

令和元年6月23日現在

機関番号：32672

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03236

研究課題名(和文) 発育期における体分節パラメータ変化の競技特性とトレーニングによる変化

研究課題名(英文) Statistical methods for the estimation of body shape by fitting 3D whole-body scanning data to homologous body model in Japanese elite female athletes

研究代表者

船渡 和男 (Funato, Kazuo)

日本体育大学・体育学部・教授

研究者番号：60181442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの体の形状に関する研究では、体分節ごとの質量や重心点などの体分節パラメータ(BSP)が動きを科学的に分析するうえで重要となる。しかし被験者固有のBSPについて実測することは困難であり人種の異なる屍体から取得した先行研究の推定値を用いているのが現状である。本研究では非接触三次元計測装置(BLS)による形状データからBSPを求めることを試みた。競技者および一般成人についてMRI法による体分節組織分布の計測も行った。両者を統合したデータからBSP算出する方法論を確立した。前述の方法から得られたBSPについて、ジュニア体操競技者の競技特徴あるいは発育発達による特異的な特徴を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人の一生の“体のかたち”の変化を三次元的に提示して健康科学研究への貢献。子どもから年寄りまでのからだの形状変化を捉えることにより、発育や加齢に伴う人体の形の変化を定量化することが可能となる。人体計測で新技を“オーダーメイド”(スポーツ科学的研究成果) 選手の体型及び身体や体分節の形状の変化をより客観的な指標である身体慣性パラメータで評価可能となる。競技力向上への貢献 バイオメカニクス研究分野では、関節の位置や腕の太さなど、体分節のサイズや質量中心などを正確に計ることが非常に重要である。例えば体操競技で繰り出される高難度の技など開発を、正確な人体計測に基づいて貢献することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：Characteristics in body shape are one of the most important parameters for athletes. In recent years, “Bodyline Scanner(BLS)” was developed, which shape data converts to Homologous Body Model (HBM) and identify the characteristic of its shape using statistical methods. The purposes of present study were to obtain BLS data and by fitting HBM, statistical characteristics in body shape were to develop for Japanese female elite athletes. A statistical body shape model (SBSM) was developed by using principal component (PC) analysis. Fifty females including athletes and sedentary persons aged from 15 to 21yrs were served as subjects. Characteristics in body shape for athletes were evident. Softball athletes, for example, statistically characterized as; 1st PC: body size, 2nd PC: circumference in lower trunk and hip, 3rd PC: thickness of upper trunk. Newly developed method for evaluating body shape statistically is useful for reliable prediction of specific body shape of elite athletes.

研究分野：健康・スポーツ科学

キーワード：体分節パラメータ 形態学 三次元人体形状 発育発達 競技特性 人体相同モデル

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

1. 研究開始当初の背景

体の形状には一般的な形態測定値に加えて、体分節ごとの質量、体積、部分質量、重心点あるいは慣性モーメントなどが Body segment parameters (体分節パラメーター; 以下 BSP) としてあげられており、ヒトの動きを科学的に分析するうえで基本的入力データとなる。しかし被験者固有の BSP について実測することは困難であることから、実際には先行研究から得られる推定式等を用いて各々の算出を行っているのが現状である。

一方近年、コンピュータ断層撮影法 (CT) や核磁気共鳴画像法 (MRI) 等で得られた断層像から、物体の体積などの BSP を求めることは比較的容易である。しかし、これらの装置は高額であり、かつ設置場所も限られる等の理由で使用が難しく、物体の計測には非接触型三次元計測装置が用いられることが多い。そこで本研究では非接触三次元計測装置から得られたサーフェイスデータからポリウムデータを構築する方法と、それを利用して物体の体積や重心、慣性主軸等の BSP を求めることに発展し、スポーツ科学やスポーツバイオメカニクス研究に寄与するものである。

