

博士（栄養学）学位論文

論文題目

定量的超音波法による骨指標の
思春期の経年変化と運動、カルシウム摂取量の影響

Longitudinal Study on Bone Parameters in Japanese Adolescents
Measured by Quantitative Ultrasound

—Change and Effects of Exercise and Calcium Intake—

2012 年

指導教員 上西 一弘教授

氏名 兒玉 桃子

KODAMA, Momoko

女子栄養大学

論文内容

第一章：QUS 法による骨指標の思春期の経年変化

- I．学年に基づいた骨指標の経年変化
- II．生理学的年齢に基づいた骨指標の経年変化

第二章：QUS 法による骨指標への運動、カルシウム摂取量の影響

- I．骨指標への運動頻度、カルシウム摂取量の影響についての縦断的検討 学年及び生理学的年齢での解析結果の比較
- II．骨指標への運動頻度及び、カルシウム摂取量への影響についての横断的検討
 - 1．骨指標への同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
 - 2．運動頻度別
 - 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係
- III．骨指標への運動の取入れ状況、カルシウム摂取量の影響についての縦断的検討
 - 1．継続的な運動状況での骨指標の比較
 - 2．骨指標へのカルシウム摂取量の影響についての縦断的検討
- IV．運動の種類による骨指標の比較
 - 1．運動の種類による骨指標の比較 横断的検討
 - 2．運動の種類による骨指標の比較 縦断的検討

目次

ページ

序論	1
対象者と方法	7
1. 測定・調査	
1) 過去の身体測定値	8
2) 身体測定	8
3) アンケート	
①日常生活に関するアンケート	8
②半定量食物摂取頻度調査	9
2. 生理学的年齢	10
図 1 生理学的年齢の時期と定義について	
3. 統計解析	12
4. 各解析の対象者	12
図 0-1 第一章 学年別対象者数	
図 0-2 第一章 生理学的年齢別対象者数	
図 0-3 第二章 I 学年別対象者数	
図 0-4 第二章 I 生理学的年齢別対象者数	
図 0-5 第二章 II 対象者数	
図 0-6 第二章 IV 2 対象者数	
対象者特性	17
1. 身体特性	17
2. 運動状況	17
3. カルシウム摂取量	18
表 1 男子 学年別 身長・体重	

表 2 男子 学年別 体組成

表 3 男子 学年別 骨指標

表 4 女子 学年別 身長・体重

表 5 女子 学年別 体組成

表 6 女子 学年別 骨指標

表 7 男子 MIA からの年数別 身長・体重

表 8 男子 MIA からの年数別 体組成

表 9 男子 MIA からの年数別 骨指標

表 10 女子 初経からの年数別 身長・体重

表 11 女子 初経からの年数別 体組成

表 12 女子 初経からの年数別 骨指標

表 13 男子 学年別 運動有無

表 14 男子 学年別 運動頻度

表 15 女子 学年別 運動有無

表 16 女子 学年別 運動頻度

表 17 男子 MIA からの年数別 運動有無

表 18 男子 MIA からの年数別 運動頻度

表 19 女子 初経からの年数別 運動有無

表 20 女子 初経からの年数別 運動頻度

表 21 男子 学年別 エネルギー・カルシウム摂取量

表 22 女子 学年別 エネルギー・カルシウム摂取量

表 23 男子 MIA からの年数別 エネルギー・カルシウム摂取量

表 24 女子 初経からの年数別 エネルギー・カルシウム摂取量

第一章 QUS 法による骨指標の思春期の経年変化

諸言	32
対象者と方法	32
統計解析	33

I. 学年に基づいた骨指標の経年変化

方法	33
結果	
1. 各学年での身長、体重、体組成の平均値の比較	33
2. 各学年での骨指標の平均値の比較	34
3. 身体指標と骨指標の関係	35

II. 生理学的年齢に基づいた骨指標の経年変化

方法	37
結果	
1. 各年齢での身長、体重、体組成の平均値の比較	37
2. 各年齢での骨指標の平均値の比較	38
3. 身体指標と骨指標の関係	39

考察	41
SOS と BUA の経年変化の特徴	41
SOS と BUA の経年変化の差異について	43
骨指標の経年変化の男女差について	45
骨指標と身体指標との相関関係について	45
思春期の骨指標と成人の基準値との比較	46

まとめ	48
-----	----

図 2 男子 身体、骨指標の学年での比較

図 3 女子 身体、骨指標の学年での比較

表 25 男子 各学年 骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

表 26 女子 各学年 骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

図 4 男子 身体、骨指標の MIA からの年数での比較

図 5 女子 身体、骨指標の初経からの年数での比較

表 27-1 男子 MIA からの年数別

骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

表 27-2 男子 MIA からの年数別

骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

表 28-1 女子 初経からの年数別

骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

表 28-2 女子 初経からの年数別

骨指標と身体指標の Pearson の相関係数

第二章 QUS 法による骨指標への運動、カルシウム摂取量の影響

諸言	59
----	----

I. 骨指標への運動頻度、カルシウム摂取量の影響についての

縦断的検討 学年及び生理学的年齢での解析結果の比較	61
---------------------------	----

対象者と方法	61
--------	----

統計解析	62
------	----

結果	63
----	----

1. 高校3年生の骨指標への各学年の運動頻度、 カルシウム摂取量の影響	63
--	----

2. MIA 4年後、初経4年後の骨指標への各年齢の 運動頻度、カルシウム摂取量の影響	64
--	----

表 29-1 男子 高3 SOS への

各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 29-2 男子 高3 SOS への各学年の運動頻度、

乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

表 30 男子 高3 BUA への

各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 31 男子 高3 Stiffness への

各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 32 女子 高3 SOS への

各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 33 女子 高3 BUA への

各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 34	女子 高 3 Stiffness への
	各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 35	男子 MIA4 年後 SOS への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 36	男子 MIA4 年後 BUA への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 37	男子 MIA4 年後 Stiffness への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 38	女子 初経 4 年後 SOS への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 39	女子 初経 4 年後 BUA への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響
表 40	女子 初経 4 年後 Stiffness への
	各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

Ⅱ．骨指標への運動頻度及び、カルシウム摂取量の影響についての横断的検討

対象者と方法	・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
--------	-----------------------

1．骨指標への同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

統計解析	・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
結果	・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78

表 41	男子 各年齢の SOS への
	同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 42 男子 各年齢の BUA への同時期の運動頻度、
カルシウム摂取量の影響

表 43 男子 各年齢の Stiffness への
同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 44 女子 各年齢の SOS への
同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 45-1 女子 各年齢の BUA への同時期の運動頻度、
カルシウム摂取量の影響

表 45-2 女子 各年齢の BUA への同時期の運動頻度、
乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

表 46-1 女子 各年齢の Stiffness への同時期の
運動頻度、カルシウム摂取量の影響

表 46-2 女子 各年齢の Stiffness への同時期の運動頻度、
乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

2. 運動頻度別

骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係 ・ ・ 86

対象者と方法 ・ ・ ・ ・ ・ 86

結果 ・ ・ ・ ・ ・ 86

表 47 男子 非運動群
骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

表 48 男子 運動低頻度群
骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

表 49 男子 運動高頻度群
骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

表 50 女子 非運動群

骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

表 51 女子 運動低頻度群

骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

表 52 女子運動高頻度群

骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

Ⅲ．骨指標への運動の取入れ状況、カルシウム摂取量の影響に

ついての縦断的検討 90

対象者と方法 90

1．継続的な運動状況での骨指標の比較

1) 運動を取入れた回数別での骨指標の比較 90

方法 91

統計解析 91

結果 91

図 6 男子 運動取入れ回数別 MIA 4 年後の骨指標の比較

図 7 女子 運動取入れ回数別 初経 4 年後の骨指標の比較

2) 運動頻度の平均値別での骨指標の比較 95

方法 95

統計解析 95

結果 96

図 8 男子 運動頻度別 MIA 4 年後の骨指標の比較

図 9 女子 運動頻度別 初経 4 年後の骨指標の比較

2. 骨指標へのカルシウム摂取量の影響についての縦断的検討

1) 骨指標とカルシウム摂取量の合計値の相関関係

方法 99

結果 99

表 53 男子 MIA4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値の Pearson の相関係数

表 54 女子 初経 4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値の Pearson の相関係数

2) 運動取入れ回数別

骨指標とカルシウム摂取量の合計値の相関関係 . . 101

対象者と方法 101

統計解析 101

結果 102

表 55 男子 非運動群 MIA4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値との Pearson の相関係数

表 56 男子 運動 3 回群 MIA4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値との Pearson の相関係数

表 57 女子 非運動群 初経 4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値との Pearson の相関係数

表 58 女子 運動 3 回群 初経 4 年後の骨指標と

カルシウム摂取量の合計値との Pearson の相関係数

IV. 運動の種類による骨指標の比較	104
方法	104
表 59 GRF による運動の分類	
統計解析	105
1. 運動の種類による骨指標の比較 横断的検討	106
対象者	106
結果	106
図 10 男子 GRF により分類した運動別 同時期の骨指標の比較	
図 11 女子 GRF により分類した運動別 同時期の骨指標の比較	
2. 運動の種類による骨指標の比較 縦断的検討	110
対象者と方法	110
表 60 GRF による対象者の群分け	
結果	111
図 12 男子 GRF により分類した運動の取入れ状況別 MIA 4 年後の骨指標の比較	
図 13 女子 GRF により分類した運動の取入れ状況別 初経 4 年後の骨指標の比較	

考 察	113
学年及び生理学的年齢での解析結果の比較	114
骨指標への運動の影響について	116
骨指標へのカルシウム摂取量の影響について	118
骨指標へのカルシウム摂取量の影響の弱さについて	121
ま と め	125
結 論	126
謝 辞	129
参 考 文 献	131
資 料 1	147

序論

わが国では、総人口が減少を続けているのに対し、65 歳以上の高齢者の総人口に対する割合を示す高齢化率は増加の一途をたどっていることは、広く認知されている事実である。内閣府がまとめている平成 23 年版高齢社会白書では、65 歳以上の高齢者は 2,958 万人とされ、総人口の 23.1%にも達し、5 人に 1 人が高齢者となり、「高齢化社会」から「高齢社会」を経て、「本格的な高齢社会」を迎えたとされている¹⁾。

加齢に伴い発症リスクが増大する疾患は数多くあるが、骨粗鬆症もその一つである。骨粗鬆症は、骨強度の低下を特徴とし、骨折リスクが増大しやすくなる骨格疾患と定義されている²⁾。骨粗鬆症による骨量の減少は、初期には無症状で進行することが多いが、脊椎の微小骨折が徐々に進行すると、疼痛や身長低下が出現する³⁾。さらには、わずかな外力により大腿骨や橈骨などに骨折を生じる³⁾。この骨折による痛みや、日常生活での障害は、生活の質（Quality of Life ; QOL）の低下をもたらし⁴⁾、健康寿命を低下させることにつながる。骨粗鬆症の予防の最終目標は、骨折の予防であるともいえる。

日本の骨粗鬆症の診断基準は、1991 年の国際骨粗鬆症会議で定められた当時の骨粗鬆症の定義に基づき²⁾、1996 年に日本骨代謝学会によって作成され²⁾、2000 年に改訂され²⁾今日に至っている。診断基準では、骨密度に基づいた判定または脊椎エックス線像での骨粗鬆化の判定が用いられている²⁾。骨密度に基づいた診断では、若年成人骨密度平均値（young adult mean ; YAM）の 70%未満を骨粗鬆症、80～70%を骨量減少と定義している²⁾。

この定義に基づき骨粗鬆症や骨量減少の有病率を推計した報告がいくつかみられる^{5~7)}。性別、年代別にYAMの70%未満の人口の割合を算出した山本らの報告では⁷⁾、50歳代前半の男性では4.1%、女性7.1%、80歳代後半以上では男性26.8%、女性56.3%とされている。これらの年代別の割合を平成22年国勢調査の結果より⁸⁾、現在の人口に換算すると、50歳以上の男性では約260万人、女性では約990万人もの人々が骨粗鬆症に罹患していることとなる。今後、有病率に変化がないと仮定しても、高齢者数の増加と共に、骨粗鬆症患者数もさらに増加することが推測され、予防対策が急務であることは明らかである^{9~11)}。

骨量は、測定部位や測定方法によって多少異なるものの、10歳代後半の思春期に急激に増加し、Peak Bone Mass (PBM) と呼ばれる最大値に達する。40歳代頃までは、このPBMが保たれるが、その後、年齢と共に徐々に減少することが知られている^{12,13)}。骨粗鬆症の予防には、このPBMを最大化し、その後の骨量の減少に備えることが重要であり^{14,15)}、PBMを1SD上昇させることは、骨折リスクを50%減少させることにつながるとの報告もある¹⁶⁾。骨粗鬆症の予防にとって、このPBM獲得の時期である思春期は、大変重要な時期であるといえる。

この骨密度の測定部位、測定方法は、多種に渡り、骨粗鬆症の診断基準には、原則として腰椎骨密度を用い、高齢者において、脊椎変形などのために腰椎骨密度の測定が適当でないと判断される場合には大腿骨頸部、さらにこの測定も困難な場合に、橈骨、第二中手骨、踵骨の骨密度を用いてもよいと記されている²⁾。測定方法に関しては、骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年

版¹⁷⁾では、X線照射が必要となる二重エネルギーX線吸収測定法（Dual-energy X-ray absorptiometry；DXA）が、骨折の好発部位である椎体や大腿骨計測に最も良い適応であり、骨粗鬆症の診断に最適な測定法であるとされている。この他、第二中手骨を測定部位とし、X線フィルムの濃度を定量する microdensitometry（MD）法や、超音波を用い踵骨を測定部位とする定量的超音波法（Quantitative ultrasound；QUS法）も骨折リスクの評価に有用な測定方法であると述べられている¹⁷⁾。このQUS法による骨量測定は、現在、健康診断等でスクリーニング的に使用されることが多く、骨量だけでなく、骨梁の分布状態、骨質の評価も行える可能性があるとして注目され、日本では広く普及している^{18~20)}。QUS法は、対象骨に超音波を透過させ、骨内を伝搬する超音波の減衰率や速度を計測し骨量を推定する方法であり²¹⁾、DXA法と異なり被曝や侵襲性がなく、操作方法が簡便である点から²²⁾、現在、日本において骨量の評価に広く使用されている。DXA法で得られた骨量、骨密度との相関は必ずしも高くはないが、骨折リスクの評価には、骨量、骨密度からは独立した予測因子となり得るとの報告が多くみられる^{18,19,23)}。QUS法による骨指標は、機種により異なるものもあるが、主に、speed of sound（SOS）と broadband ultrasound attenuation（BUA）の2つの指標が算出される²¹⁾。SOSは、超音波が骨を透過する際にかかる時間から算出された単位時間当たりの超音波伝播距離（m/sec）であり、骨の量や密度を反映するといわれている^{18,24)}。一方BUAは、超音波が骨を透過する際に、吸収され、減衰した率を表す係数であり、骨梁の分布や結合状態などの骨の微細構造

は反映するといわれている^{18~20,24,25)}。骨の強さを示す骨強度の決定は、70%が骨密度、30%が骨質といわれている²⁶⁾。骨密度は、物理的な定量方法が存在する一方、骨質の具体的な指標は定まっていない。骨構造を反映する BUA がその指標となりうるのではないかと注目されている。しかし、QUS 法により得られる骨指標が、骨の物質的、構造的な特性をいかに反映しているかについては、未だ明らかになっていない点が多い²⁰⁾。また、日本人を対象とした QUS 法による骨指標についての研究は少なく、特に、骨の成長にとって重要である思春期の子供を対象とした研究は限られており、この時期の QUS 法による骨指標の経年変化については明らかとなっていない。現在報告されている研究では、縦断研究では継続的な測定の間隔が短いものや、測定開始時の年齢が一致していないため経年変化のグラフが統一できていない報告が多い^{27~32)}。また横断研究でも、対象者数が少なく、年齢幅が広く年代区分での解析にとどまっているのが現状である^{33~37)}。このことから、第一章では日本人の思春期の骨指標の経年変化を明らかとすることを目的とし、QUS 法による骨量の測定を行い、身体発育との関連について検討した。

骨粗鬆症の予防に重要となる PBM の最大化には、遺伝的な因子とライフスタイル等の環境的な因子の影響がみられる³⁸⁾。この環境因子のなかでも骨の主な構成成分であるカルシウムの摂取量や骨への機械的な刺激となる運動の骨量への影響についてのレビュー論文は、海外では多く見受けられる^{39~42)}。しかし、思春期の子供たちの骨の成長とこれらの因子の関係については、未だ明確ではなく、更なる研究が必要とされている³⁹⁾。日本人

の思春期を対象とした研究も行われており^{28,43~45)}、骨量の1年間の変化率が運動を継続していた群で有意に高値を示した研究⁴⁵⁾や、変化量とカルシウムを多く含む食品の摂取量が関連していることを示した研究⁴⁴⁾もみられる。しかし、未だ報告数が少ないのが現状である。また、既に述べたように、QUS法による骨指標の経年変化については、明らかになっておらず、同時に運動の取入れや、カルシウム摂取量が特に重要となる時期についても、明らかとなっていない。

以上より、本研究の目的を以下2つとした。

1. **QUS法による骨指標の経年変化を捉えること**
2. **骨指標への運動の取入れやカルシウム摂取量の影響が特に重要となる時期を明らかにすること**

本研究では、学年別での解析、すなわち歴年齢での解析と併せ、生理学的年齢にそろえての解析を行った。歴年齢(Calendar age)は、出生以後の物理学的な時間経過を基準とした年齢単位であり、同一年齢であっても、個々人の発育段階がそれぞれ異なっている、すなわち身体が発育段階に応じた評価には、限界がある。これに対し、生理学的年齢(Physiological age)とは、生理学的立場から身体発育の遅速を考慮して発達の段階を年齢単位で表現したものである⁴⁶⁾。身体発育に個人差があることは、広く知られており、身長を例に挙げると、早熟、晩熟、中間型への分類や、身長の増加量、増加率が最大となる年齢などが、身体が発育状況の評価指標として用いられている⁴⁶⁾。骨量も思春期に急激に増加し、最大骨量に達することから、身体が発育状況との関連を明ら

かにすることは大変重要であるといえる。このことから、生理学的年齢を基準とし、身体発育の遅速の影響を除外しての解析を行うこととした。

対象者と方法

研究者らは、2000 年度より都内にある私立中高一貫校において、毎年 4 月の健康診断時に、身長、体重、体組成の測定と同時に、QUS 法による骨量測定と日常生活に関するアンケート、半定量食物摂取頻度調査（FFQ-POP）⁴⁷⁾を、継続して実施している。この中学生、高校生時の身体測定値に加え、2008 年度からは、小学生時の健康診断票からの身長、体重データも得ている。尚、この調査は香川栄養学園医学倫理委員会の承認を得て実施した。

本研究では、QUS 法による踵骨骨量測定値への機種間差の影響を除外するために、アキレス InSight（GE ヘルスケア社）を用いて踵骨骨量の測定を行った 2004 年度以降のデータを用いての解析を行った。この結果、2004～2011 年までに、中学校、高校の 6 年間のデータが揃った 2004～2006 年に中学校に入学した生徒、男子 357 名（2004 年：117 名、2005・2006 年：各 120 名）、女子 363 名（2004 年：123 名、2005・2006 年：各 120 名）、合計 720 名が、本研究の対象集団である。

本対象校は都内中心部にあり、周辺地域から自転車や徒歩で通学する生徒や、電車、バスで通学する生徒も多くみられる。最寄駅からは徒歩約 15 分である。中学、高校共に、給食の提供は行われていない。学内には食堂があり、定食やカレー、麺類、丼物が提供されているほか、弁当、おにぎり、パン類の販売も行っているが、中学生は自宅から弁当を持参することを原則としている。多くの生徒が大学進学を目指す進学校であるが、運動部の活動も盛んに行われている。

1. 測定・調査

1) 過去の身体測定値

小学生時の健康診断票から、小学1～6年生の身長、体重データを得た。

2) 身体測定

身長、体重、体組成、骨量の測定を行った。

体組成の測定には、インピーダンス法（InBody バイオスペース社）を用い、体脂肪量、除脂肪量、体脂肪率を測定した。

QUS法による骨量の測定には、アキレス InSight（GEヘルスケア社）を用い、骨指標には、超音波伝播速度（speed of sound（m/sec）；以下 SOS）、超音波減衰係数（broadband ultrasound attenuation（dB/MHz）；以下 BUA）と、この SOS、BUA を組み合わせて算出された Stiffness を用いた。

3) アンケート

①日常生活に関するアンケート

運動状況や食生活に関する自記式のアンケートを実施した。このアンケートから、現在の運動有無、種目、頻度についての回答を解析に用いた。また女子では初経年齢を解析に用いた。実際の質問項目を資料1に示す。

運動に関しては、「あなたは現在、学校でのクラブ活動や、地域のスポーツクラブなどで定期的に運動を行っていますか？」の質問に、「はい」、「いいえ」のいずれかを選択してもらった。「はい」と回答した場合には、運動の種類と、運動頻度（週当

たりの日数)を自由記述で回答してもらった。解析に際して、運動頻度を「1～2日」など範囲での回答があった場合には、中間値を算出して用いた。複数の運動を行っていた場合には、合計日数とした(今回の対象者には、合計が週7日を超える者はいなかった)。また、運動を行っていると回答した者のうち、運動の種類に「体育の授業」や「部活マネージャー」と回答していた生徒は、「非運動群」に分類した。

初経に関しては、「初経は何年生の何月でしたか?」の回答に、「学年生の何月頃」の自由記述欄と、「まだ」の選択肢を設けた。中学1年生から高校3年生までの回答のうち、最も早い学年での回答を、個人の初経年齢として用いた。

②半定量食物摂取頻度調査(FFQ-POP)

食物摂取頻度調査には、主に骨粗鬆症予防のために骨に関わる栄養素の摂取量を評価することを目的として開発された半定量食物摂取頻度調査票(以下 FFQ-POP)を使用した。FFQ-POPは、28項目の食品に対し、3～4程度の摂取頻度を選択する形式となっており、算出されたカルシウム摂取量は高い妥当性と再現性が確認されている⁴⁷⁾。

この FFQ-POP への回答から、カルシウム摂取量(mg/日)、乳・乳製品由来カルシウム摂取量(mg/日)を算出し、解析に用いた。

2. 生理学的年齢

生理学的年齢に基づいた解析には、男子は身長最大の発育年齢（歳）、女子は初経年齢（歳）を身体発育の指標として用いた。身長の発育曲線は身体発育の評価に用いられており、その発育ピークの時期は、初経の時期と共に、身体発育の重要な指標とされている^{48~51)}。身長の最大発育年齢の算出には、工藤ら、Matsumoto らが考案した算定式を用いた^{52,53)}。松本らは、この身長の最大発育年齢を、Maximum Increment Age（歳；以下 MIA）と称し、考案した算出式は、年 1 回の測定値から簡易に算出することが可能であり、従来用いられている作図法や関数法に劣らない精度で、最大発育年齢を求めることができるとしている⁵⁴⁾。本研究対象者でも、小学生時の身長データと中学生、高校生時の身長の測定値を基に、この MIA を、個人ごとに算出した。

MIA の算出式は以下の通りである。A_{max} の決定に際しては、個々の生年月日から 4 月の測定時の年齢を算出した。

$$MIA = A_{\max} + (I_{\max} - I_{-1}) / [(I_{\max} - I_{-1}) + (I_{\max} - I_{+1})]$$

I_{max} : 身長の年間増加量の最大値

I₋₁ : I_{max} より 1 年前の身長の年間増加量

I₊₁ : I_{max} より 1 年後の身長の年間増加量

A_{max} : I_{max} を示す年齢区間の下限値

男子ではこの MIA から、女子では初経年齢から、0 年以上 1 年未満の時期に測定した測定値を「MIA 0 年」、または、「初経 0 年」の測定値とし、経年グラフを作成した。つまり、MIA または、

初経を、中学1年生の調査後である5月以降から、中学2年生の調査時期である4月までに迎えた生徒は、中学2年生の測定値が、MIA 0年、または、初経0年の身体、骨指標となる。

論文中の表記として、MIA、初経より以前の測定は、「MIA〇年前」、「初経〇年前」とした。すなわち、MIAまたは、初経の0～1年前以内の測定値は、「MIA 1年前」、「初経 1年前」となる。MIA または、初経以降の測定は、先に示した「MIA 0年」、「初経 0年」に続き、MIA または、初経後1年以上2年未満の期間の測定値を「MIA 1年後」、「初経 1年後」と表記し、以降、これに準ずる表記とした。図表中では、MIA または、初経以前の測定値には、「－」（マイナス）を付けての表記とした。すなわち、MIA 1年前、初経 1年前の測定値は、図表中では、「MIA－1年」、「初経－1年」となる。MIA または、初経以降の測定値は、「MIA 0年」、「初経 1年」の表記とした。以上の生理学的年齢の時期と定義についてを、図1に示す。

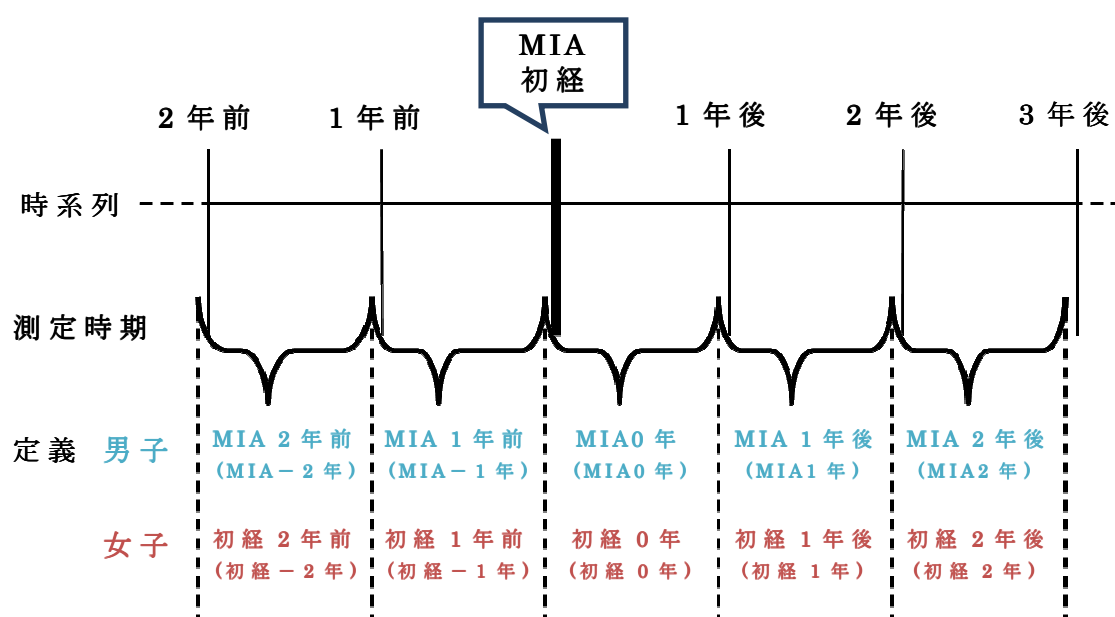


図1 生理学的年齢の時期と定義について
※ カッコ内は、図表中での表記方法

3. 統計解析

統計解析には、解析ソフト SPSS15.0（日本アイ・ビー・エム株式会社）を用いた。骨指標については、各学年、各年齢で正規性の検定を行い、分布を確認した。

多群の平均値の比較には一元配置の分散分析を行い、有意差がみられた場合には、各群間での Bonferroni の多重比較を行った。指標間の相関関係の検討には、Pearson の相関係数を算出した。骨指標への運動頻度、カルシウム摂取量の影響についての検討では、ステップワイズ重回帰分析を実施した。

いずれの解析でも、有意水準は 5 % 未満とした。

4. 各解析の対象者

各章各項目での対象者数は解析内容により異なる。詳細を以下に示す。

第一章

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、中学 1 年生から高校 3 年生までの 6 年間のいずれかで 1 回以上、QUS 法による骨量測定を行っていた生徒。各学年、年齢での対象者数は表 0 - 1、0 - 2 に示す。

第二章

I. MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、学年での解析では高校 3 年生の、生理学的年齢での解析では MIA 4 年後、初経 4 年後の骨指標、身体指標が揃っており、解析時期のいずれかの学年、及び年齢で、

運動頻度（日/週）とカルシウム摂取量（mg/日）を回答していた生徒。各学年、年齢での対象者数は表 0 - 3、0 - 4 に示す。

Ⅱ．MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、解析を行ったいずれかの年齢の、骨指標、身体指標が揃っており、同時期の運動頻度（日/週）とカルシウム摂取量（mg/日）を回答していた生徒。各年齢での対象者数は表 0 - 5 に示す。

Ⅲ．MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA4 年後、初経 4 年後の骨指標、身体指標が揃っており、MIA または初経 0 年、2 年後、4 年後の運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）が揃っていた男子 100 名、女子 85 名。

Ⅳ．

- 1． MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA または初経 0 年、2 年後、4 年後のいずれかの骨指標、身体指標、運動有無・種類、カルシウム摂取量（mg/日）が揃っていた生徒。各年齢での対象者数は表 0 - 6 に示す。
- 2． MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA4 年後、初経 4 年後の骨指標、身体指標が揃っており、MIA または初経 0 年、2 年後、4 年後の運動有無・種類、カルシウム摂取量（mg/日）

が揃っていた男子 97 名、女子 79 名。

表0-1 第一章 学年別 対象者数 (名)

学年	男子				女子			
	身長	体重	体組成	骨指標	身長	体重	体組成	骨指標
小1	270	270	—	—	259	259	—	—
小2	269	269	—	—	259	259	—	—
小3	273	273	—	—	259	259	—	—
小4	272	272	—	—	259	259	—	—
小5	273	273	—	—	259	259	—	—
小6	273	273	—	—	259	259	—	—
中1	273	269	266	157	246	229	221	133
中2	272	271	193	151	258	257	147	112
中3	272	272	196	128	253	253	135	121
高1	266	266	262	160	252	252	234	160
高2	273	273	241	185	254	254	216	185
高3	272	272	265	227	254	254	249	203

表0-2 第一章 生理学的年齢別 対象者数 (名)

MIA/初経からの年数	男子				女子			
	身長	体重	体組成	骨指標	身長	体重	体組成	骨指標
－9年※	5	5	—	—	9	9	—	—
－8年	39	39	—	—	25	39	—	—
－7年	115	115	—	—	115	115	—	—
－6年	228	228	—	—	69	69	—	—
－5年	271	271	—	—	165	165	—	—
－4年	272	272	—	—	256	256	—	—
－3年	273	273	4	3	259	259	8	5
－2年	273	273	36	25	259	257	16	12
－1年	273	271	106	71	259	256	57	34
0年	273	271	190	120	254	256	126	85
1年	272	271	215	156	251	247	171	114
2年	269	269	227	146	254	253	166	135
3年	265	265	246	163	243	243	187	146
4年	233	233	210	166	228	228	194	162
5年	154	154	146	123	183	183	170	135
6年	42	42	42	34	94	94	88	70
7年	—	—	—	—	17	17	15	13
8年	—	—	—	—	3	3	3	—

