

健常成人回内足の足部形態の特徴

原

著

～正常足と回内足の筋横断面積の比較～

Characteristics of the foot morphology of pronated foot in healthy adults
～Comparison of the muscle cross-sectional area of normal and pronated feet～

樋川幸平*¹, 筒井俊春*¹, 原由希菜*¹, 鳥居 俊*²

キー・ワード：pronated foot, muscle cross-sectional area, intrinsic/extrinsic foot muscles
回内足, 筋横断面積, 足内在筋・外在筋

【要旨】 【目的】健常成人正常足と比較した回内足の足内在筋および外在筋の筋横断面積（以下，CSA）の違いを明らかにすることである。

【方法】対象は健常成人25名50足（男性15名女性10名，年齢 24.3 ± 1.4 歳，身長 167.5 ± 7.7 cm，体重 62.4 ± 12.6 kg，BMI 22.1 ± 3.0 kg/m²）とした。CSAに関しては超音波画像診断装置を用いて，短母趾屈筋，母趾外転筋，短趾屈筋，長趾屈筋（以下，FDL），長母趾屈筋（以下，FHL），腓骨筋，後脛骨筋の測定を行った。その後Foot posture indexを用いて足部形態の評価を行い，回内足群，正常足群に群分けし，群間での各筋CSAの比較を行った。

【結果】回内足群16足（男5名8足，女6名8足）では，正常足群32足（男11名20足，女8名12足）と比較しFDL（ $p=0.007$ ），FHL（ $p=0.04$ ）のCSAが有意に大きかった。

【結論】回内足群は正常足群と比較してFDL，FHLのCSAが有意に大きく，能動的足部支持機能としてはFDL，FHLが優位に機能することが示唆された。回内足に対して足部筋のトレーニングなどを行う際には，足部形態の特徴に留意する必要がある。

1. 緒言

回内足は，足部内側縦アーチの低下，静止立位時における踵骨の5°以上の外反，前足部が過度に外転した状態を指すとされる¹⁾。Bennoら²⁾は，ランニング時の踵接地後の過度な足部の回内が衝撃緩衝機能の低下と関連しており，回内足はランニング障害のリスク要因となると推察している。また，回内足は足底筋膜炎や脛骨内側ストレス症候群のリスク要因として報告されており^{3,4)}，足部・下腿の障害との関連性は高いと考えられる。

回内足の原因として骨や靭帯などの受動的な足部支持機能の低下や，足部下腿周囲の筋力低下な

ごによる能動的な足部支持機能の低下が報告されている⁵⁾。能動的な足部支持機能は，母趾外転筋（以下，ABH）などを含むコアマッスルとしての足内在筋⁵⁾や長趾屈筋（以下，FDL），腓骨筋（以下，PER），後脛骨筋（以下，TP）などのアウトマッスルとしての足外在筋⁶⁾が協調的に機能することが傷害予防などには重要とされている⁷⁾。Salihら⁸⁾は超音波画像診断装置を用いて，回内足と正常足の短母趾屈筋（以下，FHB），ABH，短趾屈筋（以下，FDB），FDL，長母趾屈筋（以下，FHL），PERの筋横断面積（以下，CSA）をすべて含めて調査した。その結果，正常足と比較して回内足のFHB，ABH，PERのCSAは小さく，FDL，FHLのCSAは大きかったことを明らかにした。しかし，考察の中で足部支持機能は様々な要因の影響を受けるため，調査した筋以外の要因も検討していくこと

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*2 早稲田大学スポーツ科学学術院

が必要であると報告している。特に足部支持機能に関与する後脛骨筋⁹⁾(以下、TP)の測定を行わなかったことが、研究の限界点であると述べていた。TPは一般的に足部支持機能に関与する足外在筋であり、スポーツ傷害との関連も多数報告されている¹⁰⁾。しかし、TPを含む足外在筋と足内在筋をすべて含めて調査した報告はない。したがって足部支持機能に関与する足内在筋や、TPも含む足外在筋をすべて含めたCSAの検討が必要であると考えられる。

