

機関番号：32672

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300211

研究課題名（和文） 競泳選手の水抵抗に影響を及ぼす人体の三次元形状、水中姿勢およびスイムスーツの特性

研究課題名（英文） Anthropometrical characteristics of 3D body segment parameters in swimmers related to developmental advantages of swimming practice in young children

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

研究成果の概要（和文）：幼少期から定期的な身体運動を継続することによって、形態の発育発達面でどのような効果を生み出す可能性があるのかを検討した。スイミングスクールに通う児童から現在も競泳を継続的に行っている競泳選手を対象とし、三次元人体計測装置、身体組成、MRIなどを用いて形態的データを求めた。その結果、一般人と比較して、競泳を継続的に実施することによって、体幹部、大腿部および上腕部の発達が著しくなることが示された。幼児からの定期的なスイミングは、体幹とその周辺の筋骨格系の発育・発達を促すことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：This research project was designed to investigate the effect of continuous swimming practice on anthropometrical growth and development for children. Subjects were pre and elementary school children who are doing swimming practice more than once a week and competitive collegiate and national class swimmers as well as sedentary persons. Whole body volume and each segmental volume were measured by using three dimensional whole body scanner (Hamamatsu Photonics KK). Body composition including whole body volume and lung volume were measured by using air displacement plethysmography (BODPOD:LMI). Relative segmental volume for upper arm and trunk in swimmers were significantly larger than those in sedentary peoples. With comparison to normal person, swimmers were anthropometrically characterized as relatively larger segment masses in upper trunk and trunk, indicating trainability and superiority to swimming movements.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：発育発達学、スポーツバイオメカニクス、形態計測学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：子ども、発育発達、形態、水泳、体分節パラメーター、身体組成

1. 研究開始当初の背景

競泳競技の競技力向上においては、水による抵抗を最小限に抑えて、如何に大きな推進力を効率よく得ることが出来るかが重要なポイントとなる。推進力に関しては、人体の筋出力分析や競泳動作分析によるスキル分析の観点から、競泳動作中の効率的な身体外力発揮に関する研究が、今までスポーツ科学や人間工学の分野で多くなれてきている。一方前者の競泳中に泳者によって生み出される水抵抗に関しては、主に風洞実験や牽引抵抗（ドラッグ）などの工学的手法を用いた実験室実験条件下で行われてきており、競技者個々の特性を勘案した評価をなされるには至っていないのが現状と言える。競技者個々の特性としては、競技者の人体形状、水中でのフォームおよび競技者が着用するスイムスーツなどが挙げられ、それらは水抵抗に大きな影響を及ぼしていることが推察できる。このようなことから、本研究では競泳選手によって生じる水抵抗に影響を及ぼす人体の三次元形状、水中姿勢、および着用するスイムスーツの特性について、レーザーシート光を用いた三次元人体形状測定装置およびMRIなどの具体的手法を用いて分析することにより、競泳競技の競技力向上に関する科学的エビデンスを得ることを目的とした。

2. 研究の目的

本研究では、児童からトップ競泳選手までの三次元人体形状計測による全身および体分節に関する形状、体積および体表面積の発育による横断的变化を求め、競泳競技に特化した体型について検討することを目的とした。競技スポーツアスリートにおいて、その競技特性における形態の違いは顕著であり、これまでもトップアスリートの形態的特性における様々な報告がされている。形態の違いは、競技特性を表す一つの指標であるが、同時に

骨格筋や心肺機能の発育発達など身体における様々な体力の指標として評価することができる。幼少期からの長い経験年数が、その競技に適した身体形成を促していることが考えられる。特に、日本人選手が他の国に勝る種目の一つとして挙げられる水泳競技は、競技開始年齢が早い傾向にある。このことから、幼少期からのトレーニングが身体形状の発育発達に影響することが考えられる。本研究の目的は、スイミングスクールに通う幼児及び一般的な幼児の形態計測を行い、その形態特性を明らかにすることである。得られたデータから、将来のトップアスリート育成の為の指導法の一助となることが考えられる。

