

体育系女子大学生のBMIと最適 allometry 指数

Body Mass Index and Optimal Allometric Exponent for Active Female Students in Women's College of Physical Education

若山 章信

WAKAYAMA Akinobu

Abstract

Body mass index, calculated as body weight divided by height squared (BMI: kg/m²) is one of the useful variables for detect an overweight. The purpose of this study was to inspect it in active female students and to calculate an optimal allometric exponent corrected by lean body mass (LBM). The “*p*” values are derived by determining the allometric relations between body weight and height (body weight = $a \times \text{height}^p$).

302 female students' data (among 15 to 30 % body fat) were used. The average (and S.D.) of height, weight, percent body fat, LBM and BMI were, 1.602 (0.053) m, 55.5 (6.0) kg, 23.7 (3.3) %, 42.3 (4.4) kg and 21.5 (1.7) kg/m², respectively. A value of “*p*” was 2.38 by an allometric analysis from LBM and numerical formula to correct the BMI was follow.

$$\text{corrected BMI} = \frac{\text{body weight}}{\text{height}^{2.38}} + 3.5$$

Sixteen subjects out of 302 subjects were overweight (BMI \geq 25), detected by normal calculation in spite of their percent body fat were less than 30 %. Eleven subjects out of sixteen subjects were not overweight (BMI < 25), calculated by corrected BMI formula. Therefore, proposed numerical formula is useful to detect an overweight for active female students or athletes.

Keywords: female athlete, dimension, LBM, Rohrer index

1. はじめに

body mass index (BMI) とは、直訳すれば「身体質量指数」であり、体重を基にした体格評価指標の総称である(以下、「index = 指数」と「累乗の指数 = exponent」との混乱を避けるため、*p*乗を「allometry 指数」とする(服部と沢木:1971))。この体格評価指標については多種提案されているが(松浦:1983)、

その多くは、「体重÷身長^{*p*}」あるいは「 $\sqrt[p]{\text{体重}} \div \text{身長}$ 」といった、体重に比例し身長に反比例するallometry式(生物固有の体格・心拍数・寿命等の指標を、2つの指標間の累乗関数や対数関数によって説明する方法(Asmussen and Heeboll-Nielsen (1955), Huxley JS (1924, 1932))となっている。最も汎用な指標は、「体重÷身長²:Quetelet指数あるいはKaup指数」と「体重÷身長³:Rohrer指数」である。その標準的な

値を示した。

$$\begin{aligned} \text{Quetelet 指数} &= \text{BW}(\text{kg}) \div \text{H}(\text{m})^2 && 18 \sim 25 \text{ 程度} \\ \text{Rohrer 指数} &= \text{BW}(\text{kg}) \div \text{H}(\text{m})^3 \times 10 && 100 \sim 160 \text{ 程度} \end{aligned}$$

BW: body weight, H: height

服部と沢木(1971)は早くからallometryに着目し、日本人18歳男女の体重が、身長²の2.0乗程度(男性:2.05, 女性:1.91)のallometryになることを示している。そして、Key's et al.(1972)は、Quetelet指数が体脂肪率や肥満度と高い相関を示したことを報告し、BMIといえば「体重 \div 身長²(kg/m²)」を指すのが一般的となった。それ以降、疫学的な見地からのBMIの調査が世界的に行われており、例えばニューヨーク市民の年齢・性別・人種間での違い(Gallagher et al.(1996)), アジア人種の特徴(Corazon(2004)), 世界199カ国910万人のデータ収集(Finucane et al.(2011)), 米国におけるBMI 30以上の肥満者の動態調査(Flegal et al.(2012)), などが挙げられる。そして日本では、厚生労働省の特定健診・特定保健指導の基準にBMIが採択され(25以上でリスクあり)、国民に知れ渡るところとなった。本稿においても、「体重 \div 身長²」をBMIと称する。

