

BMI の加齢変化と推定体脂肪量の初経発来臨界期

Change in BMI with Age and The Critical Period of Onset menarche for Estimated Body Fat Mass

小栗和雄¹⁾
Kazuo OGURI

藤井勝紀²⁾
Katsunori FUJII

ABSTRACT In this study, the change in BMI with age was examined by applying the wavelet interpolation method (WIM), and the maximum peak velocity (MPV) of BMI was derived from the growth (aging) distance curve of BMI. We investigated the association between the age at menarche and MPV of BMI. In Addition, the critical period for body fat mass at the occurrence of menarche was estimated. Data were obtained from 73 female non-athletes in their first year at university in the Tokai area. Health examination records showing these subjects' heights and weights from the first grade of elementary school to the final year of high school (1984-1995) were collected and BMI was calculated for each grade. Ages at menarche were ascertained from questionnaires. The age at MPV of BMI (11.96+/-0.97 years old) was almost the same as the age at menarche (12.11+/-0.93 years old). And there was no difference between the frequency distribution of age at menarche and at MPV of BMI. Therefore, the age at MPV of BMI is estimated to be the critical period for body fat mass at the occurrence of menarche. By applying a regression analysis ($y=1.394x-15.630$) of the age at menarche to the age at MPV of BMI, we could estimate the critical period for body fat mass at the age of menarche (10.06+/-3.36 kg) and the MPV of BMI (10.84+/-3.50 kg).

緒言

初経発来には一定量の体脂肪量が必要であること¹⁾を考慮すると、初経発来の目安となる体脂肪量を知ることは、女子の健全な発育にとって極めて意義深いものと考えられる。これまでに Frisch²⁾は、初経発来には体重の17%の脂肪が、排卵性の月経の維持には22%の脂肪が少なくとも必要であることを報告している。しかし、この数値が縦断的調査から得られたものではないこと、さらには多くの先行研究による追試において同様の結果が得られないことから批判的な見解が示されている³⁾。

このような背景から、初経発来に必要な体脂肪量の把握には、体脂肪量を経年的に調査し、初経が発来した時の体脂肪量を実測することが必要となるが、被験者への負担を考慮するとその実測は極めて困難である。そこで、我々は、体脂肪量が Body Mass Index (BMI) と密接な相関関係にあること⁴⁾を踏まえ、身長と体重のみから簡易に得られる BMI を体脂肪量の目安として、初経発来時期をある程度予測することが可能であるという仮説を立てた。

ここで問題となるのは、初経発来の目安となる BMI を導く

ためには初経時の身長と体重の数値が必要になることである。これまでの研究では、初経時の身長と体重を得る方法として、本人の記憶、または初経が発来した学年の身長と体重に、それぞれの年間増加量×(4月からの初経年齢時までの月数 / 12ヶ月)を加えた方法が用いられてきた¹⁾。しかし、これらの方法は、単発的に得られた発育現量値間を直線的に補間したものであり、真の身長・体重の発育曲線を近似するための理論的根拠を備えた方法とは言えない。一方、藤井と山本⁵⁾、Fujii and Matsuura⁶⁾が提唱したウェーブレット補間法 (Wavelet Interpolation Method: WIM) は、身長と体重の発育現量値を近似的に補間することができるため、より精緻な発育現量値曲線を得ることができる。従って、WIM によって得られた BMI の発育現量値曲線に初経年齢を適用することによって、初経年齢時の BMI を特定することができよう。また、BMI の現量値曲線を微分して発育速度曲線を得ることによって、BMI の発育変化速度と初経年齢との対応関係を検証することが可能となる。さらには、BMI の発育変化速度が体脂肪量のそれを推定していると仮定すれば、その変化速度は初経発来に対する体脂肪量の臨界期を推定する目安となろう。

本研究では、健康診断から得られた経年的な BMI 現量値に WIM を適用して BMI の最大発育変化速度 (Maximum

1) 静岡産業大学

2) 愛知工業大学基礎教育センター総合教育教室

Peak Velocity:MPV)を導き、BMIのMPV年齢と初経発来年齢の関係を検証した。さらに、BMIのMPV年齢時と初経発来年齢時のBMIを算出するとともに、BMIと体脂肪量の回帰式から初経発来の目安となる体脂肪量の範囲(臨界期)を推定した。