そこで本研究の目的は、健康成人における足内在筋および外在筋のCSAについて調査し、回内足と正常足との違いを明らかにすることとした。

2. 方法

1) 対象

2020年12月～2021年3月の研究期間中に競技スポーツに参加していない某大学大学院生25名50足(男性15名女性10名、年齢 24.3 ± 1.4 歳、身長 167.5 ± 7.7 cm、体重 62.4 ± 12.6 kg、BMI 22.1 ± 3.0)を対象とした。除外基準は、過去6か月間に筋骨格系疾患を有する者とした。測定に先立ち、対象となる被験者には本研究の趣旨を文章および口頭にて説明し書面にて同意を得た。本研究は著者らの所属機関の「人を対象とする研究等倫理審査委員会」の承認(承認番号2020-242)を得て実施した。

2) 足部形態評価

2-1) 足部形態の分類

足部形態の分類にはFoot posture Index-6(以下、FPI)¹⁾を使用した。FPIの評価項目は、①距骨頭アライメント、②外果上下のカーブ、③踵骨内・外反、④距舟関節周囲の突出、⑤内側縦アーチの形状、⑥前足部の内・外転の6項目である。従来の足部形態の評価方法と比較し、三平面上から足部領域全体(後足部、中足部、前足部)を評価可能であり、簡便性も考慮し開発された評価ツールである。なお、臨床経験6年の理学療法士1名がFoot posture Index-6のUser Guide and Manualを熟読し、事前学習・練習した上で各項目について2点～-2点で点数をつけ、合計-12～+12点のFPI値とした。足部形態の分類はRedmondの方法を基にFPI値+6点以上を回内群、0～+5点を正常足群、-1点以下を回外足群とした¹⁾。

2-2) アーチ形態の評価

アーチ形態の評価には三次元足型自動計測機(Dream GP社製)を使用し、両足静止立位・座位にて測定を行った。測定項目は足長(踵骨の後方から最も長い足趾の先端)、舟状骨高(床面—舟状骨粗面の最下端部)とし、舟状骨高を足長で除し、100を乗じてアーチ高率を算出した。また、舟状骨高の立位と座位の差をNavicular dropとしてアーチ高率とともにアーチ形態の指標として表した。

2-3) 足部内在筋および外在筋CSAの評価

CSAの評価には超音波画像診断装置(SonoSite EdgeII, 富士フィルム社)のBモードを用いた。なお、測定には周波数6-13MHzのプロープ(リニアプロープHFL38xp, 富士フィルム社)を使用した。測定は超音波画像診断装置による計測を十分に実施した経験のある一人の理学療法士が実施した。測定肢位に関して、足内在筋(FHB, ABH, FDB)は背臥位かつ膝軽度屈曲位、足関節軽度底屈位とした。足外在筋(FDL, FHL, PER, TP)は端坐位足関節中間位、膝関節90°屈曲位、股関節90°屈曲位とした。また、測定時には下腿部への圧迫が加わらない状態で足部を脱力するよう指示し、測定を行った。測定部位に関して、足内在筋のFHBはLatey¹¹⁾らの方法を参考に第一中足骨頭の近位部、ABH, FDBはKatrina¹²⁾らの方法を参考に舟状骨結節と踵骨内側隆起の間の足部内側面、足底面へそれぞれ短軸方向にプロープをあて撮像した(図1-A)。足外在筋に関して、足外在筋に関して、過去の報告に準じてFDLは脛骨高原内側—内果下端の近位50%^{8,13)}、FHLは腓骨頭—外果下端の近位60%¹⁴⁾、PERは腓骨頭—外果下端の近位50%^{8,13)}、TPは膝関節外側裂隙—外果下端の近位30%¹⁵⁾の部位へ短軸方向にプロープをあて撮像した(図1-B)。なお、足内在筋および外在筋の撮像は合計3回行い、画像処理ソフトImageJを用いてCSAの解析を行った。小数第3位を四捨五入し、小数第2位までを求め、3回の平均値を代表値とした。

3) 統計処理

超音波画像診断装置の測定結果の信頼性に関しては、検者1名が測定した対象25名50足の各筋CSAの3回の測定値を、それぞれ級内相関係数(1.3)を用いて解析し、検者内の信頼性の評価とした。級内相関係数の評価基準については、Excel-

