

両掌間生体インピーダンス (HHBI) 法による 日本の子どもの除脂肪量 (FFM) 推定式の開発

溝畑 潤^{1,2}、中塘二三生²、大河原一憲³、
金 憲経⁴、田中喜代次⁵、田路 秀樹¹

Development of Fat Free Mass (FFM) Prediction Equations Estimated from Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance (HHBI) Method in Japanese Children

Jun MIZOHATA^{1,2}, Fumio NAKADOMO², Kazunori OHGAWARA³,
Hun Hyung KIM⁴, Kiyoji TANAKA⁵ and Hideki TOJI¹

Abstract

The purpose of this study was to develop fat free mass (FFM) prediction equations estimated from the hand-to-hand bioelectrical impedance (HHBI) method as an assessment of body composition of Japanese children in a wide range of age groups. The subjects of this study were 145 healthy Japanese children (boys, n=70; girls, n=75) from 4 to 15 years old. FFM prediction equations were calculated by the validation groups (boys, n=46; girls, n=50) using multiple analysis that FFM estimated from deuterium dilution technique (DDT) as the dependent variable and height, body mass, impedance index ($\text{height (cm)}^2/\text{impedance (Z)}$) and age as the independent variables. FFM estimated from the prediction equations were found in both boys and girls a significant correlation FFM estimated from DDT ($r=0.986$ for boys, $r=0.969$ for girls; $p<0.001$). Cross-validation analysis using Bland Altman plot did not found a significant correlation between FFM estimated from prediction equations and FFM estimated from DDT in the cross-validation group (boys, n=24; girls, n=25). We suggest that FFM prediction equations using HHBI that are useful for assessment of body composition of Japanese children in a wide range of age groups.

Keywords: healthy Japanese children, prediction equation, HHBI

¹ 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科

(Graduate course of Human Science and Environment, University of Hyogo)

² 関西学院大学人間福祉学部

(School of Human Welfare Studies, Kwansei Gakuin University)

代表者の通信先：関西学院大学人間福祉学部、〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町1-155

(School of Human Welfare Studies, Kwansei Gakuin University, 1-155 Ichiban-cho, Uegahara, Nishinomiya, Hyogo 662-8501, Japan)

³ 電気通信大学大学院情報理工学研究科

(Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communication)

⁴ 東京都健康長寿医療センター研究所

(Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital and Institute of Gerontology)

⁵ 筑波大学体育系

(Faculty of Health & Sport Sciences, University of Tsukuba)

受付日：H29.3.13, 採択日：H29.4.28

緒言

身体組成評価には、間接法として水中体重秤量法 (underwater weighing method: 以下UWWとする) による身体密度の算出、重水希釈法 (deuterium dilution technique: 以下DDTとする) による体水分量 (total body water: 以下TBWとする) の算出、二重エネルギー X線吸収法 (dual energy X-ray absorptiometry method: 以下DXAとする) などがある^{1, 2)}。しかし、これらの推定法は高額な装置とその装置の専門的知識や測定技術が必要であり、短時間で簡便に測定することができない。一方、身体組成評価法の簡便法の一つである生体電気インピーダンス法 (bioelectrical impedance method: 以下BIとする) は、微弱な交流電流を身体に通電させることで得られる抵抗値 (以下インピーダンスとする) を用いる身体組成評価法であり、安全かつ短時間で簡便に測定することが可能である³⁻¹⁴⁾。したがって、BIは学校などの教育現場において、多人数を測定する身体組成評価法として国内外で評価されている¹⁵⁾。

そのBIによる子どもの身体組成評価の研究は、1890年代にHoutkooper et al.¹⁶⁾、我が国では1900年代に金ら¹⁷⁾、Kim et al.¹⁸⁾及び渡辺ら¹⁹⁾が、BIによる子どもの身体密度や除脂肪量 (fat free mass: 以下FFMとする) の推定式を報告している。また、近年ではNightingale et al.²⁰⁾が、英国ロンドン在住の様々な人種の子どもの対象にして、それぞれの人種に適したBIによるFFM、脂肪量 (fat mass: 以下FMとする) 及び体脂肪率 (percent body fat: 以下%BFとする) の推定式を報告している。我が国では緑川ら²¹⁾が小学生男女を対象として、DXAから求めた%BFを妥当基準として、Bモード超音波法とBIを用いた子どもの全身及び部位別体脂肪量の推定式を報告している。これらの研究は、子どもの身体組成をBIによって評価する貴重な報告であるが、BIの測定時の姿勢 (仰臥位) や方法 (吸着電極や電極ゲルを使用) が簡便ではないため、多人数を短時間で測定することは困難である。