※ －9年：MIA9年前（MIA9年前～MIA1年前まで同様の表記）

表0-3 第二章 I
学年別 対象者数 (名)

学年※ ¹	男子	女子
中 1	203	183
中 2	215	194
中 3	208	192
高 1	218	185
高 2	209	186
高 3	208	184

表0-4 第二章 I
生理学的年齢別 対象者数 (名)

MIA/初経か らの年数※ ¹	男子	女子
－ 1 年	62	－
0 年	124	99
1 年	154	137
2 年	152	142
3 年	155	143
4 年	146	138

※¹ 運動頻度（日/週）、Ca摂取量（mg/日）を用いた学年、年齢

表0-5 第二章 II 対象者数 (名)

MIA/初経か らの年数※	男子	女子
－ 1 年	60	31
0 年	93	70
1 年	128	88
2 年	129	101
3 年	153	126
4 年	146	138

※ 骨指標、身体指標、運動頻度（日/週）、Ca摂取量（mg/日）を用いた年齢

表0-6 第二章 IV 2 対象者数 (名)

MIA/初経か らの年数※	男子	女子
0 年	100	39
2 年	49	49
4 年	99	83

※ 骨指標、身体指標、運動有無・種類を用いた年齢

対象者特性

中学 1 年生時の平均年齢は、男子 12.6 ± 0.3 歳、女子 12.6 ± 0.3 歳であった。生理学的年齢として用いた MIA は、男子 12.5 ± 0.9 歳、女子 10.6 ± 1.1 歳、女子の初経年齢は 12.1 ± 1.2 歳であった。すなわち、調査開始時である中学 1 年生は、男子では MIA、女子では初経の時期であった。

1. 身体特性

学年別の身長、体重、体組成、骨指標の平均値を男女別に表 1 ～ 6 に示す。また、生理学的年齢を基準とし、男子は MIA からの年数別、女子は初経からの年数別での身長、体重、体組成、骨指標の平均値を男女別に表 7 ～ 12 に示す。これらの経年変化については、本研究第一章で検討、考察する。

2. 運動状況

学年別の運動有無の割合、運動頻度を男女別に表 13 ～ 16 に示す。生理学的年齢別での運動有無の割合、運動頻度を男女別に表 17 ～ 20 に示す。

運動を行っている者の割合は、男子では中学 2、3 年生で 8 割、高 1、2 年生では 7 割と高い値を示した（表 13）。女子でも、中学 2 年生から高校 2 年生まで 5 ～ 7 割の生徒が運動を行っていた（表 15）。男女共に、中学 1 年生、高校 3 年生では比較的低い割合を示した（表 13、15）。中学 1 年生では入学直後であること、高校 3 年生では、学校内の部活動の引退時期であることが関連していると考えられる。生理学的年齢別での結果は、男女共に学年

別での結果と同様となった（表 17、19）。男子では、運動を行っている者の割合は、中学 1 年生頃に当たる MIA 0 年では、7 割程度、中学 2 年生～高校 1 年生に当たる MIA 1～3 年後頃までは 8 割程度を示し、その後、7～6 割と低下した（表 17）。女子では、中学 1 年生～高校 2 年生当たる初経 0 年から 4 年後頃までは約 6 割であったが、高校 3 年生頃である初経 5 年後以降は 5 割以下と、歴年齢と同様に低下した（表 19）。

運動を行っていた者の運動頻度は、いずれの時期でも男子では週 5 回程度（表 14、18）、女子では週 4 回程度（表 16、20）で、学年別、生理学的年齢別での解析で同等となった。

3. カルシウム摂取量

男女それぞれのエネルギー、カルシウム摂取量を学年別に表 21、22、生理学的年齢別に表 23、24 に示す。

男子の結果を見ると、学年別での摂取量では、高校 2 年生のエネルギー摂取量が中学 1 年生と比較して有意に高値となった（表 21）。カルシウム摂取量は、学年間で差はみられず、全学年で約 500mg/日であった（表 21）。乳・乳製品由来のカルシウム摂取量も、学年間で差はなく、カルシウム摂取量の約半分に当たる 200～250mg/日程度であった。MIA からの年数別では、エネルギー、カルシウム、乳・乳製品由来カルシウム、全ての摂取量で年齢間での有意差はみられず、学年別での摂取量と同等の摂取量となった（表 23）。

女子では、中学 1、2 年生時のエネルギー摂取量は、1,800～1,850kcal/日であったが、その後有意に減少し、高校 3 年生では

約 1,600kcal/日となった（表 22）。このエネルギー摂取量の変化と同様に、カルシウム摂取量も学年と共に減少し、中学 1 年生では約 500mg/日であったが、高校 3 年生には約 420mg/日となった（表 22）。乳・乳製品由来カルシウム摂取量は、カルシウム摂取量の約半分を占め、カルシウム摂取量と同様に学年と共に減少した（表 22）。初経からの年数別では、学年と同様の傾向を示し、エネルギー摂取量は、中学 1、2 年生に当たる初経 0 年、1 年後には 1,800～1,900kcal/日であったが、高校 2、3 年生に当たる初経 4、5 年後には、1,600kcal/日代と、学年での結果と同様の減少を示した（表 24）。カルシウム摂取量でも同様の減少が示され、初経 0 年には 500mg/日であったが、初経 5 年後には 415mg/日となった（表 24）。

表1 男子 学年別 身長・体重

学年	身長 (cm)	体重 (kg)
小1 n※	118.1 ± 4.6 270	22.0 ± 3.4 270
小2 n	123.9 ± 4.9 269	24.7 ± 4.0 269
小3 n	129.7 ± 5.2 273	27.9 ± 4.8 273
小4 n	135.2 ± 5.4 272	31.3 ± 5.5 272
小5 n	140.6 ± 5.8 273	34.9 ± 6.6 273
小6 n	146.9 ± 7.1 273	39.7 ± 8.1 273
中1 n	154.9 ± 7.8 273	46.4 ± 9.5 269
中2 n	161.7 ± 7.0 272	51.0 ± 9.1 271
中3 n	166.6 ± 5.9 272	55.4 ± 8.8 272
高1 n	169.5 ± 5.4 266	59.3 ± 8.4 266
高2 n	170.7 ± 5.4 273	61.7 ± 8.0 273
高3 n	171.7 ± 5.4 272	63.3 ± 8.6 272

(Mean±SD) ※n：対象者数（名）

表2 男子 学年別 体組成

学年	n※	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
中1	266	9.0 ± 4.6	37.5 ± 6.5	18.7 ± 6.2
中2	193	8.7 ± 4.5	42.6 ± 6.6	16.3 ± 5.5
中3	196	8.2 ± 4.5	46.8 ± 5.8	14.5 ± 5.2
高1	262	8.9 ± 4.0	50.3 ± 5.7	14.7 ± 4.8
高2	241	9.0 ± 4.1	52.5 ± 5.7	14.2 ± 4.8
高3	265	9.5 ± 4.8	53.9 ± 5.9	14.6 ± 5.4

(Mean±SD) ※n：対象者数（名）

表3 男子 学年別 骨指標

学年	n※	SOS (m/sec)	BUA (bB/MHz)	Stiffness
中1	157	1571.5 ± 22.2	99.9 ± 11.0	86.4 ± 11.6
中2	151	1586.4 ± 27.8	106.4 ± 14.0	94.9 ± 14.7
中3	128	1594.6 ± 29.1	116.6 ± 15.0	104.0 ± 15.9
高1	160	1598.7 ± 37.5	122.2 ± 16.7	108.9 ± 18.6
高2	185	1612.0 ± 39.7	126.2 ± 15.7	115.2 ± 17.9
高3	227	1610.7 ± 40.2	128.6 ± 16.1	116.5 ± 19.2

(Mean±SD) ※n：対象者数（名）

表4 女子 学年別 身長・体重

学年	身長 (cm)	体重 (kg)
小1 n※	117.2 ± 4.7 259	21.6 ± 3.1 259
小2 n	123.1 ± 5.1 259	24.2 ± 3.7 259
小3 n	129.1 ± 5.5 259	27.4 ± 4.4 259
小4 n	135.3 ± 6.0 259	31.1 ± 5.5 259
小5 n	142.2 ± 6.7 259	35.5 ± 6.5 259
小6 n	148.8 ± 6.5 259	40.5 ± 7.1 259
中1 n	153.5 ± 5.8 246	45.9 ± 7.3 229
中2 n	156.2 ± 5.3 258	49.0 ± 6.7 257
中3 n	157.8 ± 5.1 253	51.3 ± 6.5 253
高1 n	158.6 ± 5.3 252	52.4 ± 6.4 252
高2 n	158.9 ± 5.3 254	53.3 ± 6.7 254
高3 n	159.3 ± 5.4 254	53.6 ± 6.8 254

(Mean±SD) ※n: 対象者数 (名)

表5 女子 学年別 体組成

学年	n※	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
中1	221	11.1 ± 4.2	34.9 ± 3.9	23.5 ± 5.6
中2	147	11.8 ± 3.8	37.0 ± 3.6	23.8 ± 5.0
中3	135	12.3 ± 3.7	38.4 ± 3.8	23.9 ± 5.3
高1	234	13.7 ± 4.2	38.7 ± 3.9	25.7 ± 5.3
高2	216	13.7 ± 4.1	39.2 ± 3.9	25.6 ± 5.2
高3	249	14.4 ± 4.2	39.3 ± 4.1	26.5 ± 5.2

(Mean±SD) ※n: 対象者数 (名)

表6 女子 学年別 骨指標

学年	n※	SOS (m/sec)	BUA (bB/MHz)	Stiffness
中1	133	1582.3 ± 22.8	103.1 ± 13.1	91.6 ± 13.6
中2	112	1596.0 ± 27.1	111.7 ± 15.2	101.2 ± 16.0
中3	121	1596.6 ± 33.4	112.4 ± 16.0	101.7 ± 16.9
高1	160	1586.5 ± 31.3	115.0 ± 14.9	100.7 ± 16.1
高2	185	1597.5 ± 35.3	115.0 ± 14.4	103.8 ± 16.1
高3	203	1597.1 ± 33.2	117.1 ± 15.2	105.1 ± 17.4

(Mean±SD) ※n: 対象者数 (名)

表7 男子 MIAからの年数別 身長・体重

MIAからの年数	身長 (cm)	体重 (kg)
－9年※ ¹	115.8 ± 3.6	20.1 ± 2.7
n※ ²	5	5
－8年	115.7 ± 3.9	20.0 ± 1.9
n	39	39
－7年	118.7 ± 4.3	21.8 ± 2.7
n	115	115
－6年	121.5 ± 5.5	23.4 ± 3.5
n	228	228
－5年	126.3 ± 5.8	25.8 ± 4.0
n	271	271
－4年	131.8 ± 5.9	29.1 ± 4.8
n	272	272
－3年	137.2 ± 5.8	32.5 ± 5.5
n	273	273
－2年	142.4 ± 5.9	36.5 ± 6.5
N	273	273
－1年	149.0 ± 6.1	41.6 ± 7.4
n	273	271
0年	158.5 ± 5.9	47.9 ± 7.7
n	273	271
1年	165.0 ± 5.5	53.9 ± 7.8
n	272	271
2年	168.6 ± 5.3	57.7 ± 7.8
n	269	269
3年	170.4 ± 5.3	60.8 ± 8.0
n	265	265
4年	171.0 ± 5.5	62.6 ± 8.1
n	233	233
5年	171.5 ± 6.0	64.5 ± 9.1
n	154	154
6年	171.8 ± 5.4	65.7 ± 8.2
n	42	42

(Mean ± SD)

※1 －9年：MIA9年前 (MIA9年前～MIA1年前まで同様の表記)

※2 n：対象者数 (名)

表8 男子 MIAからの年数別 体組成

MIAからの年数	n ^{※1}	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
－3年 ^{※2}	4	10.0 ± 3.5	28.5 ± 2.7	25.4 ± 5.2
－2年	36	7.7 ± 3.5	30.3 ± 3.2	19.7 ± 6.1
－1年	106	8.7 ± 4.3	34.3 ± 3.6	19.4 ± 6.1
0年	190	8.2 ± 4.4	40.0 ± 4.8	16.3 ± 5.8
1年	215	8.8 ± 4.6	45.3 ± 5.0	15.7 ± 5.7
2年	227	8.4 ± 3.9	48.7 ± 5.1	14.3 ± 4.8
3年	246	9.0 ± 4.3	51.8 ± 5.4	14.4 ± 5.0
4年	210	9.3 ± 4.3	53.3 ± 5.8	14.5 ± 4.9
5年	146	10.1 ± 5.3	54.4 ± 6.2	15.2 ± 5.8
6年	42	10.8 ± 4.2	54.9 ± 6.3	16.2 ± 5.0

(Mean ± SD)

※1 n : 対象者数 (名)

※2 －3年 : MIA3年前 (MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記)

表9 男子 MIAからの年数別 骨指標

MIAからの年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)	BUA (bB/MHz)	Stiffness
－3年 ^{※2}	3	1553.3 ± 11.9	89.4 ± 3.8	74.4 ± 5.2
－2年	25	1560.8 ± 16.9	97.3 ± 9.8	81.8 ± 9.4
－1年	71	1566.3 ± 21.3	97.3 ± 10.3	83.3 ± 10.4
0年	120	1580.6 ± 23.5	101.8 ± 10.5	90.3 ± 11.1
1年	156	1591.1 ± 27.4	111.8 ± 14.9	99.9 ± 15.2
2年	146	1595.7 ± 35.5	118.5 ± 15.0	105.6 ± 16.9
3年	163	1607.1 ± 38.7	126.3 ± 15.2	114.0 ± 17.9
4年	166	1612.0 ± 38.2	128.0 ± 15.9	116.4 ± 18.5
5年	123	1611.6 ± 41.2	128.4 ± 17.3	116.6 ± 19.4
6年	34	1615.9 ± 40.0	130.5 ± 12.6	119.2 ± 17.4

(Mean ± SD)

※1 n : 対象者数 (名)

※2 －3年 : MIA3年前 (MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記)

表10 女子 初経からの年数別 身長・体重

初経からの年数	身長 (cm)	体重 (kg)
－9年 ^{※1}	116.1 ± 5.2	20.6 ± 2.3
n ^{※2}	9	9
－8年	116.8 ± 5.9	20.6 ± 3.4
n	25	39
－7年	117.9 ± 5.9	21.5 ± 3.3
n	115	115
－6年	119.8 ± 6.0	22.4 ± 3.6
n	69	69
－5年	123.3 ± 6.5	24.2 ± 4.0
n	165	165
－4年	128.5 ± 6.8	26.8 ± 4.5
n	256	256
－3年	134.4 ± 7.0	30.4 ± 5.2
n	259	259
－2年	141.2 ± 7.1	34.6 ± 5.7
n	259	257
－1年	148.5 ± 6.6	39.9 ± 6.1
n	259	256
0年	154.0 ± 5.8	45.7 ± 6.0
n	254	256
1年	156.5 ± 5.4	49.2 ± 5.8
n	251	247
2年	157.9 ± 5.3	51.5 ± 6.0
n	254	253
3年	158.5 ± 5.3	52.8 ± 6.4
n	243	243
4年	158.8 ± 5.3	53.7 ± 6.6
n	228	228
5年	158.9 ± 5.5	53.7 ± 7.0
n	183	183
6年	158.1 ± 5.6	53.8 ± 6.1
n	94	94
7年	156.1 ± 4.4	54.4 ± 6.5
n	17	17
8年	155.0 ± 8.3	58.7 ± 9.7
n	3	3

(Mean ± SD)

※1 －9年：初経9年前（初経9年前～初経1年前まで同様の表記）

※2 n：対象者数（名）

表11 女子 初経からの年数別 体組成

初経からの年数	n ^{※1}	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
－3年 ^{※2}	8	8.1 ± 3.9	29.2 ± 2.6	20.9 ± 7.3
－2年	16	7.9 ± 4.3	30.6 ± 4.4	19.7 ± 6.1
－1年	57	9.1 ± 3.9	33.8 ± 3.3	20.6 ± 5.3
0年	126	10.8 ± 3.9	36.0 ± 3.7	22.6 ± 5.4
1年	171	12.0 ± 3.3	37.1 ± 3.6	24.1 ± 4.7
2年	166	12.8 ± 3.6	38.3 ± 3.6	24.7 ± 4.7
3年	187	13.7 ± 3.9	38.9 ± 3.9	25.8 ± 5.0
4年	194	14.1 ± 4.1	39.4 ± 4.0	26.0 ± 5.1
5年	170	14.4 ± 4.4	39.3 ± 4.0	26.4 ± 5.3
6年	88	14.8 ± 4.1	38.9 ± 4.0	27.3 ± 5.1
7年	15	15.6 ± 4.2	37.8 ± 4.2	29.0 ± 5.7
8年	3	19.8 ± 7.8	38.9 ± 4.7	33.1 ± 8.1

(Mean ± SD)

※1 n : 対象者数 (名)

※2 －3年 : 初経3年前 (初経3年前～初経1年前まで同様の表記)

表12 女子 初経からの年数別 骨指標

初経からの年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)	BUA (bB/MHz)	Stiffness
－3年 ^{※2}	5	1573.9 ± 18.0	98.8 ± 11.9	86.4 ± 11.5
－2年	12	1583.0 ± 22.1	103.3 ± 19.1	91.8 ± 16.8
－1年	34	1583.0 ± 22.5	103.9 ± 14.7	92.4 ± 14.8
0年	85	1584.0 ± 25.7	105.1 ± 14.6	93.4 ± 15.3
1年	114	1594.8 ± 28.1	110.3 ± 14.1	99.9 ± 14.8
2年	135	1595.6 ± 32.0	112.6 ± 14.8	101.6 ± 16.3
3年	146	1589.5 ± 34.6	114.6 ± 15.2	101.3 ± 17.2
4年	162	1594.3 ± 32.8	117.0 ± 15.4	104.2 ± 16.7
5年	135	1599.9 ± 35.6	116.6 ± 14.9	105.5 ± 17.0
6年	70	1593.0 ± 30.2	115.8 ± 14.6	103.0 ± 16.4
7年	13	1601.3 ± 29.0	113.4 ± 15.0	103.7 ± 15.0

(Mean ± SD)

※1 n : 対象者数 (名)

※2 －3年 : 初経3年前 (初経3年前～初経1年前まで同様の表記)

表13 男子 学年別 運動有無

学年	有効回答者数 (名)	運動あり (名 (%))	運動なし (名 (%))
中 1	255	170 (66.7)	85 (33.3)
中 2	267	236 (88.4)	31 (11.6)
中 3	261	220 (84.3)	41 (15.7)
高 1	269	204 (75.8)	65 (24.2)
高 2	263	194 (73.8)	69 (26.2)
高 3	258	169 (65.5)	89 (34.5)

χ^2 検定 $p < 0.01$

表14 男子 学年別 運動頻度

学年	運動あり (名)	頻度 (日/週) (Mean $\pm$ SD)
中 1	170	4.2 $\pm$ 1.3
中 2	236	5.1 $\pm$ 1.0 **
中 3	220	5.2 $\pm$ 1.0 **
高 1	204	5.2 $\pm$ 1.2 **
高 2	194	5.2 $\pm$ 1.2 **
高 3	169	5.1 $\pm$ 1.3 **

一元配置分散分析 $p < 0.01$

Bonferroni多重比較 中1との間での比較** $p < 0.01$

表15 女子 学年別 運動有無

学年	有効回答者数 (名)	運動あり (名 (%))	運動なし (名 (%))
中 1	246	119 (48.4)	127 (51.6)
中 2	254	200 (78.7)	54 (21.3)
中 3	252	164 (65.1)	88 (34.9)
高 1	245	128 (52.2)	117 (47.8)
高 2	246	147 (59.8)	99 (40.2)
高 3	243	117 (48.1)	126 (51.9)

χ^2 検定 $p < 0.01$

表16 女子 学年別 運動頻度

学年	運動あり (名)	頻度 (日/週) (Mean $\pm$ SD)
中 1	119	3.8 $\pm$ 1.5
中 2	200	4.8 $\pm$ 1.2 **
中 3	164	4.9 $\pm$ 1.2 **
高 1	128	4.6 $\pm$ 1.4 **
高 2	147	4.6 $\pm$ 1.4 **
高 3	117	4.4 $\pm$ 1.3 **

一元配置分散分析 $p < 0.01$

Bonferroni多重比較 中1との間での比較** $p < 0.01$

表17 男子 MIAからの年数別 運動有無

MIAからの年数	有効回答者数 (名)	運動あり (名 (%))	運動なし (名 (%))
－ 3 年※	5	5 (100.0)	0 (0.0)
－ 2 年	34	23 (67.6)	11 (32.4)
－ 1 年	113	92 (81.4)	21 (18.6)
0 年	217	159 (73.3)	58 (26.7)
1 年	266	222 (83.5)	44 (16.5)
2 年	267	216 (80.9)	51 (19.1)
3 年	261	200 (76.6)	61 (23.4)
4 年	223	156 (70.0)	67 (30.0)
5 年	148	97 (65.5)	51 (34.5)
6 年	42	23 (54.8)	19 (45.2)

※－3年：MIA3年前（MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記）

χ^2 検定 $p < 0.01$ （MIA3年前を除外しての χ^2 検定も同様の結果）

表18 男子 MIAからの年数別 運動頻度

MIAからの年数	運動あり (名)	運動頻度 (日/週) (Mean $\pm$ SD)
－ 3 年※	5	2.4 $\pm$ 2.2
－ 2 年	23	4.4 $\pm$ 1.2*§
－ 1 年	92	4.4 $\pm$ 1.4**
0 年	159	4.8 $\pm$ 1.2**†
1 年	222	5.0 $\pm$ 1.1***
2 年	216	5.3 $\pm$ 1.0***§†
3 年	200	5.2 $\pm$ 1.2***
4 年	156	5.1 $\pm$ 1.2***
5 年	97	5.1 $\pm$ 1.2***
6 年	23	4.8 $\pm$ 1.5**

※－3年：MIA3年前（MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記）

一元配置分散分析 $p < 0.01$

Bonferroni多重比較 MIA3年前との間での比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$
MIA1年前との間での比較 *** $p < 0.01$ 、# $p < 0.05$

§ 同記号間 $p < 0.05$

† 同記号間 $p < 0.01$

表19 女子 初経からの年数別 運動有無

初経からの年数	有効回答者数 (名)	運動あり (名 (%))	運動なし (名 (%))
－3年※	9	4 (44.4)	5 (55.6)
－2年	23	15 (65.2)	8 (34.8)
－1年	69	39 (56.5)	30 (43.5)
0年	160	101 (63.1)	59 (36.9)
1年	231	150 (64.9)	81 (35.1)
2年	249	163 (65.5)	86 (34.5)
3年	242	143 (59.1)	99 (40.9)
4年	217	122 (56.2)	95 (43.8)
5年	176	88 (50.0)	88 (50.0)
6年	90	42 (46.7)	48 (53.3)
7年	17	6 (35.3)	11 (64.7)
8年	3	1 (33.3)	2 (66.7)

※－3年：初経3年前（初経3年前～初経1年前まで同様の表記）

χ^2 検定 $p < 0.01$ （初経3年前、8年後を除外しての χ^2 検定も同様の結果）

表20 女子 初経からの年数別 運動頻度

初経からの年数	運動あり (名)	運動頻度（日/週） (Mean $\pm$ SD)
－3年	4	2.8 $\pm$ 2.1
－2年	15	4.3 $\pm$ 1.4
－1年	39	4.4 $\pm$ 1.7
0年	101	4.1 $\pm$ 1.4
1年	150	4.5 $\pm$ 1.3
2年	163	4.8 $\pm$ 1.2 **
3年	143	4.7 $\pm$ 1.2 *
4年	122	4.6 $\pm$ 1.3
5年	88	4.4 $\pm$ 1.5
6年	42	4.4 $\pm$ 1.5
7年	6	3.8 $\pm$ 1.9
8年	1	－

※－3年：初経3年前（初経3年前～初経1年前まで同様の表記）

一元配置分散分析 $p < 0.01$

Bonferroni多重比較 MIA後0年との間での比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

表21 男子 学年別 エネルギー・カルシウム摂取量

学年	n ^{※1}	エネルギー (kcal/日)	Ca (mg/日)	乳Ca ^{※2} (mg/日)
中 1	259	1947 ± 426	530 ± 231	267 ± 192
中 2	266	2059 ± 451	524 ± 214	260 ± 179
中 3	256	2039 ± 445	524 ± 224	200 ± 199
高 1	264	2009 ± 467	518 ± 242	262 ± 207
高 2	262	2110 ± 528 ^{**}	525 ± 232	266 ± 202
高 3	263	1994 ± 532	489 ± 219	241 ± 184

(Mean±SD)

※1 n：対象者数（名）

※2 乳Ca：乳・乳製品由来カルシウム摂取量

一元配置分散分析 エネルギー：p<0.01 Ca・乳Ca：NS

Bonferroni多重比較 中1との間での比較^{**} p<0.01

表22 女子 学年別 エネルギー・カルシウム摂取量

学年	n ^{※1}	エネルギー (kcal/日)	Ca (mg/日)	乳Ca ^{※2} (mg/日)
中 1	253	1815 ± 358	498 ± 227	239 ± 182
中 2	254	1847 ± 411	479 ± 207	222 ± 167
中 3	253	1741 ± 382 [#]	464 ± 217	164 ± 155 ^{**##}
高 1	253	1690 ± 356 ^{**##}	431 ± 200 ^{**}	193 ± 163 [*]
高 2	247	1689 ± 370 ^{**##}	437 ± 190 [*]	194 ± 146 [*]
高 3	245	1651 ± 358 ^{**##}	424 ± 200 ^{**#}	189 ± 158 ^{**}

(Mean±SD)

※1 n：対象者数（名）

※2 乳Ca：乳・乳製品由来カルシウム摂取量

一元配置分散分析 エネルギー・Ca・乳Ca：p<0.01

Bonferroni多重比較 中1との間での比較^{**} p<0.01、^{*} p<0.05中2との間での比較^{##} p<0.01、[#] p<0.05

表23 男子 MIAからの年数別 エネルギー・カルシウム摂取量

MIAからの年数	n ^{※1}	エネルギー (kcal/日)	Ca (mg/日)	乳Ca ^{※2} (mg/日)
－3年 ^{※3}	5	1703 ± 91	423 ± 67	158 ± 78
－2年	33	1847 ± 463	492 ± 244	238 ± 197
－1年	114	1899 ± 397	514 ± 223	263 ± 193
0年	220	2007 ± 425	514 ± 209	240 ± 171
1年	262	2043 ± 449	527 ± 232	250 ± 203
2年	262	2041 ± 452	527 ± 230	235 ± 203
3年	257	2058 ± 503	530 ± 249	268 ± 215
4年	227	2068 ± 511	515 ± 229	256 ± 193
5年	148	2067 ± 582	511 ± 209	251 ± 176
6年	41	1916 ± 511	452 ± 199	214 ± 174

(Mean ± SD)

※1 n：対象者数（名）

※2 乳Ca：乳・乳製品由来カルシウム摂取量

※3 －3年：MIA3年前（MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記）

一元配置分散分析 エネルギー：p<0.01 Ca・乳Ca：NS

Bonferroni多重比較 NS

表24 女子 初経からの年数別 エネルギー・カルシウム摂取量

初経からの年数	n ^{※1}	エネルギー (kcal/日)	Ca (mg/日)	乳Ca ^{※2} (mg/日)
－3年 ^{※3}	8	1797 ± 350	381 ± 113	147 ± 80
－2年	25	1860 ± 339	499 ± 146	222 ± 144
－1年	65	1859 ± 403 ^a	493 ± 244	230 ± 194
0年	163	1875 ± 391 ^{ac}	505 ± 240 ^a	237 ± 199
1年	238	1804 ± 371 ^a	480 ± 213	217 ± 163
2年	250	1766 ± 383 ^e	456 ± 203	182 ± 146
3年	240	1708 ± 357 ^d	444 ± 196	193 ± 158
4年	224	1672 ± 369 ^b	440 ± 209	194 ± 168
5年	180	1629 ± 377 ^{bf}	415 ± 187 ^b	183 ± 141
6年	91	1626 ± 346 ^b	418 ± 203	179 ± 162
7年	17	1627 ± 256	474 ± 196	236 ± 177
8年	3	1645 ± 157	525 ± 172	264 ± 48

(Mean±SD)

※1 n：対象者数（名）

※2 乳Ca：乳・乳製品由来カルシウム摂取量

※3 －3年：初経3年前（初経3年前～初経1年前まで同様の表記）

一元配置分散分析 エネルギー・Ca：p<0.01 乳Ca：p<0.05

Bonferroni多重比較 aとb間 p<0.01、cとd間 p<0.05、eとf間 p<0.05

第一章

QUS 法による骨指標の思春期の経年変化

Change of Bone Parameters in Japanese
Adolescents Measured by QUS

諸言

思春期の身体発育は、身長が増加が先行し、身長が増加ピークと同時期に筋肉量の増加もピークとなり、それを反映して、約1年後に体重の増加がピークを迎えるといわれている^{55,56)}。さらに、女子ではその約半年後に初経を迎える^{55,56)}。日本では、学校保健法に基づき、幼稚園児から定期健康診断での身体測定が、毎年1回実施される。学校保健統計調査により、全国、地域別の平均値やパーセンタイル値が発表され、子供たちの身体発育の評価に用いられている⁵⁷⁾。この身体発育の時期や身体指標の変化と、骨指標との関連を明らかにすることは、思春期の骨指標の変化を捉えるうえで、大変重要であるといえる。

しかし、序論で述べたように、思春期の日本人の骨指標の経年変化についての報告は限られているのが現状である。そのため、本章では、学年、または、生理学的年齢ごとの身体指標、骨指標の平均値から思春期の経年変化をグラフ化し、身体発育と関連した骨指標の経年変化について検討することとした。

対象者と方法

MIAを算出できた男子生徒、女子ではこのMIAに加え初経年齢が明確であった生徒のうち、中学1年生から高校3年生までの6年間のいずれかで1回以上、QUS法による骨量測定を行っていた男子273名、女子259名を解析対象者とした。

統計解析

学年間、年齢間での身体指標、骨指標の平均値の差の検定には、一元配置の分散分析を行い、有意差がみられた場合には、各群間での Bonferroni の多重比較を行った。骨指標と身体指標との相関関係の検討には、Pearson の相関係数を算出した。いずれの解析でも、有意水準は 5 % 未満とした。

I. 学年に基づいた骨指標の経年変化

方法

身長、体重は、小学 1 年生から高校 3 年生まで、骨指標、体組成については中学 1 年生から高校 3 年生までの、各学年時の平均値を求め、経年グラフとした。

結果

1. 各学年での身長、体重、体組成の平均値の比較

男女それぞれに学年ごとの身体指標の平均値をグラフ化した（図 2、3）。各学年の平均値の詳細は、対象者特性の表 1、2、4、5 に示す。

図 2 に示すように、男子の身長は高校 1 年生まで、体重は高校 2 年生まで、前の学年と比較して有意な増加を示した。体脂肪量は、学年間に有意差は認められなかったが、除脂肪量は高校 2 年生まで前の学年と比較して有意な増加が認められた。体脂肪率は、中学 3 年生までは前の学年と比較して有意に減少し、この学年間の体脂肪率の差は、除脂肪量の増加によるものであることが示された。