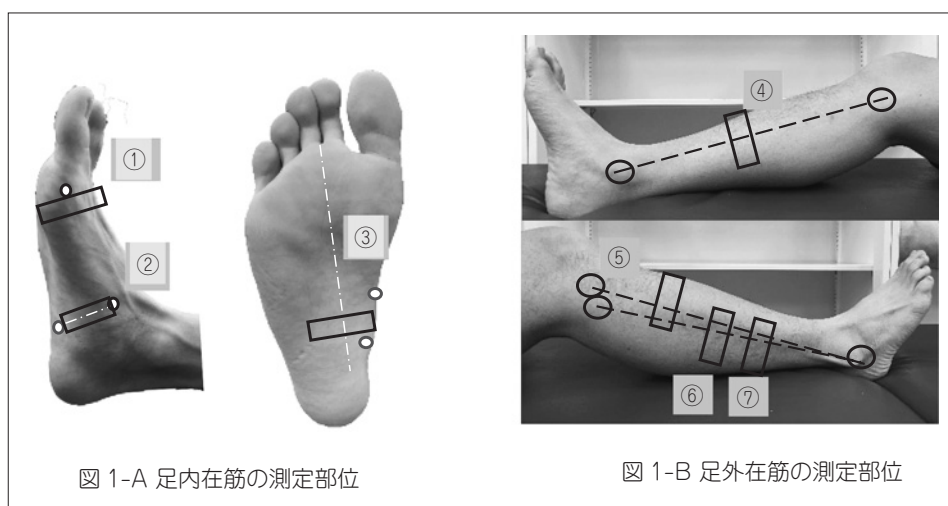


図 1

1-A 足内在筋の測定部位

- ①短母趾屈筋：第一中足骨頭近位部
- ②母趾外転筋：足部内側面，舟状骨結節—踵骨内側結節
- ③短趾屈筋：足底面，舟状骨結節—踵骨内側結節

1-B 足外在筋の測定部位

- ④長趾屈筋：脛骨高原内側—内果下端の近位 50%
- ⑤後脛骨筋：膝関節外側裂隙—外果下端の近位 30%
- ⑥腓骨筋：腓骨頭—外果下端の近位 50%
- ⑦長母趾屈筋：腓骨頭—外果下端の近位 60%

lent (0.90-0.99), Good (0.80-0.89), Fair (0.70-0.79), Poor (≤ 0.69) と定義した。また、絶対信頼性として、3 回測定 of 最大値から最小値の差を代表値として、標本の標準誤差を求めた。その後、最小可検変化量の 95% の信頼区間である MDC_{95} を用いて測定誤差を求めた ($MDC_{95} = \text{標準誤差} \times 1.96 \times \sqrt{2}$)¹⁶⁾。年齢、身長、体重、BMI、足部形態、足部内在筋および外在筋 CSA について Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行った。回内足群と正常足群の群間の比較に関しては、正規性が認められた項目は対応のない t 検定、正規性が認められなかった項目に関しては、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて比較を行った。また Cohen's d を用いて効果量を算出し、0.2-0.5 を小、0.5-0.8 を中、0.8 以上を大の効果があるとして分析を行った。すべての統計学的検討は、統計ソフトウェア SPSS Statistics (Ver.26, IBM) を用いて実施し、有意水準は 5% とした。

3. 結果

FPI 値より、25 名 50 足のうち 2 足は回外足 (-2.5 ± 0.5 点) であったため除外し、最終的に検討対象は回内足群 16 足 (男 5 名 8 足、女 6 名 8

足、 $FPI 6.9 \pm 1.0$ 点)、正常足群 32 足 (男 11 名 20 足、女 8 名 12 足、 $FPI 2.6 \pm 1.7$ 点) となった。回内足群および正常足群の測定結果に関しては、表 1 に示す通りである。回内足群と正常足群との間に年齢 ($p=0.52$)、身長 ($p=0.38$)、体重 ($p=0.73$)、BMI ($p=0.96$) の差は認められなかった。足部形態に関しては、FPI 値のみ回内足群が有意に大きかった ($p < 0.001$) (表 1)。各筋 CSA は、回内足群において FDL ($p=0.007$, $d=0.87$) と FHL ($p=0.04$, $d=0.64$) が正常足群より有意に大きかった。その他の項目には有意差は認められなかった (表 1)。超音波画像診断装置の測定結果の信頼性に関しては、全ての項目の級内相関係数が 0.9 以上となり、再現性は excellent であった (表 2)。