一方、近年、対象者一人でも短時間で安全かつ簡便に測定可能なBIによる身体組成計が開発され、なかでも手と手の誘導法による両掌間BI (hand-to-hand bioelectrical impedance method: 以下HHBIとする) は、着衣のまま立位姿勢で靴や靴下を脱ぐ煩わしさもなく、両掌で電極部位を握るだけで測定が可能である。吉村ら²²⁾は、成人男女を対象にHHBIの有用性について検討し、その結果、他のBIの測定法と比較しても同等の信頼性、妥当性及び再現性が得られたことを報告している。また、Pribyl et al.²³⁾は、アメリカ人大学生を対象としてHHBIと空気置換法との%BFの間に有意な相関関係が認められた事

を報告している。さらにRutherford et al.²⁴⁾もアメリカ人の成人男女のHHBIによる%BFが、他のBIの測定法や皮下脂肪厚法による%BFと比較しても差異が認められなかったことを報告している。これらのことからHHBIは他のBIの測定法と同等の身体組成評価が可能であると考えられる。しかし、これらの研究は成人を対象としたものであり、子どもを対象として詳細に検討されていない。原ら²⁵⁾は9歳~17歳の男女を対象にして、BIによる日本人の子どもの%BF基準値の作成について検討し、その結果、%BFには明らかな年齢差、性差が認められ、BIで測定した%BFによる肥満度の判定には年齢や性差を考慮する必要があると報告している。また、酒井ら²⁶⁾は、幼児のBIに関する研究課題として「現在汎用されているBI計では幼児に適応した器具はなく、そのため幼児に対して使用する場合は参考資料のような扱いになってしまう」と指摘している。そこで本研究は、日本人の幅広い年齢層の子どもの身体組成を安全かつ短時間で簡便に評価するために、HHBIによる日本人の子どものFFM推定式の作成を試み、そのFFM推定式の交差妥当性について検討することを目的とした。

方法

1. 対象者

本研究の対象は4~15歳の健康な男子70名、女子75名の計145名であった。HHBIによるFFM推定式を作成する為に、対象者を性と年齢別に層別化し、無作為に推定式作成群 (以下Validation群とする) と交差妥当性群 (以下Cross-validation群とする) を2:1に近似するように振り分けた。従って、男子のValidation群は46名、Cross-validation群は24名、女子のValidation群は50名、Cross-validation群は25名とした。Table 1とTable 2にそれぞれ男女別に年齢、身長、体重、体格指数 (body mass index: 以下BMIとする)、DDTから求めたFFM、HHBIのインピーダンス (Z) 及びインピーダンス・インデックス (身長 (cm)²/Z) の平均値 (以下meanとする)、標準偏差 (standard deviation: 以下SDとする) を示した。

対象者の保護者には、測定における安全性および得られたデータの個人情報保護について十分に説明した後、同意を得て測定を実施した。なお本研究は「関西学院大学・人を対象とする行動学系研究倫理委員会」の承認を受けた (承認日2015年7月7日、受付番号2015-15)。

