

下腿三頭筋・腱の発育からみた「はだし保育」の影響

山田一典（新島学園短期大学准教授） 浦田達也（神戸医療福祉大学准教授）

怡土ゆき絵（福岡こども短期大学准教授） 清水洋生（千葉経済大学短期大学部講師）

榎本翔太（明治学院大学助手） 吉塚亮一（NPO 法人 Human Locomotion 研究所理事長）

石川昌紀（大阪体育大学教授）

要約

本研究は幼児期における下腿三頭筋・腱の発育に関して、「はだし保育」の影響について明らかにすることを目的とした。被験者は保育園に在籍する4～6歳児336名で、はだし保育実施園児119名（BF群）、はだし保育非実施園児217名（S群）とした。測定には超音波画像診断装置を用いて、腓腹筋筋束長、腓腹筋羽状角、腓腹筋筋厚、腓腹筋－アキレス腱長と、ヒラメ筋筋束長、ヒラメ筋羽状角、ヒラメ筋筋厚、ヒラメ筋－アキレス腱長を求めた。また下腿長から%腓腹筋－アキレス腱長および%ヒラメ筋－アキレス腱長を算出した。その結果、BF群はS群と比較して、アキレス腱長に関しては腓腹筋、ヒラメ筋共にBF群で有意に高値を示し、筋部においては腓腹筋部で筋束長、ヒラメ筋部では羽状角と筋厚にそれぞれ有意に高値を示した。したがって、本研究の結果として確認された下腿三頭筋・腱の発育は、BF群の足部の形態的特性と、効率の良い運動を獲得しようとした機能的特性によって引き起こされたものと考えられた。つまり、はだし保育を実施することは、形態学的観点から見て、幼児の下肢における骨格筋と腱の発育を促すものと考えられる。

キーワード：骨格筋メカニクス、可塑性、アキレス腱、腓腹筋、ヒラメ筋

緒言

幼児教育の現場において1980年代以降、「はだし保育」が推奨されてきた^{22) 23)}。子どもが通う保育施設において「はだし」で生活することの効果については、安全意識の高まり¹⁾、風邪の罹患率の低減⁸⁾や体力・運動能力との関係性¹²⁾など、多岐にわたっている。中でも、足底面積や土踏まずの形成などの足の形態の発育面への影響^{3) 20) 21) 22) 23) 24) 29) 30) 31) 32) 34)}は数多く報告されている。

原田¹¹⁾は5歳の幼稚園児を対象に、はだしと靴着用の二つの群で5ヶ月間園生活を実施し、前後の変化を調査した結果、はだし群は足幅の伸びや床面から足甲の高さである足弓高の伸びが大きく、接地足蹠面積においては足の指と足底の接地面でははだし群が増加していたことを報告しており、他の先行研究においても同様の結果を得られている^{3) 20) 31)}。つまり、はだし保育を実施することは足の幅、足甲および足底の接地面積を大きくし、足部の形態的变化を引き起こすものと考えられる。

ヒト身体運動における足部の大きな機能的役割を果たすものとして、足底筋膜が挙げられる^{5) 14)}。足底筋

膜は踵骨隆起から中足趾節関節の遠位側まで広がり、立位、着地、および歩行立脚期の間にアーチを支持する。特に歩行立脚期の間に足底筋膜は伸長され、足尖離地開始時に約10%伸長する。この伸長はアキレス腱張力と足の平坦化に起因し、この間、足底筋膜はアキレス腱と同様にエネルギー保存を助ける弾性体として振る舞うことが明らかになっている。したがって、はだし保育によって形態的变化を引き起こされた足部は、より大きな足底筋膜の働きを有し、それはアキレス腱を含む下腿三頭筋・腱の形態的特性にも変化をおよぼすものと考えられる。しかしながら幼児期における「はだし」での生活習慣が下腿三頭筋・腱の形態に変化を及ぼすのか否かについて調査された研究は見当たらず、これらを明らかにすることはヒト生体における筋や腱の可塑性を明らかにするうえで重要な資料になり得ると考えられる。また、下腿三頭筋・腱はヒト身体運動において重要な役割を果たす運動器²⁸⁾であることから、幼児期の運動の在り方について考察する上での一資料になり得ると期待できる。

