

足趾屈筋群の付着部と その相互関係

Attachments of the toe flexor muscles and the anatomical interrelationships between these muscles

上村杏菜*1, 渡邊耕太*2, 廣田健斗*3, 齋藤悠城*4

キー・ワード : Flexor hallucis longus muscle, flexor digitorum longus muscle, quadratus plantae muscle
長母趾屈筋, 長趾屈筋, 足底方形筋

〔要旨〕 長母趾屈筋（以下 FHL）、長趾屈筋（以下 FDL）、足底方形筋（以下 QP）には筋の付着部に個人差がある。各筋についての解剖研究はあるが、3筋の相互関係は不明である。本研究では足底における FHL 腱と FDL 腱の解剖学的バリエーションごとの QP の付着部を調査した。日本人解剖標本 38 体 50 足で FHL 腱と FDL 腱の関係、FHL が分枝する足趾、QP の付着部について肉眼解剖をし、QP の付着部データを FHL 分枝別に解析した。FHL 腱と FDL 腱の関係では、FHL 腱から FDL 腱へ分枝するものが 96% であった。FHL の分枝については、第 2, 3 趾へ分枝するものが 50% と最多であった。QP は 96% で FDL 腱と FHL 腱に付着し、FHL の分枝にも高率に付着していた。また FHL 分枝数の違いにかかわらず、QP が第 5 趾の FDL 腱に付着する割合は低率であった。本研究結果から、QP は FDL 腱だけでなく FHL 分枝にも付着し、それらの機能を補助する例が多いことが示された。また、FHL の分枝数が足趾屈曲機能に大きな影響を与える可能性がある。

緒 言

足趾屈筋は足部の安定化や足アーチ機能に重要である。さらにその働きは、バランス能力のほかジャンプパフォーマンスなどのスポーツ動作と関連のあることが報告されている¹⁻³⁾。また、足趾屈曲機能とスポーツ障害との関連も指摘されており⁴⁻⁶⁾、足趾屈曲機能の理解とその向上は、スポーツパフォーマンス改善やスポーツ障害の予防と治療において重要である。

足趾の屈曲に関わる筋は、母趾については主に長母趾屈筋（flexor hallucis longus muscle：以下 FHL）、短母趾屈筋が挙げられる。また、第 2～5 趾については長趾屈筋（flexor digitorum longus

muscle：以下 FDL）、短趾屈筋（flexor digitorum brevis muscle：以下 FDB）、足底方形筋（quadratus plantae muscle：以下 QP）、小趾外転筋、短小趾屈筋がある。これらの筋の中でも FHL、FDL、QP には筋の付着部に個人差があることが報告されている⁷⁻¹¹⁾。

Plaass ら¹⁰⁾ は FHL 腱と FDL 腱の関係および FHL の分枝についてタイプ別に分類した。FHL 腱と FDL 腱の関係については、TypeI が FHL から FDL に分枝するもの、TypeII が FDL から FHL に分枝するもの、TypeIII が FHL と FDL が互いに分枝し合流するもの、TypeIV が互いに単独走行するものの 4 つに分類した。そしてその中では、FHL から FDL に分枝する TypeI が最多であったと報告している。さらに FHL が分枝を有するタイプでは、FHL の分枝が付着する趾によって分類をした。第 2 趾のみ、第 2, 3 趾、第 2～4 趾、第 2～5 趾の 4 つの分類であり、FHL の分枝が付着する趾は第 2, 3 趾が最多であった。

*1 横浜市スポーツ医科学センター

*2 札幌医科大学保健医療学部理学療法第二講座

*3 札幌医科大学大学院保健医療学研究科

*4 札幌医科大学大学院医学研究科

QPの付着部に関しては、Hurら¹¹⁾は50足標本のうち主な付着部がFDL腱であり、QPの腱成分がFHL腱に付着しているものが96%、FDL腱のみに付着しているものが4%であったと報告している。一方で、江玉ら¹²⁾は20足標本の全例でQPがFDL腱に付着、深層でFHL腱に付着していると報告しており、報告者によってばらつきがみられる。