2. 測定項目および測定手順

すべての測定は同一日に実施し、対象者が食後2時間以上経過した状態で身長、体重、DDT及びHHBIの順で測定を行った。

Table 1 Physical characteristics of subjects

	Boys (n=70)	Range	Girls (n=75)	Range	Total (n=145)	Range
Age (year)	11.2 ± 3.0	4 — 15	10.5 ± 2.7	4 — 15	10.8 ± 2.9	4 — 15
Height (cm)	144.8 ± 18.8	97.4 — 176.9	140.8 ± 14.6	1102.2 — 166.6	142.7 ± 16.9	97.4 — 176.9
Body mass (kg)	36.5 ± 11.6	14.0 — 58.4	35.7 ± 11.3	16.0 — 62.8	36.1 ± 11.4	14.0 — 62.8
BMI (kg/m ²)	16.9 ± 1.9	14.1 — 23.5	17.5 ± 3.1	12.3 — 27.3	17.2 ± 2.6	12.3 — 27.3
FFM by DDT (kg)	31.0 ± 10.9	10.0 — 51.7	28.1 ± 8.3	10.4 — 42.6	29.5 ± 9.7	10.0 — 51.7
Impedance (Ohm; Z)	789.2 ± 109.9	579.0 — 1072.0	876.0 ± 101.9	593.0 — 1147.0	834.1 ± 114.1	579.0 — 1147.0
Impedance index (height(cm) ² /impedance(Z))	27.9 ± 8.9	9.7 — 48.4	23.4 ± 6.3	9.7 — 35.7	25.6 ± 7.9	9.7 — 48.4

BMI: Body mass index FFM: Fat free mass DDT: Deuterium dilution technique
All values are mean and standard deviation (±SD).

Table 2 Physical characteristics of Validation and Cross-validation groups

	Validation group		Cross-validation group	
	Boys (n=46)	Girls (n=50)	Boys (n=24)	Girls (n=25)
Age (year)	11.2 ± 2.9	10.4 ± 2.6	11.1 ± 3.1	10.6 ± 3.0
Height (cm)	144.8 ± 20.0	140.1 ± 15.1	144.9 ± 16.4	142.1 ± 13.9
Body mass (kg)	35.3 ± 11.4	33.1 ± 9.9	38.9 ± 11.4	40.7 ± 12.4
BMI (kg/m ²)	16.3 ± 1.3	16.5 ± 2.2	18.0 ± 2.2	19.6 ± 3.5
FFM by DDT (kg)	30.4 ± 10.8	26.6 ± 8.1	32.2 ± 10.9	31.1 ± 8.2
Impedance (Ohm; Z)	792.6 ± 107.6	900.9 ± 96.7	782.7 ± 113.8	826.2 ± 95.1
Impedance index (height(cm) ² /impedance(Z))	27.7 ± 8.8	22.5 ± 6.1	28.3 ± 9.0	25.2 ± 6.3

BMI: Body mass index FFM: Fat free mass DDT: Deuterium dilution technique
All values are mean and standard deviation (±SD).

1) DDT

40mlの蒸留水とともに10mlの重水 (99.9% D₂O) を経口投与した。尿は重水の投与前と2時間経過後に採集した。ただし、重水投与後の1時間経過時には必ず排尿することを条件とした。尿中に含有される重水濃度は、液体窒素と真空ポンプを用いて昇華した後の検体を用いて、ガスクロマトグラフィ(昭光通商製重水分析計HK-102)によって分析した。TBW (ℓ) は以下の式から算出した^{27,28)}。

$$TBW = (\text{重水投与量 (10ml)} \times \text{重水濃度 (0.999)} / \text{重水濃度} \times 10^6 - 50) \div 1000$$

(重水濃度は投与後の濃度から投与前の濃度を減じた値 (ppm), 50は重水と蒸留水を投与した合計量 (ml) を示す。)

FFMは体水分含有率 (%) から算出した。なお体水分含有率 (Y : %) は、これまで報告されている研究²⁹⁻³¹⁾をもとに、中塘ら²⁸⁾が求めた以下の式から算出した。

$$Y = 80.10 - 0.58X + 0.01X^2 \quad (X \text{ は年齢 (歳) を示す})$$

2) HHBI

HHBIにはオムロン社製HBF-300 (出力電流を800 μA、50 k Hzに規定したオムロン製の4極法) を使用し

た。測定体位は立位姿勢とし、掌を清拭した後、両腕が地面と水平に伸ばした状態で電極部を両手で軽く握り、インピーダンス (Z) を求めた²²⁾。

3. 統計解析

データの統計処理には統計ソフト SPSS for Windows ver.24.0を用いた。各項目の測定結果は mean ± SD で示した。また、各群間の相関分析には Pearson の積率相関係数 (r) を用いた。HHBI による FFM 推定式作成は先行研究²²⁾に基づいて、DDT から求めた FFM を従属変数、インピーダンス・インデックス (身長 (cm)²/インピーダンス (Z))、体重、年齢を独立変数とした重回帰分析 (強