図 3 に示すように、女子の身長は中学 2 年生まで、体重は中学 3 年生まで、前の学年と比較して有意な増加を示した。体脂肪量は高校 1 年生で中学 3 年生と比較して有意な増加を示した。除脂肪量は中学 1 年生と比較して中学 2 年生で有意な増加を示した。体脂肪率は、体脂肪量と同時期での有意な増加が認められ、除脂肪量の変化の影響が強かった男子とは異なる結果となった。

2. 各学年での骨指標の平均値の比較

男女それぞれに学年ごとの骨指標の平均値を、グラフ化した（図 2、3）。各学年の平均値の詳細は、対象者特性の表 3、6 に示す。

男子の SOS は、中学 1、2 年生間では有意な増加が認められ、高校 1、2 年生間で再度有意な増加が認められた。本研究で使用した超音波骨密度測定装置の基準値は、現在、成人男女のみ設定されている⁵⁸⁾。この基準値と比較すると、中学 2 年生で 20～24 歳男性の基準値である $1576.3 \pm 36.5 \text{ m/sec}^{58)}$ と同等となっていた（表 3）。BUA は、高校 1 年生まで前学年からの有意な増加が認められた（図 2）。20～24 歳男性の基準値 $122.9 \pm 11.5 \text{ dB/MHz}^{58)}$ と比較でも、この高校 1 年生で同等となっていた（表 3）。Stiffness は、BUA と SOS の双方の変化を反映し中学 3 年生まで前学年からの有意な増加が認められ、高校 1、2 年生間で再度、有意な増加みられた（図 2）。

女子では、SOS、BUA、Stiffness の全骨指標で、中学 1 年生と比較して中学 2 年生で、有意な増加を示したが、その他の学年では前学年と比較して有意な増加は認められなかった（図 3）。

20～24 歳女性の基準値（SOS：1563.8±29.3m/sec、BUA：113.1±10.1dB/MHz⁵⁸⁾）と比較すると、SOS は中学 1 年生で既に同等となっているが、BUA は有意な増加が停滞した後、中学 3 年生で同等の値を示しており（表 6）、男子同様に、SOS は、BUA と比較して早期に成人の基準値に達していた。

3. 身体指標と骨指標の関係

身体指標と骨指標との関係について検討するため、各学年の骨指標と、同時期の身長、体重、体脂肪量、除脂肪量、体脂肪率との Pearson、の相関係数を算出した（表 25、26）。

男子の SOS は、中学 1 年生では、身長、除脂肪量との正の相関、体脂肪率との負の相関が認められた。中学 2 年生でも体脂肪率との負の相関が認められたが、中学 3 年生～高校 2 年生までは、いずれの身体指標とも有意な相関を示さなかった。高校 3 年生では、身長、体脂肪量、体脂肪率との負の相関が認められた（表 25）。BUA は、中学 1 年生～高校 1 年生まで、身長、体重、体脂肪量、除脂肪量との正相関が認められ、中学 1、3 年生では体脂肪率とも正の相関を示した。高校 2、3 年生では、体重、除脂肪量との正相関のみが継続した（表 25）。Stiffness は、SOS、BUA それぞれの特徴を反映した結果となり、中学 1 年生では、体脂肪率を除く全ての身体指標と正の相関がみられたが、学年と共に、相関関係を示す身体指標は減り、高校 3 年生では除脂肪量との有意な正の相関関係のみが残った（表 25）。

女子の SOS は、中学 1 年生ではいずれの身体指標とも有意な相関関係を示さなかったが、中学 2、3 年生、高校 3 年生では除

脂肪量との正の相関、中学 3 年生、高校 1 年生では体脂肪量との負の相関が示された。中学 3 年生～高校 3 年生では、体脂肪率との負の相関を示した（表 26）。BUA は、体重、体脂肪量との有意な正の相関が全ての学年で認められた。その他、中学 2、3 年生、高校 2、3 年生では身長と、高校 2 年生では体脂肪量との有意な正相関を示したが、体脂肪率とはいずれの学年でも有意な相関は認められなかった（表 26）。Stiffness は、男子同様、SOS と BUA の特徴を反映した結果となり、中学 2 年生の身長、中学 1、2 年生、高校 2 年生の体重との正の相関関係、高校 3 年生の体脂肪率との負の相関関係を示した。体脂肪量とはいずれの学年でも有意な相関関係はなかったが、除脂肪量とは全学年で有意な正の相関関係を示した（表 26）。

男女共に、SOS では学年を通して一致した相関関係を示した身体指標はなかったが、一部の学年では、体脂肪量、体脂肪率とは負の相関、除脂肪量とは正の相関を示し、体脂肪量、除脂肪量の割合が関係している可能性がみられた（表 25、26）。BUA では、特に除脂肪量との強い相関関係がみられ、経年変化のグラフでも除脂肪量と類似した曲線を示した（表 25、26）。

Ⅱ．生理学的年齢に基づいた骨指標の経年変化

方法

対象者数が3名未満となった年齢の測定値は、解析から除外した。この結果、男子では、身長、体重はMIA 9年前からMIA 6年後まで、体組成、骨指標はMIA 3年前からMIA 6年後までの解析となった。また、体組成とのPearsonの相関係数の算出では、MIA 3年前の対象者数が少なかったため、解析を行わなかった。女子では、身長、体重は初経9年前から初経8年後まで、体組成は初経3年前から初経8年後まで、骨指標は初経3年前から初経7年後までの解析となった。

結果

1．各年齢での身長、体重、体組成の平均値の比較

男女それぞれに年齢ごとの身体指標の平均値をグラフ化した(図4、5)。各年齢の平均値の詳細は、対象者特性の表7、8、10、11に示す。

男子では身長、体重共に、前の年齢からの有意な増加はMIA 6年前から3年後まで継続し、これは歴年齢では小学1年生から高校1年生頃に当たり、歴年齢の増加時期とほぼ一致していた(図2、4)。体脂肪量では、全ての年齢間で有意な増加は認められなかったが、除脂肪量は、MIA 1年前～MIA 3年後まで、前の年齢と比較して有意な増加が認められた(図4)。この除脂肪量の変化を反映し、体脂肪率はMIA 0年で前の年齢から有意に減少した(図4)。

女子の身長、体重の経年変化については、小学2年生から、身

長では初経 1 年後頃に当たる中学 2 年生まで、体重では初経 2 年頃に当たる中学 3 年生まで有意な増加が継続しており、年数での解析結果と一致した（図 3、5）。体組成の変化は、身長、体重と比較して、緩慢であったため、前の年齢との比較に加え、前々年との比較も示した。体脂肪量、除脂肪量については、学年での解析では明らかにできなかったが、初経前から継続して緩やか増加がみられることがより明確となった（図 5）。体脂肪量は初経 1～3 年後まで、前々の年齢と比較して有意な増加を示した（図 5）。これに対し、除脂肪量は初経 0 年が前年と比較して有意に増加し、その後、初経 3 年後まで前々年と比較して有意な増加を示した（図 5）。体脂肪率は、初経 1、2 年後では、前々年と比較して有意な増加を示した（図 5）。

2. 各年齢での骨指標の平均値の比較

男女それぞれに年齢ごとの骨指標の平均値をグラフ化した（図 4、5）。各年齢の平均値の詳細は、対象者特性の表 9、12 に示す。体組成と同様に、前年との比較結果と共に、前々年との比較結果も図中に示した（図 4、5）。

男子の SOS は、前年と比較して有意な増加を示すような急激な増加期間は認められず、前々年との比較では MIA 1 年前～MIA 4 年後の時期で有意な増加が認められ（図 4）、MIA0 年に 20～24 歳男性の基準値 $1576.3 \pm 36.5 \text{ m/sec}^{58)}$ に達していた（表 9）。また、学年での解析で認められた 2 度目の増加はみられなかった（図 2、4）。BUA については、前年と比較して有意に高値となるような急激な増加の時期（MIA 1～3 年後まで）を経て、MIA3

年後に成人の基準値 $122.9 \pm 11.5 \text{ dB/MHz}^{58)}$ に達した (表 9)。この前年と比較して有意な増加を示す時期は、学年での解析結果とほぼ一致した (図 2、4)。前々年との比較では、MIA 1 ～ 4 年後までと SOS と同様の時期での有意な増加がみられた (図 4)。Stiffness は、MIA 1、3 年後で前年と比較して有意な増加が認められた。前々年との比較では、SOS、BUA 同様に、MIA 1 ～ 4 年後まで有意に増加した (図 4)。

女子の SOS は、非常に緩やかな変化を示すに留まった (図 5)。20 ～ 24 歳女性の基準値 $1563.8 \pm 29.3 \text{ m/sec}^{58)}$ との比較でも、初経 3 年前で既に同等に達していた (表 12)。BUA、Stiffness でも、初経 2 年後で前々年と比較して有意な増加を示し (図 5)、中学 1 ～ 2 年で増加を示した学年での解析とほぼ一致する結果となった (図 3)。成人の基準値 $113.1 \pm 10.1 \text{ dB/MHz}^{58)}$ と比較すると、初経 3 年後で同等となっており (表 12)、学年での解析結果と同様に、SOS の方が早期に成人の基準値に達していた。

3. 身体指標と骨指標の関係

男女それぞれ、各年齢の身体指標と骨指標との Pearson の相関係数を算出した (表 27、28)。

この結果、男子の SOS は、MIA 2 年前では、身長、体重、体脂肪量、体脂肪率との有意な負の相関を示した。その後、身長とは MIA 1 ～ 3 年後、5 年後、体重とは MIA 5 年後、体脂肪量とは MIA 1、5 年後、体脂肪率とは MIA 0 年、1、5 年後で、それぞれ有意な負の相関を示した (表 27-1)。BUA では、体重、除脂肪量との有意な正の相関が、MIA 1 年前 ～ MIA 5 年後まで継

続した。その他、身長とは MIA 1 年前、0 年、1、5 年後、体脂肪量とは MIA 1 年前、0 年、体脂肪率とは MIA 1 年前に、それぞれ有意な正の相関を示した（表 27-1）。Stiffness では、MIA 1 年前、0 年では、身長、体重、除脂肪量との正の相関を示したが、その後、MIA 1 年後には除脂肪量と、MIA 4 年後には体重、除脂肪量との正の相関を示すのみであった（表 27-2）。

女子の SOS は、身長、体重との有意な相関関係は全ての年で認められなかった。体脂肪量とは初経 0 年、2～4 年後で負の相関が認められ、除脂肪量とは初経 1、6 年後で正の相関関係が認められた。初経 0 年、2～5 年後には、体脂肪率との有意な負の相関関係がみられた（表 28-1）。BUA では、初経 3 年前、0 年、1～6 年後で、除脂肪量との有意な正の相関がみられ、初経 0 年、1、2、4～6 年では体重との正相関も認められた。その他、初経 2 年前には体脂肪量と、初経 0 年、1、2、5、6 年には身長との有意な正の相関が認められた（表 28-1）。Stiffness は、初経 3 年前～初経 6 年後までのうち、初経 1 年前、3 年後を除く全ての年齢時に、除脂肪量との正の相関関係が認められた。その他、初経 2 年前、1 年後に体重との正相関を示した（表 28-2）。

学年での解析と同様に、男女共に SOS では身体指標との相関性は弱かった。BUA では、体重、特に除脂肪量との正の相関が、男子では MIA 後、初経後に認められた。特に、身体の発育が著しい時期である MIA 前後、初経前後では身長との正相関も認められ、この時期の身体指標の影響が大きいことが示された（表 27-1）。

考察

本章では、歴年齢と生理学的年齢を基にした経年変化のグラフを作成し、思春期男女の骨指標と身体指標の変化について明らかにした。MIA、初経を用い生理学的年齢に基づいた解析を行うことにより、歴年齢では解析できなかった MIA や初経以前からの骨指標、身体指標の変化が明らかとなった。考察に当たって、骨指標の経年変化について明確にするため、生理学的年齢での解析において、前々年と比較して有意な増加がみられた時期を「増加時期」、前年と比較して有意な増加がみられた時期を「急増時期」と表現する。

SOS と BUA の経年変化の特徴

歴年齢での解析の結果から、男子では SOS の急増時期が BUA と比較して早期に終了しており、男女共に SOS の方が早期に成人の基準値に達した。このことから、SOS の急増時期が早期である、あるいは増加期間が短期であることが推測された。しかし、生理学的年齢での解析の結果、男子の SOS、BUA の増加時期は同時期、同期間となり否定的な結果となった。この増加時期の中で骨指標それぞれに特徴がみられ、SOS は比較的早期に成人の基準値に達し緩慢な増加を続けるのに対し、BUA は急増時期を経て成人の基準値に達していた。小、中学生の骨量の測定を行い、年齢間の骨指標の比較を行った小塚らの報告²⁷⁾では、男子の SOS は 12～13 歳間（中学 1～2 年生）で有意差を示し、BUA は 11～14 歳（小学 6 年生～中学 3 年生）まで前の年齢と比較して有意に高値を示した。女子の SOS は 11～12 歳間（小学 6 年生～中

学 1 年生) で有意差を示し、BUA は 11～13 歳 (小学 6 年生～中学 2 年生) まで、前の年齢の値より有意に高値を示しており、歴年齢での本研究と同様の時期となった。また、前年と比較して有意に高値となるような急増時期が BUA でより長くなる傾向を示している点も本研究と類似している。ZQ.Zhu らは、10～21 歳の男女を対象とし骨指標の経年変化について検討⁶⁰⁾を行い、SOS、BUA の増加ピークは、いずれも男子 14 歳、女子 12 歳と報告している。骨指標間でのピーク差はなかったものの、その増加率に注目し、10～21 歳までの BUA の増加率は 20% 程度であったのに対し、SOS は 2 % 程度であり、SOS は思春期の骨状態の変化に敏感な指標ではないとしている⁶⁰⁾。本研究においても、学年での解析結果から、中学 1 年生～高校 3 年生までの SOS、BUA の増加率は、男子ではそれぞれ 2.5%、34.7%、女子では 0.9%、14.6% と、2 つの指標間での増加率の差がみられた。また、6～19 歳のスウェーデンの子供を対象に、年齢ごとに SOS、BUA の平均値を求めグラフ化した G.Alwis ら⁶¹⁾は SOS、BUA 共に個人差が大きく、特に 6～12 歳の SOS の変化は他の発育指標とは異なり、ランダムな変化を示していると述べるに留まっている。しかし、本研究と同時期である 12～17 歳頃までは、年齢と共に上昇する様子を示しており⁶¹⁾、本研究の結果と一致している。このように海外の先行研究では、SOS に関して、思春期の身体や骨状態の変化に敏感な指標ではないとしているが、これらの研究は、横断的な研究を基に、経年グラフを作成しており、個人による差が影響したことが考えられる。また、単一エネルギーの X 線により骨密度を測定する方法である一重エネルギーエックス線吸収

法（Single-energy X-ray absorptiometry；SXA）により、本研究と同一部位である踵骨骨密度測定を 10～90 歳の日本人男女に実施し、経年グラフを作成した片平ら⁶²⁾は、男子では 16、17 歳、女子では 12、13 歳に最大骨量に達し、その後は徐々に減少する経年変化を報告しており、本研究の SOS の変化と同様となり、このことから、骨量、骨密度の指標であるとされる SOS は、思春期の経年変化を反映していると考えられる。継続的な測定から得られた縦断的なデータを用い、生理学的年齢を一致させることで、個人差を最小限にした本研究の結果から、女子ではその増加は緩やかであったが、男女共に SOS も年齢と共に増加するグラフを示し、思春期の骨量の増加を反映する指標であること示された。

SOS と BUA の経年変化の差異について

本研究の結果から、骨指標の思春期の経年変化は経年変化は、SOS と BUA で異なる特徴を示した。10 代から 80 代の中国人男女を対象とし骨指標の経年変化を検討した W.Liu ら⁵⁹⁾は、回帰曲線から SOS、BUA が最大となる年齢を算出し、それぞれ男子では 23.9 歳、33.6 歳、女子では 22.6 歳、33.3 歳と報告している⁵⁹⁾。男女それぞれ SOSの方が BUA よりも 10 歳程度早い結果となっている⁵⁹⁾。この年齢差の理由について、W.Liu らは、骨の石灰化の遅延による影響と、超音波速度の指標である SOS と減衰率を示す BUA の違いによる、と述べるに留まっている⁵⁹⁾。この超音波速度の指標である SOS は、骨の量や密度を反映するといわれている^{18,24)}。本研究では、男子は MIA 頃、女子でも

MIA 前後の時期に当たる初経の 3 年前に成人の基準値に達していた。SOS と身体指標との相関は弱かったが、身長が増加、すなわち骨の伸長に伴い骨量も増加するため、このことが骨の量的な指標である SOS の増加に反映されたことが推測される。これに対し、BUA は骨梁の分布や結合状態、すなわち海綿骨の構造を反映する指標であるといわれている^{18~20,24,25)}。海綿骨の増加には、女性ホルモンであるエストロゲンが関与しているといわれる⁶³⁾。日本人の男女児童を対象に、小学 4 年生から 6 年間、骨代謝マーカーの測定を行った西野らの報告³²⁾では、女子では初経発来を契機にそれまで高代謝となっていた骨代謝が、急激に低下し、初経 3 年後以降は低代謝回転となったとしている。このことに関して、西野らは、初経前には成長ホルモンの影響を受け高代謝回転であったが、初経と共に、女性ホルモンの影響を強く受けるようになり、低代謝回転へと移行すると考察している³²⁾。初経以前は成長ホルモンの影響を強く受け、高代謝回転となることにより骨の伸長が盛んであったが、女性ホルモンであるエストロゲンの増加により骨代謝回転は低下し、海綿骨の増加が起これと考えられる^{63,64)}。先行研究では、女子の骨量増加のピークは、初経後半年～1 年間とする報告^{31,33,65)}と初経前とする報告²⁷⁾があるが、本研究の女子の BUA は初経によるエストロゲンの増加や骨代謝の変化による海綿骨の増加を反映し、初経後に増加を示したと考えられる。男子では、思春期に増加する性ホルモンであるアンドロゲンは、骨の周囲長の増大を促進し骨量の増加に寄与する⁶⁶⁾。また、エストロゲンに変換されることにより海綿骨の増加にも関与しているとされている⁶⁶⁾。骨サイズの増加に関わる成長

因子である IGF-I と身長発育速度の関係について検討した TJ.Merimee ら⁶⁷⁾の報告では、男子は血中 IGF-I に加え、血中テストステロンの値も、身長の発育速度と強く正相関していた。このことから、男子では骨量の増加と並行して、性ホルモンの増加による海綿骨の増加も起こり、SOS と BUA の増加時期が同時期となった本研究の結果につながっている可能性がある。また、海綿骨は、破軟骨細胞や骨芽細胞の働きにより軟骨から一次海綿骨を経て、二次海綿骨へと徐々に置き換わることにより増加しており⁶⁸⁾、この変化の過程が BUA の急増期や SOS と比較し成人の基準値に達する時期が遅いという結果につながっていると推測される。

骨指標の経年変化の男女差について

男女の身長差は、女子と比較して男子の年間増加量が多いことに加え、増加期間が長いことも影響しているといわれている^{49,69)}。このことは骨量の男女差についても同様と考えられている⁶⁶⁾。本研究の骨指標の変化をみると、前々年と比較して有意な増加がみられた増加時期の期間は、男子では MIA の 1 年前から MIA 4 年後までの 5 年間であったのに対し、女子では、初経時期から初経 2 年後までの 2 年間であり、男子よりも短期間での緩慢な増加を示すに留まった。QUS による骨指標でも増加期間に男女差がみられ、骨量の男女差を反映することが明らかとなった。

骨指標と身体指標との相関関係について

男女共に SOS では明確な相関関係を示した身体指標は得られ

なかったが、BUA では体重、特に除脂肪量との正相関がみられた。筋肉の厚みは、男女共に身長最大の発育と同時かやや遅れた時期に増加が最大になるといわれる⁷⁰⁾。この影響を受け、男子では除脂肪量が顕著に増加し、それを反映し体重も増加を示す⁷⁰⁾。女子の初経は体重に依存するといわれ、体重の増加と初経年齢との関連が報告されている^{70,71)}。しかし、この女子の体重増加には、除脂肪量増加だけでなく体脂肪量の増加も大きく影響している^{70,72)}。それにも関わらず、男子同様に、体重の中でも除脂肪量との正相関が強くみられるという点は大変興味深い。先行研究においても、BUA と体重や除脂肪量との正の相関関係が示されている^{33,60,73,74)}。女子大学生の骨指標への身体指標の影響について検討した横内ら⁷³⁾の報告では、SOS と比較して BUA は身体指標からの影響をより強く受けており、体格指標の中でも、除脂肪量の影響が最も強い結果を示している。このことについて、体格が踵骨に力学的負荷を継続して与えることで骨梁構造を強固にしていることが推察され、体重や BMI ではなく骨格筋を中心とした除脂肪量の影響が大きいとまとめている⁷³⁾。本研究もこれを支持する結果となり、主に骨格筋を反映する除脂肪量の刺激が骨梁構造等の骨質に影響することが考えられる。

思春期の骨指標と成人の基準値との比較

20～24 歳の基準値との比較により急増時期の考察を行ったが、男女共に成人の基準値に達して以降も緩やかな増加がみられた。特に女子の SOS に関しては、初経以前の早期に基準値に達しており、その後は緩やかな増加がみられた。10～21 歳の中国人の

男女の骨指標を測定し、経年変化を検討した ZQ.Zhu らの研究⁶⁰⁾では、SOS、BUA、Stiffness 全ての骨指標で、男性では 19～20 歳、女性では 17～18 歳で、最大値となり、その後は年齢と共に減少したと報告している。また、G.Alwis ら⁶¹⁾が作成した経年グラフでも、男女共に全ての骨指標で 17 歳以降に減少がみられる。このことから、男女共に、本研究での観察期間で、成人期の基準値を上回る最大値に達し、その後、成人期に向けての減少が起こるのではないかと推測される。

まとめ

骨指標の増加時期は、男子では MIA1 年前から 4 年後（小学 6 年生～高校 2 年生頃）、女子では初経の時期から初経 2 年後（中学 1 年生～3 年生頃）であり、PBM に達する時期は男子では増加時期の終了する MIA4 年後頃、女子では BUA が成人の基準値に達する初経 3 年後頃であった。骨指標別には、SOS は男子では MIA 頃、女子では初経以前に成人の基準値に達し緩やかな増加を示した。BUA は、除脂肪量との強い相関を示し、男子では MIA 後 3 年間、女子では初経後 2 年間で急激に増加を示したのちに、成人の基準値に達した。

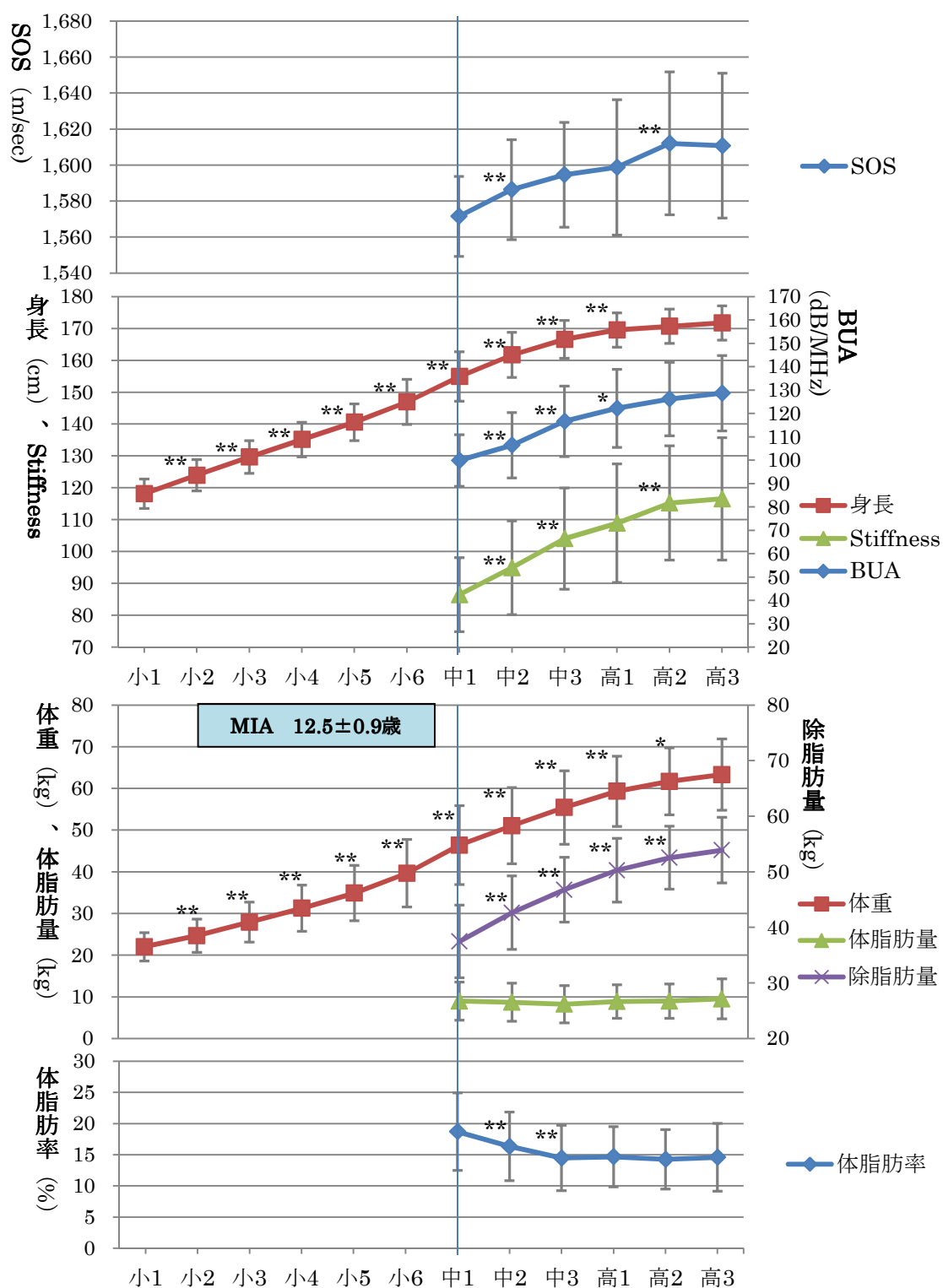


図2 男子 身体、骨指標の学年での比較

一元配置分散分析 身長・体重・骨指標・除脂肪量・体脂肪率： $p < 0.01$ 、体脂肪量：NS
 前学年との比較 (Bonferroni多重比較) ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

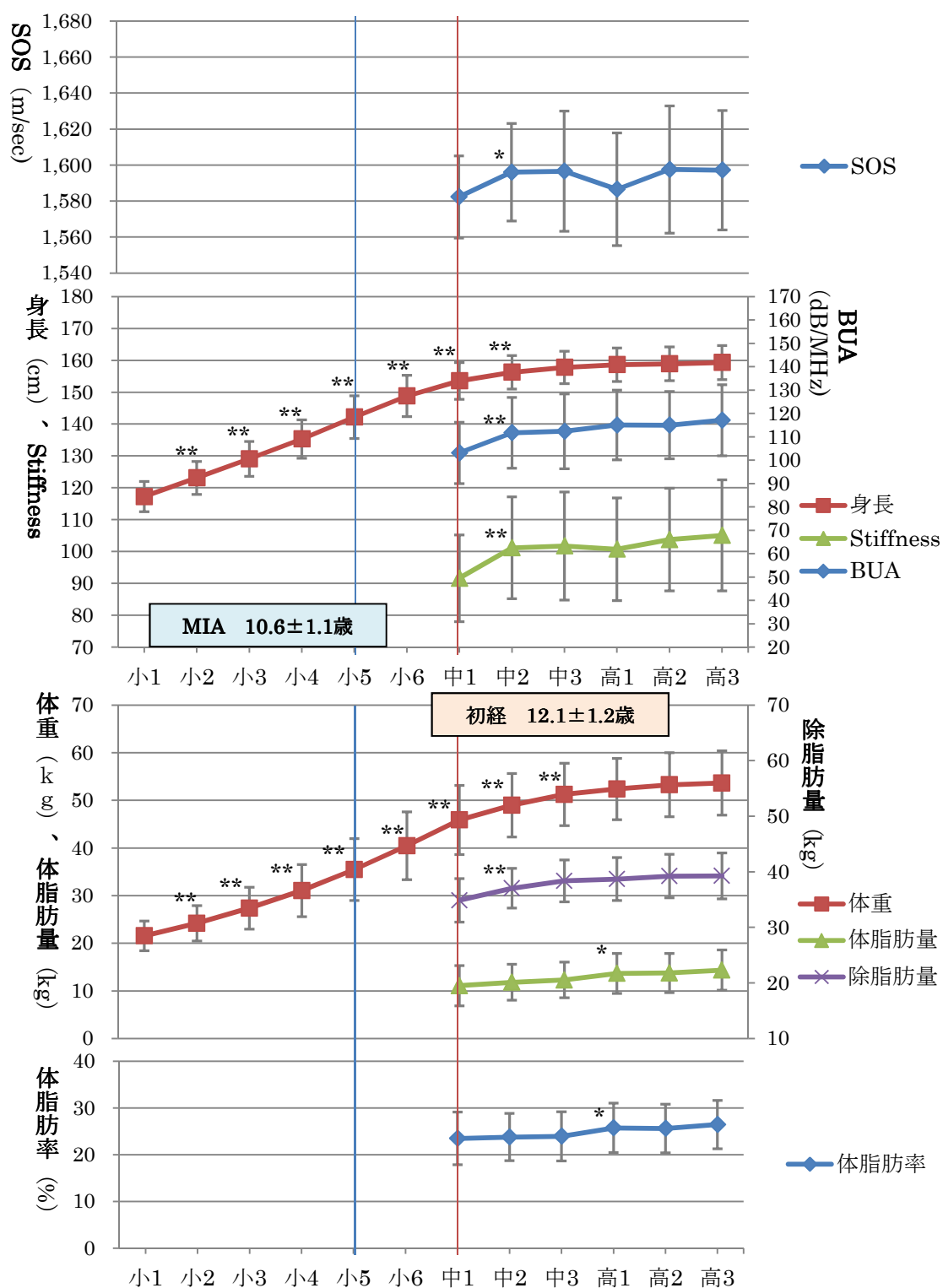


図3 女子 身体、骨指標の学年での比較

一元配置分散分析 身長・体重・骨指標・体脂肪量・除脂肪量・体脂肪率： $p < 0.01$
 前学年との比較 (Bonferroni多重比較) ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