今までに、FHL、FDL、QPそれぞれの筋の付着部の個人差について研究はなされているが、3筋の相互関係については不明である。これら3筋は足趾屈曲機能に重要な役割を担っているため、この屈曲機能の理解には筋の付着部の個人差を含めた相互関係の知識が必須である。

本研究では、日本人の足標本を用いてFHL、FDL、QPの肉眼解剖を行い、FHLとFDLの解剖学的バリエーション別にQPの付着部を調査し分

類することを目的とした。

■ 対象及び方法

対象：札幌医科大学に保存されているホルマリン固定とThiel法固定による解剖体標本38体50足を対象とした。男性9体11足、女性29体39足、平均年齢 86.8 ± 8.4 歳(70~103歳)であった。

実験方法：標本の足底の皮膚、皮下組織、足底腱膜、短趾屈筋を順に丁寧に剥離し、FHL腱、FDL腱、QPを露出した。肉眼解剖にてFHL腱、FDL腱、QPの付着部について調査した。分枝付着部の決定法は、4人(US, KW, KH, YS)の検者で意見が一致した場合とした。

調査項目：Plaassらの分類¹⁰⁾に基づいたFHL腱とFDL腱の関係、FHLが分枝する足趾、QPの付着部を調査した。QPの付着部のデータを、FHL腱とFDL腱の関係とFHLの分枝数別に解析した。

本研究は札幌医科大学一般研究倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号28-2-23)。

■ 結 果

FHL腱とFDL腱の関係では、FHLからFDLに分枝するTypeIが48足(96%)と大半を占めており、FDLからFHLに分枝するTypeIIIが1足(2%)、単独走行するTypeIVは1足(2%)のみであった(図1A、図2)。

TypeI48足におけるFHL分枝数別の割合は、第2,3趾へ分枝するものが24足(50%)と最多であった(図1B)。次いで、第2~4趾まで分枝しているものが14足(29%)、第2趾のみに分枝しているもの(図2)が10足(21%)であった。第2~

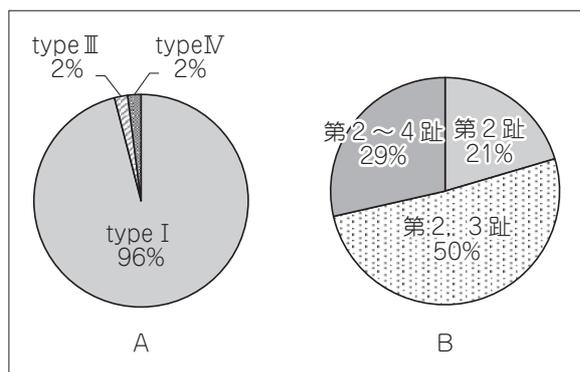


図1 FHL腱とFDL腱の肉眼解剖結果
A. FHL腱とFDL腱の関係のType別割合(Plaassらの分類¹⁰⁾による)
B. FHLが分枝する足趾別割合(TypeI48足について)

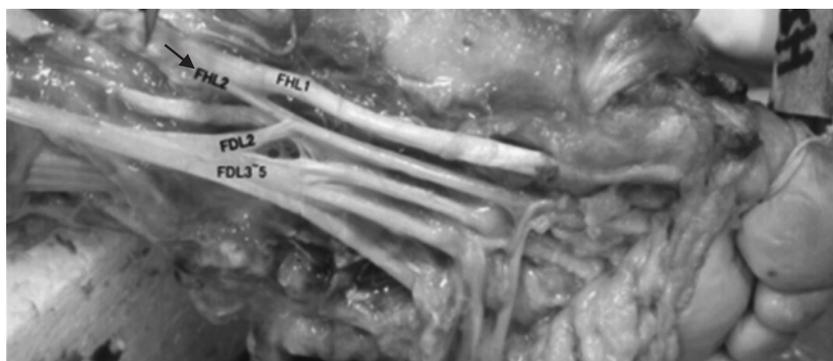


図2 FHLの分枝の例(左足底)
この標本ではFHL腱とFDL腱の関係はFHLからFDLに分枝するTypeIであり、FHLは第2趾に分枝している(矢印)。

5趾全てに付着している例は1足も観察されなかった。

QPには内側頭と外側頭のどちらかが欠損する破格に関して、本研究では50足中QP内側頭欠損が1足、QP外側頭欠損が12足観察された。QPの付着部は48足(96%)でFDL腱とFHL腱の両方に付着していた(図3)。QPのFDL各腱への付着割合は、第5趾のFDL腱に付着する割合のみ18足(36%)と低率であった(図4)。

