レーザー光線を用いた足部横アーチ高測定装置の 検者内・間信頼性

Intra- and Inter-tester Reliability of a Foot Horizontal Arch Height Measurement System Using a Laser Beam

嶋田 裕司^{1,4)} 昇 寛^{2,3)} 佐野 徳雄²⁾ 中山 彰博²⁾ 丸山 仁司⁴⁾

YUJI SHIMADA, RPT, MS^{1,4)}, HIROSHI NOBORI, RPT, PhD^{2,3)}, NORIO SANO, RPT, PhD²⁾,
AKIHIRO NAKAYAMA, RPT, MS²⁾, HITOSHI MARUYAMA, RPT, PhD⁴⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Seibo Hospital: 2-5-1 Nakaochiai, Shinjuku-ku, Tokyo 161-8521, Japan TEL +81 3-3951-1111
E-mail: yuji_95@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Medical Sciences, Teikyo University of Science

³⁾ Department of Judo Therapy, Faculty of Medical Sciences, Teikyo University of Science

⁴⁾ Graduate School of International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 35(1): 77-81, 2020. Submitted Aug. 16, 2019. Accepted Sep. 24, 2019.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to examine the reliability of a newly developed foot horizontal arch height measuring device using a laser beam. [Participants and Methods] The twenty feet of ten healthy adults (6 males, 4 females) who gave consent were the subjects. Two examiners measured the foot horizontal arch height twice. The intra-class correlation coefficient was calculated for the intra-examiner reliability using the measurements of one examiner, and for the inter-examiner reliability using the measurements of both examiners. [Results] The intraclass correlation coefficient (ICC) was as high as 0.90 for the intra-examiner reliability, and 0.75 for the inter-examiner reliability. [Conclusion] It is considered that this device has high intra- and inter-examiner reliabilities, and can be a clinically useful measurement device.

Key words: laser beam, foot horizontal arch height, reliability

要旨:〔目的〕新開発のレーザー光線を利用した足部横アーチ高測定装置の信頼性を検討することである。〔対象と方法〕同意を得た健康成人 10 名（男性 6 名、女性 4 名）の 20 脚とした。2 名の検者が足部横アーチ高を 2 回測定した。統計処理は 1 名の検者の測定から検者内信頼性を、2 名の検者の測定から検者間信頼性を級内相関係数にて算出した。〔結果〕級内相関係数（ICC）は検者内 0.90、検者間 0.75 と高い信頼性を認めた。〔結語〕本装置は高い検者内信頼性および検者間信頼性を有し、臨床的に有用な測定装置となりうると考える。

キーワード: レーザー光線、足部横アーチ高、信頼性

¹⁾ 聖母病院 リハビリテーション科：東京都新宿区中落合 2-5-1 (〒161-8521) TEL 03-3951-1111

²⁾ 帝京科学大学 医療科学部 理学療学科

³⁾ 帝京科学大学 医療科学部 柔道整復学科

⁴⁾ 国際医療福祉大学大学院

I. はじめに

足部アーチは、構造上、縦アーチ（内側縦アーチ、外側縦アーチ）と横アーチに分類されることがあり、各々が異なった役割を担っている。横アーチは、中足骨頭レベル、中足骨底レベル、足根骨レベルに分類され、衝撃吸収と足趾機能向上に貢献している。縦アーチの特徴は、歩行時に足部のアーチが低下しないよう母趾を伸展させ、足底筋膜を巻き上げ、足部の安定を図るためのウインドラス機構が広く知られている。

横アーチ中足骨頭レベルは、第1中足骨頭、第2～5中足骨頭からなり、第2中足骨頭を頂点とする。この部分は足指の配列を整え、中足骨頭部での荷重に深く関わりをもつ。歩行の立脚後期には主として前足部での体重支持と蹴りだしが要求されるので、前足部横アーチが崩れやすいと中足骨頭部での荷重が大きくなり、腓胝形成や痛みなどが生じやすい。したがって、前足部の横アーチ高を定量化することが臨床的に必要とされている。

レーザー墨出し器は、数本のレーザー光を、壁面・天井・床面に照射し、水平、直角などの基準となる線を出す精密測定工具である。本体は3～5 cmほどの3つの脚で自立し、脚部台座から上の胴体部分にレーザー照射口がある。凹凸のある面に対しても精度の高い線を引くことが可能で、比較的安価で携帯性に優れている。レーザー墨出し器は、元々は大工工事、軽量鉄骨・ボード工事、基礎工事などの建築業で使われてきた。最近では基準出しツールとして製造現場やイベント会場など、業種を問わず、様々な現場で活躍しており、多場面で使用可能である。理学療法への応用も可能で、足部形態をより正確に素早く測定できる機器である。