表25 男子 各学年 骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

		身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
SOS (m/sec)	中1 n※	0.21** 157	0.12 156	-0.12 155	0.26** 155	-0.27** 155
	中2 n	0.04 151	0.00 150	-0.15 116	0.12 116	-0.23* 116
	中3 n	-0.07 128	-0.07 128	-0.15 110	-0.04 110	-0.13 110
	高1 n	-0.06 160	0.04 160	0.06 158	0.07 158	0.03 158
	高2 n	-0.13 185	0.00 185	-0.07 179	0.06 179	-0.09 179
	高3 n	-0.16* 227	-0.08 227	-0.18** 226	0.02 226	-0.19** 226
BUA (dB/MHz)	中1 n	0.45** 157	0.56** 156	0.36** 155	0.54** 155	0.17* 155
	中2 n	0.43** 151	0.51** 150	0.28** 116	0.52** 116	0.11 116
	中3 n	0.29** 128	0.43** 128	0.23* 110	0.37** 110	0.19* 110
	高1 n	0.25** 160	0.33** 160	0.20* 158	0.37** 158	0.10 158
	高2 n	0.09 185	0.28** 185	0.12 179	0.29** 179	0.05 179
	高3 n	0.10 227	0.24** 227	0.07 226	0.29** 226	0.00 226
Stiffness	中1 n	0.40** 157	0.42** 156	0.17* 155	0.49** 155	-0.04 155
	中2 n	0.29** 151	0.32** 150	0.10 116	0.39** 116	-0.05 116
	中3 n	0.15 128	0.24** 128	0.06 110	0.21* 110	0.05 110
	高1 n	0.11 160	0.22** 160	0.15 158	0.26** 158	0.08 158
	高2 n	-0.03 185	0.16* 185	0.03 179	0.21** 179	-0.02 179
	高3 n	-0.03 227	0.09 227	-0.06 226	0.17** 226	-0.11 226

※n：対象者数（名）

** p<0.01、* p<0.05

表26 女子 各学年 骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

		身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
SOS (m/sec)	中 1	0.04	0.03	-0.08	0.11	-0.11
	n	130	123	120	120	120
	中 2	0.06	0.07	0.08	0.23 *	0.02
	n	112	112	81	81	81
	中 3	0.08	-0.08	-0.22 *	0.23 *	-0.27 *
	n	121	121	85	85	85
	高 1	-0.14	-0.09	-0.18 *	0.05	-0.19 *
	n	160	160	155	155	155
	高 2	-0.03	-0.03	-0.13	0.09	-0.16 *
	n	185	185	166	166	166
BUA (dB/MHz)	中 3	-0.01	0.02	-0.11	0.16 *	-0.17 *
	n	203	203	200	200	200
	中 1	0.16	0.28 **	0.17	0.34 **	0.09
	n	130	123	120	120	120
	中 2	0.34 **	0.36 **	0.15	0.45 **	0.00
	n	112	112	81	81	81
	中 3	0.19 *	0.23 **	0.03	0.34 **	-0.05
	n	121	121	85	85	85
	高 1	0.11	0.23 **	0.09	0.31 **	-0.02
Stiffness	n	160	160	155	155	155
	高 2	0.20 **	0.33 **	0.19 *	0.32 **	0.09
	n	185	185	166	166	166
	高 3	0.14 *	0.21 **	0.00	0.34 **	-0.13
	n	203	203	200	200	200
	中 1	0.12	0.20 *	0.07	0.27 **	0.01
	n	130	123	120	120	120
	中 2	0.24 *	0.26 **	0.13	0.39 **	0.01
	n	112	112	81	81	81
Stiffness	中 3	0.16	0.10	-0.10	0.34 **	-0.19
	n	121	121	85	85	85
	高 1	-0.01	0.10	-0.05	0.22 **	-0.12
	n	160	160	155	155	155
	高 2	0.10	0.18 *	0.03	0.24 **	-0.05
	n	185	185	166	166	166
	高 3	0.08	0.14	-0.06	0.28 **	-0.17 *
	n	203	203	200	200	200

※n : 対象者数 (名)

** p<0.01、* p<0.05

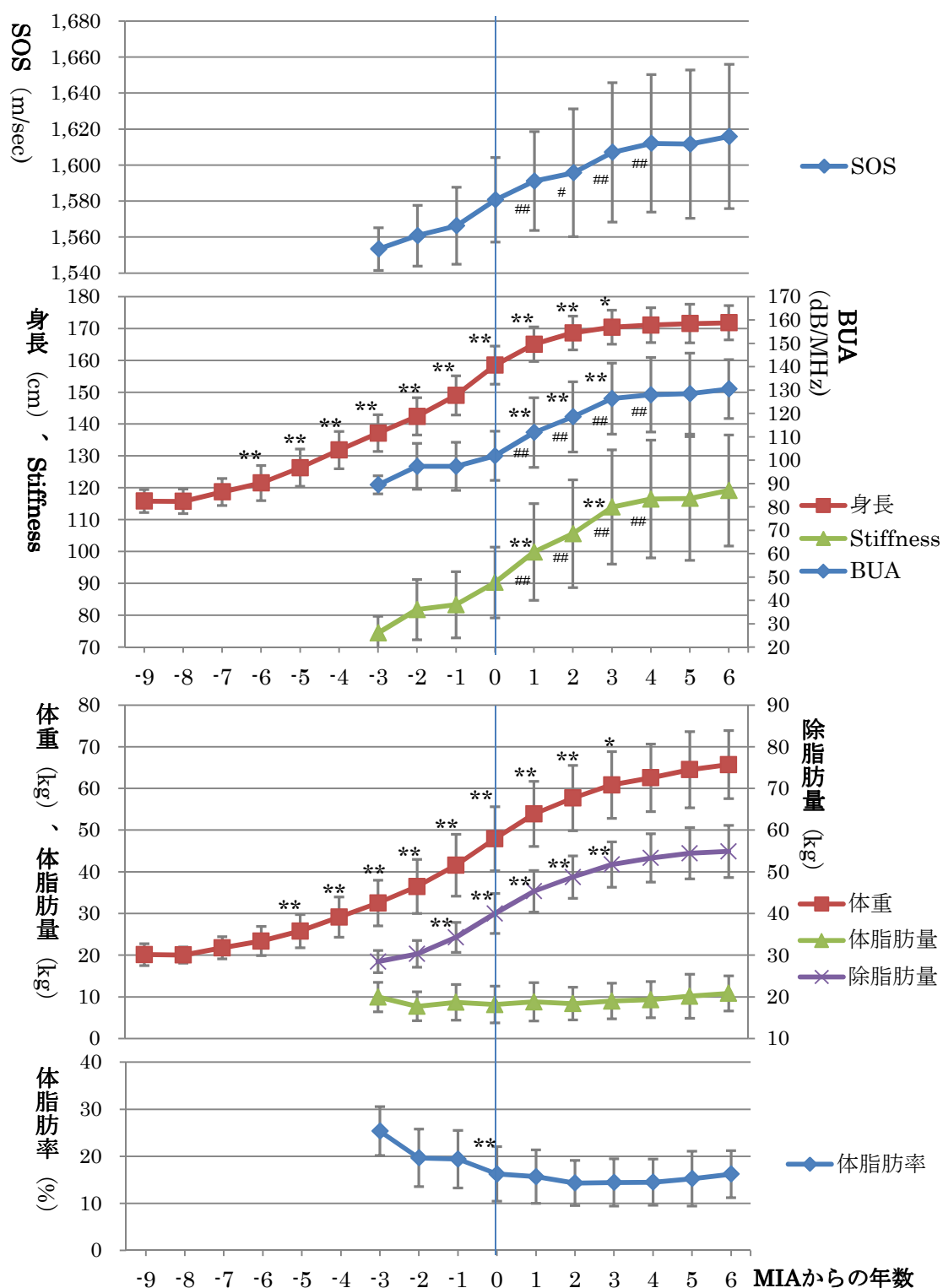


図4 男子 身体、骨指標のMIAからの年数での比較

一元配置分散分析 身長・体重・骨指標・体脂肪量・除脂肪量・体脂肪率 : $p < 0.01$
 前年との比較 (Bonferroni多重比較) $**p < 0.01$ 、 $*p < 0.05$
 前々年との比較 (骨指標のみ表示 Bonferroni多重比較) $##p < 0.01$ 、 $#p < 0.05$

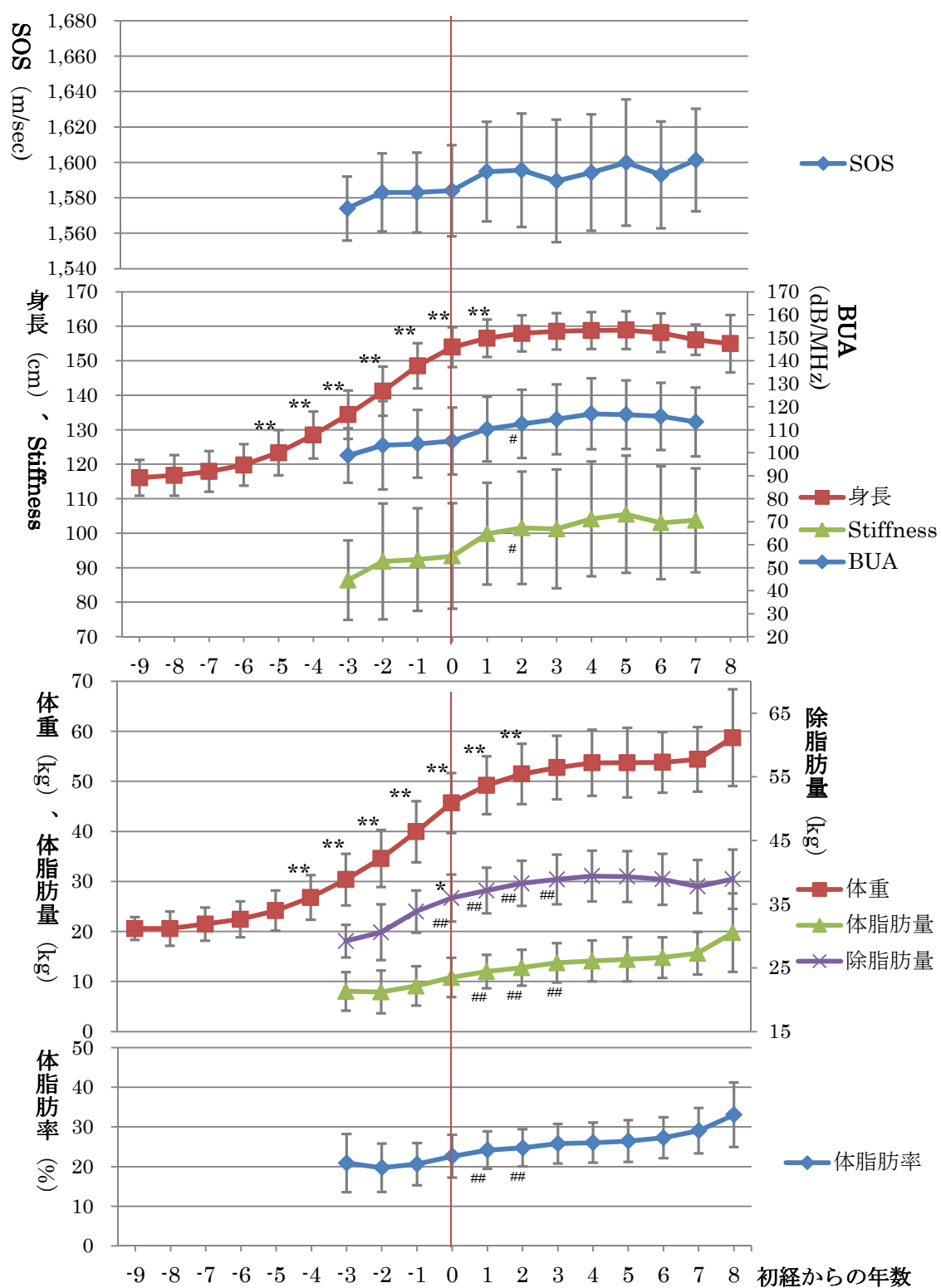


図5 女子 身体、骨指標の初経からの年数での比較

一元配置分散分析 身長・体重・骨指標・体脂肪量・除脂肪量・体脂肪率： $p < 0.01$

前年との比較 (Bonferroni多重比較) $**p < 0.01$ 、 $*p < 0.05$

前々年との比較 (骨指標・体組成のみ表示 Bonferroni多重比較) $##p < 0.01$ 、 $#p < 0.05$

表27-1 男子 MIAからの年数別
骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

	MIAからの 年数	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
SOS (m/sec)	－3年 ^{※1} n ^{※2}	0.90 3	－0.96 3	－ 2	－ 2	－ 2
	－2年 n	－0.40* 25	－0.54** 25	－0.57** 24	－0.33 24	－0.55** 24
	－1年 n	0.05 71	－0.09 70	－0.12 66	0.01 66	－0.18 66
	0年 n	－0.10 120	－0.08 119	－0.17 105	0.02 105	－0.20* 105
	1年 n	－0.16* 156	－0.14 156	－0.18* 134	－0.08 134	－0.18* 134
	2年 n	－0.23** 146	－0.10 146	－0.09 134	－0.04 134	－0.07 134
	3年 n	－0.18* 163	－0.04 163	－0.01 161	－0.03 161	0.00 161
	4年 n	－0.08 166	－0.04 166	－0.13 163	0.04 163	－0.15 163
	5年 n	－0.20* 123	－.20* 123	－0.25** 120	－0.11 120	－0.25** 120
	6年 n	0.24 34	0.09 34	－0.23 34	0.29 34	－0.32 34
BUA (dB/MHz)	－3年 n	0.17 3	－0.78 3	－ 2	－ 2	－ 2
	－2年 n	0.24 25	0.21 25	0.01 24	0.26 24	－0.04 24
	－1年 n	0.42** 71	0.48** 70	0.40** 66	0.45** 66	0.33** 66
	0年 n	0.39** 120	0.49** 119	0.26** 105	0.51** 105	0.13 105
	1年 n	0.21** 156	0.33** 156	0.15 134	0.39** 134	0.07 134
	2年 n	0.10 146	0.23** 146	0.06 134	0.27** 134	0.00 134
	3年 n	0.11 163	0.23** 163	0.10 161	0.23** 161	0.05 161
	4年 n	0.13 166	0.32** 166	0.15 163	0.35** 163	0.06 163
	5年 n	0.19* 123	0.20* 123	0.05 120	0.26** 120	－0.03 120
	6年 n	0.08 34	0.32 34	0.23 34	0.25 34	0.16 34

※1 －3年：MIA3年前（MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記）

※2 n：対象者数（名）

** p<0.01、* p<0.05

表27-2 男子 MIAからの年数別
骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

	MIAからの 年数	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
Stiffness	－3年 ^{※1}	0.65	－0.99	－	－	－
	n ^{※2}	3	3	2	2	2
	－2年	－0.03	－0.13	－0.27	0.02	－0.29
	n	25	25	24	24	24
	－1年	0.30*	0.26*	0.19	0.30*	0.11
	n	71	70	66	66	66
	0年	0.19*	0.27**	0.06	0.32**	－0.04
	n	120	119	105	105	105
	1年	0.06	0.14	0.01	0.22*	－0.04
	n	156	156	134	134	134
	2年	－0.08	0.07	－0.02	0.13	－0.05
	n	146	146	134	134	134
	3年	－0.04	0.11	0.05	0.11	0.03
	n	163	163	161	161	161
	4年	0.03	0.16*	0.01	0.23**	－0.05
	n	166	166	163	163	163
	5年	0.00	0.00	－0.12	0.09	－0.17
	n	123	123	120	120	120
	6年	0.19	0.21	－0.04	0.30	－0.13
	n	34	34	34	34	34

※1 －3年：MIA3年前（MIA3年前～MIA1年前まで同様の表記）

※2 n：対象者数（名）

** p<0.01、* p<0.05

表28-1 女子 初経からの年数別
骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

	初経からの 年数	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
SOS (m/sec)	－3年※1 n※2	0.67 5	0.05 5	－0.66 5	0.71 5	－.76 5
	－2年 n	0.37 12	0.42 11	0.14 8	0.56 8	－0.25 8
	－1年 n	0.10 34	－0.15 34	－0.25 32	－0.07 32	－0.26 32
	0年 n	0.05 85	－0.15 82	－0.29* 74	0.12 74	－0.30** 74
	1年 n	0.02 112	0.11 110	0.00 94	0.26* 94	－0.10 94
	2年 n	－0.02 134	－0.08 133	－0.21* 103	0.19 103	－0.26** 103
	3年 n	－0.07 146	－0.11 146	－0.21* 130	0.07 130	－0.24** 130
	4年 n	－0.11 162	－0.05 162	－0.16* 151	0.01 151	－0.16* 151
	5年 n	0.00 135	0.01 135	－0.10 129	0.13 129	－0.17* 129
	6年 n	0.09 70	0.16 70	0.03 67	0.25* 67	－0.06 67
	7年 n	0.24 13	0.05 13	－0.24 11	0.16 11	－0.27 11
BUA (dB/MHz)	－3年 n	0.46 5	0.82 5	0.13 5	0.91* 5	－0.06 5
	－2年 n	0.55 12	0.58 11	0.77* 8	0.68 8	0.58 8
	－1年 n	0.10 34	0.15 34	0.02 32	0.15 32	0.01 32
	0年 n	0.22* 85	0.28** 82	0.15 74	0.33** 74	0.10 74
	1年 n	0.26** 112	0.36** 110	0.08 94	0.49** 94	－0.14 94
	2年 n	0.23** 134	0.31** 133	0.13 103	0.46** 103	－0.02 103
	3年 n	0.06 146	0.15 146	0.04 130	0.19* 130	－0.03 130
	4年 n	0.12 162	0.27** 162	0.07 151	0.30** 151	－0.04 151
	5年 n	0.23** 135	0.26** 135	0.13 129	0.34** 129	－0.01 129
	6年 n	0.30* 70	0.25* 70	0.00 67	0.41** 67	－0.16 67
	7年 n	0.23 13	0.35 13	－0.28 11	0.58 11	－0.45 11

※1 －3年：初経3年前（初経3年前～初経1年前まで同様の表記）

※2 n：対象者数（名）

** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

表28-2 女子 初経からの年数別
骨指標と身体指標のPearsonの相関係数

	初経からの 年数	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)
Stiffness	－3年※ ¹ n※ ²	0.61 5	0.57 5	－0.22 5	0.93* 5	－0.39 5
	－2年 n	0.56 12	0.70* 11	0.70 8	0.75* 8	0.41 8
	－1年 n	0.11 34	0.04 34	－0.10 32	0.06 32	－0.11 32
	0年 n	0.16 85	0.11 82	－0.04 74	0.27* 74	－0.08 74
	1年 n	0.18 112	0.29** 110	0.05 94	0.44** 94	－0.14 94
	2年 n	0.13 134	0.14 133	－0.04 103	0.38** 103	－0.16 103
	3年 n	－0.01 146	0.03 146	－0.10 130	0.15 130	－0.15 130
	4年 n	0.01 162	0.14 162	－0.05 151	0.19* 151	－0.11 151
	5年 n	0.13 135	0.16 135	0.01 129	0.27** 129	－0.10 129
	6年 n	0.22 70	0.23 70	0.02 67	0.37** 67	－0.12 67
	7年 n	0.29 13	0.26 13	－0.34 11	0.51 11	－0.48 11

※1 －3年：初経3年前（初経3年前～初経1年前まで同様の表記）

※2 n：対象者数（名）

** p<0.01、* p<0.05

第二章

QUS 法による骨指標への 運動、カルシウム摂取量の影響

Effects of Exercise and Calcium Intake
on Bone Parameters in Japanese Adolescent
measured by QUS

諸言

思春期は、身体の発育、骨量の増加にとって、重要な時期であるといわれる。第一章の結果から、QUS 法による骨指標も、思春期にある中学、高校生の時期に最大値となることが明らかとなり、高齢期の骨粗鬆症予防にとっても、重要な時期であることがわかる。序論でも述べたように、可変可能な環境因子のなかでも骨の主な構成成分であるカルシウムの摂取量と、骨への機械的な刺激となる運動の骨量への影響については、日本国内外でも大きく注目されている因子である^{39~42)}。日本の子供の体力は、昭和 60 年頃から長期的に低下傾向にあるといわれている⁷⁵⁾。文部科学省が昭和 39 年より、国民の体力・運動能力の現状を明らかにするとともに、体育・スポーツの指導と行政上の基礎資料を得ることを目的に実施している、全国体力・運動能力、運動習慣等調査の平成 22 年度の結果⁷⁵⁾では、持久走やハンドボール投げ、立ち幅跳びなどの基礎的運動能力は、横ばいまたは向上傾向にあるが、体力水準が高かった昭和 60 年頃と比較すると、未だ低い水準となっている項目も多いとまとめられている⁶⁵⁾。また、運動の実施頻度に関しては、運動を「しない」と回答した者の割合が増加する傾向を示し、特に女子で顕著な増加を示す結果となっている⁷⁵⁾。

カルシウム摂取量については、2010 年版日本人の食事摂取基準の推定平均必要量は、12~14 歳男子 800mg/日、女子 650 mg / 日、15~17 歳男子 650 mg / 日、女子 550 mg / 日と設定されている⁷⁶⁾。これに対し、実際の摂取量は、平成 21 年国民健康・栄養調査結果⁷⁷⁾では、7~14 歳では男子 670 mg / 日、女子 625 mg /

日、15～19 歳では男子 572 mg /日、女子 447 mg /日であり、推定平均必要量より 100 mg/日程度下回っていることがわかる。また、同調査の朝食欠食習慣に関する結果⁷⁸⁾では、習慣的に朝食をほとんど食べない人は、男性 10.6%、女性 5.9%にのぼっている。また、朝食の欠食が始まった時期についての回答では、中学、高校生の頃からと回答した者は、成人の欠食者の約 23%を占めていた⁷⁸⁾。このことから、本研究対象者は、その後の生活、食習慣の形成にも重要な時期にあるといえる。

このように、思春期の子供たちの運動やカルシウム摂取量などの生活習慣は、最善の状態であるとは言えない。生活習慣が身体、骨量に与える影響についてのデータを構築し、生活習慣病の一つとして数えられる骨粗鬆症の予防に役立てていくことが必要であるといえる。

序論でも述べたように、生活習慣の骨量、骨密度への影響については、広く研究がおこなわれている^{39~42)}が、日本人の思春期を対象とした報告は限られている^{43~45)}。このことから、本章では、QUS 法による骨指標に対する運動の取入れ、カルシウム摂取量の影響について検討し、特に、これらの影響が重要となる時期を明らかにすることを目的とした。また、第一章の結果から、SOS、BUA の経年変化には差異がみられたことから、この2つの骨指標に対する運動、カルシウム摂取量の影響も異なることが予想される。2つの骨指標と運動、カルシウム摂取量の影響についての解析結果の差異についても検討する。

I. 骨指標への運動頻度、カルシウム摂取量の影響についての 縦断的検討 学年及び生理学的年齢での解析結果の比較

第一章の解析から、歴年齢である学年での解析では、個人の身体発育の差が解析に影響し、経年変化が明確にできない可能性が示された。このことから、本章ではまず、運動頻度とカルシウム摂取量の骨指標への影響についての縦断的な検討を、学年を基にした解析、生理学的年齢を基にした解析の2種類を行い、その結果を比較することとした。

骨指標の急激な増加期間を過ぎ、最大骨量である PBM の時期と考えられる高校3年生、MIA 4年後、初経4年後の骨指標に対する各学年、各年齢での運動頻度、カルシウム摂取量の縦断的な影響について検討した。

対象者と方法

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、学年での解析では高校3年生の、生理学的年齢での解析では MIA 4年後、初経4年後の骨指標、身体指標が揃っており、解析を行っていたいずれかの学年、及び年齢で、運動頻度（日/週）とカルシウム摂取量（mg/日）を回答していた生徒を解析対象者とした。各解析の対象者数は、結果表内に示す（表 29～40）。

高校3年生、及び MIA 4年後、初経4年後の骨指標への運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg /日）の縦断的な影響を、学年、及び、生理学的年齢別に解析した。尚、カルシウム摂取量（mg /日）と併せて、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量（mg /日）

についても、解析を行った。

また、生理学的年齢での解析には、男子では MIA 1 年前から 4 年後までの運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）の影響について検討した。女子では、対象者数が少なかったことから、初経 1 年前については解析することができず、初経 0 年から初経 4 年後の運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）の影響について検討した。

統計解析

運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）の影響について検討するために、ステップワイズ重回帰分析を用いた。従属変数は、高校 3 年生及び、MIA 4 年後、初経 4 年後の骨指標とし、独立変数には、運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）を用い、学年、及び、生理学的年齢別に解析を行った。体格の影響を補正する為に、骨指標と同時期である高校 3 年生、MIA 4 年後、初経 4 年後の Body Mass Index (kg/m^2 ; 以下 BMI)、体脂肪量 (kg)、除脂肪量 (kg) も独立変数として用いた。学年での解析では、男子では MIA (歳)、女子では初経年齢 (歳) も独立変数に加えた。また、カルシウム摂取量 (mg/日) に代わり、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量 (mg/日) を用いての解析も行った。

結果

男女共に PBM 時期の骨指標に対し、運動頻度の影響が大きく、カルシウム摂取量の影響は、学年での解析で男子の SOS でのみ認められた。

1. 高校 3 年生の骨指標への各学年の運動頻度、 カルシウム摂取量の影響

男女それぞれ、ステップワイズ重回帰分析の結果を表 29～34 に示す。尚、ステップワイズにより、有意な独立予測因子として残った因子のみ示した。乳・乳製品由来のカルシウム摂取量 (mg/日) を用いての解析結果については、男子の高校 1～3 年生時の摂取量の SOS への影響についての解析結果のみ示した。他の学年、骨指標での解析結果は、カルシウム摂取量 (mg/日) での解析と同様となった。

男子では、高校 3 年生の SOS に対して、全ての学年の運動頻度 (日/週) が有意な正の影響を示した (表 29-1)。また、高校 1 年生のカルシウム摂取量 (mg/日) (表 29-1)、高校 1、3 年生の乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) (表 29-2) も、高校 3 年生の SOS に有意な正の影響を示した。BUA では、中学 3 年生以降の運動頻度 (日/週) が正の影響を示した (表 30)。また、Stiffness では、中学 2 年を除く全ての学年の運動頻度 (日/週) が、正の影響を示した (表 31)。しかし、高校 3 年の BUA、Stiffness へのカルシウム摂取量 (mg/日) の影響は、いずれの学年でも認められなかった (表 30、31)。

女子では、高校 3 年生の全ての骨指標に対して、全学年の運動頻度 (日/週) が正の影響を示したが、カルシウム摂取量 (mg/

日)、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の影響は、いずれの学年でも認められなかった (表 32~34)。

2. MIA 4 年後、初経 4 年後の骨指標への各年齢の運動頻度、 カルシウム摂取量の影響

男子では、MIA 4 年後の SOS、Stiffness に対して、MIA 0 年を除く全ての年齢の運動頻度 (日/週) が正の影響を示した (表 35、37)。BUA に対しては、MIA 2 年後以降の運動が、正の影響を示した (表 36)。カルシウム摂取量、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の影響は、いずれの骨指標でも認められなかった。

女子では、初経 4 年後の SOS、Stiffness に対して、全ての学年の運動頻度 (日/週) が有意な正の影響を与えていた (表 38、40)。BUA では、初経 2 年後以降の運動頻度 (日/週) が有意な正の影響を示した (表 39)。しかし、男子同様に、全ての骨指標で、カルシウム、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の影響は認められなかった。

第一章の骨指標の経年変化と併せてみると (図 4)、男子は学年での解析、生理学的年齢での解析共に、早期に成人の基準値に達していた SOS と Stiffness には、運動頻度の影響も早期から認められた。MIA 0 年~3 年後に急増時期がみられた後に成人の基準値に達していた BUA では、運動頻度の影響は急増時期の中盤以降で認められた。女子の学年に基づいた解析では、全ての骨指標に対し全学年の運動頻度が正の影響を与えており、運動頻度が

重要となる時期を明らかにすることができなかった。これに対し、生理学的年齢での解析では、SOS、Stiffness では全ての年齢、BUA では初経 2 年後以降の運動頻度の正の影響がみられた。経年変化と併せてみると（図 5）、早期に成人の基準値に達している SOS と Stiffness では早期から運動頻度の正の影響がみられ、BUA では増加時期の中盤からの運動頻度が重要となるという、男子同様の特徴を示した。このことから、女子の骨指標の変化には初経の影響が大きく、また、初経年齢の個人差が大きいことが推測された。初経の時期、身体の発育状況が異なる生徒が混在する学年での解析では、骨指標に対して運動頻度、カルシウム摂取量が有効となる時期が捉えにくいと考えられる。このことから、これ以降、本研究では、生理学的年齢を基にした解析を行うこととした。

カルシウム摂取量に関しては、学年での解析で男子の SOS に対してのみ認められ、高校 1、3 年生のカルシウム摂取量、特に乳・乳製品由来のカルシウム摂取量が有意な正の影響を示した。生理学的年齢での解析では、有意な影響は認められなかったが、歴年齢での解析と比較して、生理学的年齢での解析では、対象者数が少ないことが影響した可能性もある。したがって、男子では SOS の急増期間が過ぎて 1 ～ 2 年経過した時期からのカルシウム摂取量、特に、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量が重要となる可能性が示唆された。

表29-1 男子
高3 SOSへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1	独立変数	β※2	p
中1 ※3 n=203	0.11	(定数)		0.00
		BMI	0.64	0.00
		FM	-0.64	0.00
		LBM	-0.21	0.03
		中1 運動頻度	0.15	0.03
中2 n=215	0.03	(定数)		0.00
		中2 運動頻度	0.18	0.01
中3 n=208	0.08	(定数)		0.00
		中3 運動頻度	0.30	0.00
高1 n=218	0.13	(定数)		0.00
		高1 運動頻度	0.32	0.00
		高1 Ca※4	0.17	0.01
高2 n=209	0.12	(定数)		0.00
		高2 運動頻度	0.35	0.00
高3 n=208	0.11	(定数)		0.00
		高3 運動頻度	0.34	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3SOS (m/sec)

独立変数：高3BMI (kg/m²)・FM (kg)・LBM (kg)、MIA (歳)
各学年時運動頻度 (日/週)・カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※3 対象者数 (名)

※2 標準化β

※4 カルシウム摂取量 (mg/日)

表29-2 男子 高3 SOSへの各学年の運動頻度、
乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1	独立変数	β※2	p
高1 ※3 n=218	0.14	(定数)		0.00
		高1 運動頻度	0.32	0.00
		高1 乳Ca※4	0.18	0.00
高3 n=208	0.13	(定数)		0.00
		高3 運動頻度	0.33	0.00
		高3 乳Ca	0.14	0.04

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3SOS (m/sec)

独立変数：高3BMI (kg/m²)・FM (kg)・LBM (kg)、MIA (歳)
各学年時運動頻度 (日/週)・乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※3 対象者数 (名)

※2 標準化β

※4 カルシウム摂取量 (mg/日)