そこで本研究は、下腿三頭筋・腱の発育に関してははだし群と靴群を比較することで「はだし保育」の影響について明らかにすることを目的とした。

方法

(1) 対象者

対象者は保育園に在籍する4～6歳児336名で、うち、はだし保育実施園児119名（4歳児18名；5歳児54名；6歳児47名。Barefoot群。以下、BF群と略す）、はだし保育非実施園児217名（4歳児82名；5歳児75名；6歳児60名。Shoes群。以下、S群と略す）とした。すべての被験者は1年以上対象とした園に在籍し、毎日8時間以上在園する園児とした。対象となったすべての園は自由保育を方針として掲げており、園児の自主性を尊重した活動に主眼を置いていた。また、BF群の被験者は同一法人グループの園児で、園での活動時間は屋内外問わずすべて裸足で生活を行っていた。一方S群の被験者はBF群と異なる同一法人グループの園児で、園での活動時間は屋内外問わず靴を着用して生活を行っていた。すべての対象者とその保護者は、研究に参加する前に本研究の目的、測定内容の説明を受け、保護者はそれを理解した上で本研究に参加するための承諾書を提出した。なお、本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に従うとともに、新島学園短期大学研究倫理委員会に申請し、承認を得た（2019-01号）。

(2) アキレス腱長の測定と分析

アキレス腱長の測定は、先行研究^{16) 36) 37) 38)}の方法を参考にした。被験者は安静立位の状態で、超音波画像診断装置（ARIETTA Prologue、日立製作所社製、日本）を用いて測定した。アキレス腱長（mm）は、踵骨隆起とのアキレス腱付着部から腓腹筋遠位部まで（腓腹筋－アキレス腱長）と、踵骨隆起とのアキレス腱付着部からヒラメ筋遠位部まで（ヒラメ筋－アキレス腱長）をそれぞれ画像で確認し皮膚上のポイントから長さを巻尺で測定した（図1）。下腿長（mm）は、大腿骨外側上顆点から外果最突出点までの長さを巻尺

で測定した。腱比率は下腿長に対する腓腹筋－アキレス腱長と、ヒラメ筋－アキレス腱長それぞれの相対値（％）とした（それぞれ、％腓腹筋－アキレス腱長、％ヒラメ筋－アキレス腱長）。なお、これらの測定は左右脚ともに実施した。

(3) 腓腹筋、ヒラメ筋の測定と分析

腓腹筋とヒラメ筋それぞれの筋束長、羽状角および筋厚は、先行研究^{15) 16)}を参考にした。腓腹筋の筋束長は、内側腓腹筋における表層部腱膜と深部腱膜を結ぶ筋束の長さとし、羽状角は内側腓腹筋の筋束と深部腱膜の成す角度とした。分析は撮像した超音波縦断画像より画像分析ソフトウェア（Image J version 1.48, NIH, Bethesda, Maryland, USA）を用いて、それぞれ計測した。筋厚は羽状角を θ とし以下の式で求めた。