3. 研究の方法

スイミング教室に通う児童から成人のトップ競泳選手を対象に、競技レベルと身体特性を中心に測定を行う。年齢は6歳から20歳までの各年齢男女各10名を目標とし、約100名の人体計測を試みた。形態計測については、体重、体積、身体密度、体脂肪率、除脂肪量、脂肪量、長育（24箇所）、周育（12箇所）、幅育（2箇所）、全身体表面積、全身及び体分節体積の計測をそれぞれ行った。体重、体積、身体密度、体脂肪率、除脂肪量及び脂肪量については、空気置換法（Air Displacement Plethysmography）を用いた。長育、周育、幅育、水平断面積、全身体表面積、全身及び体分節体積は三次元人体計測法（BLS: Body Line Scanner, 現有設備）により求めた。また、競泳の一般的な基本姿勢であるストリームラインをBLS測定し、得られたスキャナー画像から姿勢の違いを捉える。さらに身体形状から得られる体重、体積、身体重心位置及び体積中心位置を算出し、水泳技術に関わる水抵抗値への影響について検討した。身体

体積中心の決定は、BLS を用いて人体形状をスキャニングし、その取り込まれた映像から三次元幾何学モデルを用いて算出した。

4. 研究成果

(1) 三次元人体計測法による女性アスリートおよび一般成人女性の形態形状に関する研究

三次元人体計測法(Body Line Scanner : BLS)を用いて長育、周育、体積、体表面積を測定し、体分節体積比や身長比から現代成人女性におけるアスリート(水泳選手・器械体操選手)と非アスリートの形態の特異性を客観的データから比較・検討することを目的とした。一般成人女性、水泳選手、器械体操選手(年齢: 23.3 ± 2.8 ; 20.6 ± 0.9 ; 20.3 ± 1.0 歳, 身長: 160.5 ± 5.9 ; 162.6 ± 4.2 ; 152.9 ± 5.4 cm, 体重: 55.2 ± 7.2 ; 58.2 ± 5.7 ; 49.2 ± 5.3 kg)を対象に BLS を用いて身体 31 部位の形態計測及び全身の体積、体表面積を測定した。

その結果、水泳選手の指極長/身長、上肢長/身長、上肢長/下肢長(/身長)の比率は他群に比べて有意に高かった。器械体操選手の体積比において上半身/下半身、肩部/総体容積の割合は大きかった。殿囲/臍位腹囲は一般成人女性が水泳選手より大きく、胸囲/臍位腹囲は器械体操選手が大きかった。肩峰幅は水泳選手が大きかったが、肩峰幅/身長比に有意な差は認められなかった。頸長:身長比は一般成人女性が有意に高かった。腕部/総体表面積の比率は器械体操選手が高く、脚部は一般成人女性が最も高かった。総体表面積(cm^2):総部分体積($\text{cm}^3 * 2/3$)比は、水泳選手が最も低かった。

一般成人女性が水泳選手より頸長比が大きかったことは、水泳選手の肩峰点の位置が一般成人女性より高かったことが考えられる。つまり、一般的に水泳選手の肩部の形態形状

は『碓型』で、一般人の大半は『なで肩』であるといった視覚的情報を支持している。近年、一般成人女性の痩せ身願望が強い傾向にあるが、アスリートよりも下肢体積および下肢体表面積の相対的割合の高く、皮下脂肪型といえる傾向がみられた。水泳選手は相対的に全身における相対的バランスが良く、泳ぐことに機能的な至適プロポーションになっているのではないだろうか。外観でとらえられている主観的な人のプロポーションは、BLS から簡便に得られた数値データを評価することによって敏速にその概念の支持や特異性を明確にすることができ、フィードバックに最適な情報を提供することが示された。

(2) 三次元人体計測法を基準とした人体体表面積推定式の検討

人体の体表面積は健康科学や医科学面において利用価値が高く、かつ貴重な測定指標の一つである。しかしその測定に関しては古くから行われてきた和紙を用いての直接法や幾何学的手法を基準とした身長と体重からの推定法に留まっているのが現状と言える。本研究は、三次元人体計測装置を用いて人体の体表面積(以下 BSA)を実測し、現代の成人男女に適した体表面積推定式を作成することを目的とした。

三次元人体計測法は Body line Scanner(浜松ホトニクス社製:以下 BLS)を使用した。BLS は四方に設置されたカメラとレーザー光から中央のピッチの上に立った被験者の形状をスキャニングする。全身表面形状のスキャニングデータを構成する高さが 2.5mm、底辺が約 1mm からなる三角形の面積を積算して体表面積を求めた。被験者は体育専攻学生男女 138 名(年齢: 19.8 ± 1.1 歳, 身長: 163.8 ± 9.3 cm, 体重: 61.7 ± 1.7 kg)であった。BLS より測定した体表面積値及び先行