表30 男子
高3 BUAへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1		β ※2	p
中1 ※3 n=203	0.07	(定数)		0.00
		LBM	0.28	0.00
中2 n=215	0.08	(定数)		0.00
		LBM	0.29	0.00
中3 n=208	0.10	(定数)		0.00
		LBM	0.27	0.00
		中3 運動頻度	0.15	0.03
高1 n=218	0.14	(定数)		0.00
		LBM	0.26	0.00
		高1 運動頻度	0.24	0.00
高2 n=209	0.14	(定数)		0.00
		LBM	0.27	0.00
		高2 運動頻度	0.23	0.00
高3 n=208	0.15	(定数)		0.00
		BMI※5	0.18	0.03
		高3 運動頻度	0.27	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3BUA (dB/MHz)

独立変数：高3BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、MIA (歳)

各学年時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

表31 男子
高3 Stiffnessへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1		β ※2	p
中1 n ^{※3} =203	0.05	(定数)		0.00
		LBM	0.14	0.04
		中1 運動頻度	0.18	0.01
中2 n=215	0.08	(定数)		0.00
		BMI	0.48	0.00
		FM	-0.41	0.00
中3 n=208	0.13	(定数)		0.00
		BMI	0.45	0.00
		FM	-0.34	0.01
		中3 運動頻度	0.21	0.00
高1 n=218	0.16	(定数)		0.00
		BMI	0.40	0.00
		FM	-0.31	0.01
		高1 運動頻度	0.29	0.00
高2 n=209	0.14	(定数)		0.00
		BMI	0.16	0.01
		高2 運動頻度	0.36	0.00
高3 n=208	0.16	(定数)		0.00
		BMI	0.39	0.00
		FM	-0.30	0.03
		高3 運動頻度	0.29	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3Stiffness

独立変数：高3BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、 MIA (歳)
各学年時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化 β

※3 対象者数 (名)

表32 女子
高3 SOSへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1		β※2	p
中1 n ^{※3} =183	0.10	(定数)		0.00
		BMI	0.55	0.00
		FM	-0.60	0.00
		中1 運動頻度	0.16	0.03
中2 n=194	0.13	(定数)		0.00
		初経年齢	0.15	0.03
		中2 運動頻度	0.35	0.00
中3 n=192	0.13	(定数)		0.00
		中3 運動頻度	0.36	0.00
高1 n=185	0.15	(定数)		0.00
		高1 運動頻度	0.40	0.00
高2 n=186	0.15	(定数)		0.00
		高2 運動頻度	0.40	0.00
高3 n=184	0.12	(定数)		0.00
		高3 運動頻度	0.36	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3SOS (m/sec)

独立変数：高3BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg)、初経年齢 (歳)
各学年時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

表33 女子
高3 BUAへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R^2 ※1		β ※2	p
中1 n※3=183	0.16	(定数)		0.00
		LBM	0.34	0.00
		中1 運動頻度	0.19	0.01
中2 n=194	0.15	(定数)		0.00
		LBM	0.30	0.00
		中2 運動頻度	0.18	0.01
中3 n=192	0.21	(定数)		0.00
		LBM	0.26	0.00
		中3 運動頻度	0.31	0.00
高1 n=185	0.19	(定数)		0.00
		LBM	0.24	0.00
		高1 運動頻度	0.31	0.00
高2 n=186	0.23	(定数)		0.00
		LBM	0.21	0.00
		高2 運動頻度	0.36	0.00
高3 n=184	0.17	(定数)		0.00
		LBM	0.26	0.00
		高3 運動頻度	0.25	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3BUA (dB/MHz)

独立変数：高3BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、初経年齢 (歳)
各学年時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済み R^2

※2 標準化 β

※3 対象者数 (名)

表34 女子
高3 Stiffnessへの各学年の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

	R ² ※1		β※2	p
中1 n ^{※3} =183	0.16	(定数)		0.05
		BMI	0.37	0.02
		FM	-0.46	0.00
		LBM	0.25	0.00
		中1 運動頻度	0.18	0.01
中2 n=194	0.14	(定数)		0.00
		LBM	0.22	0.00
		中2 運動頻度	0.28	0.00
中3 n=192	0.21	(定数)		0.00
		LBM	0.21	0.00
		中3 運動頻度	0.36	0.00
高1 n=185	0.20	(定数)		0.00
		LBM	0.16	0.02
		高1 運動頻度	0.38	0.00
高2 n=186	0.22	(定数)		0.00
		高2 運動頻度	0.47	0.00
高3 n=184	0.17	(定数)		0.00
		LBM	0.17	0.02
		高3 運動頻度	0.33	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：高3Stiffness

独立変数：高3BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、初経年齢 (歳)
各学年時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

表35 男子

MIA 4 年後 SOS への各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β※2	p
－ 1 年※3 n※4=62	0.08	(定数)		0.00
		－ 1 年 運動頻度	0.31	0.02
0 年 n=124	0.06	(定数)		0.00
		BMI	0.37	0.01
		FM	－0.48	0.00
1 年 n=154	0.06	(定数)		0.00
		1 年 運動頻度	0.26	0.00
2 年 n=152	0.13	(定数)		0.00
		2 年 運動頻度	0.37	0.00
3 年 n=155	0.10	(定数)		0.00
		3 年 運動頻度	0.33	0.00
4 年 n=146	0.11	(定数)		0.00
		4 年 運動頻度	0.34	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：MIA4年後SOS (m/sec)

独立変数：MIA4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表36 男子

MIA 4 年後 BUAへの各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β※2	p
－ 1 年※3 n※4=62	0.18	(定数) LBM	0.44	0.01 0.00
0 年 n=124	0.09	(定数) LBM	0.31	0.00 0.00
1 年 n=154	0.12	(定数) LBM	0.35	0.00 0.00
2 年 n=152	0.21	(定数) BMI 2 年 運動頻度	0.27 0.25	0.00 0.01 0.00
3 年 n=155	0.16	(定数) BMI 3 年 運動頻度	0.29 0.24	0.00 0.01 0.01
4 年 n=146	0.19	(定数) BMI 4 年 運動頻度	0.37 0.28	0.00 0.00 0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：MIA4年後BUA (dB/MHz)

独立変数：MIA4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表37 男子

MIA 4 年後 Stiffness への各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β ※2	p
- 1 年 ※3 n ※4 = 62	0.14	(定数)		0.06
		BMI	0.32	0.01
		- 1 年 運動頻度	0.24	0.04
0 年 n = 124	0.03	(定数)		0.00
		LBM	0.20	0.03
1 年 n = 154	0.08	(定数)		0.00
		LBM	0.20	0.01
		1 年 運動頻度	0.20	0.01
2 年 n = 152	0.18	(定数)		0.00
		BMI	0.26	0.00
		2 年 運動頻度	0.38	0.00
3 年 n = 155	0.14	(定数)		0.00
		BMI	0.24	0.00
		3 年 運動頻度	0.33	0.00
4 年 n = 146	0.16	(定数)		0.00
		BMI	0.23	0.00
		4 年 運動頻度	0.36	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：MIA4年後Stiffness

独立変数：MIA4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²※2 標準化 β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表38 女子

初経4年後 SOSへの各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
0年 n※3=99	0.05	(定数)		0.00
		0年 運動頻度	0.25	0.01
1年 n=137	0.04	(定数)		0.00
		1年 運動頻度	0.21	0.01
2年 n=142	0.06	(定数)		0.00
		2年 運動頻度	0.26	0.00
3年 n=143	0.07	(定数)		0.00
		3年 運動頻度	0.28	0.00
4年 n=138	0.07	(定数)		0.00
		4年 運動頻度	0.28	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：初経4年後SOS (m/sec)

独立変数：初経4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

表39 女子

初経4年後 BUAへの各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
0年 n※3=99	0.04	(定数)		0.00
		LBM	0.21	0.03
1年 n=137	0.11	(定数)		0.00
		LBM	0.34	0.00
2年 n=142	0.10	(定数)		0.00
		LBM	0.26	0.00
		2年 運動頻度※3	0.17	0.04
3年 n=143	0.13	(定数)		0.00
		LBM	0.27	0.00
		3年 運動頻度	0.20	0.01
4年 n=138	0.12	(定数)		0.00
		LBM	0.21	0.01
		4年 運動頻度	0.23	0.01

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：初経4年後BUA (dB/MHz)

独立変数：初経4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

表40 女子

初経4年後 Stiffnessへの各年齢の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β ※2	p
0 年 n ^{※3} =99	0.09	(定数)		0.00
		0 年 運動頻度	0.31	0.00
1 年 n=137	0.08	(定数)		0.00
		LBM	0.19	0.03
		1 年 運動頻度	0.21	0.01
2 年 n=142	0.07	(定数)		0.00
		2 年 運動頻度	0.28	0.00
3 年 n=143	0.10	(定数)		0.00
		3 年 運動頻度	0.32	0.00
4 年 n=138	0.11	(定数)		0.00
		4 年 運動頻度	0.35	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：初経4年後Stiffness

独立変数：初経4年後BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²※2 標準化 β

※3 対象者数 (名)

Ⅱ．骨指標への運動頻度及びカルシウム摂取量の影響についての横断的検討

生理学的年齢に基づき、各年齢の骨指標への、同時期の運動頻度とカルシウム摂取量の影響について検討した。

対象者と方法

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、解析を行いたいいずれかの年齢の、骨指標、身体指標が揃っており、同時期の運動頻度（日/週）とカルシウム摂取量（mg/日）を回答していた生徒を対象とした。

各年齢の骨指標に対する、同時期の運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）、乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）の影響について検討した。

解析を行った年齢区間は、男女共に MIA または初経 1 年前から 4 年後までである。年齢ごとの対象者数は、結果表内に示す（表 41～52）。

1．骨指標への同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

統計解析

PBM 時期の骨指標への各年齢の運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/日）の影響についての縦断的な検討と同様に、ステップワイズ重回帰分析を用いた。従属変数は、各年齢の骨指標とし、独立変数には、運動頻度（日/週）、カルシウム摂取量（mg/

日)を用いた。また、体格差の影響を補正する為に、骨指標と同時期の BMI (kg/m^2)、体脂肪量 (kg)、除脂肪量 (kg) も独立変数として用いた。また、カルシウム摂取量 (mg/日) に代わり、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量 (mg/日) を用いての解析も行った。

結果

男女それぞれに、各年齢の骨指標への同時期の運動頻度 (日/週)、カルシウム摂取量 (mg/日)、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量 (mg/日) の影響について検討した。男女共に、運動頻度の影響が大きく、カルシウム摂取量の影響を示したのは、女子の BUA でのみであった (表 45-1)。

表 41~43 に示すように、男子では、カルシウム摂取量 (mg/日) の影響はいずれの骨指標、年齢でも認められなかった。また、縦断的な検討と同様に、運動頻度 (日/週) の影響が現れる時期には骨指標間で差がみられ、SOS、Stiffness では全ての年齢で有意な正の影響がみられたが (表 41、43)、BUA では、MIA 1 年後以降でのみ正の影響がみられた (表 42)。

表 44~46 に示すように女子では、SOS は、全ての年齢で運動頻度 (日/週) の正の影響を受けていた (表 44)。BUA では、運動頻度 (日/週) の影響は、初経 1 年前に認められたがその後はみられず、初経 3、4 年後で再度、正の影響が認められた (表 45-1)。また初経 1 年後では、BUA に対するカルシウム摂取量 (mg/日) (表 45-1) 及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の有意な正の影響が認められた (表 45-2)。Stiffness では、

SOS、BUA 双方の結果を反映し、初経 1 年後以外の全ての年齢の運動頻度（日/週）の正の影響を受け、初経 1 年後ではカルシウム摂取量（mg/日）（表 46-1）及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）の正の影響を受けていた（46-2）。

運動頻度の影響が有意となる時期については、男女共に、BUA と比較して SOS で先行しており、BUA では増加時期が中盤を迎えてからの運動頻度が重要となり、縦断的解析と同様の傾向が示された。

表41 男子
各年齢のSOSへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β※2	p
－1年※3 n※4=60	0.11	(定数)		0.00
		－1年 運動頻度	0.35	0.01
0年 n=93	0.15	(定数)		0.00
		0年 運動頻度	0.40	0.00
1年 n=128	0.04	(定数)		0.00
		1年 運動頻度	0.22	0.01
2年 n=129	0.14	(定数)		0.00
		2年 運動頻度	0.38	0.00
3年 n=153	0.04	(定数)		0.00
		3年 運動頻度	0.21	0.01
4年 n=146	0.11	(定数)		0.00
		4年 運動頻度	0.34	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時SOS (m/sec)

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表42 男子

各年齢のBUAへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β※2	p
－1年※3 n※4=60	0.19	(定数)		0.00
		－1年 LBM	0.45	0.00
0年 n=93	0.20	(定数)		0.00
		0年 LBM	0.45	0.00
1年 n=128	0.17	(定数)		0.00
		1年 LBM	0.38	0.00
		1年 運動頻度	0.17	0.03
2年 n=129	0.13	(定数)		0.00
		2年 LBM	0.25	0.00
		2年 運動頻度	0.25	0.00
3年 n=153	0.07	(定数)		0.00
		3年 LBM	0.20	0.01
		3年 運動頻度	0.17	0.03
4年 n=146	0.19	(定数)		0.00
		4年 BMI	0.29	0.01
		4年 LBM	0.12	0.25
		4年 運動頻度	0.25	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時BUA (dB/MHz)

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表43 男子
各年齢のStiffnessへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

MIAからの年数	R ² ※1		β※2	p
- 1 年※3 n※4=60	0.17	(定数)		0.00
		- 1 年 LBM	0.30	0.01
		- 1 年 運動頻度	0.32	0.01
0 年 n=93	0.16	(定数)		0.00
		0 年 LBM	0.24	0.01
		0 年 運動頻度	0.33	0.00
1 年 n=128	0.09	(定数)		0.00
		1 年 LBM	0.20	0.02
		1 年 運動頻度	0.23	0.01
2 年 n=129	0.19	(定数)		0.01
		2 年 BMI	0.48	0.00
		2 年 FM	-0.35	0.04
		2 年 運動頻度	0.35	0.00
3 年 n=153	0.08	(定数)		0.00
		3 年 BMI	0.17	0.03
		3 年 運動頻度	0.27	0.00
4 年 n=146	0.16	(定数)		0.00
		4 年 BMI	0.23	0.00
		4 年 運動頻度	0.36	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時Stiffness

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 MIA1年前

※4 対象者数 (名)

表44 女子
各年齢のSOSへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
－1年※3 n※4=31	0.22	(定数)		0.00
		－1年 運動頻度	0.49	0.00
0年 n=70	0.16	(定数)		0.00
		0年 運動頻度	0.41	0.00
1年 n=88	0.10	(定数)		0.00
		1年 運動頻度	0.34	0.00
2年 n=101	0.17	(定数)		0.00
		2年 運動頻度	0.42	0.00
3年 n=126	0.11	(定数)		0.00
		3年 運動頻度	0.34	0.00
4年 n=138	0.07	(定数)		0.00
		4年 運動頻度	0.28	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時SOS (m/sec)

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 初経1年前

※4 対象者数 (名)

表45-1 女子

各年齢のBUAへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
－ 1 年※3 n※4=31	0.13	(定数)		0.00
		－ 1 年 運動頻度	0.40	0.03
0 年 n=70	0.10	(定数)		0.03
		0 年 LBM	0.34	0.00
1 年 n=88	0.29	(定数)		0.01
		1 年 LBM	0.45	0.00
		1 年 Ca ^{※5}	0.27	0.00
2 年 n=101	0.20	(定数)		0.01
		2 年 LBM	0.45	0.00
3 年 n=126	0.04	(定数)		0.00
		3 年 運動頻度	0.22	0.01
4 年 n=138	0.12	(定数)		0.00
		4 年 LBM	0.21	0.01
		4 年 運動頻度	0.23	0.01

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時BUA (dB/MHz)

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 初経1年前

※4 対象者数 (名)

※5 乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)

表45-2 女子 各年齢のBUAへの同時期の運動頻度、
乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
1 年 n※3=88	0.28	(定数)		0.01
		1 年 LBM	0.47	0.00
		1 年 乳Ca ^{※4}	0.24	0.01

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時BUA (dB/MHz)

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ 乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

※4 乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)

表46-1 女子
各年齢のStiffnessへの同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
－1年※3 n※4=31	0.20	(定数)		0.00
		－1年 運動頻度	0.47	0.01
0年 n=70	0.12	(定数)		0.00
		0年 運動頻度	0.37	0.00
1年 n=88	0.24	(定数)		0.07
		1年 LBM	0.42	0.00
		1年 Ca	0.23	0.02
2年 n=101	0.23	(定数)		0.00
		2年 LBM	0.28	0.00
		2年 運動頻度	0.33	0.00
3年 n=126	0.10	(定数)		0.00
		3年 運動頻度	0.32	0.00
4年 n=138	0.11	(定数)		0.00
		4年 運動頻度	0.35	0.00

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時Stiffness

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 初経1年前

※4 対象者数 (名)

表46-2 女子 各年齢のStiffnessへの同時期の運動頻度、
乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響

初経からの年数	R ² ※1		β※2	p
1年 n※3=88	0.24	(定数)		0.01
		1年 LBM	0.47	0.00
		1年 乳Ca※4	0.24	0.01

ステップワイズ重回帰分析

従属変数：各年齢時Stiffness

独立変数：各年齢時BMI (kg/m²) ・ FM (kg) ・ LBM (kg) 、
各年齢時運動頻度 (日/週) ・ 乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)

※1 調整済みR²

※2 標準化β

※3 対象者数 (名)

※4 乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日)

2. 運動頻度別

骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

骨指標への同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響についてのステップワイズ重回帰分析の結果から、骨指標は、運動頻度の影響を強く受けていることが明らかとなった。このことから、運動頻度により対象者を群分けし、その影響を調整し、骨指標と同時期のカルシウム摂取量との相関関係について、各年齢での検討を行った。

対象者と方法

骨指標への同時期の運動頻度、カルシウム摂取量の影響についての解析と同様の対象者を用いた。まず、年齢ごとに、運動を行っている対象者の運動頻度の中央値を基に、運動低頻度群（運動頻度が中央値未満）、運動高頻度群（運動頻度が中央値以上）に群分けした。この2群と運動を行っていない非運動群との3群それぞれで、骨指標とカルシウム摂取量（mg/日）、乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）の Pearson の相関係数を算出した。また、骨指標と同時期の身体指標のうち、骨指標との相関が認められた指標があった場合には、その指標での補正を行った。

結果

年齢別の、非運動群、運動低頻度群、運動高頻度群別のカルシウム摂取量（mg/日）及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）と骨指標との相関係数を表 47～52 に示す。

男子では、非運動群、運動高頻度群では、いずれの骨指標でも

カルシウム摂取量との有意な相関関係を示す年齢は認められなかった（表 47、49）。運動低頻度群では、MIA 4 年後の SOS と Stiffness とカルシウム摂取量（mg/日）、乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）との正の相関関係が認められた（ $p < 0.05$ ）（表 48）。

女子では、非運動群では初経 0 年の BUA と乳・乳製品由来カルシウム摂取量（mg/日）との正の相関関係が認められた（ $p < 0.05$ ）（表 50）。運動低頻度群では初経 3 年後の SOS と（表 51）、運動高頻度群では初経 1 年後の BUA、Stiffness とのカルシウム摂取量（mg/日）（表 52）との、有意な正の相関関係が認められた（いずれも $p < 0.05$ ）。

運動頻度の影響が大きいことを考慮し、運動頻度別に骨指標とカルシウム、乳・乳製品由来カルシウム摂取量との相関係数を算出したが、男女共に、明確な影響を捉えることはできなかった。

表47 男子 非運動群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

MIAからの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
-1年 ^{※3}	15	-0.16	-0.16	0.35	0.26	0.14	0.08
0年	26	-0.21	-0.18	-0.13	-0.14	-0.21	-0.20
1年	25	0.16	0.07	0.28	0.11	0.29	0.12
2年	31	-0.05	-0.07	0.11	0.01	0.05	-0.02
3年	35	0.01	-0.07	0.07	0.07	0.04	-0.01
4年	40	0.22	0.24	0.08	0.12	0.17	0.20

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

※3 MIA1年前

表48 男子 運動 低頻度群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

MIAからの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
-1年 ^{※3}	21	0.09	0.14	0.21	0.26	0.21	0.27
0年	31	-0.22	-0.16	0.19	0.21	-0.01	0.04
1年	27	-0.14	-0.02	-0.15	-0.06	-0.17	-0.05
2年	18	0.13	-0.16	0.20	0.16	0.24	0.04
3年	24	-0.23	-0.20	-0.18	-0.16	-0.22	-0.19
4年	15	0.52 *	0.52 *	0.45	0.41	0.54 *	0.52 *

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

※3 MIA1年前

表49 男子 運動 高頻度群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

MIAからの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
-1年 ^{※3}	28	-0.01	-0.02	0.08	-0.05	0.04	-0.05
0年	50	0.26	0.25	-0.09	-0.16	0.10	0.05
1年	98	0.02	0.03	0.00	0.06	0.01	0.05
2年	92	-0.01	0.00	-0.10	-0.06	-0.07	-0.04
3年	96	0.07	0.09	-0.12	-0.17	-0.02	-0.04
4年	96	-0.13	-0.13	-0.10	-0.13	-0.14	-0.16

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

※3 MIA1年前

表50 女子 非運動群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

初経からの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
0年	25	0.04	0.11	0.34	0.44 *	0.24	0.34
1年	34	-0.04	0.08	0.31	0.30	0.19	0.25
2年	46	-0.01	-0.03	-0.02	0.06	-0.02	0.02
3年	59	-0.22	-0.16	-0.15	-0.06	-0.20	-0.12
4年	67	-0.07	-0.10	0.01	0.03	-0.03	-0.03

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

表51 女子 運動 低頻度群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

初経からの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
0年	13	-0.03	0.07	-0.14	-0.22	-0.11	-0.11
1年	29	0.26	0.15	0.25	0.19	0.29	0.19
2年	24	-0.06	-0.07	0.03	0.01	-0.01	-0.03
3年	28	0.44 *	0.36	-0.09	0.00	0.22	0.23
4年	30	0.02	-0.02	0.17	0.17	0.12	0.09

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

表52 女子 運動 高頻度群 骨指標と同時期のカルシウム摂取量の相関関係

初経からの 年数	n ^{※1}	SOS (m/sec)		BUA (dB/MHz)		Stiffness	
		Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日) ^{※2}	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)	Ca (mg/日)	乳Ca(mg/日)
0年	43	-0.01	-0.01	0.07	-0.05	0.04	-0.04
1年	45	0.26	0.22	0.30 *	0.24	0.33 *	0.27
2年	60	0.10	0.12	0.12	0.07	0.12	0.11
3年	55	0.03	0.15	0.11	0.25	0.08	0.23
4年	51	0.13	0.17	0.08	0.18	0.12	0.19

Pearsonの相関係数 ** p<0.01、* p<0.05

※1 対象者数 (名)

※2 乳・乳製品由来カルシウム摂取量

Ⅲ．骨指標への運動の取入れ状況、カルシウム摂取量の影響についての縦断的検討

第二章のここまでの解析では、1 時点の運動頻度、カルシウム摂取量の骨指標への影響について、縦断的、横断的に検討してきた。次に、男子では MIA 0 年、2、4 年後、女子では初経 0 年、2、4 年後の時期に注目し、3 回の調査時の運動の取入れ状況やカルシウム摂取量の合計値の、PBM 時期の骨指標への影響について検討することとした。

対象者と方法

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA 4 年後、初経 4 年後の骨指標、身体指標が揃っており、MIA または初経 0 年、2、4 年後の運動状況、カルシウム摂取量（mg/日）のデータが揃っていた生徒、男子 100 名、女子 85 名である。

1．継続的な運動状況での骨指標の比較

1) 運動を取入れた回数別での骨指標の比較

MIA または初経 0 年、2、4 年後のうち、運動を取入れた回数により対象者を群分けし、MIA または初経 4 年後の骨指標の比較を行った。

方法

MIA または初経 0 年、2、4 年後のうち、「現在運動を行っている」と回答した回数別に対象者を群分けした。3 回全てで運動を行っていなかった者を非運動群、3 回のうち 1 回は運動を行っていた者を運動 1 回群、以下、運動 2 回群、運動 3 回群とし、MIA または初経 4 年後の骨指標を比較した。

統計解析

群間の骨指標の比較には、一元配置の分散分析を行い、有意差がみられた場合には、各群間での Bonferroni の多重比較を行った。また、MIA または初経 4 年後の BMI、体組成に群間差があった場合には、骨指標との相関関係を確認し、有意な相関関係が認められた際には、その身体指標で調整しての骨指標の比較も行った。

結果

男女それぞれ、非運動群、運動群別に、MIA または初経 4 年後の骨指標をグラフに示した（図 6、7）。

図 6 に示すように男子では、SOS は、非運動群と比較して、運動 3 回群、運動 2 回群が有意に高値を示した。Stiffness も同様に、非運動群と比較して運動 3 回群が有意に高値を示した。これに対し、BUA では一元配置分散分析では有意差が認められるものの、Bonferroni の多重比較では、群間差は認められなかった。

図 7 に示すように女子でも、SOS、Stiffness では、運動 3 回群が高値となる傾向を示した。SOS では、非運動群、運動 2 回群

と比較して、運動 3 回群が有意に高値を示した。Stiffness も、非運動群、運動 1 回群と比較して、運動 3 回群が有意に高値を示した。BUA では、運動 1 回群と比較して、運動 2 回群、運動 3 回群が有意に高値を示した。初経 4 年後の除脂肪量 (kg) に群間差がみられたため、骨指標との相関を確認した結果、BUA、Stiffness と、除脂肪量 (kg) の有意な相関が認められた。このため、除脂肪量 (kg) で調整しての、BUA、Stiffness の群間比較を行った結果、BUA では、群間差が消失し、Stiffness では調整前と同様の結果となった (結果は示していない)。

男女共に、運動をより多く取り入れることにより、PBM 時期の SOS は有意に高値を示したが、PBM 時期での BUA では非運動群や運動の取り入れが少ない群との差異がみられなかった。

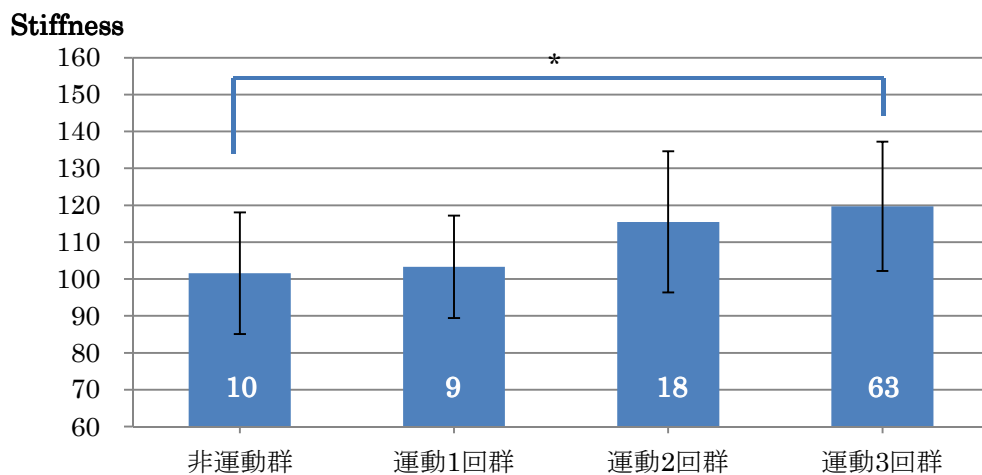
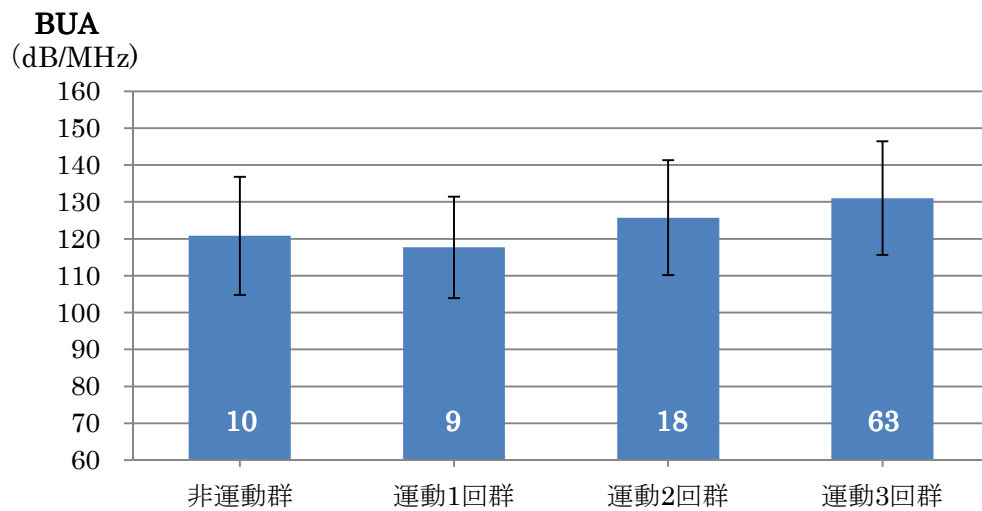
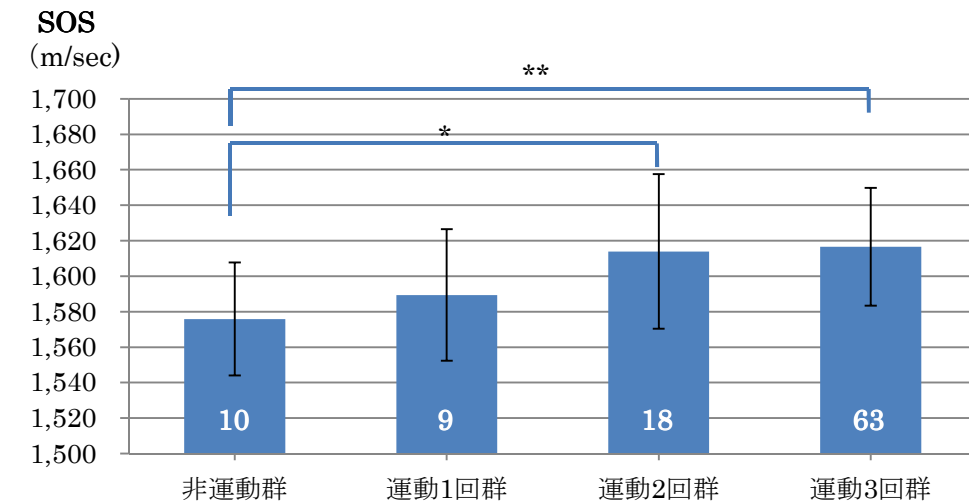


図6 男子 運動取入れ回数別 MIA 4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・Stiffness : $p < 0.01$ 、BUA : $p < 0.05$
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