ところで、体重を身長²の何乗で除すかについては、体重の決定要因をどう捉えるかによる。長さの2乗は面積、長さの3乗は体積であり、BMIは身長を一辺とした正方形の面積あたりの重さを、Rohrer指数は身長を一辺とした正立方体の体積あたりの重さを意味する。また、体重は体積と身体密度に比例する(体重=体積 \times 身体密度)。したがって、体重(=体積)を身長²(=面積)で除すBMIのdimensionは、「長さ」と同等であり、同じ体型(相似形)にあっては身長が高いほど値が大きくなる。しかし、動物の体格は、身長(体長)が大きくなるほど瘦身型になることが知られている。この一因として、熱産生量が筋肉量(筋体積)に比例するのに対し、放熱量は体表面積に比例するため、相似形で大型化すると放熱に見合う体表面積が確保できなくなることが挙げられる(服部:2006)。したがって、身長²の何乗で除すべきかの最適allometry指数は、2乗と3乗の間に位置すると考えら

れる。Hattori and Hirohara(2002)は日本人男女5歳から17歳のデータから、小学校高学年期では約3乗(年齢別平均値の最大値, 男性:3.31, 女性:3.12)で近似され、中学校後半からは約2乗(年齢別平均値の最小値, 男性:1.93, 女性:1.79)で近似されることを示した。すなわち、allometry指数の最適値は成長過程において大きく変動し、第二次性徴期以降(身長の伸びが止まり体重が増加)は小さくなる。それでは、日常的に運動を行う女性あるいは女性アスリートのallometry指数の最適値はどの程度であり、身長²で除す一律の評価に問題はないのであろうか。若山ら(2011)は、女子体育大学生のBMIが1970年からの40年間、22.2前後で大きな変動をしていないことを示している。また、若山ら(2013)は、運動部所属者についても、その平均値が22.4 \pm 2.20であったことを示している。女性のBMIの適正值は21とされており(日本肥満学会)、アスリートに対してもBMIの適用は問題ないように見える。しかし、種目別平均値をみると最大値は陸上競技投擲選手の25.1 \pm 3.00と高く(若山ら(2013)), 特定保険指導の「リスクあり」に相当するが、筋量が多いことに起因していることは明らかである(最小値は陸上競技長距離選手の20.6 \pm 1.67)。しかし、身体組成や体脂肪率などは測定されておらず、詳細な検討はなされていない(東京女子体育大学では、1985年から1991年にかけて、体力テストと並行して上腕背部、肩甲骨下部および腹部の皮脂厚の計測および体脂肪率の推定が行われていたが、近年では実施されていない)。

そこで本研究では、体育系女子大学生のBMIを調査するとともに、体脂肪率や除脂肪体重との関係から最適allometry指数を求めた。

2. 方法

1) 被検者および測定項目

2004年度から2016年度に、大学3年次の授業「健康・体力評価の理論と実習」を履修した、東京女子体育大学学生355人の内、体脂肪率が適正範囲内の302人(30.0%未満)と肥満傾向の51人(30.0%以上)の2群を対象とした(15%未満の2人は除外)。測

定は各年4月下旬に行い、被検者の年齢は概ね20歳であった。運動部所属者は7割程度であるが、非所属者であっても大学2年次までの必修実技授業により、1日1時間・週3日程度の運動を継続していたとみなせる。なお、授業ガイダンスにおいて形態測定等の実習内容やデータの共有について説明した。

2) 測定項目

身長(1mm単位)と体重(100g単位)、そして生体電気抵抗法(Inbody 3.2, Biospace社製:8点接触型電極)により体脂肪率(%Fat)と除脂肪体重(LBM)を推定した。測定は排尿・排便後とし、電気抵抗法の測定では手掌および足底を生理食塩水により洗浄し、加湿した後に実施した。

3) データ処理・統計処理

まず、BMIおよびRohrer指数を算出した。次に、体脂肪率が適正範囲内の302人を対象として、「最適allometry指数」を算出した。この算出では、身長と「 $\text{体重} \div \text{身長}^p$ 」との最小自乗法による一次回帰式が、回帰係数0・相関係数0となる p 値を求めた(累乗回帰)。①式において累乗指数 p が「最適allometry指数」となる。 a は定数項であり、論理的には「身長0における体重」を意味するが、実質的な意味はもたない。②式において、分数項の被検者平均値は①式の a に収束する。したがって、身長とcorrected BMI $_i$ (「最適allometry指数」により補正されたBMI)の分数項との一次回帰式は、回帰係数0、回帰定数 a の直線となり、その相関係数は0となる。定数項 b は、分数項が収束する a と最適BMIの差を補正する。例えば、最適BMIを22とするならば、 $b = 22 - a$ となる。本研

