

ImageJを使用した画像解析の信頼性の予備的研究 －踵骨およびLHAの角度算出－

A preliminary study on the reliability of image analysis using ImageJ -Calculation of calcaneus and LHA angles-

阿部 昭大^{1) 2)}、横山 茂樹³⁾、齋藤 圭介⁴⁾、藤崎和希⁵⁾、佐藤三矢⁶⁾

Akihiro Abe^{1) 2)}、Shigeki Yokoyama³⁾、Keisuke Saitoh⁴⁾、Kazuki Fujisaki⁵⁾、Mitsuya Sato⁶⁾

要旨：【目的】ImageJは米国国立衛生研究所が無償配布しているフリーウェアであり、比較的簡便で、近年では理学療法分野においても使用されている。そこで、踵骨角度およびLeg Heel Angle (LHA) の角度算出をImageJを使用し、その検者内信頼性を検証した。【方法】対象は男子高校サッカー選手67名であった。被験者のアキレス腱付着部と踵骨の midpoint (踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2)、下腿軸 (膝窩中央から踵骨上縁を結ぶ線を3等分した遠位1/3) と踵骨の midpoint (踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2) およびアキレス腱付着部にマーカシールを貼り、それぞれを踵骨角度、LHAとし、後面からデジタルカメラで1回撮影した。角度測定はImageJを使用し、測定回数は踵骨角度・LHAを左右それぞれ1枚に対し3回実施した。なお、日内変動による影響を考慮し、朝・昼・夜の時間帯で角度測定を実施した。【結果】級内相関係数および標準誤差から統計解析を行った結果、検者内信頼性を示すICC (1, 9) は両脚右LHAで0.94、両脚左LHAで0.98、その他は全ての項目で0.99となった。【結論】ImageJを用いた角度測定は理学療法分野において有用な手段であることが示唆された。

キーワード：ImageJ・角度測定・検者内信頼性

1) 吉備国際大学大学院保健科学研究科

〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8

Graduate School of Health Sciences, Kibi International University

8, Iga, Takahashi, Okayama, 716-8508, Japan

2) 行田総合病院リハビリテーション科

〒361-0056 埼玉県行田市持田376

Department of Rehabilitation, Gyoda General Hospital

376, Motida, Gyoda, Saitama, 361-0056, Japan

3) 京都橘大学 健康科学部

〒607-8175 京都府京都市山科区大宅山田町34

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Totachibana University

34, Otakeyamada, Yamashina, Kyoto, 607-8175, Japan

4) 青森県立保健大学健康科学部 理学療法学科

〒030-8505 青森県青森市大字浜館字間瀬58-1

Department of Physical Therapy, Aomori University of Health and Welfare

58-1, Mase, Hamadate, Aomori, 030-8505, Japan

5) 太田医療技術専門学校 理学療法学科

〒373-0812 群馬県太田市東長岡町1373

Department of Physical Therapy, Ota College of Medical Technology

1373, Higashinagaoka, Ota, 373-0812, Japan

6) 東京通信大学人間福祉学部 人間福祉学科

〒160-0023 東京都新宿区西新宿1丁目7-3

Department of Human Welfare, Faculty of Human Welfare, Tokyo University of Communication

1-7-3, Nishi-Shinjuku, Shinjuku, Tokyo, 160-0023, Japan

(受付日 2024年7月31日／受理日 2024年12月17日)