4. 考察

足部形態評価において、FPI の結果は正常足群と比較して回内足群で有意に大きい結果となったが、アーチ高率と Navicular drop においては両群間で有意差は認められなかった。FPI は足部内側縦アーチの項目以外の後足部や前足部などの評価項目が含まれる、包含的に足部形態を評価する評価指標である¹⁾。一方、アーチ高率¹⁷⁾ や Navicular

表 1 回内足群と正常足群の比較

	回内足群 (n = 16)	正常足群 (n = 32)	回内足群と正常足群の比較		
	Mean (SD)	Mean (SD)	MD (95%CI)	Cohen d	P 値
基本情報					
年齢 (歳)	24.1 (1.0)	24.4 (1.6)	0.28 (-0.58, 1.13)	0.20	0.52
身長 (cm)	165.4 (9.3)	167.7 (6.0)	0.24 (-2.18, 6.93)	0.32	0.38
体重 (kg)	61.5 (14.9)	62.9 (12.0)	1.39 (-6.72, 9.50)	0.11	0.73
BMI (kg/m ²)	22.5 (3.3)	22.2 (3.0)	-0.04 (-1.94, 1.85)	0.02	0.96
足部形態					
足長 (cm)	24.2 (1.6)	24.6 (1.2)	0.41 (-0.36, 1.30)	0.35	0.26
アーチ高率 (%)	14.6 (2.9)	14.9 (3.2)	0.70 (-0.92, 2.33)	0.27	0.39
Navicular drop (mm)	6.0 (2.4)	5.3 (2.5)	-0.57 (-2.10, 0.98)	0.23	0.46
Foot posture Index (点)	6.9 (1.0)	2.6 (1.7)	-4.34 (-5.13, -3.56)	2.89	*0.001
筋横断面積					
短母趾屈筋 CSA (cm ²)	0.95 (0.2)	0.98 (0.1)	0.03 (-0.06, 0.12)	0.21	0.51
母趾外転筋 CSA (cm ²)	2.06 (0.4)	2.08 (0.3)	0.02 (-0.19, 0.22)	0.03	0.88
短趾屈筋 CSA (cm ²)	1.94 (0.3)	1.94 (0.4)	-0.01 (-0.22, 0.21)	0.00	0.99
長趾屈筋 CSA (cm ²)	2.02 (0.4)	1.72 (0.3)	-0.30 (-0.51, -0.09)	0.87	*0.007
長母趾屈筋 CSA (cm ²)	1.45 (0.3)	1.28 (0.3)	-0.18 (-0.35, -0.01)	0.64	*0.04
腓骨筋 CSA (cm ²)	2.62 (0.5)	2.86 (0.5)	0.24 (-0.07, 0.55)	0.48	0.13
後脛骨筋 CSA (cm ²)	1.36 (0.2)	1.47 (0.6)	0.11 (-0.13, 0.35)	0.22	0.49

*P<0.05

表 2 筋横断面積の測定結果の信頼性

測定項目	級内相関係数	標準誤差	MDC ₉₅
短母趾屈筋	0.90	0.02	0.04
母趾外転筋	0.96	0.01	0.05
短趾屈筋	0.97	0.02	0.04
長趾屈筋	0.97	0.02	0.04
長母趾屈筋	0.96	0.01	0.03
腓骨筋	0.97	0.02	0.06
後脛骨筋	0.94	0.02	0.07

drop¹⁸⁾ は中足部に位置する足部内側縦アーチの高さのみに着目した評価指標である。つまり本研究における正常足群と回内足群の違いは、中足部のアーチ形態の違いではなく、前足部の外転や後足部の踵骨外反などの形態的な差異が要因ではないかと考える。本研究の結果より、回内足と正常足の足部形態は中足部に比べ、前足部の外転や後足部の踵骨外反などにおいて、より形態的な違いが大きく認められる可能性が示唆された。

本研究で測定した CSA は形態的な評価でありながら、筋力などとの関連性が高く¹¹⁾、間接的に機能的なパラメーターを評価する指標のひとつである。各筋 CSA は正常足群と比較して回内足群において、FDL および FHL が有意に大きかった。そ

