

令和元年6月21日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01591

研究課題名(和文) 足部機能の発育発達様相を考慮した子どもの運動能力向上プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of exercise program for growth-considered foot function in children

研究代表者

森田 憲輝 (Morita, Noriteru)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：10382540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、小児期から若年成人期までの足部機能の発育発達傾向を調査し、それらから体力・運動能力の発達における足部機能の関連性と足部機能の向上法を明らかにすることを目的とした。足部筋機能の比較対象として体力指標のひとつである握力を調査し、握力は小学生から大学生まで一貫して増加傾向を示した。一方で、足部筋機能の指標である足把持力は小学生から中学生の後半頃までに大学生と同等のレベルまで増加し、それ以降は増加傾向がみられなかった。この知見より、足部筋機能の発達傾向が他の体力指標より早熟な傾向にあることが示された。また、足把持力は体育授業においても向上できることも明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトの直立二足歩行は、足部が身体各所で生じたエネルギーを地面に伝えることがエネルギー伝達の最終局面となっている。身体と地面との接点である足部機能については、これまで運動生理学的検討はなされていなかった。本研究は足部筋機能の小児期から若年成人期までの発達傾向を他の筋機能と比較分析し、足部筋機能は身体他部位と比較して早熟傾向にあることを示した。この知見は、ヒトの歩行や走行などの運動能力の発達に関する理解を深める学術的意義のあるものである。さらに追加分析によって足部筋機能を高める運動様式についての有用な方法について知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The goals of the present study were to clarify the association between foot muscular function and physical fitness components during developmental growth in children and adolescents and to develop an exercise program for enhancing foot muscular function in children. We investigated growth trends of hand grip strength as a systemic muscular strength indicator and toe flexor strength as an index of foot muscular function in children and adolescents. Although hand grip strength linearly increased from 3rd-grade elementary schoolchildren (8 year-olds) to college students, toe flexor strength increased from 3rd graders to 8th graders (14 year-olds) and did not increase from 8th graders to college students. Our data suggest that foot muscular function would increase earlier as compared with other parts of muscular fitness. Furthermore, we suggest that foot muscular strength can be increased in physical education classes.

研究分野：運動生理学

キーワード：発育発達 筋力 足部 子ども 運動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

歩行やランニング中、ヒトの足部は身体の支持を行いつつ、他方で上体や下肢の骨格筋で発揮された力を地面に伝えるという役割を担っている。しかしながら、それらの動作中の身体と外界との接点という重要な部位にもかかわらず、その生理学的機能については十分に理解されていない現状にあった。特に、小児の足部機能については、これまでの調査研究の多くが土踏まず(内側縦アーチ)形成やその評価について議論されているが、足部筋機能については検討がなされていなかった。近年、申請者の研究グループによって子どもの足指屈曲筋力(足指筋力)と運動能力との関係性についての検討を行い、足指筋力が体力・運動能力と正の関連性を有すること、一方で足指筋力と内側縦アーチの形態に関連性がないことを報告していた。