方法

1. 対象者

愛知県内の某女子短大1年生102名を対象として、初経年齢及び運動実施状況のアンケート調査を行うとともに、小学1年から高校3年まで(1986年から1998年まで)の身長と体重の縦断的測定値を健康診断票から得た。これらに生年月日を加えた全ての資料が揃った73名を対象者とした。

また、BMIと体脂肪率の回帰式を得るために、愛知県内の某女子高校3年生83名を対象として、身長、体重、体脂肪量を測定した。

なお、全ての調査および測定は、インフォームドコンセントを踏まえて行われた。

2. アンケート調査方法

女子短大1年生73名に対して、初経年齢、初経がきてから次の月経がきた月、月経周期が一定になるまでの期間を調査した。また同時に、小学、中学、高校時における運動実施状況、練習日数、運動成績について調査した。これは初経年齢前後における規則的なトレーニングの有無を調査するものであり、規則的なトレーニングが行われている場合は対象から除外する必要がある。アンケート調査の方法については先行研究⁷⁾⁸⁾で示してあるのでここでは省略する。

3. BMIの算出

女子短大1年生73名については、得られた身長と体重の縦断的測定値から小学1年から高校3年(6歳から17歳)までの各学年のBMIを算出した。また、女子高校3年生83名については、身長と体重からBMIを算出した。

4. 解析手法

ウェーブレット補間法(Wavelet Interpolation Method:WIM)は、与えられた発育データから真の発育曲線を近似的に記述するために、データとデータをウェーブレット関数(基底関数はMeyerのmother wavelet)によって補間して、発育現量値曲線を描き、その描かれた現量値曲線を微分して得られた発育速度曲線を導き、思春期ピークや初経年齢時の発育現量値を調べる方法である。WIMの特性は、局所的現象を敏感に読み取り、近似の精度が極めて高いことである。その理論的背景の詳細や有効性の根拠については、既に先行研究⁵⁾⁶⁾で述べてあるので、ここではWIMによるデータ解析のアルゴリズムについては省略する。

女子短大1年生73名において、6歳から17歳までのBMI現量値に対してWIMを適用し、BMIの加齢現量値曲線を導

いた。この加齢現量値曲線を微分して加齢変化速度曲線を導き、BMIの最大加齢変化速度(Maximum Peak Velocity:MPV)年齢を特定した。WIMから導かれたBMI現量値及びその微分であるMPVは、基本的にはウェーブレット関数から算出されていることから、初経年齢時のBMI及びBMIのMPV年齢時におけるBMIを算出することができる。このことから、初経年齢とBMIのMPV年齢の平均値を比較・検討するとともに、初経年齢およびBMIのMPV年齢の正規性を検定するために、正規分布関数に当てはめて検討した。導かれる χ^2 値における妥当性有意水準は1%とした。そして、BMIの加齢現量値曲線を用い、初経年齢時とMPV年齢時とのBMI値を推定した。

次に、初経年齢時のBMIから体脂肪量を推定するために、女子高校3年生83名に対して、BMIに対する体脂肪量の回帰分析を実施した。得られた推定式(回帰式)にBMIのMPV年齢時のBMIおよび初経年齢時のBMIを適用し、初経発来に対する体脂肪量の臨界期を検証した。

結果

1. BMIの加齢変化と最大加齢変化速度(MPV)

Fig1は、小学1年(6歳)から高校3年(17歳)までのBMIの平均現量値に対してWIMを適用して導かれた加齢現量値曲線である。この曲線を概観すると、小学1年のBMI約15.5から高校3年のBMI約21までの加齢変化が、予想されたようにシグモイド型に描かれた。

次に、この曲線を微分して加齢変化速度曲線を導いた結果、Fig1のように思春期のピークが出現した。この思春期ピークをBMIの最大加齢変化速度(Maximum Peak Velocity:MPV)と定め、このMPVが出現する年齢をBMIのMPV年齢と名称化した。