制投入) によって作成し、その推定式の精度の指標として決定係数及び推定値の標準誤差 (standard error of estimated : 以下 SEE とする) を算出した。さらに Cross-validation 群において、DDT から求めた FFM と新たに開発した推定式から求めた FFM との相関分析を行うとともに、Bland-Altman 分析³²⁾ から系統誤差の有無を検討した。

結果

Validation 群における DDT から求めた FFM を従属変数、性、インピーダンス・インデックス、体重及び年齢を独立変数として、重回帰分析によって求めた男女別の

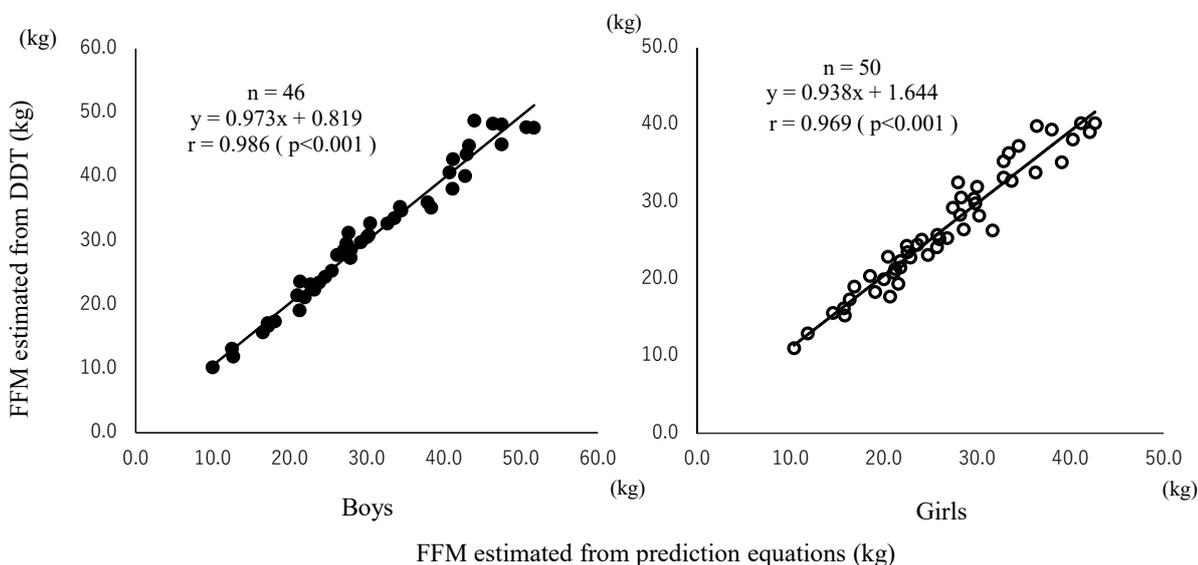


Fig.1 Correlations between FFM (kg) estimated from DDT and FFM (kg) estimated from prediction equations.