I. 目的

近年、スポーツ現場において理学療法士（physical therapist：PT）の関わりが多くなっている印象があり、スポーツ現場におけるPTの役割の一つとして傷害予防が挙げられる。しかしながら、PTは医療機関でリハビリテーションを行うことが主たる業務であり、傷害予防への介入は副次的になることが多く、傷害予防への介入としてスポーツ現場に還元できるようにする取り組みも必要であるとされている¹⁾。Mechelen²⁾は、スポーツ外傷・傷害予防に対し、4つのステップをストラテジーとして提唱し、傷害予防ではリスクファクターの特定をする上で内因性要因の検討をすることが必要である報告した。内因性要因とは関節可動域や筋力、姿勢、既往歴などアスリート自身に関係する因子のことである。スポーツ現場において、関節可動域の角度測定をゴニオメーターを使用し、正確に測定することは極めて難しい。近年、角度測定にはフリーソフトウェアであるImageJが用いられている。その場で画像のみ撮影し、後日角度測定が可能であるため、スポーツ現場においては有益であると考えられる。前岡ら³⁾は体幹の前後傾の角度測定、林ら⁴⁾は股関節の回旋の角度測定にImageJを使用し、高い信頼性が得られたと報告している。しかし、踵骨などの小部位に関する信頼性の報告は見当たらない。濱島ら⁵⁾はゴニオメーターを使用し踵骨の角度測定の信頼性について再現性が保証されなかったと報告とした。このように、足部の評価をする際にも再現性の高いものを用いることがスポーツ現場では重要である。そこで今回は、ImageJを用いて足部の角度測定を実施し、その信頼性を検証することとした。

II. 対象

被験者は、高円宮杯U-18群馬県サッカーリーグ1部に所属する高校の15～18歳の男子サッカー部員（年齢 16.6 ± 0.9 歳、身長 172.6 ± 4.9 cm、体重 62.5 ± 6.0 kg）のうち（表1）、本研究の参加において文章で保護者及び本人の同意が得られた67名とした。検者は理学療法士1名とした。なお、倫理的配慮から、本研究の参加において、保護者および本人から同意が得られない者、研究参加時に参加できない者は除

表1 基本情報（n=67）

年齢（歳）	16.6 ± 0.9
身長（cm）	172.6 ± 4.9
体重（kg）	62.5 ± 6.0
BMI（%）	21.0 ± 1.5
競技歴（年）	9.8 ± 2.1

BMI：Body Mass Index

外とした。従って、本研究では研究参加時に参加できない者1名を除いた67名を最終的な研究対象とした。

III. 方法

下肢アライメントとして、踵骨角度、Leg Heel Angle（LHA）を測定した。踵骨角度はThe Foot Posture Index-6（FPI-6）⁶⁾の測定方法を参考した。アキレス腱付着部と床面と接している踵骨の midpoint（踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2）にマーカーシールを貼付し各マーカーシールを結んだ線と床面とのなす角度を踵骨角度とし、両脚立位および片脚立位時の踵骨の角度を測定した（図1）。LHAはOhira⁷⁾の測定方法を参考とした。下腿軸（膝窩中央から踵骨上縁を結ぶ線を3等分した遠位1/3）⁸⁾と踵骨のアキレス腱付着部、踵骨の midpoint（踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2）にマーカーシールを貼付し、各マーカーシールを結んだ線のなす角度とし、両脚立位および片脚立位時の角度を測定した（図2）。撮影環境は、後方40cmから三脚を用いてカメラを高さ18cmで水平に固定し撮影を行った。床に白色のテープを貼付し、立位位置を示した。被験者には最も自然な足幅をとるよう口頭で指示した。撮影はデジタルカメラ（Panasonic社製DMC-TZ85 4K、有効画素数1810万画素、総画素数1890画素）を使用した。撮影した画像をPC（Apple社製、MacBook Air、2560×1600ピクセル）に取り込み、角度測定は米国立衛生研究所（NIH）が開発・無償配布しているフリーソフトウェアであるImageJの角度測定機能を使用した。画像解析回数は、対馬ら⁹⁾、前岡ら³⁾、林ら⁴⁾を参考として、1枚に対し計9回の角度測定を実施した。なお、本研究では日内変動による影響を考慮するため、朝・昼・夜の時間帯で3回ずつに分割して角度測定を実施した。ImageJの具体的