$$\text{筋厚} = \text{筋束長} \cdot \sin \theta - 1$$

なお、ヒラメ筋の筋束長、羽状角、筋厚は、内側腓腹筋と同様の手順で分析、算出した（図2）。

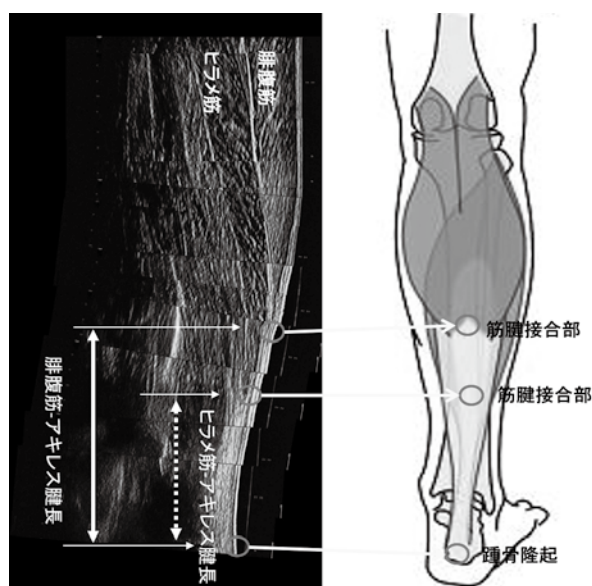
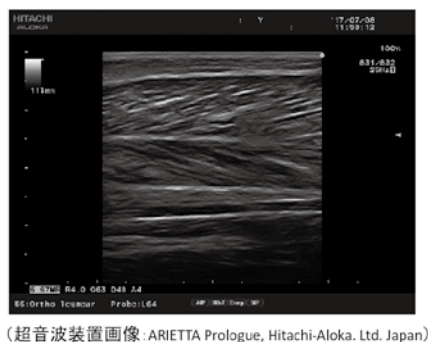
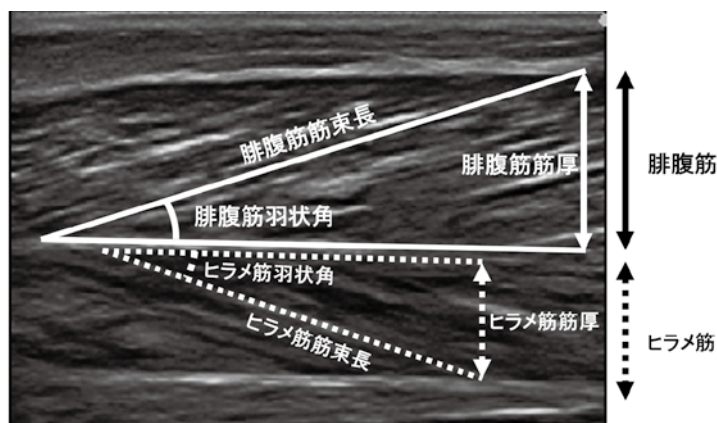


図1：下腿三頭筋における超音波撮影画像とイラスト（山田ら³⁷⁾より引用）



（超音波装置画像：ARIETTA Prologue, Hitachi-Aloka, Ltd. Japan）



（4歳男児、左脚）

図2：超音波装置画像による腓腹筋・ヒラメ筋の筋腹部

(4) 統計処理

本研究によって示された測定値は、平均値±標準偏差として示した。平均値の差の有意性について、BF群とS群を比較する前に、データの分散（バラつき度）を確認するため、F検定を用いて全項目で等分散を確認した。その後、対応のないt-testを用いて、各項目の有意差を検定した。なお、統計的有意水準は危険率1%未満とし、 $p < 0.01$ で表示した。

結果

本研究で得られた全ての測定値は表1に示す。月齢、身長、体重、および下腿長は両群の間に有意な差を認めなかった。アキレス腱部のパラメーター（腓腹筋－アキレス腱長、ヒラメ筋－アキレス腱長、%腓腹筋－アキレス腱長、および%ヒラメ筋－アキレス腱長）は全ての項目で有意な差を認め、BF群がS群と比較して大きな値を示した。筋部のパラメーターは腓腹筋筋束長、ヒラメ筋羽状角とヒラメ筋筋厚で有意な差を認め、BF群がS群と比較して大きな値を示した。なお、下腿長、腱部のパラメーター、および筋部のパラメーターは両群とも左右肢に有意な差を認めなかったため、各被験者の平均値を採用した。また、各測定項目における男児と女児の差は示されなかった。