QPの付着部をFHLの分枝別に分類した(TypeI48足について)。まず、FHLが第2趾のみに分枝している場合、QPは10足中8足(80%)がその分枝に付着していた(表1)。FHLが第2,3

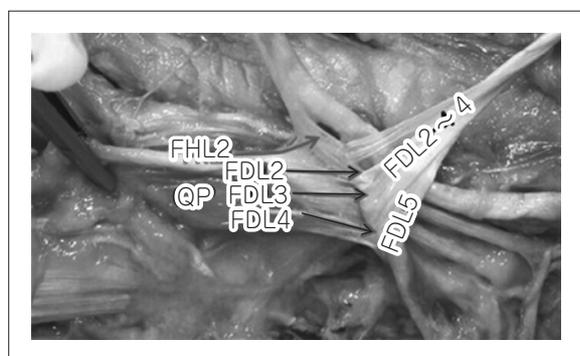


図3 QPの付着部例(左足底, QP外側頭欠損例)
FHLは第2趾に分枝し, QPは第2趾のFHL分枝と第2, 3, 4趾のFDL腱に付着していた。

趾に分枝している場合は, QPはFHLの第3趾への分枝に24足中22足(92%)と高率に付着していた(表1)。FHLが第2~4趾に分枝している場合では, QPはFHLの第4趾への分枝に全足で付着していた(表1)。QPはFHLの分枝へ高率に付着していることが判明した。また, FDL各腱への付着割合はFHLの分枝パターンによって大きな違いはなかった(表1)。

■ 考 察

今回行った研究のうち, FHL腱とFDL腱の関係, FHLの分枝に関しては, Edamaら⁹⁾の日本人解剖体を対象とした先行研究においてもほぼ全足でFHLがFDLに分枝しており, 先行研究と類似

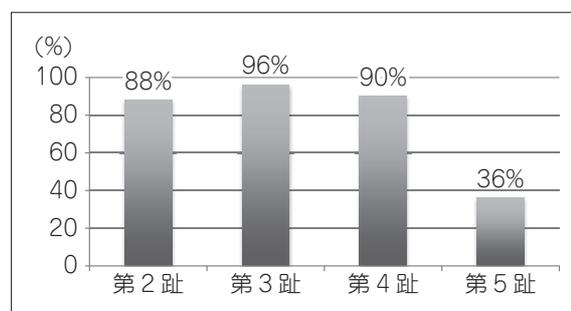


図4 QPのFDL各腱への付着割合
QPは第2, 3, 4趾のFDL腱に高率に付着していた。

表1 FHLの分枝パターンごとのQPの付着部

FHL分枝パターン	QPの付着部	割合(足数/全体)
第2趾	FDL腱	第2趾 90% (9/10)
		第3趾 100% (10/10)
		第4趾 80% (8/10)
		第5趾 30% (3/10)
	FHL腱	第2趾 80% (8/10)
第2, 3趾	FDL腱	第2趾 92% (22/24)
		第3趾 96% (23/24)
		第4趾 88% (21/24)
		第5趾 29% (7/24)
	FHL腱	第2趾 63% (15/24)
第3趾 92% (22/24)		
第2~4趾	FDL腱	第2趾 79% (11/14)
		第3趾 93% (13/14)
		第4趾 100% (14/14)
		第5趾 57% (8/14)
	FHL腱	第2趾 57% (8/14)
		第3趾 93% (13/14)
		第4趾 100% (14/14)

表2 FHL 腱と FDL 腱に関する過去の解剖学的研究
 A. FHL 腱と FDL 腱の関係 (Plaass らの分類¹⁰⁾ による)
 B. FHL が分枝する足趾

A

研究	足数	集団	Type I (%)	Type II (%)	Type III (%)	Type IV (%)
LaRue, et al. ⁷⁾	24	Caucasian	42	0	41	17
Plaass, et al. ¹⁰⁾	60	Caucasian	67	3	30	0
Mao, et al. ⁸⁾	64	Asian	97	3	0	0
Edama, et al. ⁹⁾	100	Japanese	97	3	0	0
本研究	50	日本人	96	0	2	2