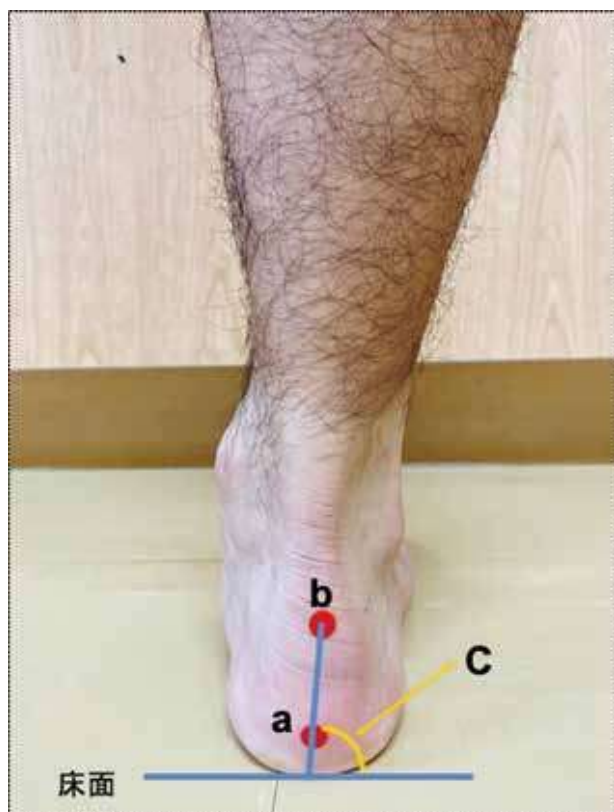


図1 踵骨角度

a：踵骨中点（踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2）、b：アキレス腱付着部、c：a（踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2）とb（アキレス腱付着部）を結んだ線と床面がなす角度（踵骨角度）

な測定方法は、PCにて作成された静止画像から画面上で被験者に貼付したマーカーシールにカーソルを合わせ、順次マーカーシールを結んでいく。2点または3点を結び終わった後、角度測定ツールを選択することで自動的に測定結果が画面上に表示される。撮影およびImageJでの角度測定は全て検者1名が実施した。なお、本作業の検者は理学療法士1名で、これまでImageJの使用経験はなかった。

統計学的解析は、検者が角度測定をした踵骨角度とLHAの両脚および片脚の角度から最大値と最小値を抽出した。ICC、SEM、CIの数値は、合計9回の角度測定の平均値から算出した。それらのデータから級内相関係数Intraclass correlation coefficient (ICC) および標準誤差Standard error of measurement (SEM)、95%信頼区間confidence interval (CI) を求め、検者内信頼性（1、9）を検証した。統計解析は、IBM SPSS statistics ver.28 (IBM Japan、東京、日本)を使用し、有意水準は5%とした。

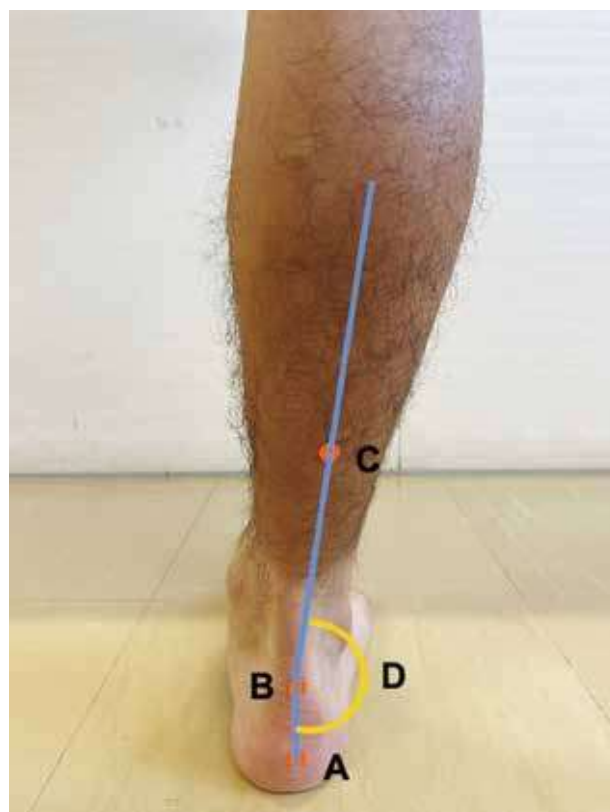


図2 Leg Heel Angle

A：踵骨の中点（踵骨内外側隆起を結んだ線の1/2）、B：踵骨のアキレス腱付着部、C：下腿軸（膝窩中央から踵骨上縁を結ぶ線を3等分した遠位1/3）、D：Leg Heel Angle