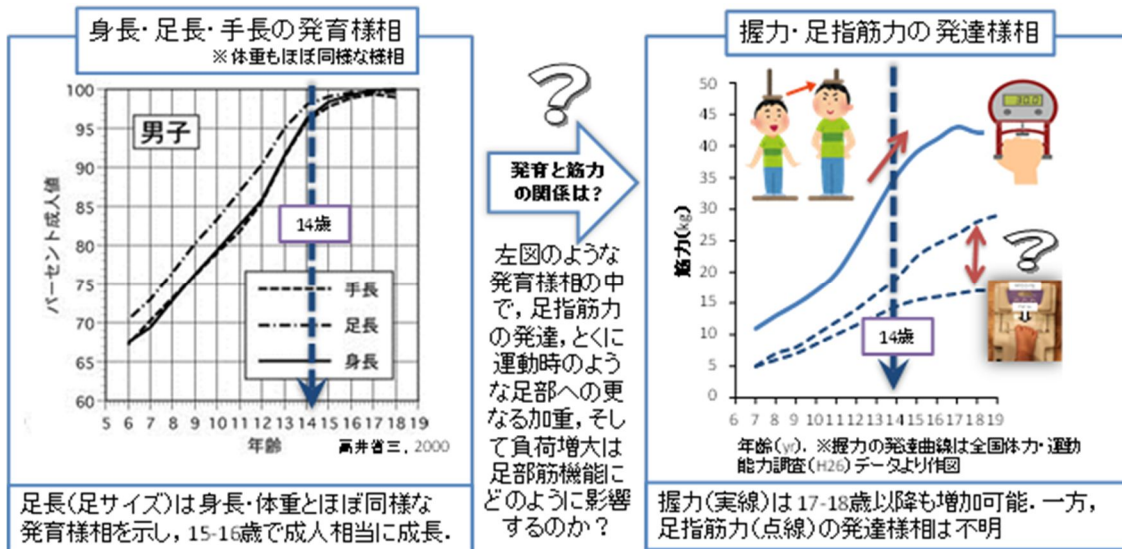


図1. 研究開始当初の課題の模式図

先行研究によって身長や体重は10-11歳以降(思春期)になるとそれ以前よりも大きな増加率を示し15-16歳でほぼ成人相当となることが示されていた(図1左)。他方で筋力(握力)の発達曲線も思春期で増加率が高まるが、体格の成長とは異なる様相を示すことも知られていた。特に、運動習慣を持つものでは体格の成長が止まった後も筋力増加は続く。二足歩行というヒトの特徴でもある動作の基盤となっている足部の筋機能が、全身の筋力や握力と同様な発達様相を示すのか、それとも異なるのかは未解明であり、運動習慣や裸足での日常活動の有無などの要因の影響も理解されていなかった。体力・運動能力の小児期の発達における足部筋機能の意義を明らかにするために、体力・運動能力の発達と足部筋機能の発達の関連、そして運動習慣などの関連要因を理解する必要がある。

また、足部は複数の骨によって特徴的な形態が構成されている。足部の特徴のひとつである土踏まず(内側縦アーチ)は、トラス構造という橋梁の骨組みにも利用される構造であり、これにより下腿部から足部に伝わる垂直加重を、単一の骨で受け止めず、微妙な配置の変化(アーチの変形)とともに多数の骨で受け止める。これによって歩行運動中の支持脚では荷重とともに内側縦アーチの変形(下降)を起し、垂直加重と着地時の衝撃の吸収・分散を行いつつ、上体や下腿部から伝わる力を地面に伝えている。この特徴を踏まえ、内側縦アーチの可変性、つまり我々の先行研究で検討した静止時のアーチ形状だけではなく、動的特性(可変性)は足指筋力や運動能力と関連する可能性が推測される。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、小児期から若年成人期までの足指屈曲力の発育・発達様相を調査することで、運動能力の発達における足部機能の役割を明らかにすることである。また、足部筋機能の発達を促すメカニズムや習慣を明らかにし、子どもの足部筋機能および運動能力向上をもたらす運動プログラムの開発を目指すことであった。

3. 研究の方法

本研究では、研究として「足指筋力の発達様相の検討」、研究として「足部形態の動的特性機序の検討」、研究として「足指筋力に影響する運動様式の検討」を実施した。

研究の方法: 「足指筋力の発達様相の検討」

- 1) 対象者: 小学生3年生から大学生まで747名を対象とした。
- 2) 足指筋力および筋力指標: 足指筋力計を用いて座位にて測定した。握力を全身性の筋力指標として測定した。

研究の方法: 「足部形態の動的特性機序の検討」

- 1) 対象者：男子大学生 12 名を対象とした。
- 2) 加重方法：椅坐位姿勢の大腿部遠位端（膝部）に加重した。加重量は、無負荷および規定の重量とした。その際の足指筋力・足部形態（画像分析）を評価した。足底面への実加重量を床反力計で評価した。
- 3) 足指機能：左右の足指筋力および内側縦アーチ高および足長を各条件時に測定する。  
研究の方法：「足指筋力に影響する運動様式の検討」
- 1) 対象：中学 1 年生 108 名および 48 名の柔道選手そしてそれと同様な性・年齢・体格の対象者群を対象とした。
- 2) 中学生においては体育の授業前後での足指筋力評価： 武道の単元前後で足指筋力評価を行った。これによって裸足での体育活動が足指筋力に及ぼす影響を検討した。柔道選手および対照群においては足指筋力と足部形態について評価した。