B

研究	足数	集団	第2趾 (%)	第2,3趾 (%)	第2-4趾 (%)	第2-5趾 (%)
Plaass, et al. ¹⁰⁾	60	Caucasian	35	55	7	3
Mao, et al. ⁸⁾	64	Asian	31	61	8	0
Edama, et al. ⁹⁾	100	Japanese	37	54	9	0
本研究	50	日本人	20	51	29	0

した結果であった。すなわち、FHL 腱と FDL 腱の関係では、FHL から FDL に分枝する TypeI がほとんどであった。一方、LaRue ら⁷⁾や Plaass ら¹⁰⁾の Caucasian の解剖体を対象とした研究では、TypeIII も比較的高い割合であった(表 2A)。また FHL の分枝については、本研究を含めた日本人のデータ^{9,12)}では第2,3趾に分枝するものが最多で、第2趾のみや第2趾から第4趾まで分枝するものもある程度の割合で観察された。しかし、他の集団を対象とした研究では、第2趾から第4趾まで分枝するものの割合は低かったことが報告されている(表 2B)。以上より、これらの解剖には集団差があると考えられた。

QP の付着部に関しては、江玉ら¹²⁾が日本人の足標本について全例で FDL 腱に付着し、深層では FHL 腱とも連結していると報告した。Hur ら¹¹⁾は Korean の 96% が FDL 腱 と FHL 腱 に、4% で FDL 腱に付着していたとの報告をしており、表現の仕方は異なるが、本研究も類似した結果となった。以上から QP は多くの例で FHL 腱に付着していることがわかった。一方で、QP が第5趾の FDL 腱に付着する割合のみ 36% と低率であった。そのため、約 6 割の人では第5趾に QP による屈曲機能がないと推察された。以上から第5趾の内在筋による足趾屈曲機能向上には、短小趾屈筋などの他の筋のトレーニングが必要であると考えられた。

QP の付着部の FHL 分枝パターン別調査からは、FHL の分枝が増えてもその分枝へ QP が高率

に付着することがわかった。従って、FHL 分枝を有する趾は FHL の作用だけでなく QP という内在筋の機能も付加されるため、FHL の分枝数の違いが足趾屈曲機能に大きな影響を与える可能性がある。また、QP をトレーニングすることで、QP が付着する FDL と FHL の分枝を介して足趾屈曲機能を高めることが可能であると考えられた。しかし、QP 単独の足趾屈曲機能や QP に特化したトレーニング方法についての情報はほとんどないため、これらは今後の研究課題となるだろう。

FHL 分枝パターンのうち FHL が第2趾のみに分枝する例では、そのうち 20% で第4趾の FDL 腱に QP が付着していなかった。また、FHL が第2,3趾に分枝する例でも、12% で第4趾の FDL 腱に QP が付着していなかった(表 1)。これらの結果を解釈すると、第4趾に FHL の分枝がなく、かつ第4趾の FDL 腱に QP が付着しない例が存在していることが分かる。その割合は約 10% であるといえる。このような特徴を持つ人では、第4趾の屈曲に FHL や QP の作用が加わらないため、その屈曲機能が低い可能性があると考えられた。FHL 分枝パターンを生体で判別する方法として、廣田らは FHL 分枝テストを開発した¹²⁾。このテストによる FHL 分枝パターンと本研究結果を合わせて考察することで、足趾屈曲機能を個々人が有する解剖学的特徴から評価し、それに基づいた機能改善プログラムを提供することが可能になるかもしれない。

結 語

本研究から、QPはFHLの分枝数の違いにかかわらずFDL腱とFHLの分枝に高率に付着していることが分かった。しかし、QPの第5趾FDL腱に付着する割合は低かった。FHLの分枝数には個人差があるため足趾屈曲機能にこの分枝数が影響するが、特にFHL分枝が第2趾のみの場合第4趾の屈曲機能が低くなりうる解剖学的特徴を有する例のあることも分かった。QPはFDL腱とFHLの分枝を介して足趾の屈曲機能を担っており、足趾屈曲に重要な役割がある。今後、QPの生体における役割や筋付着部の判別方法について検討を進めていく必要があるだろう。本研究で得られた知見は、足趾屈曲機能の解剖を考慮した新たな評価法や機能改善プログラム開発につながると考えられた。