研究に基づいて慎重と体重から推定された体表面積値について、相関係数、測定偏差(以下%diff.)及び対応のある1要因分散分析を用いて比較をした。また、BLSを用いて測定した体表面積値について、従来法である身長・体重式にならば、 $BSA(m^2) = 身長^a \times 体重^b \times c / 10000$ の近似式を作成した。

体表面積値について、BLSによる計測値と3つの推定式から得られる推定値とをそれぞれ比較すると、全ての推定値とでそれぞれ高い有意な相関関係が得られた($p < 0.001$)。

BLSとの%diff.では、Dubois式及び高比良式とは1%以下であったが、藤本式より得られる推定値は3.1%がBLSより小さくなる傾向を示した。BLSより計測したBSAについて、身長・体重から以下の近似式が求められた。

$$BSA(m^2) = 身長(cm)^{0.624} \times 体重(kg)^{0.409} \times 128.48 / 10000$$

本研究で求めた身長にかかる指数 a は0.624、体重にかかる指数 b は0.409であった。この値はDubois式、高比良式及び藤本式の指数 a 及び b に比べ小さい値を示した。しかし、本研究で求めた定数 c は128.48であり3つの推定式の定数 c より大きい値を示した。

体表面積値において、藏澄ら(1993)は非伸縮性テープを用いて実測した結果、Dubois式及び高比良式とは差がなかったが、藤本式は実測値より有意に小さい値を示したと報告している。本研究においても同様に、藤本式はBLS及び高比良式より有意に小さい値を示した。本研究で求めた身長にかかる指数 a 及び体重にかかる指数 b は、全ての推定式の中で最も小さく、定数 c は最も大きい値を示した。この結果から、日本人成人男女の形態が変化している可能性が示唆された。

(3) 人体の下腿部質量中心位置の検討—形状スキャン法とMRI法との比較—

下腿部の質量(SM)及び質量中心位置(COM)に関して、密度が均一と仮定した値と密度分布を考慮して算出した値を、比較検討した。被験者は、Body Line Scanner(以下BLS、浜松ホトニクス社製)を用いて下腿部をスキャンした後、解剖学的計測点に従い、体分節体積を区分けし、下腿部体積を算出した。同一被験者は、MRI(日立メディコ、1.3テスラ)を用いて下腿部を長軸に沿って直角に横断画像を求めた(T1画像、Thickness=5mm、Interval=10mm)。得られた画像は筋肉、骨、脂肪組織に面積区分し、それぞれの組織の比重(M. Mungiole and P.E. Martin, 1990)を考慮して、下腿部1cmごとの密度分布を算出した(MRI法)。BLSから得られた下腿の体積から不均一な密度(MRI法)を用いて算出した密度分布を乗じてSMと下腿長に対する近位端からの相対距離(%COM)を求めた(以下DD)。同時に均一密度($1.084gcm^{-3}$, C.E. Clauser, 1969)を用いてSMと%COMを求めた(以下UD)。DDとUDから得られるSM及び%COMについて%Difference.(以下%Diff. = $(DD - UD) / DD \times 100$)を用いて比較をした。

下腿部の密度はそれぞれ、被験者①では右下腿部= $1.075gcm^{-3}$ 、左下腿部= $1.071gcm^{-3}$ 、被験者②では右下腿部= $1.083gcm^{-3}$ 、左下腿部= $1.085gcm^{-3}$ であり、被験者②の下腿部の密度の平均値は先行研究($1.084gcm^{-3}$, C.E. Clauser, 1969)と類似していた。またそれぞれの密度分布は近位端から遠位端まで約 $1.041-1.095gcm^{-3}$ 範囲を示した。下腿部質量に関して、密度分布を考慮して求めた値と密度均一として求めた値との差は、平均 $-0.58 \pm 0.64\%$ であった。下腿の質量中心位置に関して、密度分布を考慮して求めた値は、密度均一として求めた値と比較しほぼ同値(下腿部近位端より $40.06-42.70\%$)を

示し、その差は平均 $-0.40 \pm 0.122\%$ であった。この値は、他の先行研究による屍体から得られた値 (43.3%, WT.Dempster, 1955) とほぼ同様の傾向を示していた。

