

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：42418

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17835

研究課題名(和文)形態指標を用いたアスリートの身体組成の推定式開発

研究課題名(英文)Anthropometric evaluation of body composition in athletes

研究代表者

設楽 佳世(Shitara, Kayo)

埼玉女子短期大学・その他部局等・講師

研究者番号：00632845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、簡便に計測可能な形態指標から、アスリートの身体組成を推定し得る指標を選出することを目的とした。男性アスリートを対象に、光学3次元人体形状計測法による形態計測と、DXA法及び水中体重法による身体組成の測定を行った。形態指標を独立変数、身体組成を従属変数とした重回帰分析を行い、身体組成の説明変数を選出した。本研究の結果より、1)腹囲、体重補正した腹囲、BMI、下肢長/身長はアスリートの身体組成を推定するための指標になり得ること、2)脂肪評価には頸囲及び前腕囲/上腕囲、筋量評価には体重及び体重補正した上腕囲を用いることで、アスリートの身体組成をより正確に評価可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アスリートの身体組成を正しく定量することは、コンディションチェックやトレーニング効果の評価を行ううえで重要であり、それは競技力向上に役立つ情報源となる。従来の身体組成の評価方法は汎用性の高い方法とはいえないため、本研究では簡便に計測可能な形態指標を変数とした、身体組成の推定を試みた。メジャー一つで場所を選ばずどこでも、誰もが簡単且つ正確に計測可能な形態指標から、身体組成を十分な精度で推定できれば、スポーツの現場で広く活用され得る身体組成評価の方法論を新たに提案することができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to select indices for evaluating body composition of athletes from the morphological index. For male athletes, anthropometric dimension and body composition were determined with the 3-dimensional photonic image scanning technique, the dual-energy x-ray absorptiometry and the underwater weighing method. Stepwise multiple linear regression analysis was performed, using body composition as dependent variables, and morphological index as independent variables. The results of this study indicated that 1) waist, waist corrected by weight, BMI and the ratio of lower limb length to height can be indicators of body composition in athletes and 2) body composition of athletes could be evaluated more accurately by using neck circumference and the ratio of forearm circumference to upper arm circumference for fat mass and weight and upper arm corrected by weight for lean body mass.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：アスリート 形態指標 周径囲 身体組成 体脂肪率 除脂肪量 筋量 脂肪量

1. 研究開始当初の背景

身体組成は身体運動のパフォーマンスと密接に関係し、アスリートの競技力を左右する最も基本的な因子の一つである。また、身体トレーニングによる骨格筋や脂肪組織の量的変化を反映して身体組成は変化する。したがって、身体組成を正しく定量することは、アスリートのコンディションやトレーニング効果を評価し、競技力向上に役立つ情報を入手するうえで、非常に重要な意味を持つ。

身体組成の評価指標として、体脂肪率、除脂肪量、筋量などがあげられる。これら身体組成指標の評価方法には、水中体重法、空気置換法、MRI法、DXA法などいくつかの方法がある。しかしながら、それらの方法には、測定の手続きが複雑であるため検者の熟練が必要である、測定に際して被験者の負担が大きい、測定・分析に時間を要する、DXA法においてはX線による被曝を伴う侵襲的な方法であるといった短所があり、いずれも汎用性の高い方法とは言い難い。そのため、比較的簡易に測定可能な、皮脂厚、生体電気インピーダンス、近赤外分光法で測定した光学濃度、人体計測により取得した形態指標などを変数とした身体組成の推定式が、これまで数多く報告されてきた (Jackson & Pollock, 1978; Jackson et al., 1980; Tanaka et al. 1992; Demura et al., 2002; Hicks et al., 2000; Heyward et al., 1992, Tran & Weltman, 1989)。ただ、これらの推定式の多くが一般成人を対象としたものであり、アスリートに特化した身体組成の推定式が少ない。中でも、形態指標を変数としたアスリートの身体組成の推定式はこれまで報告されていない。簡易に計測可能な形態指標からアスリートの身体組成を十分な精度で推定できれば、スポーツ現場で広く活用され得る身体組成の簡便な評価方法を確立できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、簡便に計測可能な形態指標からアスリートの身体組成を推定し得る指標を選出することを目的として、以下2つの研究を行った。

