胸腰部屈曲可動域測定の検者間信頼性の検討. 理学療法科学. 35(3), 409-412.
- 7) Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1(8476), 307-310.
- 8) 下井俊典 (2011) 評価の絶対信頼性. 理学療法科学. 26(3), 451-461.
- 9) Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. 33, 159-174.

2021年11月28日 受理
了徳寺大学研究紀要 第16号