

研究ノート

踵骨骨強度のピーク後の変化と身長、体重およびBMIの変化の比較

岡野亮介*1

キーワード：踵骨骨強度、身長、体重、BMI

I. 目的

少子高齢化が進んでいる近年において、骨粗鬆症の急増が社会問題となっている。骨粗鬆症の発症には、運動習慣^{1,2)}、食習慣^{3,4,5)}、体格(身長、体重およびBMI)^{6,7)}、体脂肪率・体脂肪量^{8,9)}、月経状態^{10,11)}、喫煙¹²⁾、飲酒¹²⁾、ストレス¹³⁾、日光被曝量¹⁴⁾、自律神経系の緊張状態^{15,16)}、ホモシステイン¹⁷⁾および遺伝¹⁸⁾などが深く関与している。このような現状にあって、骨量低下の早期発見・早期予防に努め、ピークボーンマスを高めることの必要性が叫ばれている^{1,19,20)}。

筆者はこれまで小学校1年生から80歳までの健康な男女を対象に、踵骨骨強度の発育特性と男女差および生活習慣との関連性について追究してきた^{21~26)}。小学生では、踵骨骨強度に対して形態、体脂肪率および運動習慣がある程度影響を与え、初経の発来は非常に大きな効果をもたらすことを示した²¹⁾。中学生では、運動習慣と食習慣の踵骨骨強度へ及ぼす効果は不明瞭であったが、初経発来の効果は小学生と同様明らかであった²²⁾。高校生では運動習慣と食習慣の踵骨骨強度に対する重要性および小学校段階で初経の発来があり、高校の段階で両習慣が良好な場合の踵骨骨強度に対する効果の大きさが示された²³⁾。大学生では、男子学生については運動習慣、食習慣、喫煙習慣および飲酒習慣などのライフスタイルが良好であるほど踵骨骨強度に好影響を与えていることが示された²⁴⁾。女子学生については身体活動を習慣的に行い筋肉量が多く、また正常な月経状態であることが踵骨骨強度の維持・向上に有利であることが確認された²⁵⁾。ピーク値について男性は高等学校2年生～大学1年生、女性は高等学校

2年生にみられ、その後男女とも緩徐に低下していくが、50歳以降は男性より女性の方が急峻に低下することを報告した²⁶⁾。

また、体格や体組成と骨密度との関連性については、他の多くの研究者が追究してきており、筋肉量が多くて体重が重い方がより骨密度は高いということが示唆されている^{27~34)}。

しかしながら、上述の関連性はある一定の年齢集団における追究であって、異集団の間でその関連性が比較されることはなかった。さらに、骨密度あるいは骨強度が、ピークとなった後でその後の変動について、身長や体重の変動と対比されることもなかった。

本研究の目的は、前述の先行研究における知見の欠如を反省材料と捉え、男女の健康人を対象として、踵骨骨強度が、ピークとなった後の変動の特徴およびその変動と、身長、体重およびBMI{(体重)(kg)/身長(m)²}の変動と対比して、踵骨骨強度、身長および体重の変動の特徴を明らかにすることである。

II. 方法

A. 被検者

被検者は小学校1年生から80歳までの健康な男女2737名(男性1033名、女性1704名)であった(内訳は表1)。

B. 測定項目

踵骨骨強度(アロカ社製超音波骨評価装置AOS-100使用、右踵骨を測定)、身長および体重を測定した。踵骨骨強度の評価は、踵骨部分を透過する超音波の速度(SOS)と透過指標(超音波が踵骨を透過するときの

*1 至誠館大学 現代社会学部

減衰の周波数特性に関連する指標：TI）より求められた音響的骨評価値（OSI： $TI \times SOS^2 / 10^6$ ）より行った。

C. 統計処理

相関係数は Pearson の積率相関係数を用い、相関係数の比較については Z 変換を施して行った。2 群間における直線回帰係数の差の検定を行った³⁵⁾。いずれの場合も危険率 5%未満をもって有意とした。