(1) 研究1: アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体サイズによる評価指標に着目して～

アスリートのコンディショニングチェックやトレーニング効果の検証を行ううえで、微量な身体組成変化を捉えることができる正確な身体組成の評価法が必要である。加えて、アスリートの身体組成評価法は、スポーツ現場で活用しやすい汎用性の高い方法であることが望ましい。これまで用いられてきたアスリートの身体組成の簡易評価法には、キャリパー法 (Jackson & Pollock, 1978; Jackson et al., 1980; 宮城ら, 1994; Warner et al., 2004)、生体電気インピーダンス法 (Pichard et al., 1997; Fornetti et al., 1999; Yannakoulia et al., 2000; Civar et al., 2006)、形態計測法 (Fornetti et al., 1999; Takai et al., 2018) がある。しかしながら、最も簡易に評価できる形態計測法は、未だ知見が乏しく十分に確立されていない。また、身体組成の説明変数が身長、体重、腹囲と限定的である。そこで本研究では、簡便に計測可能な全身複数箇所の周径囲から、アスリートの身体組成を評価し得る指標を選出することを目的とした。

(2) 研究2: アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体形状による評価指標に着目して～

上述した通り、アスリートの身体組成の簡易評価法の1つである形態計測法は、従来身体組成の説明変数が身長、体重、腹囲と限定的である (Fornetti et al., 1999; Takai et al., 2018)。身体組成を推定するための変数に、身体サイズによる評価指標だけでなく、身体形状による評価指標を加えることで、推定精度が向上する可能性がある。そこで本研究では、簡便に計測可能な周径囲、身長、体重を組み合わせたあらゆる形態指標から、アスリートの身体組成を評価し得る指標を選出することを目的とした。

3. 研究の方法

研究1、2のいずれも、メジャーによる手計測に代わる形態(周径囲及びセグメント長)計測法として、光学3次元人体形状計測法を採用した。この方法は、レーザー光を全身に照射することで、鉛直方向の計測ピッチ2.5mmで身体表面の3次元座標データを取得し、そのデータを基に周径囲や長さを算出する方法である。被験者の皮膚上には、反射シールを貼付し解剖学的特徴点を同定した。計測には、光学3次元人体形状計測装置 (Body Line Scanner, 浜松ホトニクス株式会社) を用いた。アスリートは、一般人に比べて体脂肪率が低く、トレーニングによる身体組成変化(主に筋量変化)が短期間で生じやすい。そのため、身体組成変化の結果として現れる形態変化を、高精度且つ再現性高く捉えることは、アスリートの微量な身体組成変化を正確に評価するうえで必要不可欠である。本研究で用いる3次元人体形状計測法は、十分な精度で再現性の高い形態データを取得可能であるという最大の特徴があり (Wang et al., 2006; Pepper et al.,

2010)、アスリートの身体組成を正確に評価する方法を開発するために、最適な方法論であるといえる。また、当該方法のもう一つの特徴は、10秒という短時間での測定が可能なことである。そのため、多数の被験者を迅速・簡便に、被験者に負担をかけることなく測定するうえで、極めて優れた方法であるといえる。

(1) 研究1:アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体サイズによる評価指標に着目して～

男性シニアアスリート39名(年齢 22.8 ± 5.0 歳、身長 170.9 ± 5.8 cm、体重 62.9 ± 7.4 kg)を対象に、光学3次元人体形状計測法による形態計測と、DXA法による身体組成の測定を行った。

DXA法は、2種類の異なる波長を持つX線を身体に照射することで、X線の減衰係数(透過率の差)から、脂肪量、骨ミネラル量、その他の筋や軟部組織等の除脂肪量(筋量)を推定する方法である。DXA法による測定の妥当性及び信頼性については先行研究において検証されており、高い精度で再現性よく身体組成を推定可能であることが確認されている(Svendson et al., 1993; Hansen et al., 1993; Snead et al., 1993; Jensen et al., 1993)。DXA法には、測定に際して被験者の負担が少なく短時間で測定可能である点に加え、身体構成組織の質量の推定にあたり骨ミネラル量の個人差を考慮できるという長所がある。そのためDXA法は、従来の方法に代わる身体組成推定の基準法として近年考えられつつある。