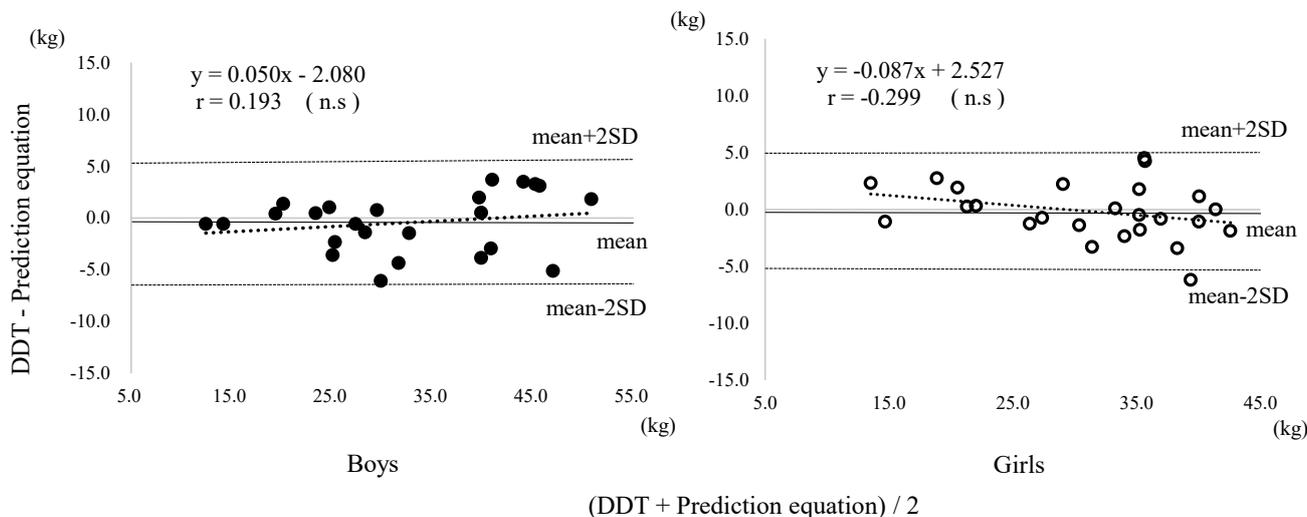


Fig.2 Bland-Altman plot to correlation between FFM (kg) estimated from DDT and FFM (kg) estimated from prediction equations in the cross-validation group. n.s.; not significant

HHBIによるFFM推定式を作成した。得られた推定式は以下の通りである。

$$\text{男子: } Y=0.129X_1+0.828X_2+0.038X_3-2.812$$

$$R^2=0.972 (p<0.001) \text{ SEE}=1.84$$

$$\text{女子: } Y=0.548X_1+0.412X_2+0.231X_3-1.833$$

$$R^2=0.971 (p<0.001) \text{ SEE}=1.83$$

Y: FFM (kg), X₁: Height (cm)²/Impedance (Z), X₂: Body Mass (kg), X₃: Age (year), R²: Coefficient of determination, SEE: Standard error of estimated (kg)

Fig. 1にはValidation群におけるHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMとの相関関係を示した。その結果、男女とも0.1%水準で有意な相関関係が認められた(男子:r=0.986, 女子:r=0.969)。

Fig. 2は、Cross-validation群におけるHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMの一致度をBland & Altmanの手法³²⁾を用いて示したものである。男女ともに有意な系統誤差は認められなかった(男子, r=0.193, 女子, r=0.299)。

以上の結果から、すべての対象者のデータを用いてHHBIのFFM推定式 (final equation) を男女別に再作成したものをTable 3に示した。得られた推定式は以下の通りである。

$$\text{男子: } Y=0.359X_1 + 0.641X_2 + 0.570X_3 - 2.770$$

$$R^2=0.968 (p<0.001) \text{ SEE}=2.05$$

$$\text{女子: } Y=0.520X_1 + 0.346X_2 + 0.416X_3 - 0.860$$

$$R^2=0.942 (p<0.001) \text{ SEE}=2.12$$

Y: FFM (kg), X₁: Height (cm)²/Impedance (Z), X₂: Body Mass (kg), X₃: Age (year), R²: Coefficient of determination, SEE: Standard error of estimated (kg)

この推定式における決定係数(R²)は男女ともに0.1%水準で有意に高く(男子:0.968, 女子0.942), SEEは男女ともに低値(男子:2.05kg, 女子:2.12kg)であった(Table 3)。

考察

BIの特長は複雑な測定機器や高度な技術を必要とせず、安全かつ短時間で身体組成評価できることである。一方、同法は部分計測法であるため簡便性を追求する限界として、原理モデルの許容範囲を超える対象者において、測定誤差が大きくなる可能性があることが指摘されている¹⁴⁾。特に発育発達期の子どもは、身体組成の変化が著しく、乳児期から幼児期にかけてはFMが蓄積するが、幼児期から児童期にかけてFMが減少し、思春期になると男子はFFMが増加、女子はFMが増加すると言われている³³⁾。そこで本研究は、BIの様々な測定法の中からHHBIを採用し、4歳(幼児)から15歳(高校生)までのデータを基にFFM推定式を作成することを試みた。近年、吸着電極や電極ゲルを必要としないBI計が開発され、その測定姿勢には仰臥位、座位および立位、さらに電極を配置する部位の組み合わせによって3種類(手と足、足と足、手と手)に大別される³⁴⁾。なかでも