III. 結果

踵骨骨強度と年齢との直線回帰係数は、ピーク（男性：大学 1 年生時、女性：高校 2 年生時）後から 49 歳までは男性の方が女性より有意に大きな負の値であり、50 歳～80 歳までは女性の方が男性より有意に大きな負の値であった（図 1）。

女性における踵骨骨強度と年齢との直線回帰係数は、ピーク（高校 2 年生時）後から 49 歳までの値 (-0.0062) より、50 歳から 80 歳までの値 (-0.0188) の方が有意に大きな負の値であった（図 1）。

21～80 歳までの年齢と身長、体重および踵骨骨強度との直線回帰式を図 2～図 5 に示した。直線回帰式より算出された 21～80 歳までの平均減少率は、男女とも踵骨骨強度の方が身長および体重のそれらより大きかった（男性：踵骨骨強度平均減少率；18.80%，身長平均減少率；6.65%，体重平均減少率；7.31% 女性：踵骨骨強度平均減少率；25.95%，身長平均減少率；8.25%，体重平均減少率；0.53%）。

各年代別の身長、体重、BMI および OSI の平均値±標準偏差を表 2 に示した。36～50 歳の値を基準とした時の 66～80 歳の値の平均変化率は身長、体重および BMI と比較して、OSI の平均変化率は男女とも負の方向に大きい値であった。51～65 歳の時の平均変化率においても上述と同様の傾向であった。

身長と踵骨骨強度との相関係数は、男性では 6～20 歳および 21～35 歳の集団で、女性では 6～20 歳、36～50 歳および 51～65 歳の集団で有意な水準が認められたが、他の年齢集団においては有意な水準はなかつ

た。なお、男性においては 21～35 歳の年齢集団の値の方が 66～80 歳の年齢集団の値より有意に高く、女性においては 21～35 歳の年齢集団の値の方より 36～50 歳の年齢集団の値の方が有意に高かった。

体重と踵骨骨強度との相関係数は、男性では 51～65 歳の集団以外の年齢の集団においてすべて有意な水準が認められた。女性では、すべての年齢の集団において有意な水準が認められた。

BMI と踵骨骨強度との相関係数は、男性では 36～50 歳および 51～65 歳の年齢の集団以外ではすべて有意な水準が認められた。女性では、すべての年齢の集団において有意な水準が認められた（図 6～図 11）。

また、6～20 歳までの年齢集団における相関係数を基準としてその他の年齢集団の値を比較した時、身長、体重および BMI は男女とも、21～35 歳、36～50 歳、51～65 歳および 66～80 歳の各集団における値より有意に高かった（男性 BMI における 66～80 歳に対する比較は除く）（図 6～図 11）。

体重および BMI と踵骨骨強度との相関係数については、男女とも 66～80 歳の値は 21 歳以降においてやや高い値を示し、BMI は 36～50 歳の値より有意に高かった（図 8～図 11）。

表1 被検者の学年別・年代別の数

学年・年代	男性	女性	男女計
小学1年生	53	50	103
小学2年生	51	40	91
小学3年生	44	49	93
小学4年生	49	48	97
小学5年生	48	49	97
小学6年生	54	41	95
中学1年生	39	34	73
中学2年生	37	35	72
中学3年生	35	35	70
高校1年生	87	77	164
高校2年生	31	26	57
高校3年生	44	38	82
大学1年生	42	48	90
大学2年生	59	45	104
21-29歳	62	101	163
30-39歳	67	214	281
40-49歳	66	291	357
50-59歳	86	283	369
60-69歳	50	145	195
70-79歳	28	52	80
80歳	3	1	4
合計	1,035	1,702	2,737