#### 4. 研究成果

研究： 小学 3 年生から大学生まで計 747 名の足指筋力および握力を測定し、両筋力指標の増加への発育発達傾向を検討した。まず握力と足指筋力には相関係数  $r = 0.79$  ( $p < 0.01$ ) という強い相関関係が認められた。つまり、握力が強いものは足指筋力も強い傾向があることが示された。次に、握力の増加傾向は小学生から大学生まで直線的に増加しており、さらに握力値は年齢の 1 次式の項が有意となる重回帰式で示された。一方で、足指筋力の増加傾向は小学生から中学 2 年生頃まで増加傾向を示すものの、それ以降は増加傾向がみられなかった。重回帰分析によって、年齢の 1 次式の項だけでなく、年齢の 2 次式の項が負の係数で有意となる関係性を示した。この結果は、足指筋力は年齢と上に凸の曲線関係であることを示している（図 2 右）。これらの知見より、握力と足指筋力はいずれも筋力指標として強い相関関係をもちつつも、その発達様相は異なること、さらに足指筋力は握力よりも早熟傾向にあることを示すことが明らかとなった。

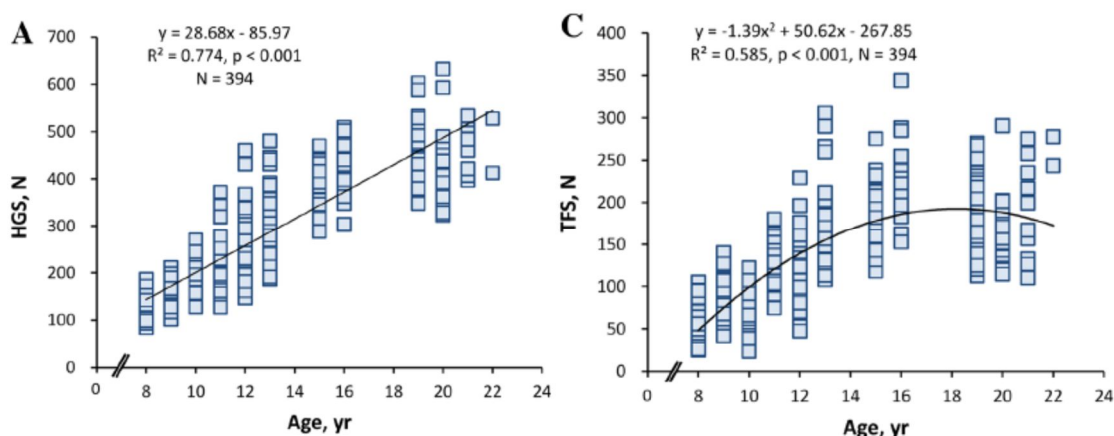


図 2. 年齢 (Age) と握力 (HGS), 年齢と足指筋力 (TFS) との関係性 (Morita et al., Eur J Appl Physiol 2018 より引用)。

これらの知見は運動生理学の専門誌である European Journal of Applied Physiology 誌に 2018 年 5 月号に掲載された。

研究： 男子大学生 12 名を対象として実験室レベルでの足部形態と足指筋力との関係性を検討した。大腿部遠位端（膝部）への荷重による床反力計で計測した足部底面荷重は重量依存的に増加がみられた。その足部への加重の結果、重量依存的な足指筋力の増加がみられ、また重量依存的な土踏まず（内側縦アーチ）高の低下が観察された。この知見は、足指筋力発揮は足部縦アーチの形状によって影響を受け、歩行や走行時に足部への加重によって足指筋力発揮能が向上していることを示している。さらに、加重による足部縦アーチの変形、さらにそれによる足指筋力向上はヒト足部の解剖学的な合理性を示すものと解釈できる。

これらの知見は現在論文としてまとめ専門雑誌に投稿中である。

研究： 中学 1 年生を対象として体育の授業前後での足指筋力を評価した。その結果、週 1 回 2 時間、4 週間の柔道の単元後には、有意な足指筋力の増加が観察された。また、研究のための調査で測定した小中学生のデータにおいて、運動部もしくは少年団・スポーツ教室に参加している子どもは、そうでない子どもよりも足指筋力が高いという結果であった。また、日常生活習