Table 3 FFM prediction equations estimated from hand-to-hand bioelectrical impedance (HHBI) method. Data was analyzed from measurement values, height, body mass, impedance index (body height(cm)²/impedance(Z)) from HHBI using multiple analysis from all subjects.

Boys	
$Y = 0.395X_1 + 0.641X_2 - 0.057X_3 - 2.770$	
$R^2 = 0.968 (p<0.001)$	
SEE = 2.05	
Girls	
$Y = 0.520X_1 + 0.346X_2 + 0.416X_3 - 0.860$	
$R^2 = 0.942 (p<0.001)$	
SEE = 2.12	
Y: Fat free mass (kg) X ₁ : Height (cm) ² / Impedance (Z)	
X ₂ : Body mass (kg) X ₃ : Age (year)	
R ² : Coefficient of determination	
SEE: Standard error of estimated (kg)	

HHBIは両手で電極を握るだけで、着衣のまま靴や靴下を脱ぐことなく、一人でも短時間(約7秒)で簡便に測定でき、装置が軽量小型(約500g)であることから携帯性にも優れている²²⁾。しかし、同法は上半身のインピーダンスの貢献度が高いため、下半身が著しく太っている者には適切な身体組成評価がなされないことが懸念される。この問題に対してRutherford et.al²⁴⁾及び奥野³⁴⁾らは、様々なBI計(HHBI, 仰臥位片手一片脚間, 立位一両足間)における%BFの精度を比較検討し、いずれの測定器具も顕著な差異を生じることなく%BFが推定できたと報告している。したがって、HHBIは他のBIの測定法と同等の精度で身体組成評価が可能であると考えられる。

本研究は、吉村ら²²⁾の報告と同様に、Validation群において、DDTから求めたFFMを従属変数、HHBI法によるインピーダンス・インデックス、体重及び年齢を独立変数として重回帰分析を行い、その結果、男女ともに精度の高いFFM推定式(決定係数、男子: $R^2=0.972$, 女子: $R^2=0.971$)が得られた。我が国においても、これまでに子どもの身体組成評価をBIによる身体密度、FM、FFM及び%BFの推定式が報告されている^{17-19,21)}。しかし、これらの研究で得られた推定式には、年齢は考慮されていない。緒言で前述したように、原ら²⁵⁾はBIで測定した身体組成評価には年齢や性差を考慮する必要があることを指摘している。したがって、本研究は我が国において、子どもの年齢や性差を考慮して推定式を作成した初めての研究であると考えられる。さらに本研究のValidation群で作成した推定式におけるSEEは、男子1.84kg、女子1.83kgであり、吉村ら²²⁾が成人を対象に作成した推定式のSEE(男性2.10kg、女性1.90kg)よりも低値を示した。またPribyl et.al²³⁾のアメリカ人大学生を対象にHHBIから求めた%BFと空気置換法によって求めた%BFとの相関関係($r=0.950$)と比較し、本研究で作成した推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMとの相関関係の方が男女ともに優れていた(男子: $r=0.986$, 女子: $r=0.969$, Fig.1)。以上のことから、本研究で作成したHHBIによるFFM推定式の精度の高さが示唆された。

本研究は、交差妥当性について検討するため、Cross-validation群からBland-Altman分析³²⁾による系統誤差の有無について検討した。この手法は実証的妥当性を検討する手法であり、妥当基準となるDDTから求めたFFMとHHBIによるFFM推定式から得られたFFMの平均値が横軸、DDTから求めたFFMとHHBIによるFFM推定式から得られたFFMの差が縦軸となる(Fig.2)。その結果、男子はすべての対象者が $\text{mean} \pm 2\text{SD}$ 以内に位