2. 研究の目的

- 1) 競技者および一般成人について光学式三次元人体形状側手装置による人体計測値および MRI 法による体分節組織分布の正確性と妥当性を検討し、両者を統合したデータから体分節質量や慣性モーメントなどを算出する方法論を確立する。
- 2) 前述の方法から得られた BSP について、同種目でのトップ競技者あるいは同一年齢の他種目競技者を比較して、ジュニア体操競技者の競技特徴あるいは発育発達による特異的な特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

1) 三次元人体計測の全身スキャンから各体分節を解剖学的基準に基づいて分離し、それぞれについての体積や体積中心を求める。同時に同被験者について MRI 法による全身スキャンから同一体分節を分離し、その中の組織 (筋、骨、脂肪) 分布をそれぞれの断面積を計測することにより定量化する。組織分布データを三次元体積データに挿入することにより再構築し、体分節質量や質量分布、質量中心及び慣性主軸を決定後に 3 軸に関する慣性モーメントを算出する。これらのデータから四肢の相対長を基準に体分節パラメーター算出のための推定式を作成する。その推定式の妥当性と汎用性を別の母集団無作為抽出サンプルに関して検証するとともに、ジュニア競技者と同一年齢の一般健康人および日本のトップ競技者を比較することにより、発育発達による変化およびトレーニングによる特異的な変化について分析し考察する。

2) 表 1 は被験者の身体的特徴を示す。被験者は 10 歳から 18 歳までの体操競技全日本男子ジュニア強化指定選手のべ 144 名 (以下 GM)、ジュニア強化指定選手のうち、世界大会、国内の主要な大会で好成績をあげた選手のべ 51 名 (以下 GM (top))、同年代の一般男子学生のべ 503 名 (以下 NA)、体操男子日本代表選手 3 名 (以下 GMs) を対象とした。

三次元人体計測法を用いて人体の形態計測を行った。まず基本となる長育、幅育、周育などの形態計測を行い、得られた計測値から、各部位の比率 7 部位を算出した。また、BLS より得られたスキャン画像から、体分節質量および体分節質量比を算出した。統計分析は、形態計測値は年齢との関係について 2 次の多項式を用いて相関係数を求め、体分節質量および質量比については、各群から得られた値を母平均の差の検定を用いて比較した。

Subject

表1 被験者の身体的特性

	N	Age(yrs)		BH(cm)		BW(kg)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
GM	144	15.3	2.1	152.9	11.6	47.2	10.5
GM (top)	51	16.0	1.9	155.2	11.1	49.7	9.9
NM	503	16.1	2.0	167.8	10.4	59.4	12.1
GMs	3	21.1	1.2	166.5	7.0	63.7	4.9

GM = 男子体操競技全日本ジュニアトップクラス

NM = 同年代の平均的な男子

GM(top) = 男子体操競技全日本ジュニアトップクラスの選手の中で特に競技成績の高い選手

GMs = 成人した男子体操競技選手

4. 研究成果

1. 人体の Body Segment parameters の測定法の開発と正確性、再現性と妥当性の検討

先ず三次元人体形状装置によって全身をスキャンし、再構築された立体データを解剖学的モデルに基準として各体分節ごとに切断した。各体分節に関して体積や体積中心などの数値を算出した。一方同一被験者についてMRI法で全身をスキャンし、同一体分節毎に分割した後、MRI横断面画像から筋、骨および皮下脂肪組織を同定し各組織面積を計測する。このデータを体分節体積画像に挿入して当該体分節の質量分布、質量、質量中心及び慣性モーメントなどを算出した。これらのことを全セグメントに適用し、全身の質量分布、重心位置および慣性モーメントデータを求めた。