濱窪ら¹⁾は、レーザー光線を使用して体幹回旋角度測定法の検者内信頼性の検討をしている。しかしながら、レーザー光線を用いた足部形態の測定については知見がない。工藤ら²⁾は、横アーチの測定方法として、第1～5中足骨頭の距離を足長で除した従来の横アーチ長率（transverse arch long rate：以下、TAL）に加えて、下腿最大前傾位でTALを測定し、その差から横アーチの保持機能を捉える方法を報告している。TALの測定は、デジタルノギスを用いて下腿前傾位で測定する。臨床場面で足部アーチに対する評価や治療を実施する際に、足部内側縦アーチの高さにおいては、体表からでも定量的な評価が可能であり客観的評価が使用されている³⁻⁷⁾。しかし、足部横アーチの高さにおいては定量的評価方法が存在しないため、客観的に評価できない状況であり、主観的評価が利用されることが多い。これまでの装置ではfoot printや荷重時のX線撮影等の角度計測が多く用いられている。足部形態を知るためには、妥当であると言われている。しかし、このような装置は、使用操作が

煩雑で、また高額な機器が多く、さらに装置が大きく設置には広い場所を必要とした。特定の研究機関や大学病院などに設置されているのみで、一般病院や学校などではほとんど設置されていない。従来、荷重時のX線撮影での評価は、理学療法の臨床場面で簡便に測定することは不可能である。また、foot print上の評価は信頼性に関して検討されているが、報告者によって見解が異なっている。今回考案した足部横アーチ高測定装置は、これらの非効率、低時間効率、極めて簡易的な測定装置で改善可能とした。そこで、新たなレーザー光線を用いた方法を確立するために、足部横アーチ高のための信頼性の高い測定装置を開発する必要がある。そこで我々は、新たなレーザー光線を用いた足部横アーチ高測定装置（実用新案設定登録済、登録第3221863号）を開発した⁸⁾。

本研究では、新開発のレーザー光線を利用した足部横アーチ高測定装置を使用した測定方法の信頼性を検討することである。

II. 対象と方法

1. 対象

健常成人10名（男性6名、女性4名）の20脚を対象とした。（年齢 36.1 ± 9.9 歳、身長 166.2 ± 8.0 cm、体重 61.7 ± 9.3 kg：平均 $\pm$ 標準偏差）であった（表1）。除外基準は、過去に下肢に整形外科的疾患の既往がある者、既往以外にも明らかな足部変形を有する者とした。

なお、本研究は国際医療福祉大学倫理審査委員会の承認（承認番号：18-Ig-2）と社会福祉法人聖母会聖母病院倫理審査委員会の承認（承認番号：18-3）を得たうえで、研究目的と概要を明記したポスターを掲示して希望者を募り、同意が得られた者を対象者として実施した。

2. 方法

今回我々は足部横アーチ高を計測するために、より精度の高い直線が引けるようにレーザー光線を取り入れ、臨床現場にて容易に測定が可能な測定装置を開発した。足部横アーチ高の測定装置は、レーザー墨出し器2個と三脚、レーザー照射板および足置き台から構成されてい

表1 対象者の基本属性

	男性 (n=6)	女性 (n=4)
年齢 (歳)	36.1 ± 11.7	36.0 ± 8.2
身長 (cm)	171.3 ± 4.8	158.0 ± 5.0
体重 (kg)	67.8 ± 6.4	52.5 ± 2.3
BMI (kg/m ²)	23.1 ± 2.6	20.9 ± 1.2

平均値 $\pm$ 標準偏差。BMI：body mass index.

図1 装置の構成と測定姿勢

図2 2本レーザー光線を利用した新たな足部横アーチ測定方法の一例

る（図1）。前足部の足幅，中足部の足背の高さを，デジタルノギスにて測定した。前足部足幅は第1中足骨頭内側縁から第5中足骨頭外側縁までの距離をパイプを加工したメジャーを用いて測定した。測定は，体重を乗せる場合と体重を乗せない場合とあらゆる測定場面に対応できるように設計した。前足部の幅の長さに対して，足部横アーチ高の割合を算出して，横アーチ高率と定義した。一方，内側縦アーチは舟状骨高と足長を計測し，百分率で表したものをアーチ高率と定義されている。