2. BMIの個々の加齢変化とMPV年齢の平均値

Fig2は、対象者1名のBMIの加齢現量値に対して、WIMを適用して導かれた加齢現量値曲線である。平均の曲線とは異なり、加齢現量値曲線および速度曲線の波動が顕著になる様相を呈するが、BMIのMPVは出現した。そこで、女子短大1年生全73名において、個々のBMI現量値に対してWIMを適用し、BMIのMPV年齢を特定した。その結果、BMIのMPV年齢の平均値は 11.96 ± 0.97 歳であった。

3. BMIのMPV年齢と初経年齢の関係

アンケート調査によって得られた初経年齢(12.11 ± 0.93 歳)と上述のBMIのMPV年齢(11.96 ± 0.97 歳)を比較した結果、両年齢間に有意差は認められなかった($p=0.11$)。

次に、BMIのMPV年齢と初経年齢の分布(Fig3)から、BMIのMPV年齢および初経年齢の正規性を正規分布関数より導いた。以下に両者の正規分布関数を示す。

BMI の MPV 年齢

$$f(x) = \frac{0.3 \times 73}{\sqrt{2\pi} \times 0.97} e^{-\frac{(x_i - 11.96)^2}{2(0.97)^2}}$$

初経年齢

$$f(x) = \frac{0.5 \times 73}{\sqrt{2\pi} \times 0.94} e^{-\frac{(x_i - 12.11)^2}{2(0.94)^2}}$$

上記の正規分布関数から χ^2 値を算出すると、BMI の MPV 年齢においては 21.3、初経年齢では 7.8 となり、両者においてその妥当性が認められた。従って、正規性が示された両分布グラフは、ほぼ同様の分布となっているものと考えられる。

4. BMI の MPV 年齢時および初経年齢時の BMI と体脂肪量

各対象者において、加齢現量値曲線に BMI の MPV 年齢及び初経年齢を適用した結果、BMI の MPV 年齢時の BMI は 18.86 ± 2.13 、初経年齢時の BMI は 18.44 ± 2.41 となり、両年齢間に有意差は認められなかった。従って、BMI の初経発来臨界期は 18.44 から 18.86 の範囲と推定された。

また、BMI から初経年齢時の体脂肪量を推定するために、女子高校 3 年生 83 名に対して、BMI に対する体脂肪量の回帰分析を実施した。得られた推定式(回帰式)に BMI の MPV 年齢時の BMI および初経年齢時の BMI を適用し、初経発来に対する体脂肪量の臨界期を検証した。まず、BMI と体脂肪量の相関を算出したところ、 $r=0.9135$ ($P<0.01$) の極めて強い相関が認められたので、BMI に対する体脂肪量の回帰分析を実施した。その結果、次の(1-1)の回帰方程式が導かれた。

$$(1-1) y = 1.3937x - 15.6295$$

上式を適用して、BMI の MPV 年齢時の体脂肪量を個々に算出した結果、 10.84 ± 3.50 kg であった。そして、同様に上式を適用して、初経年齢時の体脂肪量を個々に算出した結果、 10.06 ± 3.36 kg であった。従って、体脂肪量の初経発来臨界期は 10.06 kg から 10.84 kg の範囲と推定された。

考察

本研究は、女子短大 1 年生 73 名を対象として、経年的な BMI の現量値に WIM を適用して BMI の MPV 年齢を導き、初経年齢との関係を検証すること、そして BMI が体脂肪量と強く相関すること⁴⁾を踏まえて、BMI の MPV 年齢時と初経年齢時の BMI から初経発来の目安となる体脂肪量の範囲(臨界期)を推定することを目的として行った。

BMI は、肥満や過体重を評価する指標として国際的に広く活用されているが、白内障は BMI が高いほど生じやすいこと⁹⁾¹⁰⁾、老年期認知症患者は入院後に BMI が低下すること¹¹⁾などが報告されており、他の事象との関連から問題解決への指針としても用いられている。また、Teramoto et al¹²⁾、乙木ら¹³⁾、Komiya et al¹⁴⁾ は身体組成から幼児期における体脂肪分