考察

本研究は、幼児期における下腿三頭筋・腱の発育からみた「はだし保育」の影響について明らかにすることを目的とし、BF群とS群を比較した。その結果、下腿長において有意な差は認められなかったものの、腓腹筋－アキレス腱長、ヒラメ筋－アキレス腱長、%腓腹筋－アキレス腱長、および%ヒラメ筋－アキレス腱長で有意な差が認められ、BF群がS群と比べ長かった。一方、筋部における腓腹筋筋束長、ヒラメ筋羽状角、およびヒラメ筋筋厚で有意な差が認められ、BF群がS群と比べそれぞれ大きな値を示した。以上の結果から、はだし保育を実施することは、形態学的観点から見て、幼児の下肢における骨格筋と腱の発育を促すものと考えられた。

アキレス腱が長いということは短いものに比べて、筋の収縮に伴う伸長（strain や elongation）を少量にし、少しの伸長で足関節の底屈動作を可能にする。これはエネルギー効率の観点や疲労軽減の観点から見ても効果的であることが明らかにされている²⁾²⁸⁾。また、アスリートを対象とした研究において、数々の世界記録を樹立し続けている陸上競技の黒人選手のアキレス腱長は日本人と比較して長いことも明らかにされている¹⁶⁾。つまり、アキレス腱が長いことは、効率の良い

表1：測定項目と記録

	BF群 (n=119)	S群 (n=217)	有意差判定	効果量 (d)
月齢 (ヶ月)	67.4±7.0	65.7±7.1	n.s.	
身長 (cm)	110.3±5.6	108.2±6.3	n.s.	
体重 (kg)	18.6±2.4	18.0±2.7	n.s.	
下腿長 (mm)	210.8±16.5	210.9±17.3	n.s.	
腓腹筋－アキレス腱長 (mm)	117.2±14.0	113.4±15.7	*	0.26
ヒラメ筋－アキレス腱長 (mm)	43.7±18.1	39.1±7.1	*	0.39
%腓腹筋－アキレス腱長 (%)	55.7±4.9	53.9±6.1	*	0.33
%ヒラメ筋－アキレス腱長 (%)	21.4±2.8	18.6±3.2	*	0.3
腓腹筋筋束長 (mm)	39.9±4.5	37.9±3.8	*	0.47
腓腹筋羽状角 (°)	15.4±2.3	15.9±2.8	n.s.	
腓腹筋筋厚 (mm)	10.5±1.6	10.4±1.9	n.s.	
ヒラメ筋筋束長 (mm)	33.1±4.6	33.4±5.4	n.s.	
ヒラメ筋羽状角 (°)	18.0±3.2	16.2±3.1	*	0.56
ヒラメ筋筋厚 (mm)	10.1±1.7	9.2±1.8	*	0.52

全ての値は平均値±標準偏差で示す。

*：有意差判定は $p < 0.01$ で示す。

運動を可能にし、より高いパワー発揮を可能にするものである。本研究においてBF群はS群と比較してアキレス腱に関する全ての項目で有意に長いことを示した。つまりこの結果は、はだしで生活することがアキレス腱の可塑性に影響をおよぼすものと考えられ、高いパワー発揮を必要とする短距離走や跳躍運動のパフォーマンスに有利に働く形態へと変化させるものと考えられる。したがって保育現場ではだし保育を実践することは、健康や運動の観点から考えた場合、高い運動能力を支えるアキレス腱の形態を得ることに長けていると考えられた。