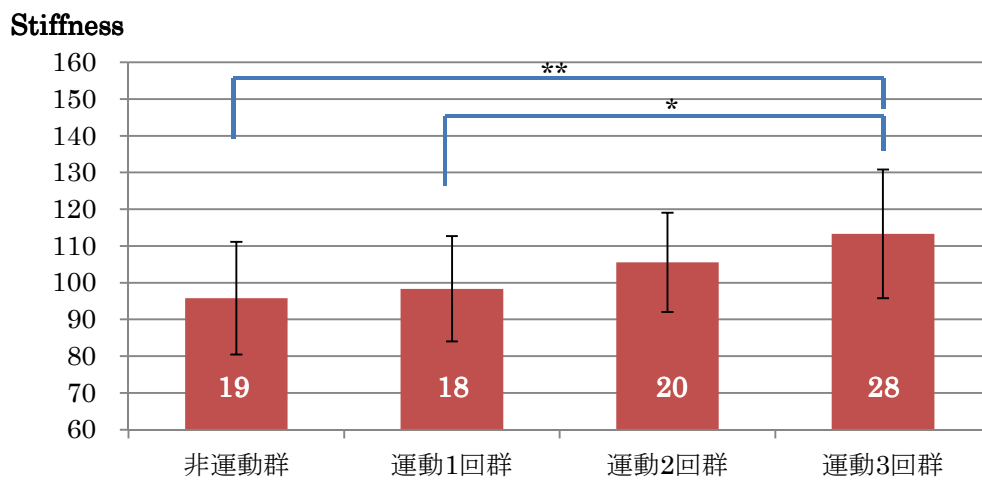
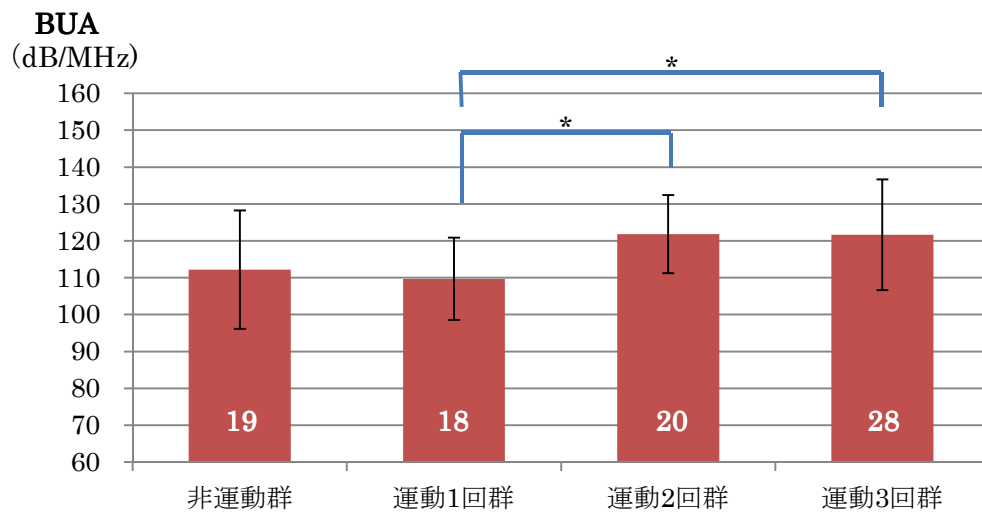
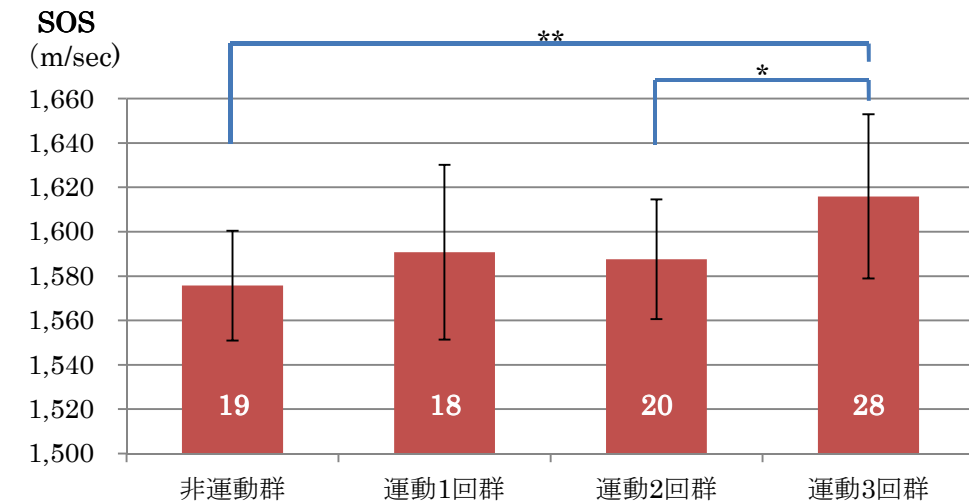


図7 女子 運動取入れ回数別 初経4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・BUA・Stiffness : $p < 0.01$
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

2) 運動頻度の平均値別での骨指標の比較

運動頻度の影響を検討するため、MIA または初経 0 年、2、4 年後のうち、運動を行っていた際の運動頻度の平均値を算出した。この運動頻度の高低により、MIA または初経 4 年後の骨指標を比較した。

方法

運動取入れ回数での骨指標の比較の際に用いた群分けのうち、非運動群を除く、運動 1 ～ 3 回群において、MIA または初経 0 年、2、4 年後のうち、「現在運動を行っている」と回答した年齢での運動頻度（日/週）の平均値を算出した。この運動頻度の平均値（日/週）の運動群内での中央値（男子 5.0 日/週、女子 4.7 日/週）を基に、運動 1 ～ 3 回群の対象者を 2 群に分けた。この運動低頻度群、運動高頻度群と、非運動群との 3 群での MIA または初経 4 年後の骨指標の比較を行った。

統計解析

群間の骨指標の比較には、一元配置の分散分析を行い、有意差がみられた場合には、各群間での Bonferroni の多重比較を行った。また、MIA または初経 4 年後の BMI、体組成に群間差があった場合には、骨指標との相関関係を確認し、有意な相関関係が認められた際には、その身体指標での補正を行った。

結果

男女それぞれ、非運動群、運動頻度群別に、MIA または初経 4 年後の骨指標の比較をグラフに示した（図 8、9）。

図 8 に示すように、男子の **SOS**、**Stiffness** は運動高頻度群が、非運動群、運動低頻度群と比較して、有意に高値を示した。これに対し、**BUA** では、運動低頻度群、高頻度群間で差がみられたが、非運動群との差異は認められなかった。

図 9 に示すように女子でも、**SOS**、**Stiffness** は、非運動群と比較して運動高頻度群が有意に高値を示した。**BUA** では、群間差は認められなかった。初経 4 年後の除脂肪量（kg）に群間差が認められたため、骨指標との相関関係を確認した結果、**BUA** との有意な相関が認められた。このため、除脂肪量（kg）で調整しての **BUA** の比較を行ったが、調整前と同様の結果となった（結果は示していない）。

男女共に、運動の頻度が高い群の方が **PBM** 時期の **SOS** は高値を示したが、**PBM** 時期の **BUA** は非運動群との有意差が認められなかった。

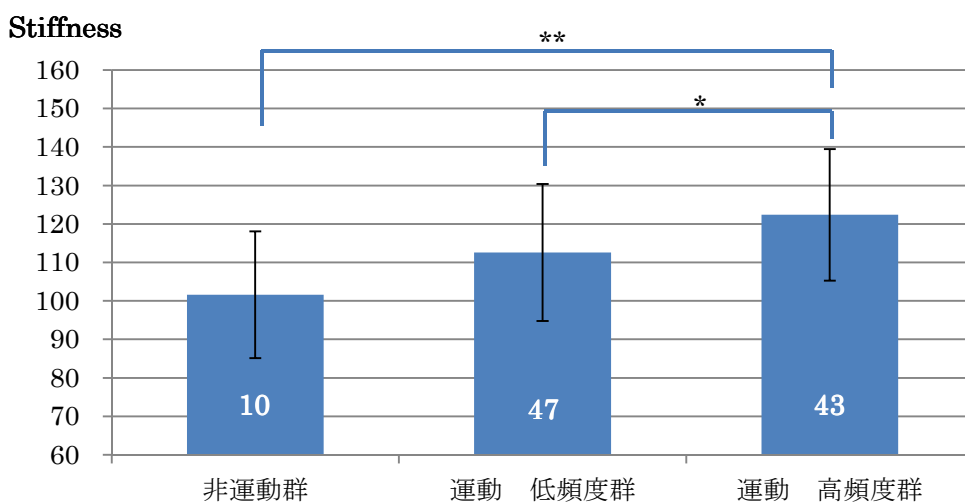
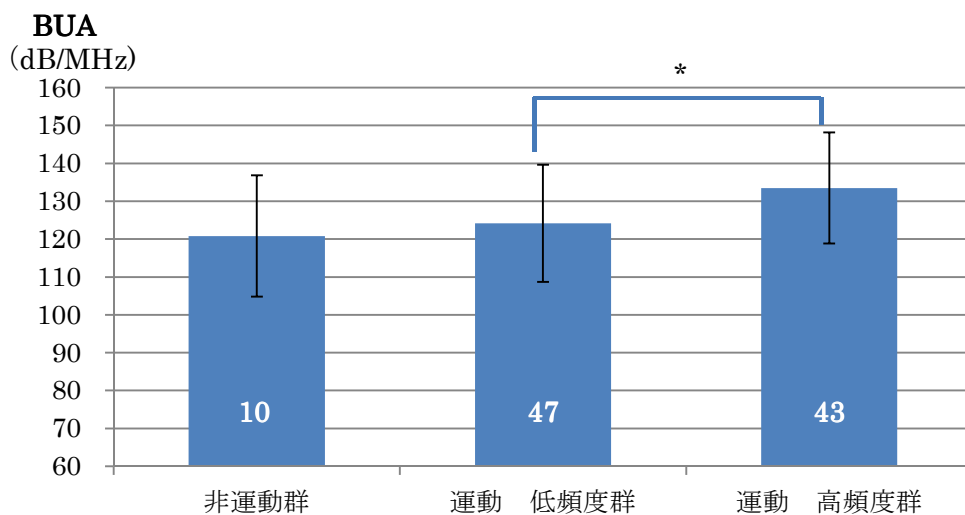
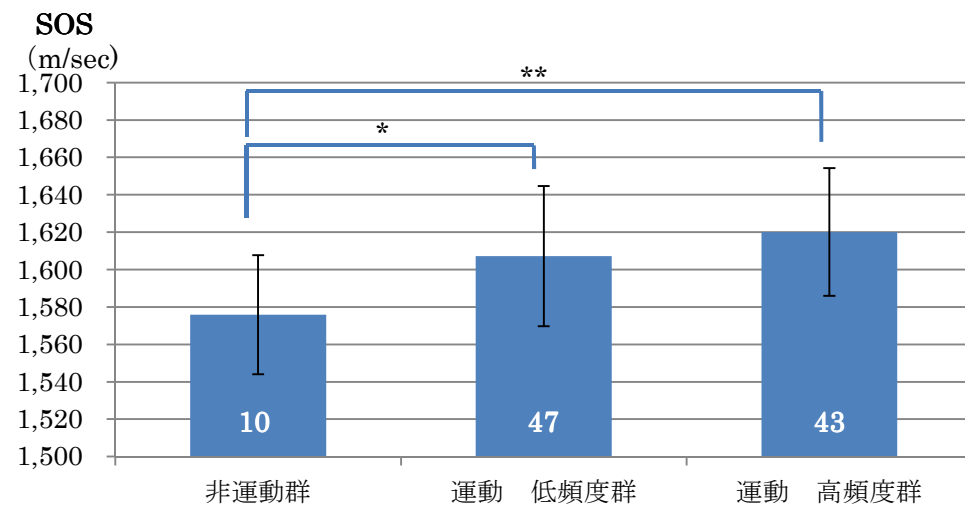


図8 男子 運動頻度別 MIA 4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・BUA・Stiffness : $p < 0.01$
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

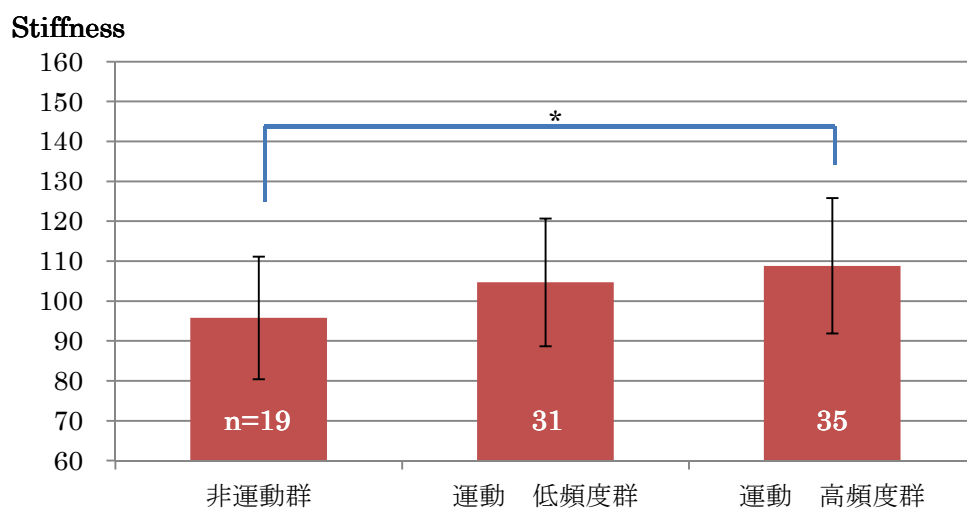
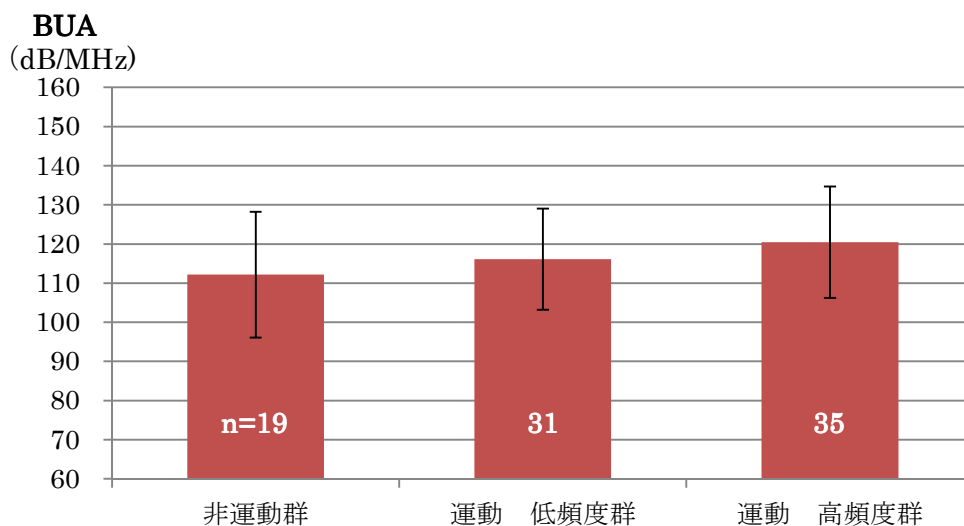
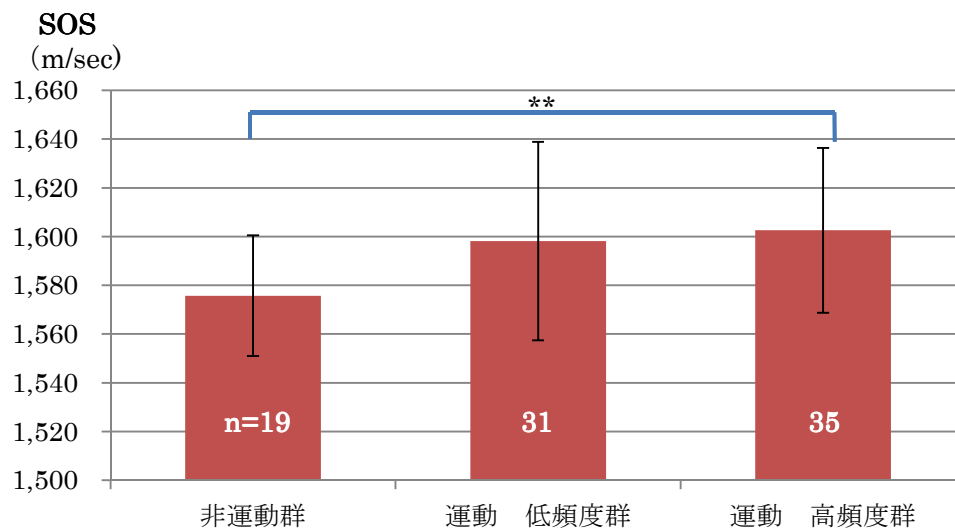


図9 女子 運動頻度別 初経4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・Stiffness : $p < 0.05$ 、BUA : NS
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

2. 骨指標へのカルシウム摂取量の影響についての縦断的検討

1) 骨指標とカルシウム摂取量の合計値の相関関係

方法

MIA または初経 0 年、2、4 年後のカルシウム摂取量 (mg / 日) 及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg / 日) の合計値を算出し、MIA または初経 4 年後の骨指標との Pearson の相関係数を算出した。

結果

男女それぞれ、カルシウム摂取量 (mg/日)、及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の合計値と骨指標との相関係数を表 53、54 に示す。この結果、男女共に、いずれの骨指標でも、カルシウム摂取量、乳・乳製品由来カルシウム摂取量の合計値との有意な相関関係は示されなかった (表 53、54)。

表53 男子

MIA 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値のPearsonの相関係数

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=100	n=100	n=100
Ca	合計値 (mg)	0.04	-0.03	0.01
乳Ca	合計値 (mg)	-0.01	-0.05	-0.03

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

表54 女子

初経 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値のPearsonの相関係数

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=85	n=85	n=85
Ca	合計値 (mg)	0.03	0.08	0.06
乳Ca	合計値 (mg)	0.07	0.13	0.11

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

2) 運動取入れ回数別

骨指標とカルシウム摂取量の合計値の相関関係

全対象者では、PBM 時期の骨指標とカルシウム摂取量の合計値との有意な相関関係は認められなかった。次に、運動の取入れ回数別での、骨指標とカルシウム摂取量の合計値との相関関係についての検討を行った。

対象者と方法

運動取入れ回数別での骨指標の比較の際に用いた非運動群と運動3回群を対象とし、各群での MIA または初経4年後の骨指標と、MIA または初経0年、2、4年後のカルシウム摂取量 (mg/日)、及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の合計値 (mg) との相関係数を算出した。非運動群は、MIA または初経0年、2、4年後のいずれの年齢でも運動を行っていなかった生徒、運動3回群は全ての年齢で運動を行っていた生徒である。対象者数は、男子の非運動群10名、運動3回群63名、女子の非運動群19名、運動3回群28名である。

統計解析

MIA または初経4年後の骨指標とカルシウム摂取量 (mg/日) 及び乳・乳製品由来カルシウム摂取量 (mg/日) の合計値 (mg) の Pearson の相関係数を算出した。

結果

男女それぞれ、非運動群、運動3回群のカルシウム摂取量の合計値(mg)と骨指標との相関係数を表55～58に示す。この結果、男女共に、いずれの群でも、カルシウム摂取量、及び、乳・乳製品由来カルシウム摂取量の合計値(mg)との有意な相関関係は認められなかった。

表55 男子 非運動群

MIA 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値とのPearsonの相関係数

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=10	n=10	n=10
Ca	合計値 (mg)	-0.01	-0.21	-0.14
乳Ca	合計値 (mg)	0.01	-0.17	-0.10

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

表56 男子 運動3回群

MIA 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値とのPearsonの相関係数

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=63	n=63	n=63
Ca	合計値 (mg)	-0.10	-0.08	-0.10
乳Ca	合計値 (mg)	-0.19	-0.15	-0.19

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

表57 女子 非運動群

初経 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値とのPearsonの相関係数

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=19	n=19	n=19
Ca	合計値 (mg)	0.25	-0.03	0.09
乳Ca	合計値 (mg)	0.04	0.01	0.02

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

表58 女子 運動3回群

初経 4年後の骨指標とカルシウム摂取量の合計値との相関関係

		SOS (m/sec)	BUA(dB/MHz)	Stiffness
		n※=28	n=28	n=28
Ca	合計値 (mg)	-0.02	0.03	0.01
乳Ca	合計値 (mg)	0.03	0.12	0.08

※ n : 対象者数 (名)
 Pearsonの相関係数 NS

Ⅳ．運動の種類による骨指標の比較

第二章のこれまでの解析から、QUS 法による骨指標には、運動の有無や頻度が強く影響していることが明らかとなった。このことから、次の解析では、運動の種類の影響について検討することとした。

方法

MIA または初経 0 年、2、4 年後に回答した運動の種類を用いて、運動種類の骨指標への影響について検討した。

運動種類の分類には、地面からの反発力（Ground Reaction Force；以下 GRF）を基本とし、全身体活動の最大負荷量をスコア化した J.Groothausen らの先行研究を参考にした^{79,80)}。運動種類と骨指標との関係について検討した文献では、テニスやスカッシュ、体操など、特定の種目について検討した報告^{81~83)}や、さまざまな種目を扱った報告、High-Impact 運動、Low-Impact 運動に分類しての比較を行った報告⁸⁴⁾など様々みられる。今回は、対象者数が少なく、種目ごとの検討は行えなかったことや、Impact の強弱による分類には、明確な定義がなかったことから、分類方法が明確にスコア化されており、その後の研究^{85,86)}でも用いられていた J.Groothausen ら⁷⁹⁾の GRF による分類方法を用いることとした。具体的な分類方法は表 27 に示す。運動を行っていなかった群を非運動群とし、運動を行っており、運動の種類を回答していた生徒を GRF による分類ごとに群分けし、GRF 1～4 群とした。この際、複数の運動を行っていた生徒は、GRF の強い方の運動を採用した。

表 59 GRF による運動の分類

分類		GRF※	例
4	ジャンプを含む運動	体重×4<	バスケットボール、器械体操
3	スプリントやターンを含む運動	体重×2~4	バドミントン、テニス、野球
2	体重負荷運動	体重×1~2	ジョギング
1	その他の運動	体重×1>	水泳、自転車競技、筋トレ
非運動			

※体重比での表示

GRF 1 : 体重未満の GRF 負荷

GRF 2 : 体重と同等から 2 倍以下の GRF 負荷

GRF 3 : 体重の 2 倍から 4 倍以下の GRF 負荷

GRF 4 : 体重の 4 倍より強い GRF 負荷

統計解析

群間の骨指標の比較には、一元配置の分散分析を行い、それぞれ有意差がみられた場合には、各群間での Bonferroni の多重比較を行った。また、骨指標と同時期の BMI、体組成に群間差があった場合には、骨指標との相関関係を確認し、有意な相関関係が認められた際には、その身体指標での補正を行った。

尚、今回の解析では、解析対象者が少なかったことから、3 名未満の群も含めての解析を行った。

1. 運動の種類による骨指標の比較 横断的解析

MIA または初経 0 年、2、4 年後の運動種類別に、同時期の骨指標の比較を行った。

対象者

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA または初経 0 年、2、4 年後のいずれかの身体指標、骨指標が揃っており、同時期の運動の種類について回答していた生徒を解析対象者とした。この結果、男子では MIA 0 年 100 名、2 年後 49 名、4 年後 99 名、女子では初経 0 年 39 名、2 年後 49 名、4 年後 83 名となった。

結果

男女それぞれ、年齢ごとの運動種類別の骨指標の比較を図 10～11 に示す。

図 10 に示すように、男子では MIA 0 年、2 年後では、いずれの骨指標にも有意な差は認められなかったが、MIA 4 年後では、全ての骨指標で、非運動群と比較して、GRF 3、4 群が有意に高い値を示した。

図 11 に示すように、女子では初経 0 年では、全ての骨指標で群間差は認められなかった。初経 2 年後では、非運動群、GRF 3 群と比較して、GRF 4 群の全ての骨指標が有意に高い値を示した。初経 2 年後の除脂肪量(kg)に運動群間で差がみられたことから、骨指標との相関係数を算出した結果、BUA との有意な相関を示したことから、BUA のみ、除脂肪量(kg)での調整を行った。

この結果、BUA の群間差は消失した（結果は示していない）。初経 4 年後でも、全ての骨指標で非運動群と比較して GRF 4 群が有意に高値を示した（図 11）。

男女共に、特にジャンプやターン、スプリントなどを含む、Grand Reaction Force の高い運動の取入れは、骨指標の増加が停滞する時期、男子では MIA 4 年後以降、女子では初経 2 年後以降で特に重要となる。

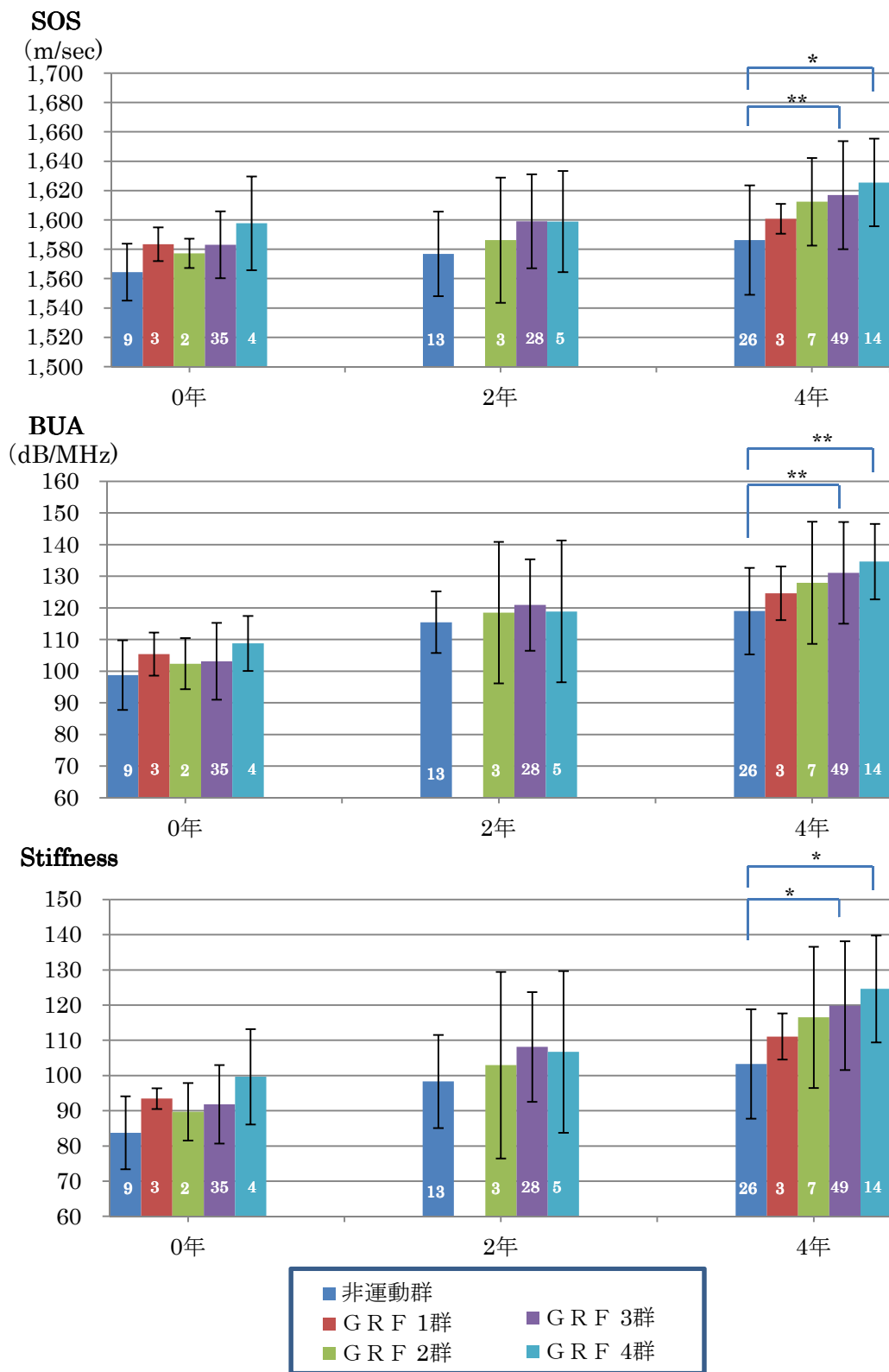


図10 男子 GRFにより分類した運動別 同時期の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 MIA 4年後SOS・BUA・Stiffness : $p < 0.01$
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

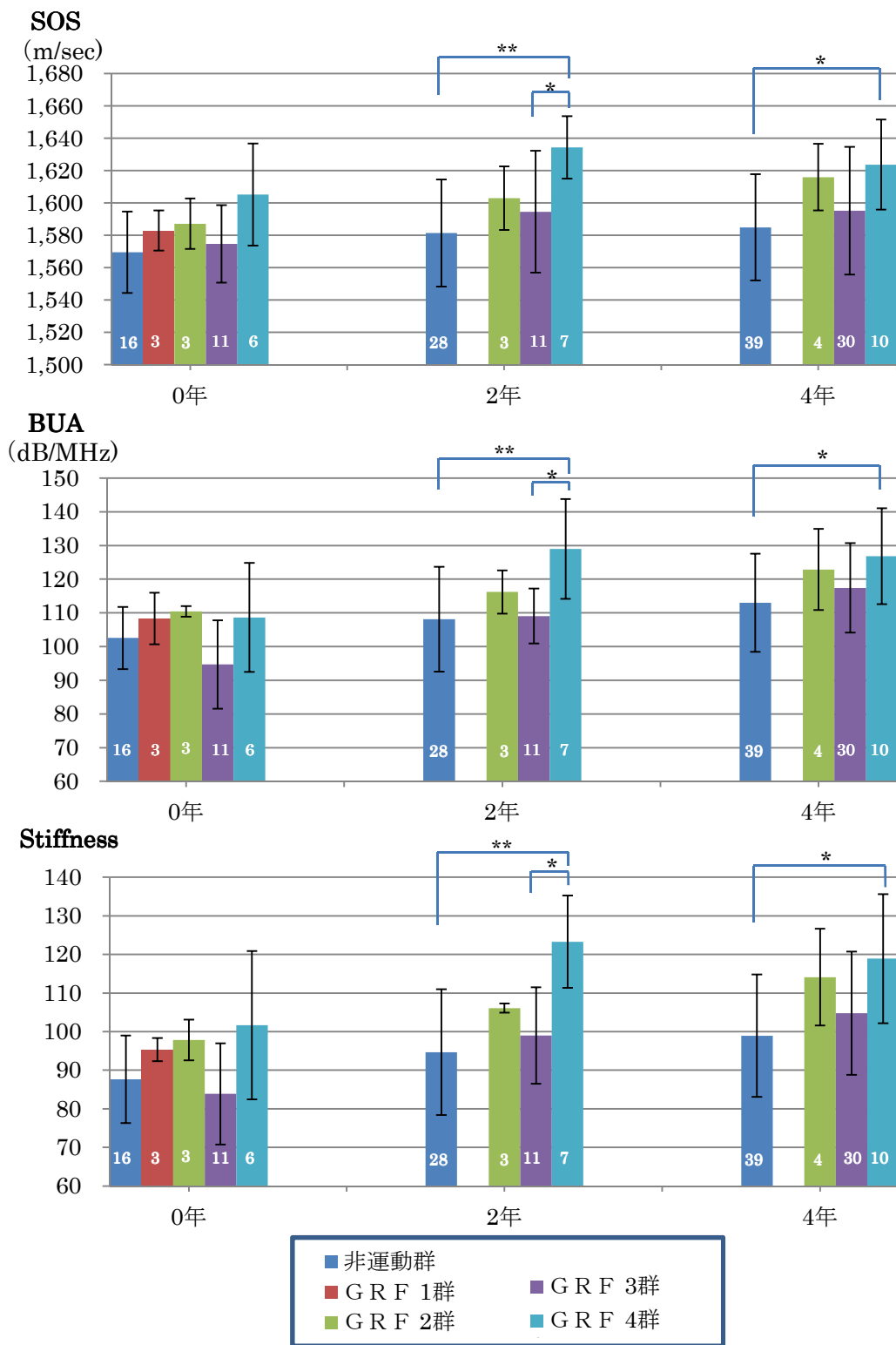


図11 女子 GRFにより分類した運動別 同時期の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 初経2年後SOS・BUA・Stiffness : $p < 0.01$
 初経4年後SOS・BUA : $p < 0.05$ 、Stiffness : $p < 0.01$
 Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