布の性差を検討し、Garrows and Webster⁴⁾は BMI と体脂肪量が強く相関することを報告しており、BMI は体脂肪量を反映する指標としても扱われている。このような背景から、BMI と同意義の Kaup 指数を追跡することで小児期の体格変化を検討した報告¹⁵⁾が散見される。しかし、これまでの報告は BMI を経年的に追跡したものではなく、さらには各年齢について横断的に得た BMI を作図法(graphic method)で補間したものであり、こうした方法では体格の変化を明瞭に解析することが困難であると考えられる。そこで、本研究では、過去の健康診断から 6 歳から 17 歳までの経年的な BMI を取得し、藤井と山本⁵⁾、Fujii and Matsuura⁶⁾が提唱した WIM を適用して真の発育に近似した加齢変化曲線を導いた。

まず、BMI の加齢変化曲線をみると、小学 1 年生から高校 3 年生までの平均的な加齢変化はシグモイド型に推移することが示された(Fig 1)。また、加齢変化速度曲線を導いた結果、BMI の加齢変化速度において明らかな思春期ピークが現れた。個々の加齢変化をみても、幾つかのピークが現れる場合があるものの加齢変化速度の最大値を特定することが可能であることから、そのピークを BMI の最大加齢変化速度(MPV)と定めることとした。

次に、初経発来には一定量の体脂肪量が必要であること⁴⁾を考慮すると、体脂肪量、つまり BMI が最も変化(増大)する年齢と初経発来年齢は、密接な関係にあることが推測された。そこで、BMI の MPV 年齢を求め、初経年齢との関係を検討した。まず、BMI の MPV 年齢(11.96 ± 0.97 歳)とアンケート調査によって得られた初経年齢(12.11 ± 0.93 歳)を比較した結果、両年齢間に有意差は認められなかった($p=0.11$)。次に、BMI の MPV 年齢と初経年齢の度数分布(Fig3)の正規性を検討した結果、それぞれに正規性が認められたことから、両年齢の分布グラフはほぼ同様であるものと考えられた。このような結果から、BMI の MPV 年齢と初経年齢はほぼ同等であり、BMI の MPV 年齢時、つまり体脂肪量増大のピーク時に初経が発来することが明らかとなった。ここで、11.96 歳から 12.11 歳という初経年齢が一般女子として妥当な年齢であるか検討したい。菊池ら¹⁶⁾は 1960 年頃で初経年齢を約 12.5 歳と報告している一方、近年では大井ら¹⁷⁾が 12.10 ± 0.90 歳、前坂ら¹⁸⁾が 12.20 ± 1.10 歳、そして、野田¹⁹⁾が 12.16 ± 1.05 歳を報告している。これらの報告から、本研究において示された 11.96 歳から 12.11 歳は、一般女子の初経年齢として妥当であるものと考えられる。

また、加齢現量値曲線に BMI の MPV 年齢及び初経年齢を適用したところ、BMI の MPV 年齢時の BMI は 18.86 ± 2.13 、初経年齢時の BMI は 18.44 ± 2.41 となり、2 群間に有意差は認められなかった。この結果から初経発来の BMI の目安は 18.44 から 18.86 の範囲にあることが推定された。さらに、BMI から初経年齢時の体脂肪量を推定するために、女子高校 3 年生 83 名に対して BMI に対する体脂肪量の回帰分析を行った。そして、得られた回帰式($r=0.914$, $y=1.394x - 15.630$)に BMI の MPV 年齢時の BMI および初経年齢時の BMI を適用した