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) Mickle KJ, Munro BJ, Lord SR, et al. Toe weakness and deformity increase the risk of falls in older people. *Clin Biomech.* 2009; 24: 787-791.
- 2) Goldmann JP, Sanno M, Willwacher S, et al. The potential of toe flexor muscles to enhance performance. *J Sports Sci.* 2012; 31: 1-10.
- 3) Yamauchi J, Koyama K. Influence of ankle braces on the maximum strength of plantar and toe flexor muscles. *Int J Sports Med.* 2015; 36: 592-595.
- 4) Smith PJ, Gerrie BJ, Varner KE, et al. Incidence and prevalence of musculoskeletal injury in ballet: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2015; 4: 2325967115592621.
- 5) Feger MA, Snell S, Handsfield GG, et al. Diminished foot and ankle muscle volumes in young adults with chronic ankle instability. *Orthop J Sports Med.* 2016; 4: 2325967116653719.
- 6) Bobbert MF, van Ingen Schenau GJ. Isokinetic plantar flexion: experimental results and model calculations. *J Biomech.* 1990; 23: 105-119.
- 7) LaRue BG, Anctil EP. Distal anatomical relationship of the flexor hallucis longus and flexor digitorum longus tendons. *Foot Ankle Int.* 2006; 27: 528-532.
- 8) Mao H, Shi Z, Wapner KL, et al. Anatomical study for flexor hallucis longus tendon transfer in treatment of Achilles tendinopathy. *Surg Radiol Anat.* 2015; 37: 639-647.
- 9) Edama M, Kubo M, Onishi H, et al. Anatomical study of toe flexion by flexor hallucis longus. *Ann Anat.* 2016; 204: 80-85.
- 10) Plaass C, Abuharbid G, Waizy H, et al. Anatomical variations of the flexor hallucis longus and flexor digitorum longus in the chiasma plantare. *Foot Ankle Int.* 2013; 34: 1580-1587.
- 11) Hur MS, Kim JH, Woo JS, et al. An anatomic study of the quadratus plantae in relation to tendinous slips of the flexor hallucis longus for gait analysis. *Clin Anat.* 2011; 24: 768-773.
- 12) 廣田健斗, 渡邊耕太, 齋藤悠城, 他. 長母趾屈筋の機能 FHL分枝テストの開発. *整形・災害外科.* 2018; 61: 861-868.

(受付：2019年1月11日, 受理：2020年5月14日)

Attachments of the toe flexor muscles and the anatomical interrelationships between these muscles

Uemura, A. ^{*1}, Watanabe, K. ^{*2}, Hirota, K. ^{*3}, Saito, Y. ^{*4}

^{*1} Yokohama Sports Medical Center

^{*2} Sapporo Medical University School of Health Sciences Second Division of Physical Therapy

^{*3} Sapporo Medical University Graduate School of Health Sciences

^{*4} Sapporo Medical University Graduate School of Medicine

Key words: Flexor hallucis longus muscle, flexor digitorum longus muscle, quadratus plantae muscle

[Abstract] The flexor hallucis longus muscle (FHL), flexor digitorum longus muscle (FDL), and quadratus plantae muscle (QP) all have anatomical variations in the plantar aspect of the foot. The tendons of the FHL and FDL show variable interconnections and the anatomical relationship between these tendons has been classified. The aim was to investigate the attachment of QP according to the classification of the interconnections of the FHL and FDL tendons. Fifty embalmed feet of 38 cadavers were analyzed anatomically. The proximal to distal connection from the FHL to the FDL was found in 96% of the feet. In these feet 50% had FHL tendon branches connected to the second and third toes. The QP was inserted into both tendons of the FDL and branches of the FHL in 96%. The QP was inserted into the FDL tendon of the fifth toe in fewer of the feet regardless of the number of FHL tendon branches. This study suggests that the QP assists with the function of both the FDL and the FHL by being inserted into these tendons in most feet, and that the number of the FHL tendon branches also affects the flexion function of the lesser toes.