これらの結果から、下腿の質量中心位置においては、密度分布を考慮しないで、一定の密度値を用いた体積形状から算出が可能となることが示唆された。

(4) 子どもから成人の競泳選手の形態的特性および Body Segment Parameter に関する研究

スイミングスクールに通うジュニア期の競泳選手の形態的特徴を明らかにし、競泳トレーニングにおける発育・発達への影響を検討した。

被験者はジュニア競泳選手 31 名 (年齢: 12.7 ± 1.5 歳, 身長: 151.9 ± 12.9 cm, 体重: 42.8 ± 12.2 kg) であった。比較の対象として同年代の一般男子 21 名 (年齢: 13.3 ± 1.5 歳, 身長: 156.0 ± 14.6 cm, 体重: 44.5 ± 11.7 kg)、シニア競泳選手 36 名 (年齢: 21.3 ± 2.7 歳, 身長: 174.7 ± 5.8 cm, 体重: 69.3 ± 7.1 kg)、シニア競泳選手と同年代の一般男性 19 名 (年齢: 23.8 ± 1.6 歳, 身長: 170.5 ± 4.4 cm, 体重: 67.6 ± 7.8 kg) についても測定を行った。被験者は、空気置換法を用いて全身の身体密度を測定し、得られた身体密度から体脂肪率、除脂肪量を算出した。また、被験者は三次元人体計測法を用いて人体をスキャンし、得られたスキャニング画像から長育 (7 部位)、幅育 (2 部位)、周育 (8 部位) の計測を行った。得られた長育、幅育、周育からそれぞれの部位の比率 (7 部位) を算出した。得られた身体組成及び形態計測値はそれぞれ群ごとに平均、標準偏差を求めジュニア競泳選手と一般男子、シニア競泳選手と一般男性、ジュニア競泳選手とシニア競泳選手で

それぞれ母平均の差の検定を行った。統計処理ソフトには JMP ver. 8.0 (SAS 社) を用いた。

ジュニア期の競泳選手は一般男子と比較して周育、幅育、長育では違いがみられないが、体脂肪量が多く、腹囲・胸囲比及び殿囲・胸囲比が小さいことが明らかとなった。体脂肪量が多く、腹囲・胸囲比及び殿囲・胸囲比が小さいといった特性はジュニア期以前のトレーニングで得られた形態的特性である可能性が示唆された。また、上腕部の周育の発達は長期間の競泳トレーニングにより得られ、四肢における前腕・上腕比、下腿・大腿比が小さいことは、競泳トレーニングにより得られた形態的变化であることが推察された。

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 9 件)

- ① Yanagisawa, O., Maegawa, T., & Funato, K., The anthropometric characteristics of Japanese baseball and female softball players, *GAZZ MED ITALARCH ACI MED*, 査読有, 168, 2009, 11-21
- ② 船渡和男他、子供の神経-筋調整機能評価の試み 第 2 報~バランス能力と基本的運動能力の測定~、*日本体育大学体育研究所雑誌*, 査読有, 35, 2010, 1-19
- ③ 谷尻豊寿, 袴田智子, 船渡和男, 大腿骨の体積と長軸の計算方法 サーフェイスデータからボリュームデータを構築する方法、*画像ラボ*, 査読有, 21, 2010, 51-55

[学会発表] (計 28 件)

- ① Noriko Hakamada and Kazuo Funato, Body Shape changes after 3-month weight loss

program、55th Annual Meeting of American College of Sports Medicine、2010年6月
Baltimore, Maryland, USA

- ② Kazuo Funato and Noriko Hakamada、Laser Beam Scanning Anthropometry for Determining Body Segment Parameters in Living Humans、22th Congress of International Society of Biomechanics、2009年7月Cape Town, South Africa
- ③ Noriko Hakamada and Kazuo Funato、Comparison of Body Segmental volume by 3D Whole Body Scanning Anthropometry method、13th Annual Congress of the European College of Sport Science、2008年7月Portugal, Estoril

[図書] (計 5件)

- ① 船渡和男 (共著)、丸善株式会社出版、スポーツサイエンス入門、2010、27-40
- ② 船渡和男 (共著)、日本臨床社、身体活動・運動と生活習慣病、身体活動の評価—Health-related fitnessの測定—、2009、187-191
- ③ 船渡和男 (共著)、(財)日本体育協会編集 2008 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5刷 第4章 身体のしくみと働き 2008、69-85

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