他の足部 CSA において正常足群と回内足群との間に差は認められなかった。各筋 CSA は正常足群と比較して回内足群において、FDL および FHL が有意に大きかった。その他の足部 CSA において正常足群と回内足群との間に差は認められなかった。原因としては、正常足群と回内足群との間にアーチ形態の差が認められなかったことから、後足部、前足部の形態的な違いが影響している可能性が示唆される。FDL, FHL は下腿から後足部・中足部を通過し、前足部の足趾末梢部に付着する筋肉であり¹⁹⁾ 足趾屈曲に働く。すなわち踵骨外反および前足部外転のアライメントを呈する回内足では、FDL や FHL が伸張された肢位となることが推測される。筋の長さ—張力曲線より伸張位にある筋は強い張力を発揮するため²⁰⁾、回内足の足部支持機能として FDL や FHL が優位に機能していた可能性が考えられる。Salih ら⁸⁾ は正常足群と比較し回内足群の CSA は FHB が 8.9%, ABH が 12.8%, PER が 14.7% と有意に小さく、FDL が 28.3%, FHL が 24% 有意に大きかったと報告している。一方、本研究では FHB, ABH, PER の CSA に群間差は認められず、正常足群と比較し回内足群の CSA は、FDL が 17.4%, FHL が 13.3% 有意に大きかった。Salih らと結果が異

なった要因として、FPIの結果の違いが考えられる。Salihらの報告でのFPIは正常足群1.3点、回内足群8.1点であったのに対し、本研究のFPIは正常足群2.6点、回内足群6.9点であった。つまりSalihらの結果の方が、より回内足の程度が強い、かつ正常足との形態的な差が大きい足部を対象としていたことが、結果が異なった原因であると考えられる。

TPのCSAに関しては正常足群と回内足群の間に差が認められなかった。TPは中足部に位置する舟状骨や楔状骨に付着する筋肉である¹⁹⁾。解剖学的な付着部や走行を考えると、足部内側縦アーチの低下が強まる程、TPが伸張位となり筋張力の発揮に有利なアライメント²⁰⁾になることが推測される。しかし本研究における正常足群と回内足群の足部内側縦アーチの違いはみられず、中足部のアライメントによる影響が少なかったことからTPのCSAに差がみられなかったと考えられる。また、TPはランニングの立脚期などの動的な場面で能動的な足部支持に機能する強力な回外筋で、扁平足で活動が増加することが報告されている¹⁰⁾。本研究では競技スポーツを実施していない同大学に所属する大学院生を対象としており、活動量の違いが少ない可能性が高い。つまりTPが機能するランニング動作などを習慣的に実施していないことがTPのCSAの結果に影響を与えたのではないかと考える。したがってTPのCSAには中足部のアライメントや対象者の活動量が影響する可能性が示唆された。

本研究の結果から臨床的な意義を考えると、回内足の筋形態の特徴を踏まえた上でトレーニング種目・負荷を選択し、FDL、FHLの代償的な過活動に留意していく必要があると考える。

本研究の限界点としては、5点あると考える。1点目に本研究は横断研究であったためFDL、FHLのCSAが大きかったために回内足に至ったのか、回内足の影響でFDL、FHLが大きかったのか完全には明らかにできない点である。2点目は実際に筋活動の測定を実施していないため、CSAと筋活動の関連は不明な点である。3点目は群分けの際、基本情報に差はなかったが各群における男女比には差があったため本研究の結果に影響を与えた可能性がある点である。4点目に、一般的に内側縦アーチや回内足の定義が様々であり、定義の違いが本研究の結果に影響を与えた可能性があ

る点である。5点目は、被験者のスポーツ歴や研究期間中の活動量を考慮して検討していない点である。今後は限界点を踏まえた上で、他の対象群との比較や形態と機能との関連性なども調査していきたい。

5. 結語

回内足群は正常足群と比較してFDL、FHLのCSAが有意に大きく、能動的足部支持機能としてはFDL、FHLが優位に機能することが示唆された。回内足に対して足部筋のトレーニングなどを行う際には、足部形態の特徴に留意する必要がある。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Redmond AC, Crane YZ, Menz HB, et al. Normative values for the foot posture index. *J. Foot Ankle Res.* 2008; 1: 1-9.
- 2) Nigg B, Behling AV, Hamill J, et al. Foot pronation. *Footwear Science.* 2019; 11: 131-134.
- 3) Neal BS, Griffiths IB, Dowling GJ, et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. *J foot and ankle Res.* 2014; 55: 1-13.
- 4) Moen MH, Bongers T, Bakker EW, et al. Risk factors and prognostic indicators for medial tibial stress syndrome. *Scand J Med Sci Sports.* 2012; 22: 34-39.
- 5) Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Manual therapy.* 2013; 18: 425-430.
- 6) Thordarson DB, Schmotzer H, Chon J, et al. Dynamic support of the human longitudinal arch. A biomechanical evaluation. *Clin. Orthop. Relat.* 1995; 316: 165-172.
- 7) McKeon PO, Hertel J, Bramble D, et al. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Bj sports med.* 2015; 49: 290.
- 8) Angin S, Crofts G, Mickle K, et al. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes

- planus. *Gait posture*. 2014; 40: 48-52.
- 9) Kurihara T, Rowley M, Reischl S, et al. Effect of a task's postural demands on medial longitudinal arch deformation and activation of foot intrinsic and extrinsic musculatur. *Acta Bioeng Biomech*. 2020; 22: 23-29.
 - 10) Semple R, Murley GS, Woodburn J, et al. Tibialis posterior in health and disease: a review of structure and function with specific reference to electromyographic studies. *J Foot and Ankle Res*. 2009; 2: 1-8.
 - 11) Latey PJ, Burns J, Nightingale EJ, et al. Reliability and correlates of cross-sectional area of abductor hallucis and the medial belly of the flexor hallucis brevis measured by ultrasound. *J foot and ankle Res*. 2018; 11: 1-11.
 - 12) Protopapas K, Stephen D, Perry SD. The effect of a 12-week custom foot orthotic intervention on muscle size and muscle activity of the intrinsic foot muscle of young adults during gait termination. *Clin Biomech*. 2020; 105063.
 - 13) Crofts G, Angin S, Mickle KJ, et al. Reliability of ultrasound for measurement of selected foot structures. *Gait & posture*. 2014; 39: 35-39.
 - 14) Saeki J, Ikezoe T, Nakamura M, et al. The reliability of shear elastic modulus measurement of the ankle plantar flexion muscles is higher at dorsiflexed position of the ankle. *J foot and ankle Res*. 2017; 10: 1-6.
 - 15) Johnson AW, Bruening DA, Violette VA, et al. Ultrasound Imaging Is Reliable for Tibialis Posterior Size Measurements. *J Ultrasound in Med*. 2020; 39: 2305-2312.
 - 16) 下井俊典. 評価の絶対信頼性. *理学療法科学*. 2011; 26: 451-461.
 - 17) 大久保衛. メディカルチェックとしてのアーチ高率の意義. *臨床スポーツ医学*. 1990; 7: 287-292.
 - 18) Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthop. Clin. North Am*. 1982; 13: 541-558.
 - 19) Schünke M, Schulte E, Schumacher U, 他. In : 坂井建雄, 松村讓兒(監修). *プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論/運動器系*. 第3版. 東京: 医学書院; 450-461, 2017.
 - 20) 中村隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩. *基礎運動学*. 第6版. 東京: 医歯薬出版; 76-353, 2008.
-
- (受付: 2021年6月7日, 受理: 2021年11月12日)

Characteristics of the foot morphology of pronated foot in healthy adults ～Comparison of the muscle cross-sectional area of normal and pronated feet～

Hikawa, K.^{*1}, Tsutsui, T.^{*1}, Hara, Y.^{*1}, Torii, S.^{*2}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: pronated foot, muscle cross-sectional area, intrinsic/extrinsic foot muscles

[Abstract] To clarify the difference in the cross-sectional area (CSA) of the intrinsic and extrinsic foot muscles of the pronated foot compared with the normal foot of a healthy adult. The subjects were 25 healthy adults with 50 legs. For CSA, we measured the foot muscles such as the flexor digitorum longus (FDL) and flexor hallucis longus (FHL) using an ultrasound imaging system. The foot morphology was then evaluated using the foot posture index (FPI), and the foot morphology was divided into a pronated foot group and a normal foot group, and each muscle CSA was compared between the groups. The FDL ($p=0.007$) and FHL in the pronated foot group of 16 feet were compared with those in 32 feet in the normal foot group. The CSA of FDL and FHL was significantly larger ($p=0.04$) in the pronated foot group than the normal foot group, suggesting that FDL and FHL function predominate as active foot support functions.