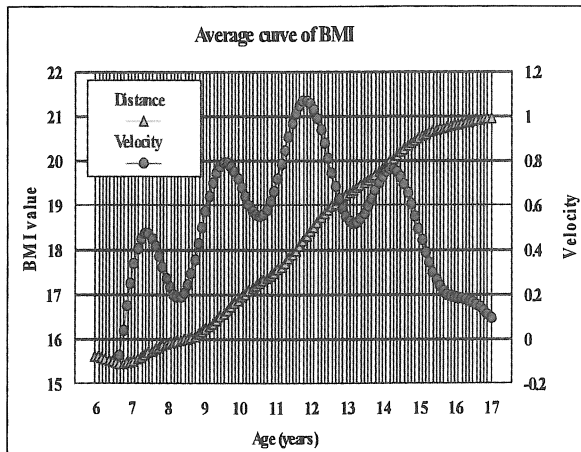


Fig 1 Mean change of BMI with age from 6 to 17 years

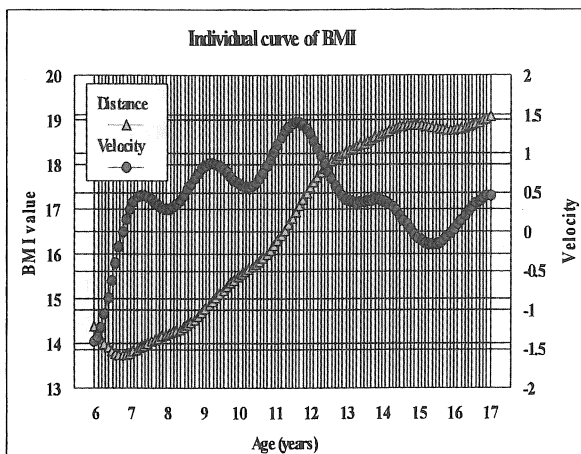


Fig 2 A sample of individual change of BMI with age from 6 to 17 years

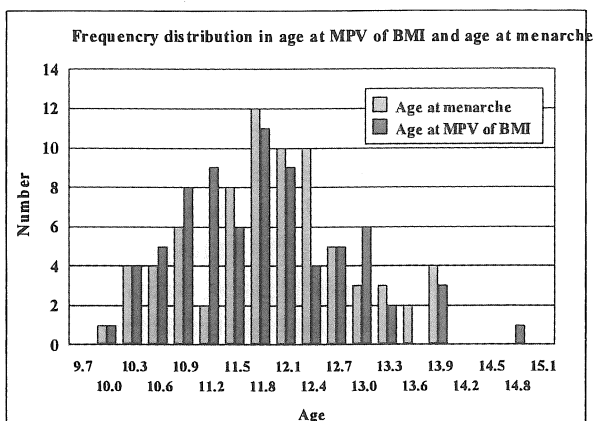


Fig 3 Frequency distribution of age at menarche and at MPV of BMI

ところ、BMI の MPV 年齢時の体脂肪量は 10.84 ± 3.50 kg、初経年齢時の体脂肪量は 10.06 ± 3.36 kg となり、2 群間に有意差は認められなかった。この結果から推定体脂肪量の初経発来臨界期は 10.06 kg から 10.84 kg の範囲と推定されよう。

これらの結果は、限界体重説および限界脂肪説をさらに発

展、簡便にさせた限界 BMI 説、つまり、初経発来に対する体脂肪量の臨界期を提示する証左と考えられる。限界体重説は Frisch and Revelle¹⁾ が提唱した理論で、ある一定の体重に達すると初経が発来するというものである。しかし、この説は初経発来時の体重を推定したものであるが、その推定方法に問題があったことから、Johnston et al²⁰⁾、Johnston et al²¹⁾、Trussell²²⁾ が再度の検証を行った結果、体重の代わりに脂肪が取り上げられ、限界脂肪説として提唱された。そして、限界体脂肪量は体脂肪率で表され少なくとも 17% の脂肪量が必要であると考えられている。ただし、これらの報告では体脂肪率の経年的な加齢変化が検討されたわけではなく、初経時の体脂肪率はあくまでも推定値として考えられている。こうした背景に対して、本研究は、経年的に得た体格データに対して WIM を適用し、真の発育に近似した曲線から初経年齢時の BMI および体脂肪量を導いていることから、極めて信頼性の高い初経発来の体脂肪量臨界期を提唱したこととなる。

また、BMI や体脂肪量を経年的に追跡することで初経発来の臨界期を推定することは、特に競技を行う女子において極めて意義深い。思春期の女子では、運動や栄養摂取の少なさなどからくる身体的・精神的ストレスによって初経の遅延が発生する。従って、自身の BMI や体脂肪量を経年的に追跡し、臨界期を過ぎても初経が発来しないとなれば、初経遅延の現象を認知し、何らかのストレスを検出できる可能性がある。

以上より、本研究において、BMI の加齢変化曲線から導かれた BMI の MPV 年齢時および初経年齢時の BMI ならびに体脂肪量は明らかに初経発来の目安となり、そして、ここに新たな知見を提唱することになる。