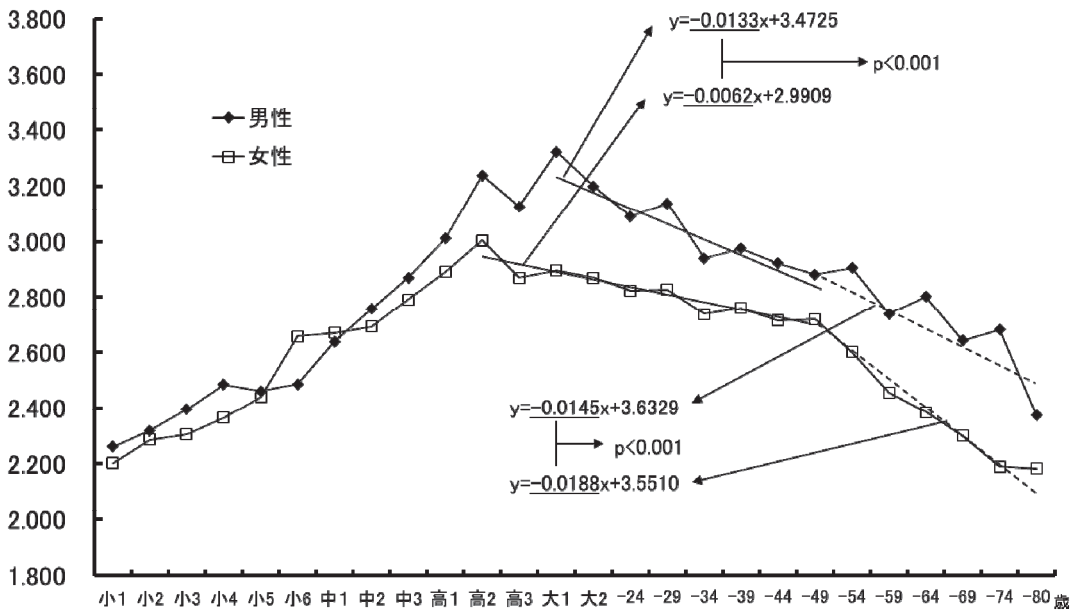


図1 OSI と年齢の直線回帰係数の比較

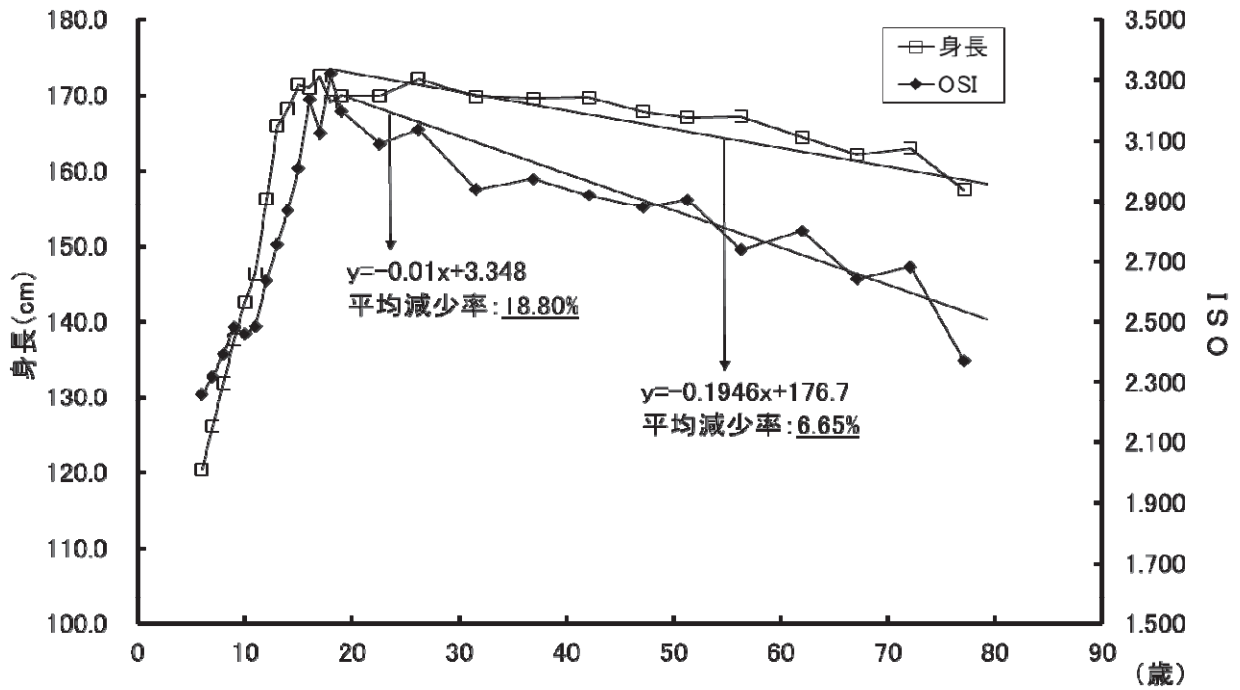


