

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：32672

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300218

研究課題名(和文) 子ども、一般成人及び競技者の体分節パラメータ推定法の確立とスポーツ科学への応用

研究課題名(英文) Methods for estimating body segment parameters by using 3D anthropometry for Japanese children, sedentary adults and 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) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：光計測による三次元人体形状測定とMRI法を併用して、筋、骨、脂肪組織などの分布を定量化して体分節密度を推定することにより、体分節パラメータを推定することを目的とした。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た。同一被験者についてMRI法による全身スキャンから同一体分節を分離し、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した。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とが可能になった。

研究成果の概要(英文)：Purposes of the present study were to develop 3D anthropometry (BLS) and to determine segment parameters such as body/segment masses and moment of inertia. Scanning whole body data were dissected into each segment as the same manner as Clauser CE, et al. Volume and cross-sectional area of each segment was determined from BLS data. On the otherhand for the same subject, each segment composition such as bone, fat and muscle was determined by MRI images. After calculating the density for each slice in a segment by MRI, density were replaced to the identical sliced BLS data in order to reconstruct 3D whole body mass model. Special software was developed for analysing moment of inertia for each segment for orthogonal axis. Subjects were 20 young Japanese sedentary peoples. Relative segment masses to body weight were similar to previous studies except for trunk and thigh. Previous relative segment mass values have a tendencies for overestimation in trunk, whereas underestimation in thigh.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：三次元人体形状 形態 体分節パラメータ 慣性モーメント MRI 身体密度

1. 研究開始当初の背景

体の形状には一般的な身体測定値に加えて、体分節ごとの体積、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、バイオメカニクス研究では、運動学的諸変量を算出するための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。これらの推定式を作成するための基となる先行研究には、屍体あるいは生体を対象に 屍体切断法 (W.T.Dempster : WADC Technical report ,1955、C.E.Clauser : AMRL Technical report , 1969)、写真撮影法 (R.K.Jensen : J.Biomechanics ,1986、阿江 : Jap J Sports Sci,1996) 及び幾何学的モデル法 (松井秀治 : 体力学研究 1956) などがあげられる。

これらの研究の多くは、被験者の集団が白人種、高齢者、男性等から得られる少数の屍体標本であったり、本質的には体分節内の密度分布は屍体から求められた値が用いられていることから、ここから得られた値を現代の日本人の人体形状に適用できるかは大いに疑問となるところである。

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ことを念頭に置

いた。

2. 研究の目的

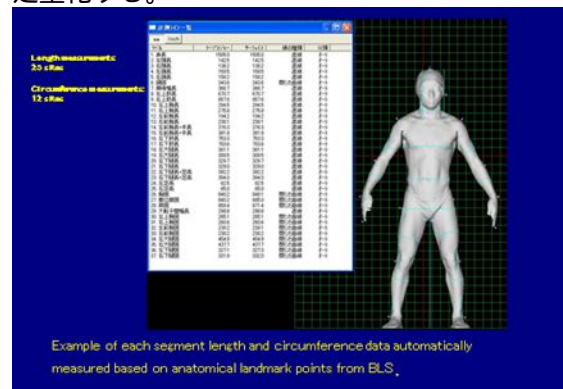
主目的は、「三次元人体計測データの健康・スポーツ科学および身体教育への活用」である。そのために本研究では以下の2点について検討する。

(1)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 を用いて基本的動作である歩行や走行中の力学的変量に関して従来法から求めた結果と比較検討を行う。

3. 研究の方法

図1に示すように、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。



BLSIによる全身の体分節分離

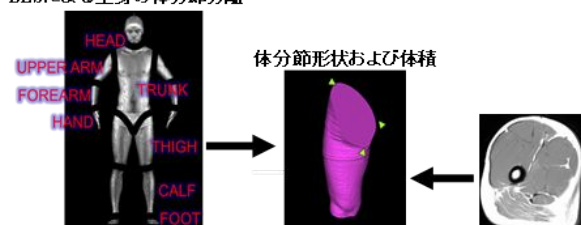


図 1. 上段：ポリゴン生成によって再構築された生体の三次元構築映像と解剖学的計測点から計測される体分節の四肢長（23 か所）と周囲長（12 か所）

下段：生体の三次元計測により得られた立体画像を解剖学的モデルに基づき 14 セグメントに分割し、同一生体の MRI 画像から得られた各組織断面積と密度を代入し、セグメントを再構築することにより、体分節質量、重心位置および慣性モーメントなどの Body Segment Parameters を算出

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した。

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

本研究の基本的アイデアに基づく研究の一連の流れを図 1 に示した。ま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した。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算出した。