2. 運動の種類による骨指標の比較 縦断的検討

運動種類による同時期の骨指標の比較結果より、GRF の高い運動を取入れることが、骨指標に有効であることが示された。このことから、MIA または初経 0 年、2、4 年後に GRF 高値の運動を取入れた回数別に、MIA または初経 4 年後の骨指標の比較を行った。

対象者と方法

MIA を算出できた男子生徒、女子ではこの MIA に加え初経年齢が明確であった生徒のうち、MIA または初経 4 年後の骨指標、身体指標が揃っており、MIA または初経 0 年、2、4 年後の運動の種類について、全て回答していた生徒を解析対象者とした。この結果、男子 97 名、女子 79 名が今回の解析対象者であった。

運動種類別の同時期の骨指標の比較結果から、GRF 分類 3、4 の運動を行っていた群が有意に同時期の骨指標が高い結果が得られた。このことから、今回の解析では、GRF 3、4 の運動を行った回数を基準とし、対象者の群分けを行った。具体的な分類方法は、表 60 に示す。

表 60 GRF による対象者の群分け

分類	GRF3、4の運動を取入れた回数
GRF IV	3回全て
GRF III	2回
GRF II	1回
GRF I	0回
非運動	全て非運動

結果

男女それぞれ、GRF 高値の運動を取入れた回数別での、MIA または初経 4 年後の骨指標の比較を図 12～13 に示す。男女共に、GRF 分類により比較結果に、骨指標間で差異がみられた。

図 12 に示すように、男子の SOS では非運動群と比較して GRF III、IV 群が有意に高値を示した。BUA では GRF II 群と比較して GRF IV 群が有意に高値となった。Stiffness では非運動群、GRF II 群と比較して GRF IV 群が有意に高い値を示した（図 12）。

図 13 に示すように、女子の SOS、Stiffness では、非運動群と比較して GRF IV 群が有意に高値となった。BUA では、群間で有意な差は認められなかった（図 13）。

男女共に、GRF の高い運動をより多く取り入れることにより、PBM 時期の SOS では有意に高値を示したが、BUA では非運動群との差異が認められず、明確な結果が得られなかった。

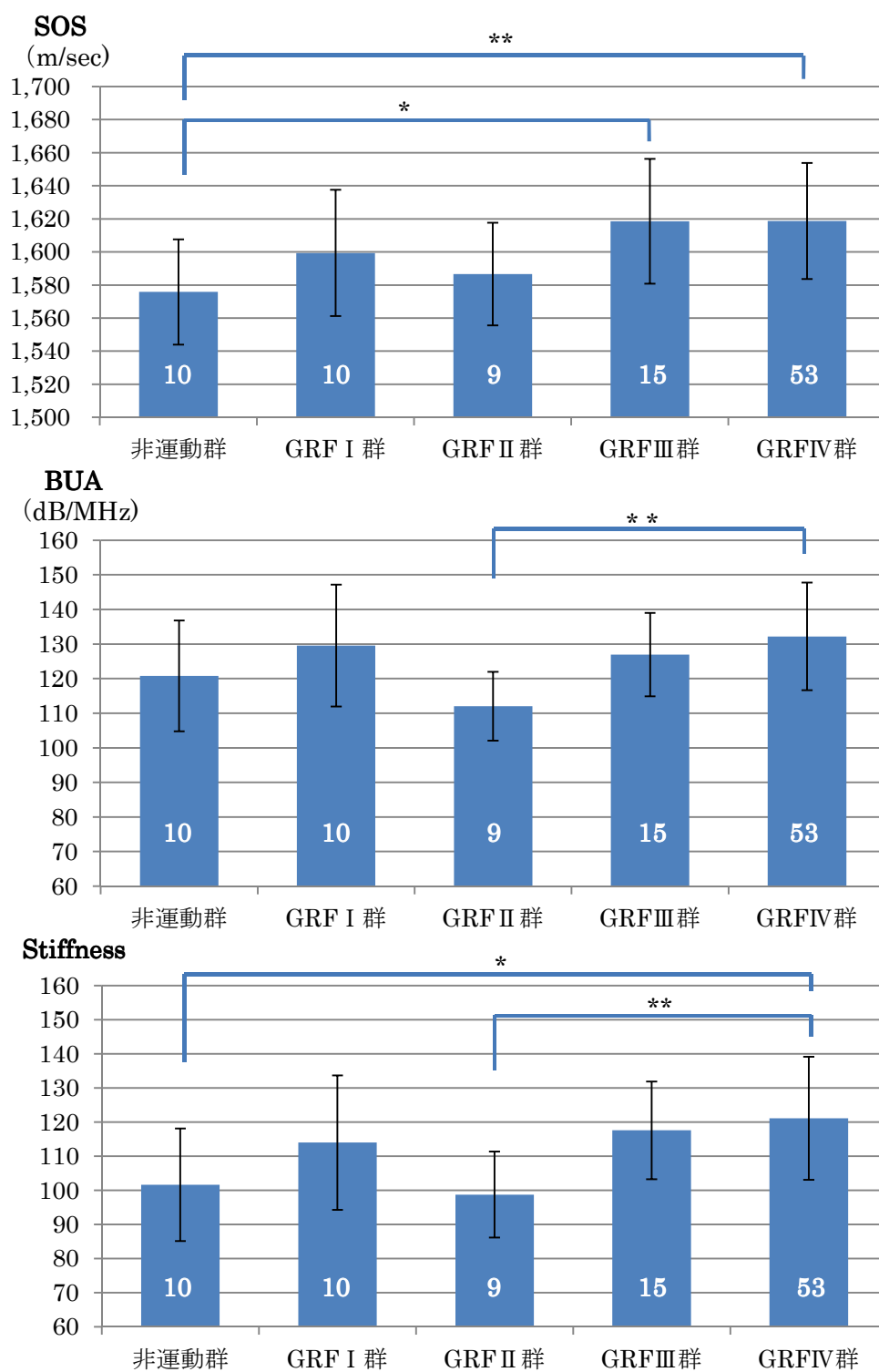


図12 男子 GRFにより分類した運動の取入れ状況別
MIA 4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・BUA・Stiffness : $p < 0.01$
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

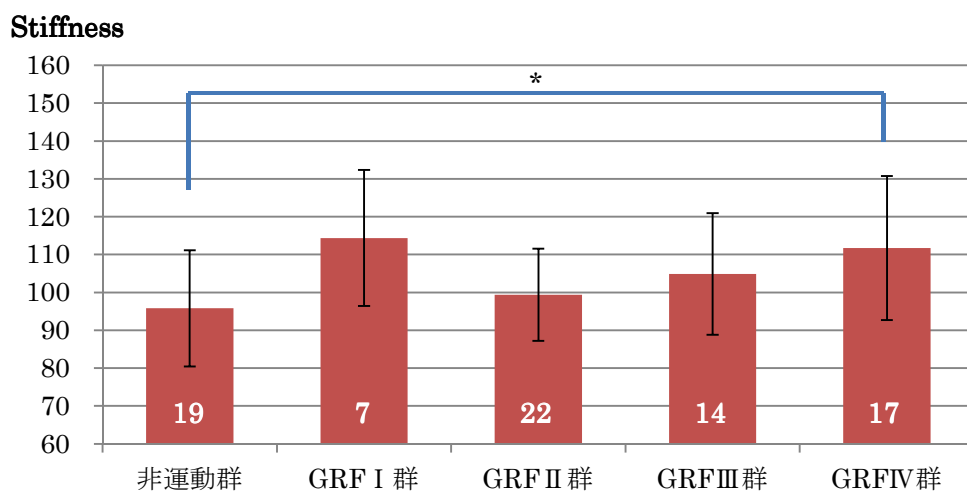
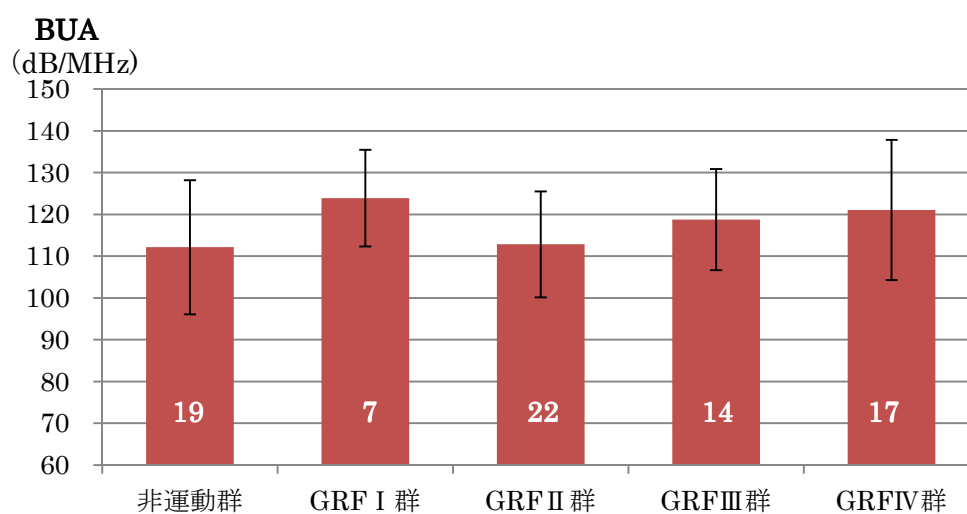
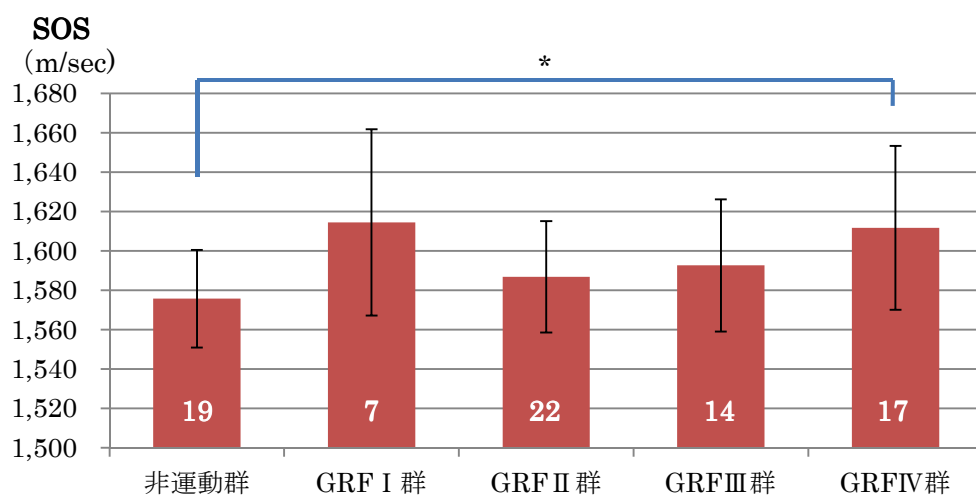


図13 女子 GRFにより分類した運動の取入れ状況別
初経4年後の骨指標の比較
(棒グラフ内数値：対象者数)

一元配置分散分析 SOS・Stiffness : $p < 0.01$ 、BUA : NS
Bonferroni多重比較 ** $p < 0.01$ 、* $p < 0.05$

考察

第二章では、第一章での解析から明らかとなった骨指標の経年変化を踏まえ、運動の取入れ状況とカルシウム摂取量の影響について検討した。

学年及び生理学的年齢での解析結果の比較

第二章の初めとして、PBM 時期の骨指標に対する運動頻度、カルシウム摂取量の縦断的な影響について学年に基づいた解析と生理学的年齢に基づいた解析の結果を比較した。この生理学的年齢での結果から、男女共に早期に成人の基準値に達する SOS には運動頻度の影響も早期から認められた。増加時期や急増時期の後に成人の基準値に達する BUA では、運動頻度の影響は増加時期の中盤以降で認められた。学年での解析結果は、男子では生理学的年齢での結果と一致した特徴を示したが、女子では運動頻度が重要となる時期を明らかにすることができなかった。このことから、生理学的年齢を基にした解析が必要であると考えられた。

男女共に思春期は、身体の成熟、変化の時期であるとともに、骨量も急激に増加し PBM に達する非常に重要な時期である。この思春期の骨量獲得に影響を及ぼすホルモンとして、骨の成長、リモデリング、石灰化に影響する、成長ホルモン、インスリン様成長因子（IGF-I、II）や、骨の成長を促進するアンドロゲン、エストロゲン等の性ホルモンが知られている^{64,66)}。IGF-I は思春期に入るのに伴い分泌が増加し、そのピークは身長が発育が最大となる時期と一致するとされている⁶⁶⁾。性ホルモンとの関連については、女子では思春期にエストロゲンが増加することによ

り骨の周囲長の増加が抑制され、骨の内径が小さくなっていくことにより骨量が増加する⁶⁶⁾。これに対し、男子ではアンドロゲンが増加することにより骨周囲長の増加が促進され、外径が増していくことにより骨量の増加が起こるとされ⁶⁶⁾、男女で特徴がみられる。女子では初経がこの性ホルモンの上昇時期の指標となっている。長塚らの報告⁸⁷⁾では、エストラジオールは初経2年前頃から上昇傾向を示し、初経後は個人差が大きくなったとしているが、本研究の初経0年に当たる時期でピークとなっている。また、エストラジオールは身長発育速度との相関関係を示さなかったとしている⁸⁷⁾。日本人の児童を対象に骨代謝マーカーの測定を行った西野らの報告³²⁾では、女子は高代謝回転であった骨代謝が、初経を契機に急激に低下し、初経3年後以降は低代謝回転となったとしている。これらのことから、女子では骨量の増加にとって初経と共にその分泌もピークとなる女性ホルモンの影響が重要であると考えられる。初経年齢は、出生体重や体格、体重増加、カルシウム摂取量など、先天的因子、後天的因子双方の影響が指摘されており^{88~91)}、長塚らの報告から身長の最大発育年齢からは独立していることが考えられる⁸⁷⁾。この個人差の大きさを反映するように、女子の解析結果の比較では、学年での解析と初経年齢に基づいた解析との間に差がみられ、初経年齢での解析結果からは、男子同様に、運動頻度の影響が重要となる時期が明らかとなった。骨代謝、骨量の増加と深く関わる女性ホルモンの分泌の指標となる初経は、女性の骨量の経年変化を捉えるうえで大変重要なイベントである。初経を基準としての生理学的年齢での骨指標の評価が、骨指標とライフスタイルとの関連を明ら

かにする際にも、重要であることが示された。これに対し、男子では身体発育に関して、女子での初経のように明確な指標がないことから、本研究では身長が発育が最大となる年齢を表す MIA を算出した。身長は、外的要因による影響を受けにくく^{49,92,93)}、発育速度曲線も体重と比較して明確であるといわれている^{49,93)}。先行研究⁶⁷⁾では、身長の発育速度と IGF-I との間に相関を示さなかった女子に対し、男子では IGF-I と共に、テストステロン値も身長の発育速度との強い正の相関が認められた。これらのことから、骨量増加の関連因子と強い正相関を示す身長の発育速度の指標である MIA を生理学的年齢として用いることは、思春期男子の骨指標とライフスタイルとの関連を評価する際にも有意義であると考えられる。本研究結果では、PBM 時期の骨指標に対する運動頻度とカルシウム摂取量の影響についての縦断的な検討において、歴年齢である学年に基づいた結果と、MIA を用いた結果とが、ほぼ一致していることから、女子の初経年齢のように個人差は大きくないと考えられる。

骨指標への運動の影響について

本研究の結果から、PBM 時期や同時期の骨指標に対し、運動の影響が特に大きいことが明らかとなった。運動頻度からの正の影響は、SOS では早期から認められたのに対し、BUA ではその増加時期が中盤を迎えて以降の時期で認められた。また、継続的な運動の取入れや、地面からの反発力を示す GRF が高値の運動を継続的に取入れることの有効性は、PBM 時期の SOS では認められたが、PBM 時期の BUA では明確とならなかった。第一章の

身体指標と骨指標との相関関係についての解析結果から、SOSは身体指標との明確な相関関係が示されなかったのに対し、BUAでは身体指標、特に除脂肪量との有意な正の相関関係が認められた。体組成は運動の影響を受けると考えられ、このことからSOSと比較してBUAでより運動の影響が明確となるのではないかと推測されたが逆の結果となった。女子大生のBUAと現在、過去の運動習慣について検討した富田らの報告⁹⁴⁾でも、現在の運動頻度別でのBUAの比較では運動頻度が高い群の方が、非運動群と比較して高値を示したが、過去の運動頻度別での比較では有意差は認められていない（SOSの検討は行われていない）⁹⁴⁾。このことから、PBM時期のBUAには思春期での継続した運動の影響は少なく、同時期の運動の影響の方がより大きいことが考えられる。運動やカルシウム摂取量の骨量に対する影響についてのレビュー論文では、思春期前からの運動の取入れが骨量に有効であると報告されている^{39,40)}。CM.Weaverは、初経以前に運動を始めた方が、その後始めるよりも成人期の骨量に対して2倍の効果があるとしている⁴⁰⁾。テニス、スカッシュの選手の利き手、非利き手の骨量差を、テニス、スカッシュを開始した時期別で比較した研究⁸¹⁾では、開始年齢から初経年齢までの期間が長いほど、骨量差は大きいと報告している。これらの先行研究は、DXA法により測定した前腕骨や、全身、腰椎、大腿骨での結果である。骨密度を反映する指標とされるSOSでのみ一致した結果を示した。これらのことから、思春期に継続的に運動を取入れることは、PBM時期の骨質に対しては影響を示さない可能性が示唆された。これには、運動頻度からの正の影響が表れる時期がSOSと比較

して BUA では遅いという結果が反映したことも考えられる。思春期の中でも運動の影響を受ける時期が遅い BUA では、思春期以降の運動の継続がより重要となることが推測される。

同様の結果は、運動の種類による PBM 時期の骨指標の比較でもみられた。運動の種類に関して、H.C.G. Kemper ら⁸⁶⁾は GRF による運動の分類を用い 13 歳からの 15 年間の縦断研究を行っている。13～16 歳と、21～27 歳の 2 つの期間の GRF スコアの合計を算出し、28 歳時の腰椎、大腿骨頸部の骨密度への影響を検討した結果、どちらの部位も 13～16 歳の GRF の影響は弱く、21～27 歳の GRF が有意な正の影響を示した。本研究の結果では、思春期に GRF の高い運動をより多く取り入れることにより骨密度の指標であるとされる SOS が高値となったが、思春期を過ぎた成人の骨密度には、成人期での GRF スコアがより重要となり、思春期以降も GRF がより高い運動を継続する必要があることが考えられる。

骨指標へのカルシウム摂取量の影響について

本研究結果から、PBM 時期や同時期の骨指標に対するカルシウム摂取量の影響は小さいことが示された。生理学的年齢での解析では、女子の初経 1 年後の BUA に対する同時期のカルシウム摂取量が有意な正の影響を示したのみであった。初経前後は、身体の変化と共に、カルシウム代謝も変化する時期である。思春期女子のカルシウム吸収についてターナーステージ別での検討した SA.Abrams らは⁹⁵⁾、初経前の早期思春期の時期に当たるターナーステージ 2、3 の女子でカルシウム吸収率は 34.4% であるの

に対し、初経から初経後の時期に当たるターナーステージ 4、5 の女子では 25.0%と有意な減少を示したと報告している。さらに、カルシウムの尿中排泄量は、有意ではないもののターナーステージ 4、5 の女子で高値となり、最終的にカルシウムの蓄積量は初経約 160 mg /日に対し、初経後約 45 mg /日と、約 4 分の 1 の値となったとしている⁹⁵⁾。尚、この対象者のカルシウム摂取量の平均値はターナーステージ 2、3 の女子で 931mg/日、ターナーステージ 4、5 の女子で 955mg/日であった⁹⁵⁾。この報告から、本研究で、骨指標へのカルシウム摂取量の影響がみられた初経 1 年後は初経前に高まっていたカルシウム吸収率が減少する時期であると考えられる。この時期にカルシウム摂取量を増やすことが、女子の BUA にとって重要となることが明らかとなった。男子のカルシウム吸収率や排泄量に関して、歴年齢や生理学的年齢別での比較を行った報告は見受けられず、男子の思春期のカルシウム蓄積量の変化については明らかとなっていない。低身長、第二性徴の遅延がみられた 12 歳の男子（ターナーステージ 1）6 名を対象に、2 週間のテストステロンによる治療を行い、治療前後でのカルシウムの吸収量や蓄積量を比較した N.Mauras らの報告⁹⁶⁾では、治療後、カルシウムの蓄積量は有意な増加を示し約 2 倍にまで増加していた。同時に測定された成長ホルモン、IGF- I も有意な増加が認められ、カルシウム蓄積量の増加は、テストステロン増加による直接的な影響に加え、成長ホルモンの増加による影響も受けたことが考えられるとしている。男子では MIA 時期にテストステロン、IGF- I 共に、ピークとなると報告されていることから⁶⁷⁾、MIA の時期にはこれらのホルモンと共

に、カルシウムの蓄積量も増加していることが予想される。本研究の男子では、カルシウム摂取量の影響は生理学的年齢での解析では認められなかったが、歴年齢による解析では、高校3年生の **SOS**、**Stiffness** に対する高校1、3年生のカルシウム、乳・乳製品由来カルシウム摂取量の影響がみられた。このことから、男子では、**MIA** から3～5年後に当たり、**SOS** の増加が停滞する時期である高校1年生、高校3年生時期のカルシウム摂取量を増やすことが重要となる可能性が示唆された。この時期は、**MIA** と同時期といわれるテストステロンのピークを過ぎ⁶⁷⁾、カルシウムの吸収率や蓄積量が減少すると考えられる時期という点で、女子の結果と類似している。

このように生理学的年齢により吸収率や蓄積量が異なり、絶えず代謝されているカルシウムについて、その摂取量の骨量への影響は短期的であることも指摘されている。多くの介入試験で、介入時には、骨量、骨密度への正の影響が認められるものの、介入中断後には、その影響は消失すると報告されている^{39,40,97,98)}。本研究結果でも、骨指標へのカルシウム摂取量の影響は横断的検討で認められており、カルシウム摂取量の影響が短期的であることを支持する結果となった。

また、本研究では、カルシウム摂取量と同時に、乳・乳製品由来のカルシウム摂取量に関しても検討を行った。この結果、男子の歴年齢での解析において、高校3年生の **SOS** に対して、同時期の乳・乳製品由来カルシウム摂取量が、カルシウムの総摂取量からは独立して有意に正の影響を示した。乳・乳製品は、カルシウムの主要な供給源であり、平成21年度国民・健康栄養調査で

も、日本人のカルシウム摂取量の 512mg/日のうち 140mg/日（約 27%）と、食品群の中で最も高い割合を占めている⁷⁷⁾。本研究対象者では、約 50%と高い割合を示した（表 21～24）。乳・乳製品は、1 回の摂取量に対するカルシウム含有量が多い点⁹⁹⁾や、調理の必要がなく手軽に摂取できるという点が影響していると考えられる。乳・乳製品は、他のカルシウム含有食品と比較して、カルシウムの吸収率が高いといわれている^{100,101)}。菜食主義者がカルシウム摂取量を確保するための食品選択についてまとめた CM.Weaver らは¹⁰⁰⁾、野菜や豆類の 1 回の摂取量に対するカルシウム含有量やカルシウム吸収率を牛乳と比較している。牛乳の吸収率が 32%であるのに対し、ブロッコリー、ケールなど 50～60%と高い吸収率を示す野菜もあるが、他の野菜、豆類は 5～25%と低い値を示している。日本人成人女性を対象として行われたカルシウム出納試験の結果¹⁰¹⁾からは、牛乳、小魚、野菜のカルシウム吸収率は、それぞれ約 40%、33%、19%と報告されている。このことから、カルシウムの吸収率が低下している時期であると推測される高校 3 年生の男子では、カルシウム含有食品の中でもカルシウム吸収率のより高い乳・乳製品の摂取量が重要となることが示唆された。

骨指標へのカルシウム摂取量の影響の弱さについて

カルシウム摂取量の骨量への影響について、先行研究、レビュー文献では一致した見解がえられておらず、対象者の習慣的なカルシウム摂取量によって骨量への影響が異なる可能性があるとして述べられている^{97,102,103)}。本研究結果ではカルシウム摂取量の骨

指標に対する影響は、運動の影響と比較して小さいことが明らかとなった。この理由として、対象者の日常的なカルシウム摂取水準が低く、骨量への影響を見えにくくした可能性がある。また、カルシウムの吸収率は、日常的なカルシウム摂取量によっても異なるといわれている。女子のターナーステージ別のカルシウム吸収率に関する先行研究⁹⁵⁾では、対象者のカルシウム摂取量は、950 mg/日程度であったのに対し、本研究対象者では、男子 500 mg/日前後、女子 450 mg/日前後と低い値であった。SA.Abramsらは、カルシウム摂取量の違いによるカルシウム吸収率の比較を行っている¹⁰⁴⁾。ターナーステージ2の女子を対象とし、日常的なカルシウム摂取量が 500mg/日以上 の群（平均摂取量約 1,300mg/日）と、本研究対象者と同程度の摂取量である 500 mg/日未満の群（平均摂取量約 400mg/日）とのカルシウム吸収率の比較を行った。この結果、カルシウム吸収率は高摂取量群が 43%であったのに対し、低摂取量群は 63%と有意に高値を示した。尿中への排泄量は低摂取量で有意に少ない値を示し、蓄積量は高摂取群約 350mg/日、低摂取群 131mg/日となった¹⁰⁴⁾。日本人の食事摂取基準においてカルシウムの推定平均必要量の設定に用いられている蓄積量は、この先行研究と同時期である 10～11 歳女子で 171mg/日、12～14 歳で 178mg/日である⁷⁶⁾。低摂取群のカルシウム蓄積量は、やや低いと同程度の値となっている。このことから、カルシウム摂取量に差異があっても、カルシウム吸収率を増加させることにより、骨量の増加に必要なカルシウム量は確保されている可能性が考えられる。カルシウムの摂取量の違いによるカルシウムの吸収率や蓄積量の変化は、男子でも報告

されており^{105,106)}、このことが、本研究のカルシウム摂取量の影響の弱さにつながったと考えられる。また、踵骨が測定部位であるという点も関係していると考えられる。踵骨が運動からの衝撃や体重負荷を受けやすい部位であることは明らかである。S.Iuliano-Burns らは、思春期の運動、カルシウム摂取量の影響について部位別の検討を行っている¹⁰⁷⁾。7～11歳の女子を、運動、非運動群に分け、この2群それぞれをさらに、カルシウム400 mg/日介入群とプラセボ群に分け、合計4群での大腿骨、脛骨、腓骨、上腕骨などの骨密度の比較を行った（総カルシウム摂取量平均値：介入群約1,000mg/日、プラセボ群約650～700mg/日）。その結果、大腿骨では運動とカルシウム摂取量からの相乗的な効果が認められたが、脛骨、腓骨では運動介入・非介入群間で、上腕骨ではカルシウム介入、非介入群間でのみ有意差が認められ、いずれも介入群が高値を示した。このことから、運動は体重負荷部位で特に有効となり、カルシウム摂取量は非体重負荷部位で有効になるとまとめている¹⁰⁷⁾。運動の影響を強く受ける踵骨では、カルシウム摂取量の影響が捉えにくかった可能性も考えられる。

また、本研究では非運動群、運動群別でも、カルシウム摂取量と骨指標との相関関係を検討したが、いずれの群でもカルシウム摂取量の影響はみられなかった。高校生女子のQUS法による骨指標への運動、食習慣などの生活習慣の影響について検討したIshikawa ら⁴⁵⁾は、運動有無と乳・乳製品摂取有無の組み合わせにより対象者を群分けし骨指標の比較を行っている。この結果、運動の取入れ、乳・乳製品の摂取の双方を行っている群では、乳・

乳製品摂取のみの群、または運動も乳・乳製品の摂取も行っていない群と比較して、SOS が有意に高値を示したとしている。乳・乳製品の摂取頻度での比較では、骨指標に差がみられていないことから、運動との組み合わせにより、乳・乳製品摂取の影響が発揮される可能性が示されている。本研究は1つの群が13名から最大98名と対象者数が少なかったことや、Ishikawa ら⁴⁵⁾の報告は乳・乳製品の摂取有無での解析に留まっていることが、本研究との結果の差異につながったことが考えられる。運動とカルシウム摂取量の骨量への影響に関する先行レビューでは、運動との組み合わせによる相乗的な効果は、1,000 mg /日以上カルシウム摂取量が必要であるとまとめられており³⁹⁾、本研究対象者の日常的な摂取量ではその効果は発揮できなかったことが推測される。

カルシウム摂取量の影響の弱さに関して、カルシウム吸収率や蓄積量の変化により摂取量の影響がみえにくくなっていることや、踵骨が測定部位であることが関連していることが考えられた。SA.Abrams ら¹⁰⁴⁾の報告ではカルシウム摂取量の平均値が1,000mg/日を超えている群では、低摂取群の約3倍のカルシウム蓄積量が観察されている。本研究対象者においても、カルシウム摂取量が高い生徒では蓄積量も高いことが考えられ、今後、カルシウム摂取量が高値の対象者を抽出しての骨指標の経年変化やPBM 時期の骨指標の比較を行い、カルシウム摂取量の QUS 法による骨指標への影響について明らかにする必要がある。また、可能であればカルシウム介入試験により、平均的なカルシウム摂取量の群との骨指標の比較検討も望まれる。

まとめ

男女共に、骨指標に対し運動の強い影響がみられた。PBM 時期や各年齢時の SOS には、早期から運動の正の影響がみられた。PBM 時期や各年齢時の BUA には、増加時期の中盤を迎えた時期以降で運動の正の影響がみられた。継続的な運動の取入れや、地面からの反発力を示す GRF が高値の運動を継続的に取入れることにより、PBM 時期の SOS は高値を示したが、PBM 時期の BUA では明確な結果が得られなかった。男女共に、カルシウム摂取量の影響は弱い結果となった。初経 1 年後の女子では、同時期の BUA に対し正の影響を示しており、この時期にカルシウム摂取量を増やすことが重要となることが示唆された。