形態計測により得られた身長、体重、頸囲、胸囲、腹囲、臀囲、上腕囲、前腕囲、大腿囲、下腿囲を独立変数、DXA法により測定された体脂肪率、除脂肪量、全身・身体セグメントの脂肪量及び筋量を従属変数とした、重回帰分析(ステップワイズ法)を行い、身体組成の説明変数を選出した。

(2) 研究2:アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体形状による評価指標に着目して～

男性シニアアスリート73名(年齢 22.4 ± 4.9 歳、身長 171.7 ± 5.9 cm、体重 68.5 ± 11.4 kg)を対象に、光学3次元人体形状計測法による形態計測と水中体重法による身体組成の測定を行った。

水中体重法は、アルキメデスの原理に基づき体積を測定し、身体密度(体重/体積)から身体組成を推定する方法である。体脂肪率の算出には、Brozek et al. (1963)の式を用いた。水中体重法は、従来身体組成の推定法のgold standardと称され(Ellis, 2000; 北川, 1998)、身体組織の体積を実測する方法であることから、現在でも身体組成の評価方法の判断基準として考えられている。

形態計測により得られた周径囲は、体重の1/3乗で除すことで体格補正した。BMI、体重補正した上腕囲、前腕囲、大腿囲、下腿囲、腹囲、臀囲、上肢長/身長、下肢長/身長、前腕囲/上腕囲、下腿囲/大腿囲、腹囲/臀囲を独立変数、体脂肪率及び除脂肪量を従属変数とした重回帰分析(ステップワイズ法)を行い、身体組成の説明変数を選出した。

4. 研究成果

(1) 研究1:アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体サイズによる評価指標に着目して～

形態計測により得られた形態指標を独立変数、DXA法により測定された身体組成を従属変数とした重回帰分析の結果を表1に示した。体脂肪率、除脂肪量及び全身筋量の説明変数は、体重及び腹囲(体脂肪率: $R^2 = 0.65$ 、除脂肪量: $R^2 = 0.98$ 、全身筋量: $R^2 = 0.97$)であった。全身、下肢及び体幹の脂肪量の説明変数は、腹囲及び頸囲(全身脂肪量: $R^2 = 0.80$ 、下肢脂肪量: $R^2 = 0.72$ 、体幹脂肪量: $R^2 = 0.75$)、上肢脂肪量の説明変数は腹囲($R^2 = 0.80$)であった。身体セグメントの筋量の説明変数は、上肢筋量が前腕囲、腹囲、下腿囲、体重($R^2 = 0.89$)、下肢筋量が腹囲、身長、体重($R^2 = 0.90$)、体幹筋量が体重($R^2 = 0.92$)であった。本研究の結果より、1)腹囲はアスリートの身体組成の評価指標になり得ること、2)腹囲に加え、脂肪量評価には頸囲、筋量評価には体重を用いることで、アスリートの身体組成をより正確に評価できる可能性があること、が示された。

腹囲は、一般人における脂肪蓄積の評価指標であることが報告されている(Rachael et al., 1998; Rankinen et al., 1999; Grundy et al., 2013; Tsukiyama et al., 2016)。頸囲は、Lahav et al. (2018)による一般人の体脂肪率の推定式の変数として用いられており、心疾患や脂肪異常症の発症リスクと関連する指標ともいわれている(Preis et al., 2010; Vallianou et al., 2013)。Ohta et al. (2017)及びTakai et al. (2018)の研究によると、腹囲と体重は、筋量や除脂肪量と関連する指標である。このように、本研究で得られた結果は先行研究からも裏付けることができる。

身長、体重、腹囲を変数としたアスリートの除脂肪量の推定式(Takai et al., 2018)から算出された推定値と、本研究で得られた除脂肪量の実測値を比較したところ、推定値と実測値の間には有意な差が認められた(推定値: 51.6 ± 5.3 kg、実測値: 55.7 ± 6.1 kg、 $p < 0.01$)。また、身長、腹囲、頸囲を変数とした一般人の体脂肪率の推定式(Lahav et al., 2018)から算出された推定値と、本研究で得られた体脂肪率の実測値を比較した結果、推定値と実測値には有意差が認められなかったものの(推定値: $11.1 \pm 3.5\%$ 、実測値: $11.1 \pm 2.4\%$ 、n.s.)、推定値と実測値の

関係には有意な系統誤差がみられた (Bland-Altman 分析の相関係数: $r=0.56$, $p<0.01$)。以上より、形態指標を用いた従来の推定式ではアスリートの身体組成を正確に評価できないこと、アスリートには一般人の推定式が適用できないことが確認された。