究では、被検者のBMI平均値に対する差を補正值とした。

$$\text{body weight} = a \times \text{height}^p \dots \text{①}$$

$$\text{corrected BMI}_i = \frac{\text{body weight}}{\text{height}^p} + b \dots \text{②}$$

統計処理では相関分析と分散分析(繰り返しのある一元配置)を行った。危険率の有意水準は5%未満とした。また、変動係数(CV)を算出した。そして、corrected BMI $_i$ (以下BMI $_i$)による補正を肥満傾向者の51人(体脂肪率30.0%以上)にも適用し、その検出精度を検討した。なお、指数(index)は本来「単位」を持たないが、本稿では計算式を示す意味で、図表中には単位を付記した。

3. 結果と考察

Tab.1に、体脂肪率が適正範囲内(体脂肪率30%未満)302人の、測定結果およびBMI $_i$ の試算結果を示した。それぞれの平均値(標準偏差)は、身長:1.602(0.053)m、体重:55.5(6.0)kg、体脂肪率:23.7(3.3)%、除脂肪体重:42.3(4.4)kg、そして、BMI:21.5(1.7)であった。

Fig.1に身長とBMIの関係を示した(図中の●はBMI 25以上の16人)。相関係数は0.115と低かったものの、5%水準の危険率で有意な正の相関関係が認められた。つまり、身長が高いほどBMIは高くなり、身長の10cmの違いはBMIにして0.367(回帰係数=3.67)の差となる。Fig.2に身長とRohrer指数の関係を示した。これには、0.1%水準の危険率で有意な負の

Table 1. Group characteristics of the subjects under 30% body fat.

n = 302	height (m)	weight (kg)	% fat (%)	LBM (kg)	BMI (kg/m ²)	BMI w_b (kg/m ^{2.27})	BMI l_b (kg/m ^{2.38})	Rohrer (kg/m ³)
mean	1.602	55.5	23.7	42.3	21.5	21.5	21.5	134.5
S.D.	0.053	6.0	3.3	4.4	1.7	1.5	0.9	10.9
Min.	1.470	41.5	15.3	32.1	17.0	17.6	19.5	108.2
Max.	1.730	78.6	29.8	59.3	27.3	26.2	24.5	163.1
CV(%)	3.3	10.9	14.0	10.3	7.8	6.8	4.2	8.1

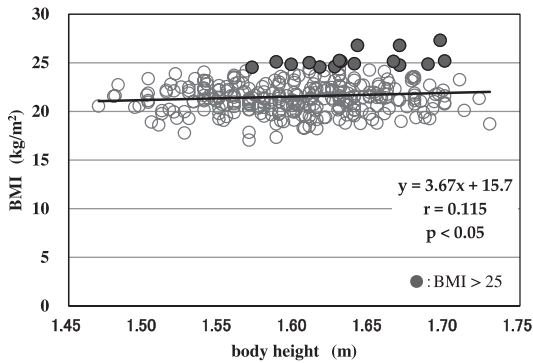


Figure 1. The relationship between body height and BMI.

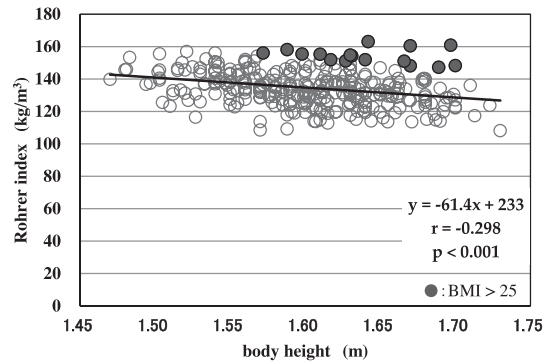


Figure 2. The relationship between body height and Rohrer index.