文献

- 1) Frisch, R. E., Revelle, R. : Height and weight at menarche and a hypothesis of critical body weight and adolescent events, *Science*, 169: 397-399, 1970.
- 2) Frisch RE (1976): Fatness of girls from menarche to age 18 years, with a nomogram. *Human Biol* 48, 353-359, 1976.
- 3) 加賀谷淳子 (1998): 女性とスポーツ, 朝倉書店, 東京,
- 4) Garrow, J.S., Webster, J. : Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness, *Int J Obes* 9: 147-153, 1985.
- 5) 藤井勝紀, 山本浩: 身長 of 成熟別発育速度曲線の解析, *体力科学*, 44, 431-438, 1995.
- 6) Fujii, K., Matsuura, Y. : Analysis of the Velocity Curve for Height by the Wavelet Interpolation Method in Children Classified by Maturity Rate, *Am J Hum Biol*, 11: 13-30, 1999.
- 7) 藤井勝紀: 日本女子スポーツ選手における初経遅延の検証ーウェーブレット補間法による解析ー, *体育学研究*, 48, 523-539, 2003.
- 8) 藤井勝紀: 思春期女子の初経年齢時における体格特性ースポーツ選手と非スポーツ選手との比較による解析ー, *思春期学*, 21, 388-397, 2003.

- 9)Glynn, R.J., Christen, W.G, Manson, J.E., et al. : Body mass index. An independent predictor of cataract, *Arch Ophthalmol*,113:1131~1137, 1995.
- 10)Hiller,R., Podgor,M.J., Sperduto,R.D., Nowroozi,L., Wilson,P.W.F., Agostino,R.B.D., Colton, T. : A longitudinal study of body mass index and lens opacities, *Ophthalmology*, 105: 1244~1250, 1998.
- 11)綿貫成明,菅田勝也,木村恵子,南澤汎美,森淑江,竹尾恵子,塚本美和子:老年期痴呆患者の入院後の体重減少と BMI の低下,日本看護科学会誌, 18: 51~62, 1998.
- 12)Teramoto, K., Otogi, K., Komiya, S. : Age-related changes body composition of 3-to 6-year-old Japanese children, *Appl Human Sci*, 18: 153-160, 1999.
- 13)乙木幸道,小宮秀一,寺本圭輔,増田隆,宇部一 : 日本人 3~6 歳児の体脂肪分布に関する性差,体力科学, 48, 641~650, 1999.
- 14)Komiya, S., Eto, C., Otogi, K., Teramoto, K., Shimizu, F., Shimamoto, H. : Gender differences in body fat of low-and high-body-mass children : relationship with body mass index, *Eur J Appl Physiol*, 82: 16~23, 2000.
- 15)渡辺恭子,上田礼子:身長・体重の追跡的研究—カウプ指数を中心に—,民族衛生, 48, 142~149, 1982.
- 16)菊池潤,中村泉,山川純:最近の初経年齢の推移と初経時の体格,学校保健研究, 34, 557~562,1992.
- 17)大井伸子,安田陽子,吐山ムツコ:女子中学生の初経ならびに月経に関する調査—1 (初経の状態),思春期学,8,147~152,1990.
- 18)前坂機江,立花克彦,諏訪誠三:高校生の初経出現年齢および月経異常の検討,思春期学,11,157- 161,1993.
- 19)野田艶子:思春期女子の初経年齢と食生活因子との関連,思春期学,19,167~175.2001.
- 20)Johnston, F. E., Malina, R. M., Galbraith, M. A. : Height , weight, and age at menarche and the “Critical weight” hypothesis, *Science*, 174: 1148, 1971.
- 21)Johnston, F. E., Roche, A. F., Schell, L. M., Wettenhall, N.B. : Critical weight at menarche : Critique of a hypothesis, *Am J Dis Child*, 129: 19-23, 1975.
- 22)Trussell, J. : Statical flaws in evidence for the Frisch hypothesis that fatness triggers menarche, *Hum Biol*, 52: 71-720, 1980.

(受理 平成 18 年 3 月 18 日)