1-1. MRI データから体分節密度の推定方法

長軸に沿った10mmごとのMRI横断面画像から、筋、脂肪、骨、肺および内臓組織ごとの横断面積を計測した。組織の区別は手作業で行い、断面積計測は市販の汎用ソフトを用いた。各組織の断面積にスライス厚を乗じて、各組織の体積を算出し、さらにこれに先行研究から得られているそれぞれの密度を乗じることにより、各組織の質量を決定した。この作業を14の体分節について行い、それぞれの体分節の体積、質量、重心位置そして体分節密度の算出を行った。図1は、下腿部について、MRIから求めた密度分布と屍体からの先行研究との比較を被験者1名について予備的に得たデータである。下腿での密度分布は 1.04g/cm^3 から 1.13g/cm^3 の範囲にばらついていることが分かる。MRI法で求めた下腿全体の密度は 1.071g/cm^3 (左) 1.075g/cm^3 (右) となり、Clauserの屍体から求められた先行研究の値(1.084g/cm^3)より、約 0.01g/cm^3 少なくなる値を示している。本研究では、MRIから求めた全身の密度分布を、三次元形状測定装置から得られた各体分節に挿入することにより、精度を検討の上、質量比、重心位置および慣性パラメーターについて、日本人や競技者の特徴について言及する。

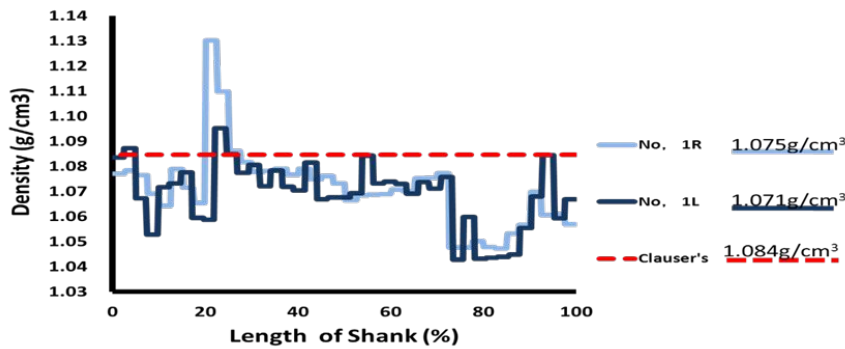


図1 MRIから求めた下腿部の密度分布(被験者1名の左1L,右1R)と屍体(Clauser)から密度分布を比較した予備研究結果

2. 三次元人体計測法を用いた男子ジュニア体操選手の形態的特徴に関する横断的研究

図4は年齢に伴う身長、体重の変化を示す。身長、体重ともに、10歳から18歳まで、NMよりGMは低い位置を示している。身長では10歳時ですでにNMよりGMが低く、この差が年齢に伴い縮まることなく、18歳までGMは低いことがわかる。このような傾向は、身長以外の他の長育値においても同様の傾向がみられた。

図5は年齢に伴う胸囲、大腿囲、および体重2/3で相対値化した胸囲、大腿囲の変化である。上段が胸囲、下段が大腿囲、左側が絶対値、右側が相対値化したグラフを示す。胸囲は10歳頃から15歳頃までGMとNMは同様の傾向を示すが、16歳頃からはGMがNMより大きい値を示す。相対値のみでみ



図3 各年齢における体操ジュニアトップクラス選手のスキャン画像 (BH、BWが各年齢群の平均±SD内に当てはまる選手)

ると、10歳頃からGMIはNMより大きく、年齢に伴い減少するものの、大小関係は変わらない。また、同じ周径圏である大腿圏では、先ほどの体重のグラフと同様の傾向を示し、GMIはNMより小さく、その傾向は特に15歳頃から顕著にみられるが、相対値でみると、全体的に同様の傾向を示している。