レーザー光線による新たな足部横アーチ高の測定装置を用い，2名の検者が測定を実施した。検者Aは臨床経験2年の男性理学療法士で，検者Bは臨床経験5年の女性理学療法士であった。検者Aと検者Bは測定に際して測定方法を均一にするため，レーザー光線の設置位置や姿勢・肢位を統一し，十分な練習を実施した。検者Aは対象者に対して横アーチ高測定を1日以上空けて2回測定し，検者Bは1回の測定を検者Aの測定と同日に最低2分の休憩時間を置き実施した。測定する際に，あらかじめ第1中足骨頭と第5中足骨頭，第2趾先端と踵骨後縁にシール（直径3mm）を貼付した。第1中足骨頭は，足部内側縁中足骨，第5中足骨頭は足部外側縁中足骨，第2趾先端は第2趾中足骨頭，踵骨後縁は踵骨隆起において，最突出部が3mmのシールの中心に位置するように貼付した。レーザー照射箇所は，第1中足骨頭と第5中足骨頭，第2趾先端と踵骨後縁のシールを貼付した部位を直線（レーザー光線）で結び，その2つの直線（レーザー光線）が交わった点の足底面からの高さを足部横アーチ高とした（図2）。測定肢位は自然立位とし，前足部の足幅，前足部の足背の高さを，デジタルノギスにて測定した。前足部足幅は第1中足骨頭内側

縁から第5中足骨頭外側縁までの距離を計測した。測定中は，体重を左右均等に乗せるように意識を集中させるとともに，測定姿勢を保持するよう指示を与えた。左右均等な荷重下での立位姿勢保持を体重計を用いて十分練習した後に実施した。前足部の幅の長さに対して，足部横アーチ高の割合を算出して，横アーチ高率とした。

統計検討においては，検者Aが行った2回の測定において級内相関係数（以下，ICC）(1,1)を算出し，検者内信頼性を検討した。また，検者Aと検者Bが行った2回の測定においてICC(2,1)を算出し，検者間信頼性を検討した。検者Aが行った1回目と2回目の測定間における相関係数と，検者Aと検者Bが行った測定間における相関係数も合わせて算出し，検討した。Bland-Altman分析を行い，系統誤差を認めなかった場合，測定の標準誤差（以下，SEM）および最小可検変化量（以下，MDC₉₅）を算出した。算出方法は下井⁹⁾が示した方法を採用し，SEMの算出は $SEM = SD$ ，MDC₉₅は $MDC_{95} = SEM \times 1.96$ の式を用い計算し，%SEMおよび%MDC₉₅はそれぞれの測定値で除しその割合を示した。統計処理には統計解析ソフトウェアIBM SPSS Statistics23を使用し，有意水準は5%とした。

III. 結 果

検者内信頼性および検者間信頼性の測定結果における，各回目の足部横アーチ高率の平均値と標準偏差を表2と表3に示す。

検者内信頼性を示すICC(1,1)0.90，その95%信頼区間（以下，95%CI）は0.78～0.96，SEMは0.44%，MDC₉₅は6.06%であった。検者間信頼性を示すICC

表2 検者内信頼性の測定結果

	1回目	2回目
検者A	33.1 ± 2.8	33.5 ± 2.8

単位：％，平均値 ± 標準偏差。

表3 検者間信頼性の測定結果

	1回目
検者A	33.1 ± 2.8
検者B	33.2 ± 3.1

単位：％，平均値 ± 標準偏差。

(2,1) 0.75, その95% CIは0.47～0.89, SEMは0.46%, MDC₉₅は9.43%であった(表4)。

IV. 考 察

本研究では健康若年者を対象に、検者内信頼性および検者間信頼性を検討することを目的とした。

ICCの評価基準として桑原ら¹⁰⁾は0.9～は優秀、0.8～良好、0.7～は普通、0.6～は可能、～0.6は要再考と報告している。本研究の結果をみるとICC(1,1)は0.90と高い信頼性が得られた。ICC(2,1)では0.75とICC(1,1)と比較するとやや低くなった。この原因としては、検者Aは臨床経験2年、検者Bは臨床経験5年であり、臨床経験年数の違いや性別、検者の年齢により、触診の技術に差があったと考えられる。具体的には、第1中足骨頭と第5中足骨頭、第2趾先端と踵骨後縁の触診技術の差が関連したと考える。これに関しては、事前に第1中足骨頭と第5中足骨頭、第2趾先端と踵骨後縁のシール貼付位置の確認のみならずシールを貼付する練習をしておくことでさらに高いICCを得られる可能性がある。