(2) 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、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 2 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行った結果である。下腿での密度分布は $1.04\text{g}/\text{cm}^3$ から $1.13\text{g}/\text{cm}^3$ 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 $1.071\text{g}/\text{cm}^3$ (左) $1.075\text{g}/\text{cm}^3$ (右) となり、Clauser の屍体から求められた先行研究の値 ($1.084\text{g}/\text{cm}^3$) より、約 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 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について分析した。

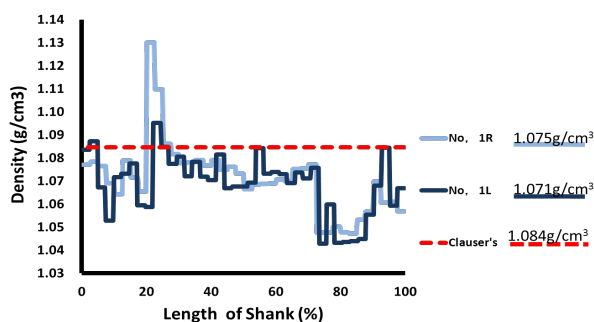


図 2 MRI から求めた下腿部の密度分布（被験者 1 名の左 1L, 右 1R）と屍体（Clauser）からの密度分布の比較

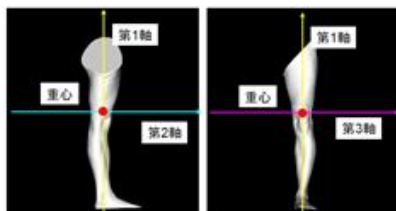
(3) 体分節の慣性主軸の決定と慣性モーメント算出のためのソフトウェアの開発

BLS から得られた三次元の空間座標内に MRI から求めた組織分布を配置して、体分節

質量の再構築を行った後重心点を求め、先ず重心を通過する慣性主軸三軸を決定し、それぞれの軸周りの慣性モーメントを算出した。図3には、その決定方法を示した。

またそのためには、人体に添付したランドマークから自動的に測定部位が同定でき、その部位での長軸に直交する面での周径囲や横断面積あるいは、解剖学的切断面に沿った体分節の分割とそれぞれの体分節体積の計測などが可能となるようにソフトウェアを独自に開発した。

慣性主軸と座標軸



中身をボクセルで埋め、モーメントと重心を計算
 膝下から膝肘にかけて第1主軸
 膝の後ろから前方に向かって第2主軸
 膝の内から外に向かって第3主軸
 出し、質量は1で計算

(式1) 重心 G (g_x, g_y, g_z) を求める

$$g_x = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

$$g_y = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

$$g_z = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

N : データに含まれる点の数
 x_i, y_i, z_i : データ中の i 番目のボクセルの座標値
 m_i : データ中の i 番目のボクセルの質量

(式2) 重心軸まわりの慣性モーメントを求める

$$I_{xx} = \sum_{i=1}^N ((y_i - g_y)^2 + (z_i - g_z)^2) \cdot m_i$$

$$I_{yy} = \sum_{i=1}^N ((x_i - g_x)^2 + (z_i - g_z)^2) \cdot m_i$$

$$I_{zz} = \sum_{i=1}^N ((x_i - g_x)^2 + (y_i - g_y)^2) \cdot m_i$$

図3 上段：慣性主軸の決定 下段慣性モーメントの算出

(4) 学術的波及効果や期待される研究成果とそのインパクト(将来展望、知的資産の形成、新技術の創生といった将来的な社会への貢献の内容等)

1 人の一生の“体のかたち”の変化を三次

元的に提示する(健康医・科学的研究成果) 子どもかた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。さらに脊柱の湾曲形状なども計測可能となり、姿勢と発育・加齢研究にも貢献できる。さらに臨床的には腰痛、糖尿病あるいは肥満に関する人体形状のより客観的評価が可能になると考えられる。

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)

個々の選手の体にはもちろんそれぞれの個性があり、また日々のトレーニングによってもめまぐるしく変化する。筋肉の増加によって腕や足の太さなどもみるみるかわっていくし、年齢の若い選手であれば体全体が日ごとに成長していく。そうした体の変化は、これまで身体測定や“見た目の肉付き”によって把握していたが、三次元ボディラインスキャナーによって、0.5ミリメートル間隔という高い精度で体表面の凹凸を計測することができる。

競技力向上への貢献

バイオメカニクス研究(生体力学)の分野では、関節の位置や腕の太さなど、人体の各部位のサイズや重心などを正確に計ることが非常に重要であり、かなり貢献することが期待できる。たとえば体操競技で繰り出される高難度の技などは、選手の繰り返しの長い経験から編み出された技である。しかし、正確な人体計測にもとづいてコンピューターシミュレーションを行うことで、『あなたの体の形ならこんな技も可能だよ』といった新技の提案が将来可能になる可能性がある。また水泳選手が水中でとる姿勢を計測し、水の抵抗を受けにくい姿勢の研究などへの貢献も期待できると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 16 件)