(2) 研究 2: アスリートの身体組成を評価するための形態指標～身体形状による評価指標に着目して～

形態計測により得られた形態指標を独立変数、水中体重法により測定された体脂肪率及び除脂肪量を従属変数とした重回帰分析の結果を表 2 に示した。図 1 には、重回帰分析により作成された体脂肪率及び除脂肪量の推定式に基づき、推定値と実測値の関係を示した。体脂肪率の説明変数は、体重補正した腹囲、前腕囲/上腕囲、BMI、下肢長/身長であった ($R^2=0.82$)。除脂肪量説明変数は、BMI、体重補正した腹囲及び上腕囲、下肢長/身長であった ($R^2=0.76$)。本研究の結果より、BMI、体重補正した腹囲及び上腕囲、前腕囲/上腕囲、下肢長/身長は、アスリートの身体組成を推定するための形態指標になり得ることが示された。

BMI、体重補正した腹囲、下肢長/身長は体脂肪率及び除脂肪量説明変数であり、そこに体脂肪率説明変数として前腕囲/上腕囲、除脂肪量説明変数として体重補正した上腕囲が加わる結果となった。腹囲及び BMI は、一般人における脂肪蓄積の評価指標としても用いられており (Jackson et al., 2002; Grundy et al., 2013; Tsukiyama et al., 2016)、腹囲及び体重についても、前述した通り筋量や除脂肪量と関連する指標であると報告されている (Ohta et al., 2017; Takai et al., 2018)。設楽ら (2016) によると、国内トップレベルのジャンプ競技選手は体脂肪率が低く下肢長/身長が高いことが示されている。上腕囲については、栄養不良基準 (Shalir, 1974) や小児肥満指標 (Chaput et al., 2016) としても使われており、McCardle et al. (2000) による一般若齢者の体脂肪率の推定式の変数には、上腕囲及び前腕囲が含まれている。以上の先行研究は、本研究の結果とも関連深いものと考えられる。

研究 1 と同様に、Takai et al. (2018) の式から算出された推定値と、本研究で得られた除脂肪量の実測値を比較したところ、推定値と実測値の間には有意な差が認められ (推定値: $53.8 \pm 6.5\text{kg}$, 実測値: $58.1 \pm 7.5\text{kg}$, $p<0.01$)、従来の推定式ではアスリートの除脂肪量を過小評価することが確認された。また、上腕囲、腹囲、前腕囲を変数とした一般人の体脂肪率の推定式 (McCardle et al., 2000) から算出された推定値と、本研究で得られた体脂肪率の実測値を比較した結果、推定値と実測値の間には有意な差が認められた (推定値: $19.5 \pm 5.7\%$, 実測値: $14.6 \pm 5.4\%$, $p<0.01$)。つまり、従来の一般人の推定式をアスリートに適用した場合、体脂肪率を過大評価するといえる。

表 1 形態指標を独立変数、身体組成を従属変数とした重回帰分析の結果 (研究 1)

