

# アスリートの身体組成を評価するための 形態指標

Anthropometric Evaluation of Body Composition in  
Athletes

設楽 佳世

SHITARA Kayo

# アスリートの身体組成を評価するための 形態指標

## Anthropometric Evaluation of Body Composition in Athletes

設楽 佳世

SHITARA Kayo

**要旨：**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、D X A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、B M I、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。

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

### 1. 緒言

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ニング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

---

本稿は科学研究費助成事業（若手研究、課題番号18K17835「形態指標を用いたアスリートの身体組成の推定式開発」研究代表者：設楽佳世）の補助を受けた研究成果の一部である。

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、磁気共鳴画像診断法（MRI法）、二重エネルギーX線吸収測定法（以下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線による被爆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いえない。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）。従来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。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。

そこで本研究では、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。

### 1.1 アスリートの身体組成を評価するための形態指標

#### －身体サイズに関わる評価指標に着目して－（研究1）

アスリートの身体組成の簡易評価法の一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）。そこで研究1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。

### 1.2 アスリートの身体組成を評価するための形態指標

#### －身体形状に関わる評価指標に着目して－（研究2）

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。そこで研究2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。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

研究1では、男性シニアアスリート39名（年齢 $22.8 \pm 5.0$ 歳、身長 $170.9 \pm 5.8$ cm、体重 $62.9 \pm 7.4$ kg）を対象とした。研究2では、男性シニアアスリート73名（年齢 $22.4 \pm 4.9$ 歳、身長 $171.7 \pm 5.9$ cm、体重 $68.5 \pm 11.4$ kg）を対象とした。各被験者には、測定の手順、内容、及び安全性についての十分な説明を実施し同意を得た。本研究の測定は、測定実施機関における倫理審査委員会の承認を得たうえで行われた。

### 2.2 測定方法

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必要不可欠である。本研究で用いる光学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。

研究1では、光学3次元人体形状計測法による形態計測に加えて、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（Svendsen 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。

研究2では、光学3次元人体形状計測法による形態計測に加えて、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。

### 2.3 統計処理

研究1では、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。

研究2では、形態計測により得られた周径囲を、体重の1/3乗で除すことで体格補正した。体格指数（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。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 アスリートの身体組成を評価するための形態指標

－身体サイズに関わる評価指標に着目して－（研究1）

形態計測により得られた形態指標を独立変数、D X A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（Taylor 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： $51.6 \pm 5.3\text{kg}$ 、実測値： $55.7 \pm 6.1\text{kg}$ 、 $p < 0.01$ ）。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。

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	$\beta$	p	r	R <sup>2</sup>	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,  $\beta$ : 標準化係数, p: 有意確率, r: 偏相関係数,  
 R<sup>2</sup>: 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。

### 3.2 アスリートの身体組成を評価するための形態指標

#### －身体形状に関わる評価指標に着目して－（研究2）

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<sup>2</sup>=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<sup>2</sup>=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（Japan Society for the Study of Obesity, 2002; Fujita et al., 2011; Lee, 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（Shakir, 1974）や小児肥満指標（Chaput et al., 2017）としても使われており、Dwyer & Davis（2010）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（Dwyer & Davis, 2010）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。

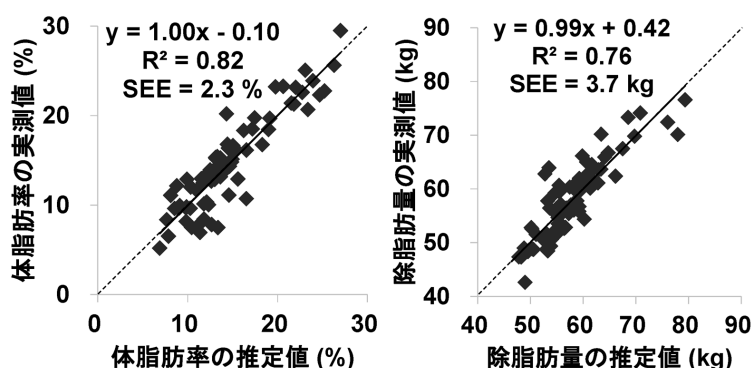
表2 形態指標を独立変数、体脂肪率及び除脂肪量を従属変数とした重回帰分析の結果（研究2）

従属変数	説明変数	B	$\beta$	p	r
体脂肪率	腹囲/体重 <sup>1/3</sup>	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 <sup>1/3</sup>	-3.64	-0.65	0.00	-0.59
	上腕囲/体重 <sup>1/3</sup>	-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,  $\beta$ : 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。