図2 直線回帰式より求めた21~80歳までの身長とOSIの平均減少率の比較 (男性)

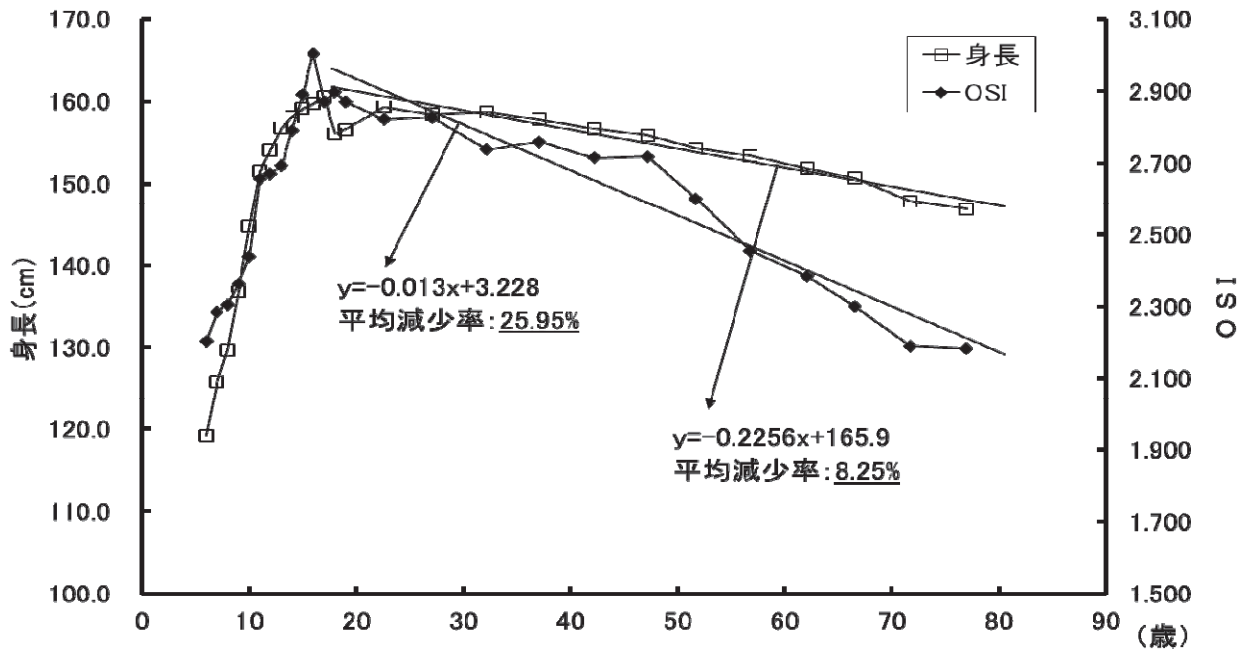


図3 直線回帰式より求めた21~80歳までの身長とOSIの平均減少率の比較 (女性)