柏木悠, 平野智也, 山岸道央, 袴田智子, 金子憲一, 船渡和男: 矢状面カーブ形状の走路を有する自走式トレッドミル上でのランニング動作時の地面反力および下肢キネマティクスの特徴. 体力科学 64(3):2015 (in press)

金子憲一, 袴田智子, 船渡和男: 日本体育大学新入生の体格・体力の推移~平成 18 年度から 22 年度までの 5 年間の全国標準値との比較~. 日本体育大学スポーツトレーニングセンター, スポーツセンタージャナル, (8): 9-16, 2013.

Sarah R. Ho, Richard M. Smith, Philip G. Chapman, Peter J. Sinclair and Kazuo Funato: Physiological and physical characteristics of elite dragon boat paddlers. J Strength and Cond Res 27(1): 137-145, 2013.

船渡和男, 袴田智子, 柏木悠: 画像を用いた身体の形態計測. 映像情報メディア学会誌 67(11): 936-940, 2013.

Kazuo Funato, Noriko Hakamada, Hidehiko Nagashima and Chiyoharu Horiguchi: Application of 3D body scanning technology to human anthropometry: body surface area and body volume measurements in the field of health and sports sciences. Proceedings of the Asian Workshop on the 3D Body Scanning Technologies, Tokyo, Japan 17-18 April 2012, pp21-28.

Noriko Hakamada and Kazuo Funato: Estimation of center of gravity obtained from 3D whole body scanning anthropometry method. Proceedings of the Asian Workshop on the 3D Body Scanning Technologies, Tokyo, Japan 17-18 April 2012, pp64-70.

金子憲一, 袴田智子, 柏木悠, 伊藤智之, 船渡和男: サッカー育成年代の身体組成と下肢多関節で発揮されるパワーおよびスプリント能力の発育・発達特性. 体力科学,

61(2): 259-266, 2012.

〔学会発表〕(計 71 件)

袴田智子, 柏木悠, 砂川力也, 船渡和男: 高校生アスリートにおける身体組成および形態的特徴の競技種目別差異の検討: 第 68 回日本体育学会大会, 2013, 8. (立命館大学)

袴田智子, 川俣好, 柏木悠, 松尾彰文, 船渡和男: 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, 第 22 回日本バイオメカニクス学会大会, 2012, 9. (北翔大学)

Kashiwagi Y., Hirano T., Yamagishi M., Hakamada N., Mizuno M., Funato K.: Foot shape characteristics using 3D anthropometry method in sprinter. 20th Annual Congress of the European College of Sport Science. 2014, July (Amsterdam, The Netherlands)

Hakamada N., Funato K., Hirano Y.: Comparison of segment masses between Japanese top senior and junior male gymnasts. 19th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2014, Jul (Amsterdam, The Netherlands)

Kazuo Funato, Yu Kashiwagi and Noriko Hakamada: Human body segment parameters determined by 3D scanning anthropometry. XXIV Congress of the International Society of Biomechanics, 2013, Aug (Natal-Rio Grande do Norte-, Brazil)

Noriko Hakamada, Kazuo Funato and Yuichi Hirano: Characteristics of body segment mass distributions using 3D anthropometry method in Japanese top male athletes. XXIV Congress of the International Society of Biomechanics, 2013, Aug (Natal-Rio Grande do Norte-, Brazil)

〔図書〕(計 3 件)

船渡和男：子ども計測ハンドブック，第 2 章人体機能計測編 2.2.2 基礎運動能力，pp49-55、第 3 章人間機能データ編 3.2.2 基礎運動能力データ，pp194-197，3.4.2 運動能力の発達データ，pp251-255，持丸正明，山中龍宏，西田佳史，河内まき子（編），朝倉書店、2013

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 12 刷 第 4 章 身体のしくみと働き，pp72-87，(財)日本体育協会編集 2014

船渡和男：具体的な研究から学ぼう 実験的研究(2) バイオメカニクス，日本体育大学スポーツ研究，pp97-110，(有)ナッブ，2014

6. 研究組織

(1)研究代表者

船渡 和男 (FUNATO Kazuo)

日本体育大学・大学院トレーニング科学系・教授

研究者番号：60181442

(2)連携研究者

袴田 智子 (HAKAMADA Noriko)

国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・研究員

研究者番号：90586140

柏木 悠 (KASHIWAGI Yu)

日本体育大学・大学院トレーニング科学系・助教

研究者番号：30738638