はだし保育の実施による筋部の変化について、原田¹¹⁾は足の趾の屈曲・伸展の増加によって足底筋の発達を促すことを示唆しているが、下腿三頭筋(腓腹筋・ヒラメ筋)の特徴について着目した研究は少ない。本研究は腓腹筋において筋束長、ヒラメ筋において羽状角と筋厚にそれぞれ有意な差を認めた。腓腹筋とヒラメ筋は下腿三頭筋を構成する筋であるが、腓腹筋は膝関節から足関節に跨る二関節筋、ヒラメ筋は足関節のみに跨る単関節筋であり、それぞれ機能が異なる^{4) 6) 9) 10) 13) 18) 33) 35)}。二関節筋の特徴から見た腓腹筋は、大きな生理学的断面積と筋の高い張力発揮能力を持ち、足関節での比較的小さなモーメントアームで力学的有利性が低いにもかかわらず、十分なトルク発揮を可能にする。付着するアキレス腱は、弾性エネルギーの蓄積と放出を可能にし、高い動作効率のために良好な状態をつくっている。そのうえ筋腹が近位に配置されていることは、足部(セグメント)で起きた慣性トルクを減じ、その結果、肢節に加速が生じるときに近位筋群にかかる負担を軽減させる働きを持つ。また、二関節筋に限らず、筋束長の長さは直列するサルコメア数によって決まることから、長い筋束長ほど多くのサルコメアを有し、その結果収縮時の長さ変化が大きく、短縮速度が速いことになる¹⁷⁾。したがって、本研究で見られたBF群における腓腹筋筋束長の特徴は、素早い短縮を可能にし、生理学的断面積を増加させることで足部において起きた慣性トルクを減じ、近位筋群への負担を軽減させるために引き起こされた特性の変化と考えられる。一方、ヒラメ筋は単関節筋であることから、足部と足関節に受ける物理的ストレスを他の関節と緩和することなく受ける^{4) 9) 10) 18) 35)}。本研究におけるBF群はS群と比較して接地面から受ける物理的ストレスを大きく受けたものと考えられ、その結果として羽状角、筋厚を大きくし、筋肥大したものと考えられる。

はだし保育について先行研究では様々な角度から検討されており^{1) 8) 12) 22) 23)}、中でも土踏まずやアーチ高など足部に対する効果について検討を重ねられている^{3) 11) 20) 21) 22) 23) 24) 29) 30) 31) 32) 34)}。幼稚園児をはだし、下駄または靴の着用の3グループに分け5か月間での

効果を比べた調査では¹¹⁾、はだしグループは足幅、足の接地面積、および土踏まずの面積を大きくし、床面からのアーチ高も高めると報告されている。その他、はだしの介入調査や一般幼児との比較研究においてもはだし保育は同様の結果を得られており、足部の変化を促されるものと考えられる。これらのことから、本研究で対象としたBF群においてもS群と比較して足部に差があったものと思われる。歩行時においてアーチ高を構成する足底筋膜は、歩行立脚期の間に伸長され、足尖離地開始時に約10%伸長する。この伸長はアキレス腱張力に起因し、足底筋膜はアキレス腱と同様でエネルギー保存を助ける弾性体として振る舞う^{5) 14)}。したがって、足幅が大きく、アーチ高の高いと思われるBF群は足底筋膜やアキレス腱を大きく伸縮させて歩行や走行などの運動を実施し、その結果としてアキレス腱長に差が表れたものと推察される。また、幼児の歩行パターンを筋電図の変化からみた先行研究^{7) 19) 25) 26) 27)}によると、アキレス腱の付着する腓腹筋は、歩行動態を発達させることで筋放電を減少させている。つまり、幼児は発達にともない筋の収縮を最小限に抑え、アキレス腱の伸縮を用いて歩行している。したがって、本研究の結果として確認されたアキレス腱長の差はBF群の足部の形態的特性と、効率の良い運動を獲得しようとした機能的特性によって引き起こされたものとも推察される。