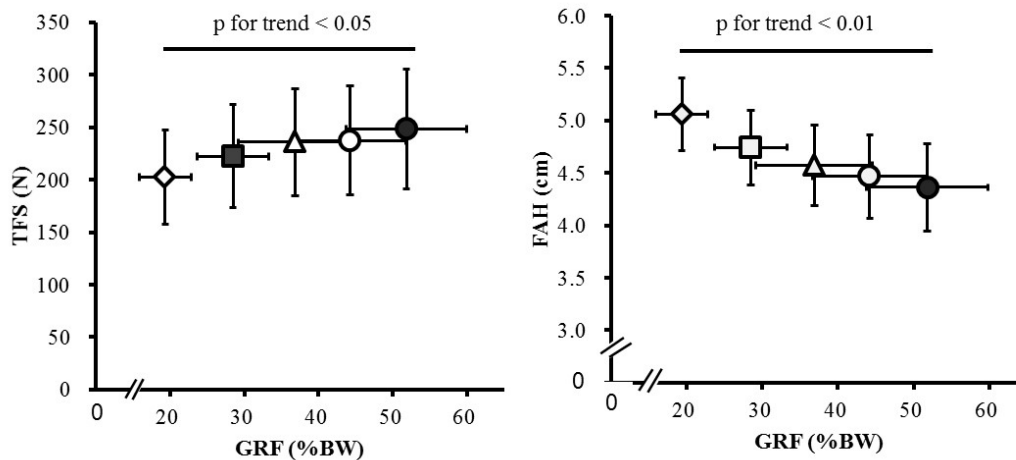


図3. 足部への加重 (GRF) による足指筋力 (TFS) および内側縦アーチ高 (FAH) の変化

慣においてテレビ視聴やゲーム時間が長い子どもは足指筋力が低い傾向であることも示された。以上の結果より、運動習慣を有することおよびテレビ視聴やゲーム時間が短いことが足指筋力の高低に関連すること、さらに裸足での活動がある柔道の単元などは足指筋力の向上に資することが明らかとなった。

また、柔道選手を対象とした調査から以下のような知見を得た。性・年齢・体重のほぼ等しい対照群と比較すると、柔道選手は足指筋力が高いこと、および内側縦アーチや足長に対するアーチ高比率が低いことが示された。足指筋力発揮に関わる足指屈曲筋の厚さには柔道選手と対照群に統計的な差は観察されなかったものの、足指屈曲筋厚に対する足指筋力は柔道選手が高値を示した。これらの知見は柔道という運動様式が足指筋力発揮に影響する足部形態に特徴的な作用を有すること、そしてそれによって足部筋機能に好影響を及ぼしていることを示すものであった。この柔道選手の足部形態および足部筋機能に関する知見は、スポーツ科学の専門誌である International Journal of Sports Medicine 誌に 2019 年 4 月号に掲載された。

以上の研究 から研究 の検討によって以下のことを明らかにできた。まず、小児期から成人期までの足部筋力発揮能力は全身性の筋力指標である握力とは異なる様相を示すこと、それは思春期前期までに成人期と同等の水準に達するという「早熟」な発達様相であることが明らかとなった。足指筋力には足部形態、とくに内側縦アーチの形状が影響しており、内側縦アーチの低下によって足指筋力発揮能力が増強することが明らかとなった。運動習慣を有することは足部筋機能の向上に好影響を及ぼし、柔道のような体育授業によって足指筋力は向上できることが示された。さらに、その柔道を日常的に行っている柔道選手は足指筋力発揮能力が一般的な活動をしている高校・大学生よりも足指筋力発揮能力が高く、裸足でのそのようなスポーツ・運動活動は足部機能を向上させることが示された。

一連の知見を踏まえ、本研究課題の当初目的であった「小児期から若年成人期までの足指屈曲力の発育・発達様相を調査することで、運動能力の発達における足部機能の役割を明らかにすること」が達成され、そして「足部筋機能に対する足部形態としての内側縦アーチの連関」という足指筋力発揮の解剖生理学的メカニズムの一端を明らかにすることができたといえる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