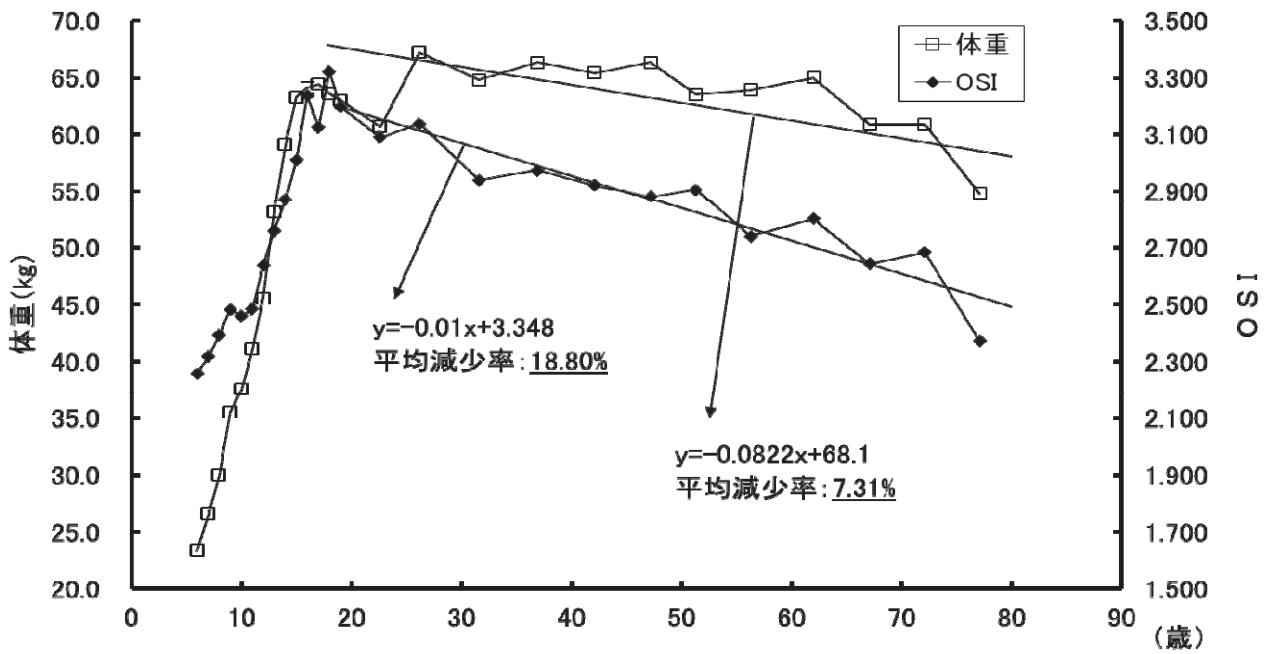


図4 直線回帰式より求めた21～80歳までの体重とOSIの平均減少率の比較（男性）

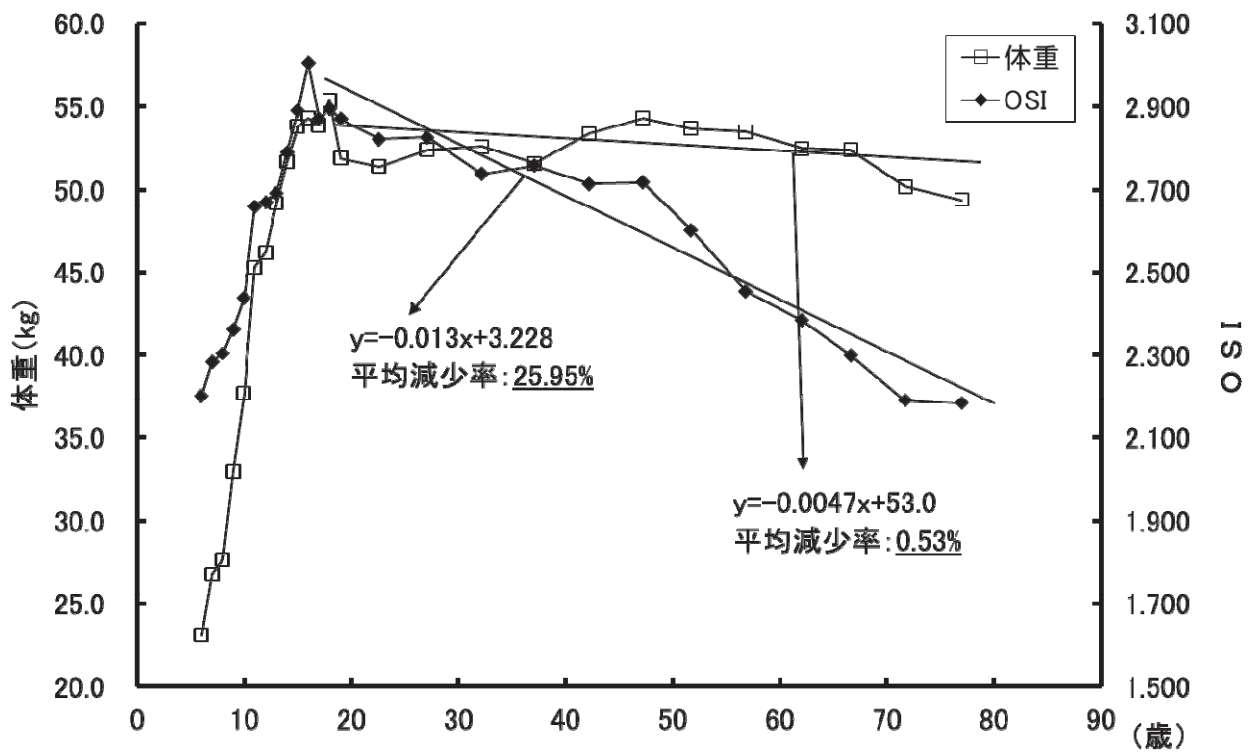


図5 直線回帰式より求めた21～80歳までの体重とOSIの平均減少率の比較（女性）

表2 各年代別の身長、体重、BMI および OSI の平均値±標準偏差

	年代	身長(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m ²)	OSI	n
男性	6~20歳	153.3±19.5	47.9±17.8	19.5±3.6	2.750±0.445	673
	21~35歳	170.7±5.6	64.6±11.3	22.1±3.2	3.046±0.372	100
	36~50歳	168.6±5.4	66.0±8.3	23.2±2.7	2.915±0.350	117
	51~65歳	166.2±5.3	63.9±7.7	23.1±2.4	2.815±0.299	97
	66~80歳	161.3±5.9	59.5±9.1	22.9±3.7	2.596±0.343	46
			(-4.32%) <-2.95%>	(-9.84%) <-6.88%>	(-1.29%) <-0.87%>	(-10.94%) <-7.77%>
女性	6~20歳	147.2±14.8	43.2±13.4	19.4±3.2	2.630±0.349	615
	21~35歳	158.6±5.2	52.1±7.1	20.7±2.7	2.769±0.283	227
	36~50歳	156.5±5.0	53.6±6.6	21.9±2.5	2.726±0.279	423
	51~65歳	152.9±5.0	53.1±7.2	22.7±2.8	2.466±0.252	343
	66~80歳	149.0±5.4	50.8±7.6	22.9±3.1	2.239±0.204	96
			(-4.79%) <-2.55%>	(-5.22%) <-4.33%>	(4.57%) <0.88%>	(-17.76%) <-9.21%>