本研究ではさらに測定標準誤差により測定結果にどの程度の誤差が生じるかを実数にて得るとともに、最小可検変化量を算出することで、得られた2つの測定値の変化量が、測定誤差によるものであるという境界値を統計的に推定した。測定標準誤差の結果より検者内信頼性では横アーチ高率の±0.44%、検者間信頼性では横アーチ高率の±0.46%の標準的な誤差が生じることが示された。また最小可検変化量の結果より検者内信頼性では横アーチ高率の±6.06%、検者間信頼性では横アーチ高率の±9.43%より大きい変化が認められた場合、測定誤差でなく真の変化とみなせることが示された。

以上より、今回我々が新しく開発したレーザー光線を使用した足部横アーチ高測定装置より得られた測定値は、検者内信頼性および検者間信頼性が高いことが明らかとなり、測定誤差の程度や境界値も実数にて示された。

表4 レーザー光線を用いた測定装置の検者内・間信頼性

	ICC(1,1) (95% CI)	ICC(2,1) (95% CI)	SEM [%]	MDC ₉₅ [%]
検者内	0.90 0.78～0.96	—	0.44	6.06
検者間	—	0.75 0.47～0.89	0.46	9.43

95% CI：ICC：級内相関係数，95%信頼区間，SEM：測定標準誤差，MDC：最小可検変化量。

足部横アーチ高の測定方法には、3DスキャンやX線画像装置などの大がかりな測定法から、徒手による測定法まで様々なものが存在している。そのなかでもレーザー光線を用いた足部横アーチ高測定装置は、レーザー墨出し器や三脚等を含めても重量が1kg程度と軽量なため携帯性に優れており、測定も簡便に行うことができ、かつ測定方法を厳密に規定することで正確な測定が可能である。これにより、レーザー光線を用いた足部横アーチ高測定装置を上手く活用することで、理学療法の幅広い臨床場面での使用も可能であると考えられる。

今回の測定の注意点や限界としては、対象が20～30代と比較的若年であったため、実際に臨床で対象となる高齢者で同様の結果となるかは不明である。

新開発のレーザー光線を用いた足部横アーチ高の測定装置において、本来ならば床面から足底面で測定すべきところを床面から足背部で測定した。荷重下での床面から足底面の高さをデジタルノギスで測定することが困難なため、足背部から軟部組織を含めた足部横アーチ高を測定した。今回の測定結果が、足部横アーチ高かどうかの妥当性は確認できていない。中足骨頭の大きさに個人差があること、足背部での測定となることで足底面での足部横アーチとは異なり、足背部であると軟部組織にも影響されると思われる。また、実際の骨の位置関係を測定することは困難である。

今後は、対象を高齢者とした場合の信頼性の検討、検者の臨床経験年数の違いによる結果への影響についての検討が必要であると考えられる。

利益相反 本研究については申告すべき利益相反はない。

引用文献

- 濱窪 隆，明崎禎輝，野村卓生・他：レーザー体幹回旋角度測定法を用いた評価の信頼性。高知リハビリテーション学院紀要，2011，12：55-58。
- 工藤慎太郎，濱島一樹，兼岩淳平・他：足部横アーチ測定方法の再現性に関する検討。第46回日本理学療法学会大会，

- 2011, 宮崎県, OF1-067.
- 3) 木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪 恵・他: 高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果. 理学療法学, 2001, 28: 261-266.
- 4) 相馬正之, 五十嵐健文, 工藤 渉・他: 足指把持筋力トレーニングがFunctional Reach Testや最大1歩幅, 歩行能力に与える影響について. ヘルスプロモーション理学療法研究, 2012, 2: 59-63.
- 5) 竹井和人, 村田 伸, 甲斐義浩・他: 足指把持トレーニングの効果. 理学療法科学, 2011, 26: 79-81.
- 6) 村田 伸, 忽那龍雄: 足把持力に影響を及ぼす因子と足把持力の予測. 理学療法科学, 2003, 18: 207-212.
- 7) 安田直史, 村田 伸: 要介護高齢者の足把持力と足部柔軟性および足部形状との関連. 理学療法科学, 2010, 25: 621-624.
- 8) 嶋田裕司, 昇 寛, 佐野徳雄・他: レーザー光線を用いた足部横アーチ高測定装置の開発. 国際エクササイズサイエンス学会, 2019, 2: 60-63.
- 9) 下井俊典: 評価の絶対信頼性. 理学療法科学, 2011, 26: 451-461.
- 10) 桑原洋一, 斎藤俊弘, 稲垣義明: 検者内および検者間のReliability (再現性, 信頼性) の検討. 呼吸と循環, 1993, 41: 945-952.