結 論

日本において骨折リスク評価への活用が期待されている QUS 法による骨指標の思春期の経年変化や運動、カルシウム摂取量の影響についての検討を行った。

第一章では、この 2 つの骨指標の経年変化について、歴年齢である学年に基づいた解析と、生理学的年齢に基づいた年齢での解析を行った。学年に基づいた解析では、個人の身体発育の差が除去しえない点、身体発育の指標として用いた男子の MIA、女子の初経の平均的な時期は測定開始時の中学 1 年生であり、MIA、初経以前からの骨量の変化について検討することができない点で、思春期の骨指標の変化を捉えるには限界があった。このことから、男子では MIA、女子では初経を基にした検討を行うことにより、SOS、BUA の 2 つの骨指標の特徴をより詳しく捉えることができた。骨密度の指標とされる SOS は、思春期の経年変化に鋭敏でないと報告されていたが、緩慢ではあるが思春期の増加がみられた。骨質の指標であるとされる BUA は急増期を経て PBM に達した。

第二章では、第一章での SOS、BUA の経年変化を踏まえ、運動とカルシウム摂取量の影響について検討した。第二章でも、学年と生理学的年齢での解析を行い結果を比較した。男子では双方の結果がほぼ一致し、女子では学年での解析では運動頻度が重要となる時期を明らかにすることができなかった。このことから、骨指標とライフスタイルとの関連を明らかにする際にも生理学的年齢を基にした解析が必要であると考えられた。SOS、BUA 共に運動の影響が大きかったが、影響が表れる時期には差異がみ

られ、継続的な運動の影響も SOS に対してのみ有効となった。カルシウム摂取量の影響は、SOS、BUA とともに小さいことが示された。

本研究の目的であった 2 点について、まとめる。

1. QUS 法による骨指標の経年変化を捉えること

骨密度 (SOS) は、男子では MIA 頃、女子では初経以前に成人の基準値に達し、その後は緩慢な増加にとどまり、最大骨量 (Peak Bone Mass) に達する。骨梁の分布状態、微細構造などの骨質 (BUA) は、男子は MIA 後 3 年間、女子は初経後 2 年間で急激な増加を示し PBM に達する。

PBM 時期は、男子では MIA から 4 年後頃、女子では初経から 3 年後と考えられる。

2. 骨指標への運動の取入れやカルシウム摂取量の影響が特に重要となる時期を明らかにすること

骨密度 (SOS)、骨質 (BUA) は共に運動の影響をより強く受けていた。運動の影響が表れる時期は、骨密度 (SOS) では男女共に MIA 頃の早期からであった。骨質 (BUA) では増加期間が中盤を迎えた時期以降、男子は MIA2 年後以降、女子は初経 2 年後以降であった。骨密度 (SOS) への影響が有意となる時期を考慮すると、男子では MIA と同時期頃から、女子では初経の時期からの運動の取入れが重要となる。特に骨密度 (SOS) を高めるには継続的に運動を行うことが重要となり、その中でもジャンプやターン、スプリントなどの地面からの反発力の強い動作を含む、

バスケットボールやバレーボールのような運動が有効である。

カルシウム摂取量の影響は小さく、女子の初経 1 年後の時期で、同時期の骨質（BUA）に対してのみ認められた。この時期に、カルシウム摂取量を高めることが、骨質（BUA）にとって必要である。

本研究の限界点として、特定の中高一貫校の生徒のみを対象としていることが挙げられる。また今回は、対象者数の問題から、継続的に測定を行っていない生徒も含めての解析となった。本研究結果を裏付けるには、さらに対象者を増やし、同一対象者での測定の結果からの経年変化の検討が必要であるといえる。

本研究は長期継続的な測定結果に基づいたものであり、現在まで報告の限られていた日本人の思春期の QUS 法による骨指標の経年変化が明らかとなった。QUS 法では、異なる指標である SOS と BUA を同時に測定できるため、思春期の骨の経年変化を評価するのに有効な機器である。骨量、骨密度の指標であるといわれる SOS と、骨質の指標であるといわれる BUA では、経年変化や身体指標、運動、カルシウム摂取量の影響が異なることが明らかとなり、2 つの骨指標は身体の発育時期により、独立した評価が必要であることが示唆された。本研究の結果は、今度、骨粗鬆症予防や骨折リスク評価に向けた基準値の設定に活用していくための重要なデータである。

謝 辞

本研究データは、2000 年より 11 年間継続している都内中高一貫校での調査に基づいております。

この調査にご協力、ご参加を賜りました対象校の全ての生徒の皆様、保護者の皆様に心から感謝申し上げます。本調査の趣旨へのご理解、ご協力いただきました中学校校長 悉知弘一先生、高等学校校長 井上登先生、長期間に渡り、調査の実施、円滑な運営のために、多くのご協力、ご配慮いただきました、林俊雄理事長、長島庫子先生、中平麻美先生、井上真理子先生、ならびに諸先生方に、心より御礼申し上げます。

指導教官として、ご指導いただきました女子栄養大学 栄養生理学研究室 上西一弘教授に深謝致します。長きに渡り、様々なことに取り組む機会を与えていただき、研究に対する真摯な姿勢、多面的な視点を持つことをお教えいただきましたことに、厚く御礼申し上げます。

研究全般にわたり、懇切丁寧なご指導、ご助言をいただきました女子栄養大学 給食・栄養管理研究室 石田裕美教授に心より感謝し、御礼申し上げます。

本研究へのご助言、ご支援をいただきました元女子栄養大学 給食・栄養管理研究室 縄田敬子助教、女子栄養大学 給食・栄養管理研究室 富松理恵子助教、伊藤早苗助教、猪瀬多巳江先生、森美樹助手、栄養生理学研究室 大学院修了生 虎石真弥さん、給食・栄養管理研究室 大学院修了生 野原健吾さん、富口由紀子さんに、心から感謝申し上げます。研究生活を支えてくれました栄養生理学研究室 修士 2 年生 渡辺優奈さん、修士 1 年生 岡本奈

緒子さん、渡部汐帆香さん、調査測定の実施、結果返却作業までを共に頑張って参りました栄養生理学研究室、給食・栄養管理研究室 平成 21、22、23 年度卒業研究生の皆様に心から感謝致します。

11 年間継続する本調査には、女子栄養大学 栄養生理学研究室、給食・栄養管理研究室、発育健康学研究室の多くの先生方、大学院生、卒業研究生、研究生、職員の方々が関わって参られました。全てのスタッフの方々に心から御礼申し上げますと共に、この膨大かつ、貴重なデータをまとめる機会をいただけたことに、心から感謝申し上げます。

最後に、私の研究を理解し信じ、いつも最大の支援をしてくださいました両親、いつも笑顔で支えてくださいました友人達に、心から感謝し、謝辞とさせていただきます。

参考文献

- 1) 内閣府編：23 年度版 高齢社会白書． p2-7，印刷通販，東京（2011）
- 2) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会（代表：折茂肇）編：骨粗鬆症の診断 診断基準． 骨粗鬆症の予防と治療のガイドライン 2006 年版． p31-32，ライフサイエンス出版，東京（2006）
- 3) 骨粗鬆症財団 監修：骨粗鬆症とは． 老人保健法による骨粗鬆症予防マニュアル 第 2 版． p1-17，日本医事新報社，東京（2001）
- 4) Suzuki N., Ogikubo O., Hansson T.: The prognosis for pain, disability, activities of daily living and quality of life after an acute osteoporotic vertebral body fracture: its relation to fracture level, type of fracture and grade of fracture deformation. *Eur Spine J*, 18 (1), 77-88 (2009)
- 5) 鈴木隆雄，吉田英世，石崎達郎：骨粗鬆症の臨床医学研究の進歩 疫学 発生率，有病率，治療状況，予後．日本臨床，56（6），1563-1568（1998）
- 6) 藤原佐枝子：腰椎・大腿骨骨塩量カットオフ値を使った骨粗鬆症有病率の検討． *Osteoporps Jpn*, 5: p223-226.（1997）
- 7) 山本逸雄：骨粗鬆症人口の推定． *Osteoporps Jpn*, 7, 10-11（1999）
- 8) 総務省：平成 22 年国勢調査 人口等基本集計（男女・年齢・配偶関係，世帯の構成，住居の状態など） 全国結果．年齢（各歳），男女別人口，年齢別割合，平均年齢及び年齢中位数（総

数及び日本人)－全国，全国市部，全国郡部，都道府県，20
大都市．

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001034991&cycode=0> . <アクセス：2011/11/21>

- 9) 吉村典子：骨粗鬆症の疫学－有病率，発生率，危険因子．
医学のあゆみ，221（1），24-30．（2007）
- 10) 藤原佐枝子：骨粗鬆症の頻度・発生原因・危険因子 骨粗
鬆症と臨床検査．臨床検査，51（6），575-580（2007）
- 11) 藤原佐枝子：骨粗鬆症の疫学と危険因子．日本内科学会雑
誌，94（4），614-618（2005）
- 12) Cooper C., Harvey N., Javaid K., Hanson M., Dennison
E.: Growth and bone development. *Nestle Nutr Workshop
Ser Pediatr Program.* 61, 53-68 (2008)
- 13) Davies JH., Evans BA., Gregory JW.: Bone mass
acquisition in healthy children. *Arch Dis Child*, 90(4),
373-8 (2005)
- 14) Hernandez CJ., Beaupré GS., Carter DR.: A theoretical
analysis of the relative influences of peak BMD,
age-related bone loss and menopause on the development of
osteoporosis. *Osteoporos Int*, 14(10), 843-7 (2003)
- 15) Cooper C., Westlake S., Harvey N., Javaid K., Dennison
E., Hanson M.: Review: developmental origins of
osteoporotic fracture. *Osteoporos Int*, 17(3), 337-47. (2006)
- 16) Bonjour JP., Chevalley T., Ferrari S., Rizzoli R.: The
importance and relevance of peak bone mass in the

- prevalence of osteoporosis. *Salud Publica Mex*, 51(1), S5-17 (2009)
- 17) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会（代表：折茂肇）編：骨粗鬆症の診断 骨量測定．骨粗鬆症の予防と治療のガイドライン 2006 年版．p19-21, ライフサイエンス出版, 東京（2006）
- 18) Njeh CF., Boivin CM., Langton CM.: The role of ultrasound in the assessment of osteoporosis: a review. *Osteoporos Int*, 7(1), 7-22 (1997)
- 19) Langton CM.: The role of ultrasound in the assessment of osteoporosis. *Clin Rheumatol*, 13(1), 13-7 (1994)
- 20) Langton CM., Njeh CF.: The measurement of broadband ultrasonic attenuation in cancellous bone--a review of the science and technology. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, 55(7), 1546-54 (2008)
- 21) 曾根照喜: QUS の原理. QUS 使用の実際. *Osteoporosis Jpn.* 13(1) (日本骨粗鬆症学会, 骨強度測定機器の評価と臨床応用に関する委員会 編), p21-23, ライフサイエンス出版株式会社, 東京（2005）
- 22) 正木秀樹, 三木隆己: 診断・検査 骨粗鬆症の診断--日本のガイドライン. 臨床検査, 51 (6) , 581-586 (2007)
- 23) 伊東昌子: 臨床応用－臨床的意義－. QUS 使用の実際 *Osteoporosis Jpn.* 13(1) (日本骨粗鬆症学会, 骨強度測定機器の評価と臨床応用に関する委員会 編), p36-38, ライフサイエンス出版株式会社, 東京（2005）

- 24) Kang C., Speller R.: Comparison of ultrasound and dual energy X-ray absorptiometry measurements in the calcaneus. *Br J Radiol*, 71(848), 861-7 (1998)
- 25) Cepollaro C., Gonnelli S., Pondrelli C., Martini S., Montagnani A., Rossi S., et al.: The combined use of ultrasound and densitometry in the prediction of vertebral fracture. *Br J Radiol*, 70(835), 691-6 (1997)
- 26) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会（代表：折茂肇）編：骨粗鬆症の診断 診断基準．骨粗鬆症の予防と治療のガイドライン 2006 年版．p2-3, ライフサイエンス出版, 東京（2006）
- 27) 小塚和人，長塚正晃，茂呂信高，藤原紹生，白土なほ子，奥山大輔ほか：超音波測定法による思春期男女の骨密度の年次変化の検討．日本産科婦人科学會雑誌，52（4），669-675（2000）
- 28) 楠知子，広田孝子，石丸香織，竹田千奈美，広田憲二：思春期生徒における骨密度の増加スパートの経年観察と運動及び食生活の影響．デサントスポーツ科学，22，178-185（2001）
- 29) 古泉佳代，金子佳代子．中学生の身体特性および踵骨骨量の 1 年間の変化．発育発達研究，36，1-10，（2007）
- 30) 和田誠之，朝日茂樹，三田禮造，木田和幸，藤哲：若年女子における初経開始前後での骨密度,骨代謝に関する研究 (CONTRIBUTION 骨粗鬆症の診断と治療). *Osteoporosis Jpn*, 13（2）, 477-483（2005）
- 31) 松枝睦美，高橋香代，清野佳紀：思春期の骨強度獲得に与

- える成長・成熟と生活習慣の影響について－男女の比較－．学校保健研究, 43 (3) , 199-210 (2001)
- 32) 西野治身, 堀井裕子, 田中朋子, 山上孝司, 松倉知晴, 鏡森定信: 思春期児童の骨ターンオーバーに関する縦断的研究 : 身体発育および第二次性徴の影響．日本公衆衛生雑誌, 46 (1) , 47-60 (1999)
- 33) 磯智香子, 北川淳, 永田瑞穂, 中原凱文: 女子中学生の成熟度と骨代謝に関する検討．日本生理人類学会誌, 9 (1) , 1-6 (2004)
- 34) Sasaki M., Motegi E., Soejima U., Nomura M., Kaneko Y., Shimizu T., et al.: Appraisal of bone maturity age derived from broadband ultrasonic attenuation in Japanese children and adolescents. *Bull Tokyo Dent Coll*, 44(2), 37-42 (2003)
- 35) Soejima U., Motegi E., Sasaki M., Nomura M., Kaneko Y., Shimizu T., et al.: Broadband ultrasonic attenuation of children and young adults in Japan. *Bull Tokyo Dent Coll*, 43(1), 1-5 (2002)
- 36) 塚原典子, 佐藤和人, 江澤郁子: 成長期女子の成熟度を加味した骨形成の評価に関する検討 : 超音波法の有効性．新潟医療福祉学会誌, 4 (1) , 4-13 (2004)
- 37) 茂呂信高, 長塚正晃, 藤原紹生, 白土なほ子, 小塚和人, 奥山大輔ほか.: 思春期女子の超音波を用いた骨密度測定．日本産科婦人科学會雑誌, 50 (6) , 333-339 (1998)
- 38) Bonjour JP., Chevalley T., Rizzoli R., Ferrari S.:

- Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med Sport Sci*, 51, 64-80 (2007)
- 39) Vicente-Rodríguez G., Ezquerro J., Mesana MI., Fernández-Alvira JM., Rey-López JP., Casajus JA., et al.: Independent and combined effect of nutrition and exercise on bone mass development. *J Bone Miner Metab*, 26(5), 416-24 (2008)
- 40) Weaver CM.: Calcium requirements of physically active people. *Am J Clin Nutr*, 72(2), 579S-84S (2000)
- 41) Ondrak KS , Morgan DW.: Physical activity, calcium intake and bone health in children and adolescents. *Sports Med*, 37(7), 587-600 (2007)
- 42) French SA, Fulkerson JA, Story M. Increasing weight-bearing physical activity and calcium intake for bone mass growth in children and adolescents: a review of intervention trials. *Prev Med*, 31(6), 722-31 (2000)
- 43) 伊藤千夏, 古泉佳代, 渥美圭子, 鈴木智恵美, 金子佳代子: 中学生における骨量と生活習慣および体力との関連. 日本栄養・食糧学会誌, 60, 53-59 (2007)
- 44) Hirota T., Kusu T., Hirota K.: Improvement of nutrition stimulates bone mineral gain in Japanese school children and adolescents. *Osteoporos Int*, 16(9), 1057-64 (2005)
- 45) Ishikawa-Takata K., Ohta T.: Relationship of lifestyle factors to bone mass in Japanese women. *J Nutr Health*

Aging, 7(1), 44-53 (2003)

- 46) 高石昌弘, 樋口満, 小島武次(共著): 身体発育研究の方法論. からだの発達－身体発達学へのアプローチ, p28-50, 大修館書店, 東京 (1981)
- 47) Uenishi K, Ishida H, Nakamura K.: Development of a simple food frequency questionnaire to estimate intakes of calcium and other nutrients for the prevention and management of osteoporosis. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 54(1), 25-9 (2008)
- 48) 高石昌弘: 思春期身体発育のパターンに関する研究-第 1 報 男子の身長発育速度および体重発育速度について. 小児保健研究, 26 (2) , 57-63 (1968)
- 49) 高石昌弘, 大森世都子: 思春期身体発育のパターンに関する研究-第 3 報 身長発育速度曲線のパターン 特に思春期急増の開始と発育終了の年齢について. 小児保健研究, 29 (6) , 259-263 (1971)
- 50) Tanner JM., Whitehouse RH.: Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Arch Dis Child*, 51(3), 170-9 (1976)
- 51) Karlberg J., Kwan CW., Gelander L., Albertsson-Wikland K.: Pubertal growth assessment. *Horm Res*, 60(1), 27-35 (2003)
- 52) 工藤陽子, 庄本正男, 武田真太郎, 横尾能範, 佐守信男: 身長の最大発育年齢からみた我が国における発育促進減少の

- 推移．日本衛生学雑誌，31，378-385（1976）
- 53) Matsumoto K., Miyata H., Mino T., Takeda S.: A Calculation Method of the Maximum Growth age in Height. *Wakayama Med*, 21, 79-86 (1978)
- 54) 松本健治，三野耕，小西博喜，白石龍，吉田義昭，武田真太郎生：各種の最大発育年齢算出法の比較研究--Harpenden Growth Study の資料を用いて．日本衛生学雑誌，43（3），749-753（1988）
- 55) 高石昌弘，大森世都子，宮部黎子，岩本幸弓：思春期身体発育のパターンに関する研究 第2報 女子の身長発育速度、体重発育速度および初経年齢について．小児保健研究，26(6)，280-285（1969）
- 56) Tanner JM.: Normal growth and techniques of growth assessment. *Clin Endocrinol Metab*, 15(3), 411-51 (1986)
- 57) 朝田芳信，石川広己，植田誠治，内尾祐司，宇津見義一，衛藤隆，ほか：学校保健の動向 平成22年度版．（内藤昭三．赤坂守人．勝野真吾．高石昌弘．松野智子．弓倉整 編）p15-22，財団法人 日本学校保健会出版部，東京（2010）
- 58) 萩野浩．QUS の基準値．QUS 使用の実際 *Osteoporosis Jpn*. 13(1)（日本骨粗鬆症学会，骨強度測定機器の評価と臨床応用に関する委員会 編），p31-38，ライフサイエンス出版株式会社，東京（2005）
- 59) Liu W., Xu CL., Zhu ZQ., Wang W., Han SM., Zu SY., et al.: Characteristics of calcaneus quantitative ultrasound normative data in Chinese mainland men and women.

- Osteoporos Int*, 17(8), 1216-24 (2006)
- 60) Zhu ZQ., Liu W., Xu CL., Han SM., Zu SY., Zhu GJ.:
Ultrasound bone densitometry of the calcaneus in healthy
Chinese children and adolescents. *Osteoporos Int*, 18(4),
533-41 (2007)
- 61) Alwis G., Rosengren B., Nilsson JA., Stenevi-Lundgren
S., Sundberg M., Sernbo I., et al.: Normative calcaneal
quantitative ultrasound data as an estimation of skeletal
development in Swedish children and adolescents. *Calcif
Tissue Int*, 87(6), 493-506 (2010)
- 62) 片平弦一郎，稲垣慶正，辻正裕，松井秀章，酒井俊明：SXA
法による健常日本人男女の踵骨々密度の検討－青少年期よ
り老年期まで－．日本骨形態計測学会雑誌，5（2），109-115
（1995）
- 63) 田中弘之：思春期発来と骨代謝．*CLINICAL CALCIUM*,
12（9），1252-1257（2002）
- 64) 中村利孝．ヒトの生涯における骨代謝．カルシウム その
基礎・臨床・栄養（社団法人 全国牛乳普及協会，西沢良記．
白木正孝．江澤郁子．広田孝子 編），p122-127，ライフサイ
エンス出版株式会社，東京（1999）
- 65) Lim SK., Lee NH., Lee JH., Choi MS., Chung YS., Ahn
KJ., et al.: Peak bone mass and affecting factors in Korean
women. *Yonsei Med J*, 34(1), 57-62 (1993)
- 66) 難波範行，大藺恵一：初経前後の骨発育のサポート．
CLINICAL CALCIUM, 21（9），1315-1321（2011）

- 67) Merimee TJ., Russell B., Quinn S., Riley W.: Hormone and receptor studies: relationship to linear growth in childhood and puberty. *J Clin Endocrinol Metab*, 73(5), 1031-7 (1991)
- 68) 河村直洋, 鄭雄一: 骨の成長を司るシグナルー軟骨骨化と結合組織内骨化 (高柳広 編), p32-41, 羊土社, 東京 (2010)
- 69) 高石昌弘, 樋口満, 小島武次(共著): 身体発育研究の方法論. からだの発達ー身体発達学へのアプローチ, p73-91, 大修館書店, 東京 (1981)
- 70) Marshall WA.: The relationship of puberty to other maturity indicators and body composition in man. *J Reprod Fertil*, 52(2), 437-43 (1978)
- 71) Kim JY., Oh IH., Lee EY., Oh CM., Choi KS., Choe BK., Yoon TY., Shin SH., Choi JM.: The relation of menarcheal age to anthropometric profiles in Korean girls. *J Korean Med Sci*, 25(10), 1405-10 (2010)
- 72) Vink EE., van Coeverden SC., van Mil EG., Felius BA., van Leerdam FJ., Delemarre-van de Waal HA.: Changes and tracking of fat mass in pubertal girls. *Obesity*, 18(6), 1247-51 (2010)
- 73) 横内樹里, 安藤大輔, 小野悠介, 尾崎芳雅, 浅川和美, 北川淳, 中原凱文, 小山勝弘: 女子大学生の踵骨超音波計測値と体格の関係, 体力科学. 52(5), 639-646 (2003)
- 74) 横内樹里, 安藤大輔, 小野悠介, 尾崎芳雅, 浅川和美, 北川淳, ほか: 女子大学生における 2 年間の骨量変化に対する体

- 格・生活習慣因子の影響．体力科学，55（3），331-340（2006）
- 75) 文部科学省：平成 22 年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査結果【概要】．
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/__icsFiles/afieldfile/2010/12/16/1300085_1.pdf. <アクセス：2011/11/21>
- 76) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会：日本人の食事摂取基準 2010 年版．p195-200，第一出版株式会社，東京（2009）
- 77) 厚生労働省：平成 21 年国民健康・栄養調査報告．第 1 部 栄養素等摂取状況調査の結果．
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h21-houkou-07.pdf>. <アクセス：2011/11/26>
- 78) 厚生労働省：平成 21 年国民健康・栄養調査報告．第 3 部 生活習慣調査の結果．
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h21-houkou-09.pdf>. <アクセス：2011/11/26>
- 79) Groothausen J, Siemer H, Kemper HC, Twisk WR, Welten DC.: Influence of Peak Strain on Lumbar Bone Mineral Density: An Analysis of 15-Year Physical Activity in Young Males and Females. *Pediatr Exerc Sci*, 9, 159-173 (1997)
- 80) Kemper HC., Bakker I., Twisk JW., van Mechelen W.: Validation of a physical activity Questionnaire to Measure the Effect of Mechanical Strain on bone mass. *Bone*, 30(5),

799-804 (2002)

- 81) Kannus P., Haapasalo H., Sankelo M., Sievänen H., Pasanen M., Heinonen A., Oja P., Vuori I.: Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Ann Intern Med*, 123(1), 27-31 (1995)
- 82) Haapasalo H., Kannus P., Sievänen H., Heinonen A., Oja P., Vuori I.: Long-term unilateral loading and bone mineral density and content in female squash players. *Calcif Tissue Int*, 54(4), 249-55 (1994)
- 83) Bass S., Pearce G., Bradney M., Hendrich E., Delmas PD., Harding A., Seeman E.: Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res*, 13(3), 500-7 (1998)
- 84) Hara S., Yanagi H., Amagai H., Endoh K., Tsuchiya S., Tomura S.: Effect of physical activity during teenage years, based on type of sport and duration of exercise, on bone mineral density of young, premenopausal Japanese women. *Calcif Tissue Int*, 68(1), 23-30 (2001)
- 85) Tamaki J., Ikeda Y., Morita A., Sato Y., Naka H., Iki M.: Which element of physical activity is more important for determining bone growth in Japanese children and adolescents: the degree of impact, the period, the frequency, or the daily duration of physical activity? *J Bone Miner*

Metab, 26(4), 366-72 (2008)

- 86) Kemper HC., Twisk JW., van Mechelen W., Post GB., Roos JC., Lips P.: A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: The Amsterdam Growth And Health Longitudinal Study. *Bone*, 27(6), 847-53 (2000)
- 87) 長塚正晃, 齋藤裕, 白土なほ子, 藤原紹生, 小塚和人, 奥山大輔, ほか: 思春期女子の初経発来時期と身体発育、血中遊離型 Iinslin-like growth factor- I 、性ステロイドホルモン値との関係. 日本産科婦人科学会雑誌, 51(9), 777-783(1999)
- 88) Sloboda DM., Hart R., Doherty DA., Pennell CE., Hickey M.: Age at menarche: Influences of prenatal and postnatal growth. *J Clin Endocrinol Metab*, 92(1), 46-50 (2007)
- 89) Tam CS., de Zegher F., Garnett SP., Baur LA., Cowell CT.: Opposing influences of prenatal and postnatal growth on the timing of menarche. *J Clin Endocrinol Metab*, 91(11), 4369-73 (2006)
- 90) Sampei MA., Novo NF., Juliano Y., Colugnati FA., Sigulem DM.: Anthropometry and body composition in ethnic Japanese and Caucasian adolescent girls: considerations on ethnicity and menarche. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 27(9), 1114-20 (2003)
- 91) Chevalley T., Rizzoli R., Hans D., Ferrari S., Bonjour JP.: Interaction between calcium intake and menarcheal

- age on bone mass gain: an eight-year follow-up study from prepuberty to postmenarche. *J Clin Endocrinol Metab*, 90(1), 44-51 (2005)
- 92) Malina RM.: Physical activity and training: effects on stature and the adolescent growth spurt. *Med Sci Sports Exerc*, 26(6), 759-66 (1994)
- 93) 藤井勝紀: 生物学的パラメーターとしての身長 of 思春期 : ピーク年齢に関する発育学的検証論議. 愛知工業大学研究報告. A, 基礎教育センター論文集, 40, 41-45 (2005)
- 94) 富田教代, 秋坂真史: 女子学生の骨強度と食習慣および運動習慣との関連性. 教育医学, 52 (4) , 212-224 (2007)
- 95) Abrams SA., Stuff JE.: Calcium metabolism in girls: current dietary intakes lead to low rates of calcium absorption and retention during puberty. *Am J Clin Nutr*, 60(5), 739-43 (1994)
- 96) Mauras N., Haymond MW., Darmaun D., Vieira N.E., Abrams SA.: Yergey AL.: Calcium and protein kinetics in prepubertal boys. Positive effects of testosterone. *J Clin Invest*, 93(3), 1014-9 (1994)
- 97) Warren Tak Keung Lee.: Calcium requirements for Asian Children and adolescents. *Asia Pac J Clin Nutri*, 17(1), 33-36 (2008)
- 98) Wosje KS, Specker BL. Role of calcium in bone health during childhood. *Nutr Rev*. 2000; 58(9):253-68.
- 99) Ryan-Harshman M., Aldoori W.: Calcium and optimal

- bone health. *Can Fam Physician*, 51,1205-6 (2005)
- 100) Weaver CM., Proulx WR., Heaney R.: Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr*, 70(3 Suppl), 543S-548S (1999)
- 101) 上西一弘, 江澤郁子, 梶本雅俊, 土屋文安: 日本人若年成人女性における牛乳, 小魚 (ワカサギ、イワシ), 野菜 (コマツナ, モロヘイヤ, オカヒジキ) のカルシウム吸収率. 日本栄養・食糧学会誌, 51 (5), 259-266 (1998)
- 102) Fiorito LM., Mitchell DC., Smiciklas-Wright H., Birch LL.: Girls' calcium intake is associated with bone mineral content during middle childhood. *J Nutr*, 136(5), 1281-6 (2006)
- 103) C.Molgaard.: The Influence of Calcium intake and Physical Activity on Bone Mineral content and bone Size in Healthy Children and adolescents. *Osteo Int*, 12, 887-894 (2001)
- 104) Abrams SA., Griffin IJ., Hicks PD., Gunn SK.: Pubertal girls only partially adapt to low dietary calcium intakes. *J Bone Miner Res*, 19(5), 759-63 (2004)
- 105) Abrams SA., Grusak MA., Stuff J., O'Brien KO.: Calcium and magnesium balance in 9-14-y-old children. *Am J Clin Nutr*, 66(5), 1172-7 (1997)
- 106) Braun M., Martin BR., Kern M., McCabe GP., Peacock M., Jiang Z., Weaver CM.: Calcium retention in adolescent boys on a range of controlled calcium intakes. *Am J Clin*

Nutr. 84(2), 414-8 (2006)

- 107) Iuliano-Burns S., Saxon L., Naughton G., Gibbons K., Bass SL.: Regional specificity of exercise and calcium during skeletal growth in girls: a randomized controlled trial. *J Bone Miner Res*, 18(1), 156-62 (2003)

資料1

日常生活に関するアンケート

運動状況、初経についての質問項目のみ抜粋

<中学生用>

質問1. あなたは現在、学校でのクラブ活動や、地域のスポーツクラブなどで定期的に運動をしていますか？

※特定の種目が決まっている場合は記入してください。

(例：陸上 短距離)、(例：陸上 幅跳び)

- ①. はい
種目 ()
頻度 (週に) 日くらい)
- ②. いいえ

質問4 1. 初潮は何年生の何月のときでしたか？

- ①. (小学・中学) 年生 () 月のとき
- ②. まだ

<高校生用>

質問1. あなたは現在、学校でのクラブ活動や、地域のスポーツクラブなどで定期的に運動をしていますか？

※特定の種目が決まっている場合は記入してください。

(例：陸上 短距離)、(例：陸上 幅跳び)

- ①. はい
種目 ()
頻度 (週に) 日くらい)
- ②. いいえ

質問4 3. 初潮は何年生の何月のときでしたか？

- ①. (小学・中学・高校) 年生 () 月のとき
- ②. まだ