なお、本研究はヘルシンキ宣言に沿って、吉備国際大学倫理審査委員会（承認番号21-45）の承認を得て実施した。全ての対象者とその保護者に書面と口頭による説明と同意を得て、個人情報特定されないように配慮した。

また、本研究に際し利益相反はなし。

Ⅳ. 結果

踵骨角度とLHAの平均値および標準偏差を表2に示す。次に、検者内信頼性のICCを表3に示す。両脚右LHAで0.94、その他は全ての項目で、0.99となった。SEMは両脚右踵骨角で0.28°～0.31°、両脚左踵骨角で0.29°～0.31°、片脚右踵骨角度で0.46°～0.48°、片脚左踵骨角度で0.46°～0.48°、両脚右LHAで0.17°～0.18°、両脚左LHAで0.16°～0.17°、片脚右LHA角度で0.30°～0.32°、片脚左LHA角度で0.27°～0.29°であった。

表2 踵骨角度およびLeg Heel Angleの平均値と標準偏差

n=67	
両脚右踵骨角度 (°)	87.8 ± 2.3
両脚左踵骨角度 (°)	88.2 ± 2.4
片脚右踵骨角度 (°)	87.6 ± 3.8
片脚左踵骨角度 (°)	88.7 ± 3.7
両脚右 LHA (°)	173.8 ± 1.3
両脚左 LHA (°)	173.8 ± 1.3
片脚右 LHA (°)	173.0 ± 2.5
片脚左 LHA (°)	173.7 ± 2.2

平均値 ± 標準偏差

LHA : Leg Heel Angle

表3 画像解析による検者内信頼性

	ICC (1, 9)	95% 信頼区間		SE (度)		
		下限値	上限値	1回目 (朝)	2回目 (昼)	3回目 (夜)
両脚右踵骨角度	0.996	0.994	0.998	0.31	0.29	0.28
両脚左踵骨角度	0.997	0.995	0.998	0.31	0.29	0.29
片脚右踵骨角度	0.998	0.997	0.999	0.48	0.47	0.46
片脚左踵骨角度	0.998	0.997	0.999	0.48	0.46	0.46
両脚右 LHA	0.946	0.919	0.965	0.17	0.17	0.18
両脚左 LHA	0.989	0.984	0.993	0.17	0.16	0.16
片脚右 LHA	0.993	0.990	0.995	0.32	0.31	0.30
片脚左 LHA	0.991	0.986	0.994	0.29	0.27	0.27

ICC : 級内相関係数 SE : 標準誤差 LHA : Leg Heel Angle

V. 考察

本研究では、ImageJの検者内信頼性を検証するためICCとSEM、95%ICを算出した。その理由として、Rankinら¹⁰⁾は理学療法の分野においてもICCのみの記載だけでは測定間の不一致の大きさを示すことはできず、SEMや一致限界を示し補足すべきであると報告し、Sratfordら¹¹⁾は、ICCとSEMは関連しているが、測定の信頼性については異なる情報を示すものであると報告している。以上のことから、本研究ではICCとSEM、95%ICを算出することとした。

検者内信頼性のICCは、Landisら¹²⁾の分類を参考とした。この分類では、<0.00はPoor、0.00-0.20はSlight、0.21-0.40はFair、0.41-0.60はModerate、0.61-0.80はSubstantial、0.81-1.00はAlmost Perfectと6段階に分類されている。本研究における各測定の検者内信頼性は0.94から0.99であり、Landisら¹²⁾の分類において「Almost Perfect」を示したことから、ICC、SEMともに高い信頼性が得られたことが示唆された。今回、「Almost Perfect」となった要因と