()内は36~50歳の値を基準とした時の66~80歳の値の平均変化率

< >内は51~65歳の値を基準とした時の66~80歳の値の平均変化率

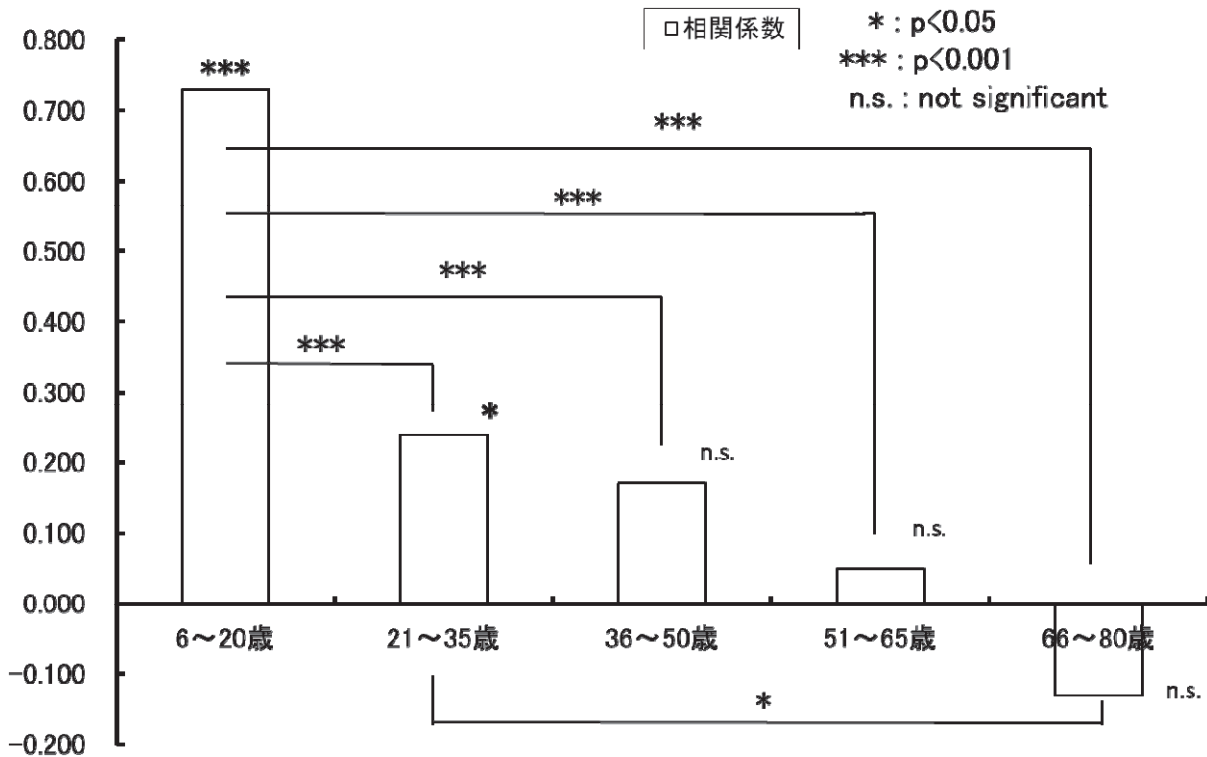


図6 OSI と身長との相関係数の比較（男性）