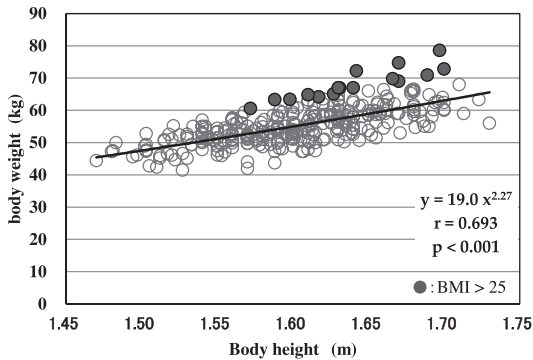


Figure 3. The result of the allometric analysis between body height and weight.

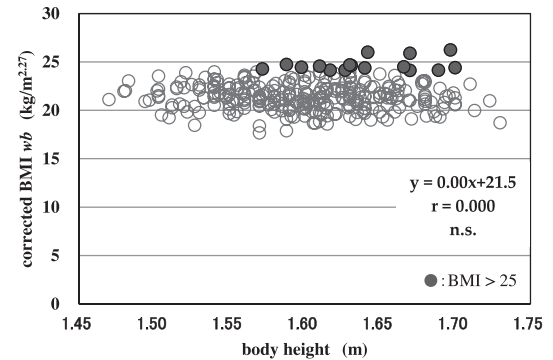


Figure 4. The relationship between body height and BMI wb.

相関関係 ($r = -0.298$) が認められた。つまり、身長が高いほど Rohrer 指数は低くなることが示された。身長と BMI が正の相関、身長と Rohrer 指数が負の相関を示したことから、「最適 allometry 指数」は $2 < p < 3$ となる。そこで、身長と体重の関係について累乗回帰を行ったところ、「最適 allometry 指数」は 2.27、定数項は 19.0 となった (Fig.3)。定数項 19.0 は、身長と「体重 ÷ 身長^{2.27}」の一次回帰式における回帰定数となる。そこで、BMI 平均値 21.5 への補正のため、その差 2.5 を加算した「体重 ÷ 身長^{2.27} + 2.5」を BMI_{wb} とした。Fig.4 に身長と BMI_{wb} の関係を示した。回帰分析では当然、回帰係数 0、回帰定数 21.5、相関係数 0 が得られる。BMI_{wb} は、骨格筋量や除脂肪体重を考慮しない算出式であるが、BMI 25 以上であった 16 人の内 9 人が 24 以下となった。

次に、身長と除脂肪体重の関係について累乗回帰を行ったところ、「最適 allometry 指数」2.38、定数項 13.7 が得られた (Fig.5)。Fig.6 に BMI 平均値 21.5 への補正を加えた、身長と「体重 ÷ 身長^{2.38} + 3.5」(BMI_{lb}) の関係を示した (除脂肪体重による算出のため、補正値は「21.5 - 13.7」= 7.8 ではなく、「21.5 - 体重 ÷ 身長^{2.38}の平均値」= 3.5)。BMI 25 以上であった 16 人中 11 人が 24 以下となった。BMI_{lb} は、日常的に運動する成人女性の BMI を、除脂肪体重を考慮して算出する方法となる。Fig.7 に、BMI と BMI_{lb} の関係を示した。identity line より右下は、補正算出法によって BMI が低くなったことを、左上は高くなったことを意味する。また、Tab.2 に示したように、体重の平均値である 55.5kg に近い被検者ほど、補正による影響を受けづらい。Fig.8 には、身長と「BMI_{lb} と BMI との差」