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）



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

#### 4. 結論

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。その結果、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。

#### 参考文献

- Jackson AS., Pollock ML., *Generalized equations for predicting body density of men.* Br J Nutr 40(3): pp.497-504, 1978.
- Jackson AS., Pollock ML., Ward A., *Generalized equations for predicting body density of women.* Med Sci Sports Exerc 12(3): pp.175-181, 1980.
- Tanaka K., Nakadomo F., Watanabe K., Inagaki A., Kim HK., Matsuura Y., *Body composition prediction equations based on bioelectrical impedance and anthropometric variables for Japanese obese women.* Am J Hum Biol 4(6): pp.739-745, 1992.
- Demura S., Yamaji S., Goshi F., Kobayashi H., Sato S., Nagasawa Y., *The validity and reliability of relative body fat estimates and the construction of new prediction equations for young Japanese*

- adult males*. J Sports Sci 20(2): pp.153-164, 2002.
- Hicks VL., Stolarczyk LM., Heyward VH., Baumgartner RN., *Validation of near-infrared interactance and skinfold methods for estimating body composition of American Indian women*. Med Sci Sports Exerc 32(2): pp.531-539, 2000.
- Heyward VH., Cook KL., Hicks VL., Jenkins KA., Quatrochi JA., Wilson WL., *Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women*. Int J Sport Nutr 2(1): pp.75-86, 1992.
- Tran ZV., Weltman A., *Generalized equation for predicting body density of women from girth measurements*. Med Sci Sports Exerc 21(1): pp.101-104, 1989.
- 宮城修、塚中敦子、松尾浩世、小川勝之、桜井佳世、北川薫「男女スポーツ競技者の身体密度推定式」『体力科学』43, 1994, pp.415-425.
- Warner ER., Fornetti WC., Jallo JJ., Pivarnik JM., *A Skinfold Model to Predict Fat-Free Mass in Female Athletes*. J Athl Train 39(3): pp.259-262, 2004.
- Pichard C., Kyle UG., Gremion G., Gerbase M., Slosman DO., *Body composition by x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance in female runners*. Med Sci Sports Exerc 29(11): pp.1527-1534, 1997.
- Fornetti WC., Pivarnik JM., Foley JM., Fiechtner JJ., *Reliability and validity of body composition measures in female athletes*. J Appl Physiol 87(3): pp.1114-1122, 1999.
- Yannakoulia M., Keramopoulos A., Tsakalakos N., Matalas AL., *Body composition in dancers: the bioelectrical impedance method*. Med Sci Sports Exerc 32(1): pp.228-234, 2000.
- Civar S., Aktop A., Tercan E., Ozdol Y., Ozer K., *Validity of leg-to-leg bioelectrical impedance measurement in highly active women*. J Strength Cond Res 20(2): pp.359-365, 2006.
- Takai Y., Nakatani M., Aoki T., Komori D., Oyamada K., Murata K., Fujita E., Akamine T., Urita Y., Yamamoto M., Kanehisa H., *Body shape indices are predictors for estimating fat-free mass in male athletes*. PLoS One 18;13(1):e0189836, 2018.
- Wang J., Gallagher D., Thornton JC., Yu W., Horlick M., Pi-Sunyer FX., *Validation of a 3-dimensional photonic scanner for the measurement of body volumes, dimensions, and percentage body fat*. Am J Clin Nutr 83(4): pp.809-816, 2006.
- Pepper MR., Freeland-Graves JH., Yu W., Stanforth PR., Xu B., *Evaluation of a rotary laser body scanner for body volume and fat assessment*. J Test Eval 8;39(1): pp.1-6, 2010.
- Svendsen OL., Haarbo J., Hassager C., Christiansen C., *Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo*. Am J Clin Nutr 57: pp.605-608, 1993.
- Hansen NJ., Lohman TG., Going SB., Hall MC., Pamentier RW., Bare LA., Boyden TW., Houtkooper LB.,