上段の胸圏と同様の傾向を示したのは、このほかに上腕圏、前腕圏、頸圏などの上肢部位であり、下段の大腿圏と同様の傾向を示したのは、下腿圏、殿圏などの下肢部でした。

体操のジュニアデータに関してまとめてみると以下のように要約できる。

- ・身長・体重において、GMIはNMより小さく、10 - 18歳までその傾向は変わらなかった。
- ・胸圏、頸圏、上腕圏、前腕圏、前腕・上腕圏比では、10 - 15歳頃まで、GMとNMは同等の値を示した。
- ・16歳以降、同周径においてGMIはNMより大きく、前腕、上腕圏比では減少する傾向を示した。これは、G Mの上腕圏の発達が前腕より大きいためであると推察される。
- ・体分節質量比で比較すると、中学生男児においてGMIはNMより上腕部、前腕部、手部で有意に大きい値を示した($p < 0.001$)。
- ・体操選手は、特に16歳以降の上肢部の発達が特徴的であることが示唆された。男子体操競技では吊り輪やあん馬が本格的にとりいられるのは高校生からであるため、本研究の結果はこのような競技背景が影響しているものと考えられます。

人体計測に関しては、従来から被服学や人間工学の分野において多くの手法が考案され、実用に使われてきている。また3次元人体計測に関しては、スポーツ科学では主にスポーツバイオメカニクス分野において人体に添付したランドマークの位置検出を行い、それらの3次元座標を基にバイオメカニカルな指標が導かれている。本研究の独創的な点は、主として体幹部のみに関して行われていた人体形状の測定を、全身にまで応用することと、MRI法を併用することによって体分節内の組織分布を計測することによって、生体の体分節の密度分布や質量及び質量中心、さらには慣性モーメント量などを推定することである。

本研究測定法が確立されれば、従来の一般的な身長や周径圏などの基本的身体計測項目に加えて、体表面積や各体節の体積、体表面積、体分節パラメーターなど生理学的及びバイオメカニクス的に適応され、発育発達による変化、トレーニング効果、技術の向上あるいは競技特異的身体形状の分類などの多くの諸分野とも密接に関係し、学術的な研究を推進することが可能になることから今後の利用価値が期待できる。