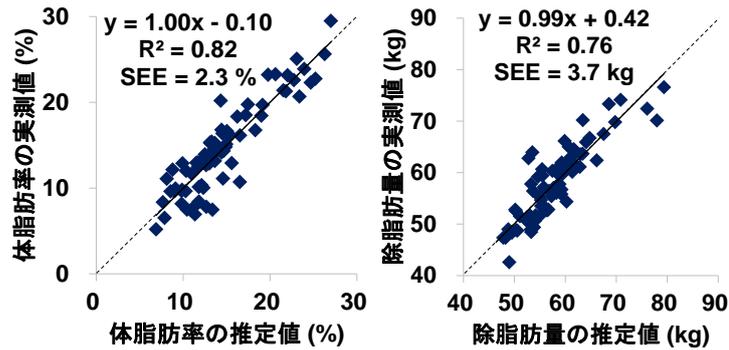
従属変数	説明変数	B	β	p	r	R ²	SEE
体脂肪率	腹囲	0.67	1.47	0.00	0.78	0.65	1.4 % (12.7 %)
	体重	-0.28	-0.88	0.00	-0.59		
全身脂肪量	腹囲	0.41	1.01	0.00	0.88	0.80	0.9 kg (13.0 %)
	頸囲	-0.24	-0.20	0.04	-0.34		
上肢脂肪量	腹囲	0.05	0.90	0.00	0.90	0.80	0.1 kg (15.8 %)
下肢脂肪量	腹囲	0.17	1.00	0.00	0.84	0.72	0.4 kg (16.9 %)
	頸囲	-0.14	-0.28	0.01	-0.40		
体幹脂肪量	腹囲	0.18	0.99	0.00	0.85	0.75	0.5 kg (17.6 %)
	頸囲	-0.12	-0.22	0.04	-0.34		
除脂肪量	体重	1.1	1.31	0.00	0.97	0.98	1.0 kg (1.7 %)
	腹囲	-0.45	-0.38	0.00	-0.77		
全身筋量	体重	1.00	1.26	0.00	0.96	0.97	1.1 kg (2.0 %)
	腹囲	-0.38	-0.33	0.00	-0.67		
上肢筋量	体重	0.14	1.16	0.00	0.76	0.89	0.3 kg (5.2 %)
	前腕囲	0.23	0.45	0.00	0.68		
	腹囲	-0.07	-0.41	0.00	-0.52		
	下腿囲	-0.15	-0.33	0.00	-0.48		
下肢筋量	体重	0.33	1.03	0.00	0.78	0.90	0.7 kg (4.0 %)
	身長	0.12	0.29	0.00	0.57		
	腹囲	-0.16	-0.34	0.01	-0.43		
体幹筋量	体重	0.36	0.96	0.00	0.96	0.92	0.8 kg (3.1 %)

B: 非標準化係数, β : 標準化係数, p: 有意確率, r: 偏相関係数, R²: 調整済み決定係数, SEE: 推定値の標準誤差
いずれの項目も多重共線性なし。

表 2 形態指標を独立変数、体脂肪率及び除脂肪量を従属変数とした重回帰分析の結果(研究 2)

従属変数	説明変数	B	β	p	r
体脂肪率	腹囲/体重 ^{1/3}	3.96	0.98	0.00	0.78
	前腕囲/上腕囲	-24.94	-0.19	0.01	-0.32
	BMI	-0.46	-0.28	0.01	-0.33
	下肢長/身長	-54.63	-0.12	0.03	-0.26
除脂肪量	BMI	3.66	1.59	0.00	0.82
	腹囲/体重 ^{1/3}	-3.64	-0.65	0.00	-0.59
	上腕囲/体重 ^{1/3}	-4.68	-0.29	0.00	-0.35
	下肢長/身長	90.77	0.14	0.03	0.27

B: 非標準化係数, β : 標準化係数, p: 有意確率, r: 偏相関係数, いずれの項目も多重共線性なし。



* 体脂肪率 = $-3.38 + 3.96 \times \text{腹囲/体重}^{1/3} - 24.94 \times \text{前腕囲/上腕囲} - 0.46 \times \text{BMI} - 54.63 \times \text{下肢長/身長}$
 * 除脂肪量 = $31.62 + 3.66 \times \text{BMI} - 3.64 \times \text{腹囲/体重}^{1/3} - 4.68 \times \text{上腕囲/体重}^{1/3} + 90.77 \times \text{下肢長/身長}$

図 1 体脂肪率及び除脂肪量の推定値と実測値の関係 (研究 2)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 袴田智子、設楽佳世	4. 巻 23
2. 論文標題 特集【Kinanthropometry-アスリートの形態計測再考】光学式三次元人体計測器を使用した日本人トップアスリートおよびジュニアアスリートの形態的特徴について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメカニクス研究	6. 最初と最後の頁 36-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 設楽佳世、袴田智子
2. 発表標題 形態指標を用いたアスリートの身体組成の推定
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hakamada N., Shitara K., Kubo Y., Ishige Y.
2. 発表標題 Body composition assessment in an athlete with a congenital limb deficiency
3. 学会等名 9th VISTA Conference, Amsterdam, September 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 設楽佳世、袴田智子、大西貴弘、池田達昭
2. 発表標題 アスリートの身体組成を評価するための形態指標
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ohta M, Midrikawa T, Hikiyara Y, Shitara K, Torii S, Sakamoto S
2. 発表標題 CAN 3DPS METHOD VALIDLY ESTIMATE %FAT OF CHILDREN ?
3. 学会等名 23th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------