置し、女子は1名だけが $\text{mean} \pm 2\text{SD}$ から逸脱していた。しかし、男女ともに有意な系統誤差は認められず、本研究で作成したFFM推定式は極めて優れた評価法であることが示唆された。一方、本研究においても緑川ら²¹⁾の報告と同様に、10歳未満の十分なデータを確保できなかった。その要因は、妥当基準となる身体組成評価の推定法(DDT)が、10歳未満の子どもにとって非常に困難な測定であったからである。今後は10歳未満の子どもの対象者数を確保し、さらに推定式の精度を高める必要があると考えられる。

結語

本研究は、日本人の幅広い年齢層の子どもの身体組成を安全かつ短時間で簡便に評価するために、HHBIにおける日本人の子どものFFM推定式を作成を試み、そのFFM推定式の交差妥当性についても検討し、以下の結果が得られた。

1. Validation群から求めたFFM推定式は、男女ともに精度の高い推定式が得られた。(男子; $R^2=0.972$, 女子; $R^2=0.971$ ($p<0.001$))
2. FFM推定式の交差妥当性について、Cross-validation群から求めたFFMとDDT(妥当基準)から求めたFFMをBland-Altman分析による系統誤差の有無について検討した結果、両者間のFFMに有意な系統誤差は認められなかった。
3. 最終的なFFM推定式(final equation)においても、男女ともに精度の高い推定式が得られた。(男子; $R^2=0.968$, 女子; $R^2=0.942$ ($p<0.001$))

以上のことから、本研究で作成したHHBIによる子どものFFM推定式は、日本の幅広い年齢層の子どもの身体組成評価法として優れた評価法であると考えられる。

利益相反自己申告: 申告すべきものはなし

なお本研究の一部は、日本発育発達学会第11回大会(静岡産業大学)、2013年3月および第15回日韓健康教育シンポジウム兼第61回日本教育医学大会(大韓民国、韓国済州大学)2013年8月において発表した。