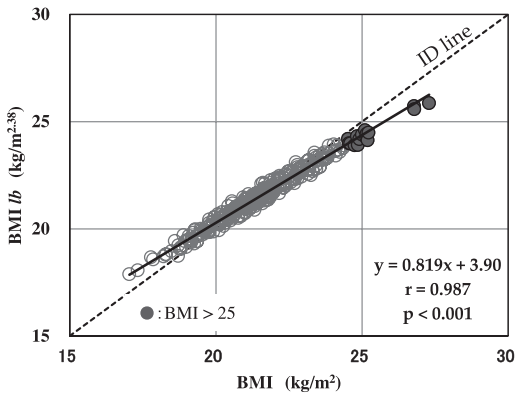
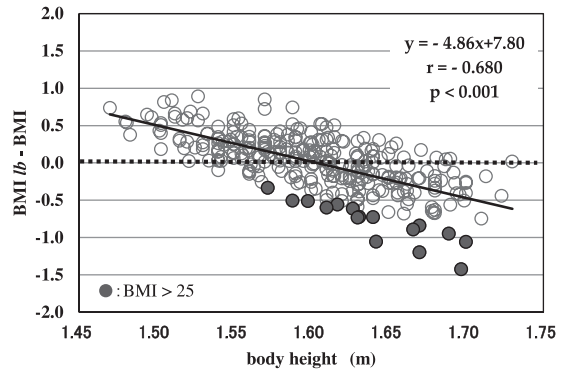
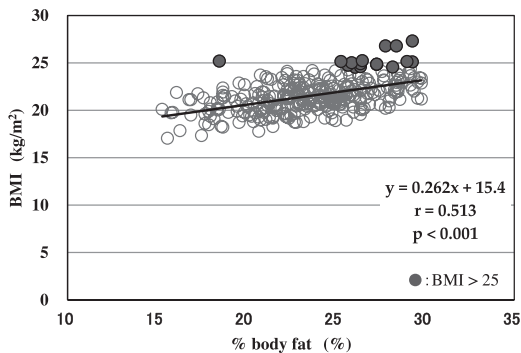
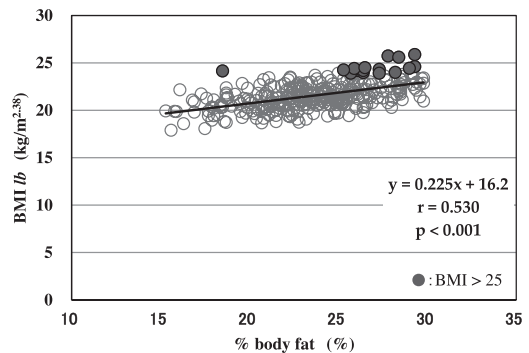
Figure 7. The relationship between BMI and BMI *lb*.Figure 8. The relationship between body height and BMI *lb* subtracted by BMI.

Figure 9. The relationship between % body fat and BMI.

Figure 10. The relationship between % body fat and BMI *lb*.

の関係を示した。BMI算出のパラドックスから、身長の高い者や低い者ほど、補正によってBMIが適正値に近づく(BMI*lb*とBMIに差がある)ことがわかる。

目標とする体脂肪率から目標体重を定める式は、除脂肪体重を基準とした③となる。例えば目標体脂肪率が25%なら、除脂肪体重を0.75で除すことになる。除脂肪体重を一定の数値で除すことから、本研究の被験者においては目標体脂肪率が何%であろうと、身長と目標体重との「最適allometry指数」は身長と除脂肪体重とのそれと同じ、2.38となる。つまり、日常的に運動する女性や女性アスリートのBMI算出においては、除脂肪体重(あるいは目標体脂肪率)を考慮した算出式である、「体重÷身長^{2.38+3.5}」が適しているといえる。

$$\text{Target body weight} = \frac{\text{LBM}}{\left(1 - \frac{\text{Target\%Fat}}{100}\right)} \dots \textcircled{3}$$

ところで、定数項が大きいくほど、corrected BMIの標準偏差は小さくなる(BMI, BMI*lb*, BMI*lb*の3項目間の分散分析結果:F境界値3.01, p<0.001)。このため、変動係数(CV)も当然小さくなる。BMIは、体脂肪率との相関が高いことがその有用性の1つとなっているが、変動係数が小さくなれば、肥満者の検出精度が下がりがかねない。そこで、体脂肪率との関係をみてみると、Key's et al.(1972)同様、体脂肪率とBMIとは高い相関(r=0.513, p<0.001)を示し、体脂肪率とBMI*lb*もほぼ同値(r=0.530, p<0.001)であった(Fig.9, Fig.10)。今回の「最適allometry指数」算出に用いた被検者は適正体脂肪率者であり、