しかしながら本研究においては、はだし保育による下腿三頭筋・腱の可塑性について明らかにされたが、そのメカニズムについては明らかになっていない。今後、足部の形態的特性と下腿三頭筋・腱の特性に関する関係性について明らかにし、さらなる検討が必要と考えられる。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費(JSPS KAKENHI Grant Number JP 17K13176, 20 K 19530: 研究代表者山田一典)の助成を受けたものである。また、本研究を遂行するにあたり社会福祉法人山ゆり会の皆様に多大なご支援をいただいた。ここに感謝の意を表し御礼申し上げます。

文献

- 1) 青柳直子, 内山有子, 小林正子, 柴若光昭, 衛藤隆(1999) 小学校におけるはだし教育と安全に関する意識・態度、および健康習慣との関連性。民族衛生 65 (4): 173-181.
- 2) Arampatzis A, Peper A, Bierbaum S and Albracht K. (2010) Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain, Journal of Biomechanics 43, 3073-3079.
- 3) 浅見高明, 渋谷侃二, 杉本光仁(1991) 下駄・裸足・靴の幼稚園生活が足趾形状に及ぼす影響について。体育科学 19: 101-110.
- 4) Basmajian, J.V. (1957) Electromyography of two-joint muscles. Anat Rec 129 (3): 371-380.
- 5) Benjamin, M. (2009) The fascia of the limbs and back - a review. J Anat 214 (1): 1-18.