文 献

- 1) Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG: Human body composition, *Human Kinetics*,1996;63-78.
- 2) 田中喜代次, 木塚朝博, 大蔵倫博: 健康づくり・介護予防のための体力測定評価法 (第2版), 金芳堂, 2012: 1-87.
- 3) Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuck WW, Lykken GI: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of human body. *Am J Clin Nutr*, 1985;41:810-817.
- 4) Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J, Van Itallie TB: Estimation of human body composition by electrical impedance method. a comparative study. *J Appl Physiol*,1985;58:1565-1571.
- 5) Lukaski HC, Bolonchuck WW, Hall CB, William AS: Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*,1986;60:1327-1332.
- 6) Jackson AS, Pollock ML, Graves JE, Mahar MT: Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J Appl Physiol*,1988;64:529-534.
- 7) Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF: Estimation of body composition from bioelectric impedance of body segment. *Am J Clin Nutr*,1989;50:221-226.
- 8) Baumgartner RN, Chumlea WM, Roche AF: Bioelectrical impedance for body composition. *Exercise Sport Science Rev*, 1990;18:193-224.
- 9) Nakadomo F, Tanaka K, Hazama T, Maeda K: Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Japanese J Appl Physiol*,1990; 20:321-330.
- 10) 田中喜代次, 稲垣敦, 松浦義行, 中塘二三生, 羽間鋭雄, 前田如矢: 身体組成におけるインピーダンス法の妥当性と客観性の検討. *臨床スポーツ医学*, 1990; 7: 939-945.
- 11) 中塘二三生: Bioelectrical Impedance 法による身体組成評価大阪府立看護短大紀要, 1991; 13: 129-144.
- 12) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭雄, 金炫秀, 前田如矢: インピーダンス法による本邦成人の体組成評価の妥当性に関する研究. *デサントスポーツ科学*, 1991; 7: 290-296.
- 13) 田中喜代次, 金憲経, 渡辺完児, 中塘二三生: 生体電気インピーダンス (BI) 法 - 測定原理とフィールドへの応用 - Q & A による解説 -. 筑波大学体育科学系紀要, 2000; 23:13-19.
- 14) 田中喜代次, 中塘二三生, 大河原一憲, 増尾善久: 生体電気インピーダンス (BI) 法の有用性と利用限界. *バイオメカニクス研究*, 2001; 5:91-101.
- 15) Dehghan M, Merchant AT: Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutr J*,2008;26:2-7.
- 16) Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Hall MC: Validity of bioelectrical impedance for body composition assessment in children. *J Appl Physiol*,1989;66:814-821.
- 17) 金憲経, 松浦義行, 田中喜代次, 中塘二三生: 児童・生徒の身体組成評価における生体電気抵抗法と皮下脂肪厚法の妥当性の検討. *体育学研究*, 1993; 38:13-24.
- 18) Kim HK, Tanaka K, Nakadomo F, Watanabe K: Fat-free mass in Japanese boys prediction from bioelectrical impedance and anthropometric variables. *Eur J Clin Nutr*,1994;48:482-489.
- 19) 渡辺完児, 中塘二三生, 田中喜代次, 三宅眞理, 前田如矢: Bioelectrical Impedance Method における中学生の身体組成評価. *体力科学*, 1993; 42: 350-359.
- 20) Nightingale CM, Rudnicka AR, Owen CG, Donin AS, Newton SL, Furness CA, Howard EL, Gillings RD, Wells JC, Cook DG: Are ethnic and gender specific equations needed to derive fat free mass from bioelectrical impedance in children of South Asian, Black African-Caribbean and White European origin? Result of the assessment of body composition in children study. *PLOS ONE*, 2013;8:1-11. doi:10.1371.
- 21) 緑川泰史, 太田めぐみ, 引原有輝: 発育期にある子どもの全身および部位別体脂肪量をとらえる推定式の作成. 第25回健康医科学研究助成論文集, 2010; 91-101.
- 22) 吉村学, 石岡正子, 田中喜代次, 金憲経, 重松良祐, 大蔵倫博, 中塘二三生, 福永哲夫, 田中史子, 梅川常和, 坂根直樹, 吉田俊秀: 両掌間誘導BI (bioelectrical impedance) 法による体脂肪測定器の開発. *肥満研究*, 1997; 3: 125-133.
- 23) Pribyl MI, Smith JD, Grims GR: Accuracy of the Omron HBF-500 body composition monitor in male and female college students. *International Journal of Exercise Science*,2011;4: issue 2.

- 24) Rutherford WJ. Comparison of bioelectrical impedance and skinfolds with hydrodensitometry in the assessment of body composition in healthy young adults. *ICHPER·SD journal of research*, 2011;6:56-60.
- 25) 原光彦, 岩田富士彦, 岡田知雄, 原田研介, 大国真彦, 山崎公恵, 村田光範, 徳田正邦, 小西和孝, 小國龍也, 中塘二三生, 山内邦昭: 生体インピーダンスを用いた小児体脂肪率の基準値に関する検討. *日本小児科学雑誌*, 1995; 99:721-722.
- 26) 酒井俊郎, 藤井勝紀: 幼児期のBIA (Bioelectrical Impedance Analysis) 法による身体組成研究へのアプローチ. *教育医学*, 2014; 59:177-192.
- 27) 田中喜代次, 中塘二三生: 体水分と体脂肪を簡便に求める測定法とその原理. *臨床検査*, 1997; 41:707-709.
- 28) 中塘二三生, 金憲経, 田中喜代次: 重水希釈法による身体組成の評価. *教育医学*, 2001; 47:122-123.
- 29) Pace N, Rathbun EN: Studies on body composition III . The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J Bio Chem*, 1945;158:685-691.
- 30) Sheng HP, Hugging RA: A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *Am J Clin Nutr*, 1979;32:630-647.
- 31) Forbes GB: Human body composition, Growth, aging, nutrition and activity. Springer-Verlag, New York, 1987;169-195.
- 32) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 1996;307-310.
- 33) 岡田知雄: よくわかる子どもの肥満. 永井書店, 2008; 3-16.
- 34) 奥野淳, 中塘二三生, 大藏倫博, 田中喜代次: 簡便法による体脂肪率の推定制度に関する検討. *体育学研究*, 2000; 45: 252-261.