して、十分な測定回数を設定したことが考えられる。対馬ら⁹⁾は、検者数と反復測定回数を変えたシュミレーションを行い、一般化可能性係数¹³⁾(Generalizability Coefficient : G係数)を求めた研究を行い、 $G \geq 0.95$ を満たす最低条件は反復測定回数 ≥ 3 回であるとした。また、1人の検者内の測定では、6~7回の反復測定で予測G係数は0.99以上を保てると報告している。G係数とは外的妥当性とも呼ばれ、得られた標本から全体(母集団)を推定することである。さらに、ImageJの操作性は非常に簡便であり、前岡ら³⁾は、初心者と経験者で比較をし、熟練性を検証した結果、ICCは高値を示し、Pearsonの相関係数でも強い相関を示したと報告した。それにより、初心者であっても5分程度の事前の説明書閲覧と測定開始時の口頭説明のみで経験の有無や熟練度を考慮する必要性は低いと述べている。本研究では、1枚に対し朝、昼、夜でそれぞれ3回ずつ計9回の画像解析を実施し、検者はImageJの操作訓練をしたのち画像解析を行なったことから、高い検者内信頼性を得られた可能性がある。

以上のことから、ImageJを用いた角度測定は簡便であり、経験の有無に関わらず高い信頼性が得られ、測定時間の限られるスポーツ現場においてもその場で撮影し、別の場所で画像解析し角度測定が可能となるため、今後スポーツ現場や理学療法分野においても有益なものになると思われる。

しかし今回は、画像撮影自体は短時間で行えるものの、画像解析に関しては1枚に対し9回の解析を行なったため、長時間を要した。今後の課題は、単にその場の容易さを求めるのではなく、画像解析においても簡便に実施できる方法を検証することが、スポーツ現場で活用する測定では重要であると考え

VI. 引用文献

- 1) 廣重陽介、加藤基：スポーツ領域におけるこれからの理学療法のニーズ. 理学療法学 50 (4) 167-174、2023
- 2) van Mechelen W: Sports injury surveillance systems. 'One size fits all'? Sports Med. 1997; 24: 164-168.
- 3) 前岡 浩, 福本 貴彦, 他：画像解析ソフト ImageJ 信頼性の検証－立ち上がり動作を利用して－. 理学療法科学. 2003 ; 23 : 529-533.
- 4) 林真範, 本郷雄太, 他：Image-Jの関節角度測定値の信頼性検討－回旋を伴う場合の誤差について－. 理学療法科学. 2010 ; 25 : 529-532.
- 5) 濱島一樹, 兼岩淳平, 他：動作時における足部内側縦アーチの形態の変化を捉える測定方法の再現性について. 理学療法科学. 2012;27 (2): 177-180.
- 6) Redmond AC, Crosbie J, et al. : Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture : The Foot Posture Index. Clinical Biomechanics. 2006 ; 21 : 89-98.
- 7) Ohi H, Iijima H, et al. : Association of frontal plane knee alignment with foot posture in patients with medial knee osteoarthritis. BMC Musculoskeletal Disorders. 2017 ; 18 : 246.
- 8) 折原将太, 志田真澄, 大峰浩輝, 羽田圭宏. : Leg-Heel-Angleにおける測定方法別の検者内・検者間信頼性. 理学療法の科学と研究. 2022 ; 13 : 1 : 39-43.
- 9) 対馬栄輝, 石田水里, 他：デジタル画像上の角度測定における検者間・検者内信頼性. 理学療法科学. 2003 ; 18 : 167-171.
- 10) Rankin G, Stokes M, et al. : Reliability of assessment tools in rehabilitation an illustration of appropriate statistical analyses. Clin Rehabil. 1998 ; 12 : 187-199.
- 11) Stratford PW, Goldsmith CH, et al. : Use of the standard error as a reliability index of interest : an applied example using elbow flexor strength data. Phys Ther. 1997 ; 77 : 745-750.
- 12) Landis JR, Koch GG, et al. : The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. 1977 ; 33 : 159-174.
- 13) Brennan RL, Kane MT: An index of dependability for mastery tests. JEM, 1977, 14: 277-289.