1. Koyama K, Hirokawa M, Yoshitaka Y, Yamauchi J. Toe flexor muscle strength and morphological characteristics of the foot in Judo athletes. International Journal of Sports Medicine. 40(4): 263-268, 2019. doi: 10.1055/a-0796-6679. 【査読あり】
2. Yamauchi J, Koyama K. Force-generating capacity of the toe flexor muscles and dynamic function of the foot arch in upright standing. Journal of Anatomy. 234(4):515-522, 2019. doi: 10.1111/joa.12937. 【査読あり】
3. Yamauchi J, Koyama K. Relation between the ankle joint angle and the maximum isometric force of the toe flexor muscles. Journal of Biomechanics. 85: 1-5, 2019. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.12.010. 【査読あり】
4. Koyama K, Hirokawa M, Yoshitaka Y, Yamauchi J. Toe flexor muscle strength and morphological characteristics of the foot in Judo athletes. International Journal of Sports Medicine. 40(4): 263-268, 2019. doi: 10.1055/a-0796-6679. 【査読あり】
5. Morita N, Yamauchi J, Fukuoka R, Kurihara T, Otsuka M, Okuda T, Shide N, Kambayashi I, Shinkaiya H. Non-linear growth trends of toe flexor muscle strength among children, adolescents, and young adults: a cross-sectional study. European Journal of Applied Physiology. 118(5): 1003-1010, 2018.

doi: 10.1007/s00421-018-3827-x. 【査読あり】

6. Koyama K, Yamauchi J. Comparison of lower limb kinetics, kinematics and muscle activation during drop jumping under shod and barefoot conditions. *Journal of Biomechanics*. 69: 47-53, 2018. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.01.011. 【査読あり】
7. Koyama K, Yamauchi J. Altered postural sway following fatiguing foot muscle exercises. *PLoS One*. 12(12): e0189184, 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0189184. 【査読あり】
8. 小山桂史. 裸足と裸足に類似したシューズでジョギング時の衝撃力変数の比較. *靴の医学*, 30: 42-46, 2017. 【査読あり】
9. 小山桂史, 栗巢玲生, 柴田風香. 裸足と裸足に類似したシューズでジョギングの接地中の下肢筋活動量の比較. *日本スポーツ健康科学誌*, 3(1): 9-15, 2016. 【査読あり】

〔学会発表〕(計8件)

1. Koyama K, Nagafuji Y, Yamauchi J. Does the foot muscle strength relate to the postural stability? 22<sup>nd</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science (Essen, Germany), 2017.
2. 小山桂史, 山内潤一郎. 足部エクササイズによる筋疲労が足部感覚機能と姿勢制御能に及ぼす急性効果. NSCA ジャパンストレングス&コンディショニングカンファレンス, 2017.
3. Yamauchi J. Impact of the foot-leg dynamic functions: the neuromuscle force transfer system in lower limbs during the movements. International Conference on Physical Education and Sports Science (Ankara, Turkey), 2017.
4. 工藤正也, 小山桂史, 山内潤一郎. 足指筋の瞬時力発揮能力と跳躍能力の関係. NSCA ジャパンストレングス&コンディショニングカンファレンス, 2017.
5. 山内潤一郎, 清水麻由子, 小池英晃, 小山桂史. ヒトはなぜ歩行時に腕を振るのか? 第169回日本体力医学会関東地方会, 2017.
6. 小山桂史, 山内潤一郎. 跳躍パフォーマンスにおける足部筋力の重要性. 第169回日本体力医学会関東地方会, 2017.
7. 小山桂史, 長藤祐介, 山内潤一郎. 足部と下腿部の筋力・パワートレーニングがバランス能力および跳躍時の力発揮能力に及ぼす効果. 第71回日本体力医学会, 2016.
8. Koyama K, Nakafuji Y, Yamauchi J. Maximum muscle strength and balance performance after the high intensity strength and agility exercise of the foot and leg muscles. 21<sup>st</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science (Vienna, Austria), 2016.

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：山内 潤一郎

ローマ字氏名：Junichiro Yamauchi

所属研究機関名：首都大学東京

部局名：人間健康科学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：70552321

研究分担者氏名：小山 桂史

ローマ字氏名：Keiji Koyama

所属研究機関名：桐蔭横浜大学

部局名：スポーツ健康政策学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：70637090

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。