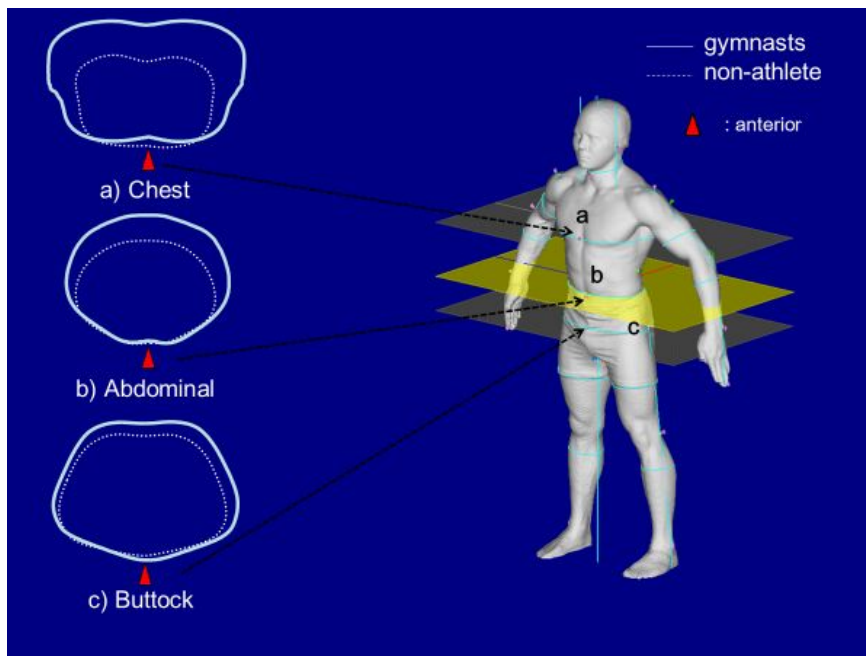


図4 体操選手の体幹部の形状の特徴

図4はジュニア男子器械体操選手と一般男子学生の形態形状を比較し、相同モデルの主成分分析を通して、形態的特徴を提示した。全日本男子ジュニア体操競技強化指定選手(GM)および同年代の一般男子学生(NA)であった。三次元人体計測法(BLS)を用いて、被験者の人体を撮像した。そのポリゴンデータを相同モデル標準テンプレートモデルに同一頂点数でフィッティングし、全被験者人体形状の相同モデル化を行った。また、主成分分析を用いて形態形状の違いの定量化を試みた。その結果、形態計測値において、上腕圏、胸圏に有意な差がみられた。更に相同モデル化されたデータでの第1主成分(32%)は、上腕・体幹中間部・背側筋群に明確な発達が可視化され違いが明らかとなった。相同モデルを使用することにより、形態形状の視覚的な違

いをより客観的に捉え、競技により特化した形態形状のより詳細な情報を提供することが可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

相馬満利、柏木 悠、船渡和男：体のかたちの定量化へ向けた相同モデルの可能性。「Kinanthropometry スポーツ選手の形態計測再考」, バイオメカニクス研究 23(1): 45-51, 2019.

山崎由紀奈、柏木 悠、山岸道央、船渡和男：ハムストリングスの筋長変化に伴う膝関節屈曲最大トルク及び筋放電量の変化。 体育測定評価研究 18: 47-58, 2018.

船渡和男、柏木悠、山岸道央、平野智也、相馬満利、若槻遼：3次元相同モデルを用いた子どもの足部形状の横断的变化。 日本教育シューズ助成研究成果報告書, 2018.

〔学会発表〕(計 26 件)

Soma M, Kashiwagi Y, Fujimori T, Wakatsuki R, Funato K.: Characteristics of 3-D foot shape in Japanese swimmers by using homologous body model. European College of Sport Science, 2018 July (Dublin, Ireland)

Soma M, Ikegawa S, Kashiwagi Y, Hakamada N, Funato K.: Characteristics of 3-D human body shape in Japanese elite junior male gymnasts by using homologous body model. The 8th Asia Conference on Kinesiology, 2017 December (Daegu, Korea)

相馬満利、柏木悠、袴田智子、船渡和男：三次元相同モデルを用いた男性の体操および競泳競技者の身体形状の特徴. 第 72 回日本体力医学会大会, 2017, 9. (松山大学)

山崎由紀奈、柏木 悠、若槻 遼、山岸道央、小松敏彦、船渡和男：多関節角度変化に伴う大腿二頭筋長頭部の筋束の特徴. 第 30 回日本トレーニング科学会大会, 2017, 10. (日本体育大学)

相馬満利、柏木悠、池川繁樹、袴田智子、船渡和男：相同モデルを用いた体操および競泳選手における身体の「かたち」の特徴 逆三角形のプロポーションの評価 . 第 30 回日本トレーニング科学会大会, 2017, 10. (日本体育大学)

若槻遼、相馬満利、柏木悠、船渡和男：陸上短距離選手の三次元足部形状の特徴. 第 30 回日本トレーニング科学会大会, 2017, 10. (日本体育大学)

〔図書〕(計 3 件)

船渡和男：短時間運動が発生させる疲労、格闘技の身体運動量：柔道、疲労と身体運動、宮下充正編著, pp146-151, (株)杏林書院, 2018.

船渡和男：運動器のしくみと働き, 公認スポーツ指導者養成テキスト 共通科目 III, 第 4 章 身体のしくみと働き, pp72-87, (財)日本体育協会編集, 第 17 刷, 2018.

〔その他〕

船渡和男(実施代表者)(独)日本学術振興会, 2017 ひらめき☆ときめきサイエンス~ようこそ大学の研究室へ~KAKENHI「スポーツを科学的にとらえてみよう~スポーツバイオメカニクスへの招待~」: 日本体育大学、2017.12.23

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 袴田 智子

ローマ字氏名: HAKAMADA Noriko

研究協力者氏名: 柏木 悠

ローマ字氏名: KASHIWAGI Yu

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。