- 6) Bolhuis B.M., C.C. Gielen and G.J. van Ingen Schenau (1998) Activation patterns of monoand bi-articular arm muscles as a function of force and movement direction of the wrist in humans. *J Physiol* 508 (Pt 1) : 313-324.
- 7) Burnett CN and Johnoson EW. (1971) Development of gait in childhood, part 2. *Dev Med Child Neurol* 13, 207-215.
- 8) 長曾我部博, 草野勝彦 (2002) はだしの経験がかぜの罹患に及ぼす影響. 宮崎大学教育文化学部紀要 芸術・保健体育・家政・技術 7 : 35-39.
- 9) de Looze M.P., H.M. Toussaint, J.H. van Dieën and H.C. Kemper (1993) Joint moments and muscle activity in the lower extremities and lower back in lifting and lowering tasks. *J biomech* 26 (9) : 1067-1076.
- 10) Fujiwara M and J.V. Basmajian (1975) Electromyographic study of two-joint muscles. *Am J Appl Phys Med* 54 (5) : 234-242.
- 11) 原田碩三 (1988) : 幼児の足指の力と履物, 教育医学, 34 (1-2) : 52-53.
- 12) 池田孝博, 中藤広美, 青柳領 (2015) 幼児期における「はだし保育」と体力の関連. 福岡県立大学人間社会学部紀要 24 (1) : 73 - 83.
- 13) Jacobs R and G.J. van Ingen Schnau (1992) Control of an external force in leg extensions in humans. *J physiol* 457: 611-626.
- 14) Ker, R.F., M.B. Bennett, S.R. Bibby, R.C. Kester, and R.M. Alexander (1987) The spring in the arch of the human foot. *Nature* 325 (7000) : 147-149.
- 15) Kumagai K, Abe T, W.F. Brechue, Ryushi T, Takano S, Mizuno M (2000) Sprint performance is related in male 100-m sprinters. *J.Appl. Physiol* 88, 811-816.
- 16) Kunimasa Y, Sano K, Oda T, Nicol C, Komi P.V., Locatelli E, Ito A, Ishikawa M. (2014) Specific muscle-tendon architecture in elite Kenyan distance runners. *Scand J Med Sci Sports* 24, 269-274.
- 17) Lieber R.L. (2010) Skeletal muscle structure, function, and plasticity. Wolters Kluwer, USA.
- 18) Markee, J.E., J.T. Lorue, Jr., M. Williams, W.B. Stanton, R.N. Wrenn and L.B. Walker (1955) Two-joint muscles of the thigh. *J Bone Joint Surg Am* 37-A (1) : 125-142.
- 19) McGraw MB. (1940) Neuromuscular development of the human infant as exemplified in the achievement of erect locomotion. *J Pediat* 17, 747-771.
- 20) 永田晟, 高橋健 (1986) 直立姿勢保持とはだし運動教育. 姿勢研究 6 (1) : 13-18.
- 21) 西澤昭 (2012) はだし教育の効果について : 土踏まず形成や他の要因へ及ぼす影響. 生涯スポーツ学研究 8 (2) : 1-9.
- 22) 西澤昭, 山崎純男 (2009) はだし保育と靴着用保育での足の発育差について. 日本体育学会大会予稿集 60 : 192
- 23) 野田雄二 (1983) 心身の健康に役立つ「はだし」の教育 : 日本の子どもの「はだし」実践効果に関するアンケート調査から. 論叢 : 玉川大学文学部紀要 24 : 49-63.
- 24) 野田雄二 (1985) 野田面圧測定装置によるはだし効果の定量的分析 : はだしの学校・関辺小学校児童を中心に. 論叢 : 玉川大学文学部紀要 26 : 35-43.
- 25) Okamoto T and Kumamoto M. (1972) Electromyographic study of the learning process of walking in infants. *Electromyogr* 12, 149-158.
- 26) Okamoto T and Okamoto K. (2001) Electromyographic characteristics at the onset of independent walking in infancy case. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 41, 33-41.
- 27) 岡本勉, 岡本香代子 (2004) ニューエクササイズウォーキング. pp51 - 121, 歩行開発研究所.
- 28) Sano K, Ishikawa M, Nobue A, Danno Y, Akiyama M, Oda T, Ito A, Hoffr' en M, Nicol C, Locatelli E, Komi P.V.. (2013) Muscle-tendon interaction and EMG profiles of world class endurance runners during hopping. *Eur. J. physiol*, 113, 1395-1403.
- 29) 寺田光世, 筏安子, 金井秀子, 蜂須賀弘久 (1985) 長期のはだし教育が児童の発育発達に及ぼす影響について (第1報). 京都教育大学紀要B (自然科学) 67 : 15-23.
- 30) 寺田光世, 筏安子, 村田俊喜, 小田慶喜 (1988) 長期のはだし教育が児童の発育発達に及ぼす影響について (第2報). 京都教育大学紀要 71/72 : 55-61.
- 31) 白井永男 (1995) 学校での素足生活が, 児童の直立時安定保持能力の発達に及ぼす影響. デサントスポーツ科学 16 : 50-61.
- 32) 白井永男, 渡邊功, 竹内宏一 (1996) 1980年代、本邦における姿勢研究の動向について : 立位の接地足底面ならびに重心動揺の発育・発達の研究から. 放送大学研究年報 14 : 1-18.
- 33) van Ingen Schenau, G.J. (1989) From rotation to translation: Constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. *Hum Mov Sci* 8 : 301-337.
- 34) 渡部和彦 (1986) スポーツ・体育科学の進歩と体育科教育 (2) : 「はだし教育」と土踏まず形成. 広島大学教育学部紀要 第2部 35 : 189-195.
- 35) Wells R and N Evans (1987) Functions and recruitment patterns of one-joint and 2-joint muscles under isometric and walking conditions. *Hum Mov Sci* 6 (4) : 1074-1082.
- 36) 山田一典, 曾根裕二, 竹内亮, 金子勝司, 岩岡研典 (2013) 下肢に障がいをもつ者と健常者の比較から筋・腱形態の発育発達を探索. 総合人間科学 1号, 129-135.
- 37) 山田一典, 谷端真帆 (2011) 筋と腱の形態的特性とドロップジャンプパフォーマンスの関係. 総合人間科学研究 第5号, 119-128.
- 38) 山田一典, 浦田達也, 怡土ゆき絵, 吉塚亮一 (2017) 幼児の発育にともなうアキレス腱長の変化. チャイルドサイエンス 14, 20-23.