- Prediction of body composition in premenopausal females from dual-energy X-ray absorptiometry.* J Appl Physiol 75: pp.1637-1641, 1993.
- Snead DB., Birge SJ., Kohrt WM., *Age-related differences in body composition by hydrodensitometry and dual-energy X-ray absorptiometry.* J Appl Physiol 74: pp.770-775, 1993.
- Jensen MD., Kanaley JA., Roust LR., O'Brien PC., Braun JS., Dunn WL., Wahner HW., *Assessment of body composition with use of dual-energy x-ray absorptiometry: evaluation and comparison with other methods.* Mayo Clin Proc 68: pp.867-873, 1993.
- Brozek J., Grande F., Anderson JT., Keys A., *Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions.* Ann N Y Acad Sci 110: pp.113-140, 1963.
- Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. Physiol Rev 80: 649-680, 2000.
- 北川 薫「体脂肪測定法」『体力科学』47, 1998, pp.629-636.
- Taylor RW., Keil D., Gold EJ., Williams SM., Goulding A., *Body mass index, waist girth, and waist-to-hip ratio as indexes of total and regional adiposity in women: evaluation using receiver operating characteristic curves.* Am J Clin Nutr 67(1): pp.44-49, 1998.
- Rankinen T., Kim SY., Périusse L., Després JP., Bouchard C., *The prediction of abdominal visceral fat level from body composition and anthropometry: ROC analysis.* Int J Obes Relat Metab Disord 23(8): pp.801-809, 1999.
- Grundy SM., Neeland IJ., Turer AT., Vega GL., *Waist circumference as measure of abdominal fat compartments.* J Obes 2013: 454285, 2013.
- Tsukiyama H., Nagai Y., Matsubara F., Shimizu H., Iwamoto T., Yamanouchi E., Sada Y., Kato H., Ohta A., Tanaka Y., *Proposed cut-off values of the waist circumference for metabolic syndrome based on visceral fat volume in a Japanese population.* J Diabetes Investig 7(4): pp.587-593, 2016.
- Lahav Y., Epstein Y., Kedem R., Schermann H., *A novel body circumferences-based estimation of percentage body fat.* Br J Nutr 119(6): pp.720-725, 2018.
- Preis SR., Massaro JM., Hoffmann U., D'Agostino Sr RB, Levy D., Robins SJ., Meigs JB., Vasan RS., O'Donnell CJ., Fox CS., *Neck circumference as a novel measure of cardiometabolic risk: the Framingham Heart study.* J Clin Endocrinol Metab 95(8): pp.3701-3710, 2010.
- Vallianou NG., Evangelopoulos AA., Bountziouka V., Vogiatzakis ED., Bonou MS., Barbetseas J., Avgerinos PC., Panagiotakos DB., *Neck circumference is correlated with triglycerides and inversely related with HDL cholesterol beyond BMI and waist circumference.* Diabetes Metab Res Rev 29(1):90-7, 2013.
- Ohta M., Midorikawa T., Hikiyama Y., Sakamoto S., Kawakami Y., Fukunaga T., Kanehisa H., *Body mass-to-waist ratio strongly correlates with skeletal muscle volume in children.* PLoS One 12(5): e0177155, 2017.

- Examination Committee of Criteria for 'Obesity Disease' in Japan; Japan Society for the Study of Obesity, *New criteria for 'obesity disease' in Japan*. Circ J 66(11): pp.987-992, 2002.
- Fujita Y., Kouda K., Nakamura H., Iki M., Cut-off values of body mass index, waist circumference, and waist-to-height ratio to identify excess abdominal fat: population-based screening of Japanese school children. J Epidemiol 21(3): pp.191-196, 2011.
- Lee WS., Body fatness charts based on BMI and waist circumference. Obesity (Silver Spring) 24(1): pp.245-249, 2016.
- 設楽佳世、勝亦陽一、袴田智子、池田達昭、鈴木康弘、平野裕一「日本人一流競技選手における形態及び身体組成の競技種目特性」『トレーニング科学』27巻1号, 2016, pp.35-46.
- Shakir A., The arm/head ratio in the assessment of protein-calorie malnutrition in Baghdad. J Trop Pediatr Environ Child Health 20(3): p.122-125, 1974.
- Dwyer GB., Davis SE., ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual, 青木純一郎、内藤久士 監訳「健康に関わる体力の測定と評価－その有意義な活用を目ざして－」市村出版, pp.47-49, 2010年.
- Chaput JP., Katzmarzyk PT., Barnes JD., Fogelholm M., Hu G., Kuriyan R., Kurpad A., Lambert EV., Maher C., Maia J., Matsudo V., Olds T., Onywera V., Sarmiento OL., Standage M., Tudor-Locke C., Zhao P., Tremblay MS., ISCOLE Research Group, *Mid-upper arm circumference as a screening tool for identifying children with obesity: a 12-country study*. Pediatr Obes 12(6): pp.439-445, 2017.