Table 3. Group characteristics of the subjects over 30% body fat.

n = 51	height (m)	weight (kg)	% fat (%)	LBM (kg)	BMI (kg/m ²)	BMI <i>wb</i> (kg/m ^{2.27})	BMI <i>lb</i> (kg/m ^{2.38})	Rohrer (kg/m ³)
mean	1.583	60.2	31.9	41.0	24.0	23.8	23.7	151.8
S.D.	0.053	6.2	2.0	4.2	1.8	1.5	1.5	11.8
Min.	1.472	47.1	30.0	32.2	20.0	20.4	20.6	126.9
Max.	1.724	80.0	38.8	54.6	27.2	26.6	26.4	173.3
CV(%)	3.3	10.3	6.2	10.2	7.3	6.5	6.2	7.8

BMIでは25以上(リスクあり)と計算された被検者16人中11人が24以下(適正)となった。また、Tab.2に肥満傾向(体脂肪率30.0%以上)51人の測定結果を示した。BMI25以上は25人であったが、補正によって25未満となったのは、この内2人であった。したがって、BMI $_{lb}$ は、より高い検出精度で肥満者を抽出できるといえる。

4. まとめ

本研究では、女子体育大学生353人のBMIを調査するとともに、体脂肪率や除脂肪体重との関係から最適allometry指数を求めた。その結果、除脂肪体重あるいは目標体脂肪率を考慮した算出式である、「体重÷身長^{2.38}+3.5」がBMI補正式として適しており、肥満者の抽出精度も高まることが確認された。

付記

本研究は、平成28年度奨励個人研究費による助成を得た。

引用文献

- 1) Asmussen E and Heeboll-Nielsen K (1955): A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *Journal of Applied Physiology* 7, 593-603.
- 2) Corazon B, Sforza C and et al. (2004): Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lance* 10: 363 (9403) 157-163.
- 3) Finucane MM, Stevens GA and et al. (2011): National, regional, and global trends in body-mass index since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9.1 million participants. *Lancet* 12: 377 (9765) 557-567.
- 4) Flegal KM, Carroll MD and et al. (2012): Prevalence of obesity and trends in the distribution of body mass index among US adults, 1999-2010. *J Am Med Assosi.* 307 (5): 491-497.
- 5) Gallagher D, Visser M and et al. (1996): How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? *Am J Epidemiol.* 143 (3): 228-39.
- 6) Hattori K and Hirohata T (2002): Age change of power in weight/height^p indices used as indicators of adiposity in Japanese. *Am J Hum Biol.* 14: 275-279.
- 7) 服部恒明, 沢木昱甫 (1971): 18歳における身体諸径の相対変異. *人類学雑誌* 79 (4) 337-346.
- 8) 服部恒明 (2006): 発育期のBody Mass Indexと身体組成. *体育学研究* 51: 435-446.
- 9) Huxley JS (1924): Constant differential growth ratios and their significance. *Nature* 114, 895-896.
- 10) Huxley JS (1932): *Problems of relative growth.* London, Methuen & Co.Lt.
- 11) Key's A, Fidanza F and et al. (1972): Indices

of relative weight and obesity. J Chronic DIS. 25: 329- 343.

- 12) 厚生労働省:生活習慣病予防のための健康情報サイト(閲覧日, 2016/11/18).
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/metabolic/ym-002.html>
- 13) 松浦義行 (1983):体力測定法. 朝倉書店, 東京. pp. 161-162.
- 14) 若山章信, 服部次郎ほか(2011):本学学生の体格・体力の推移 —1970年から2010年のデータより—. 東京女子体育大学女子体育研究所所報 5, 37-41.
- 15) 若山章信, 八尾泰寛ほか(2013):体力テストによる女子競技スポーツ選手の体力標準値と競技別体力特性. 東京女子体育大学女子体育研究所所報 7, 59-72.