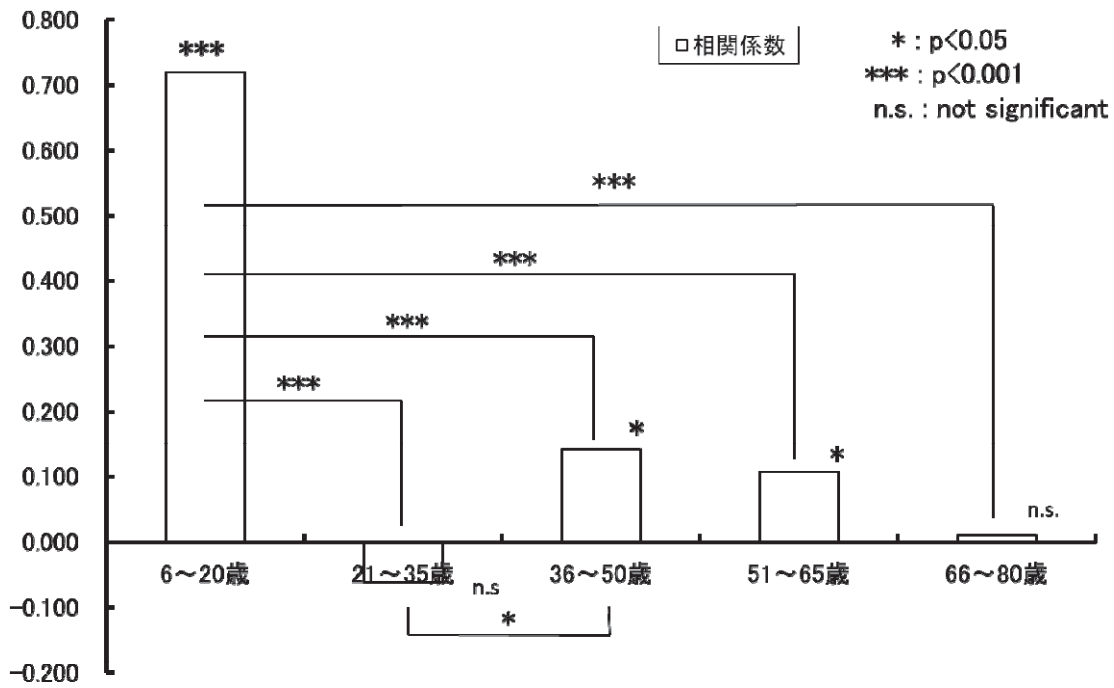


図7 OSI と身長との相関係数の比較 (女性)

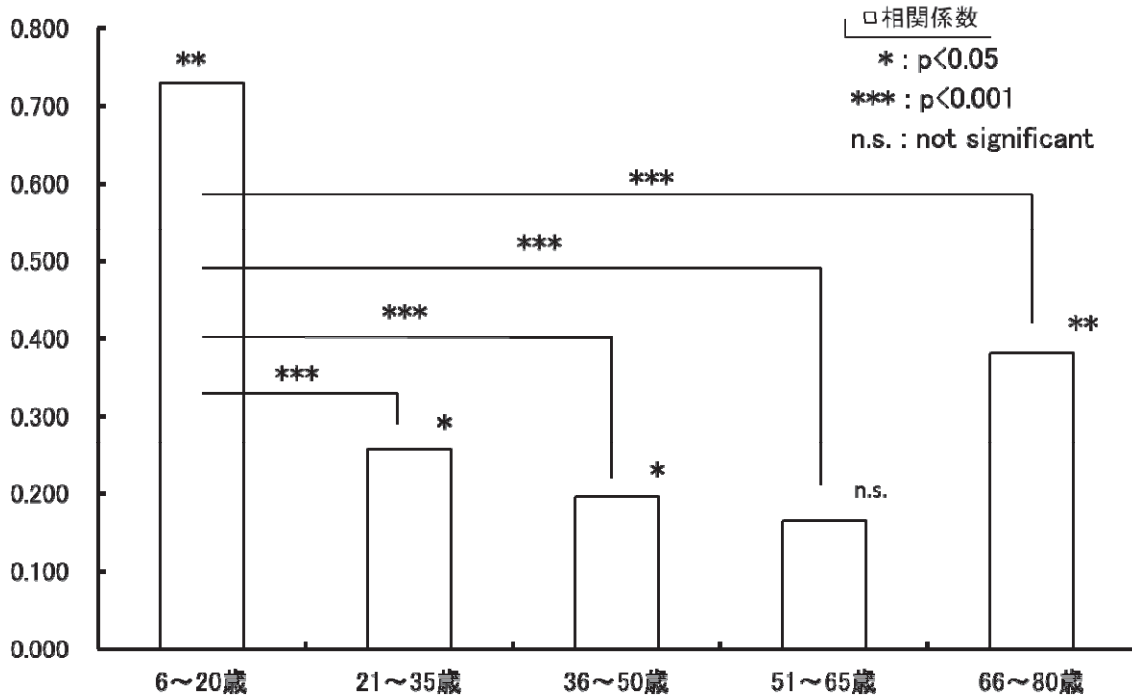


図8 OSI と体重との相関係数の比較 (男性)

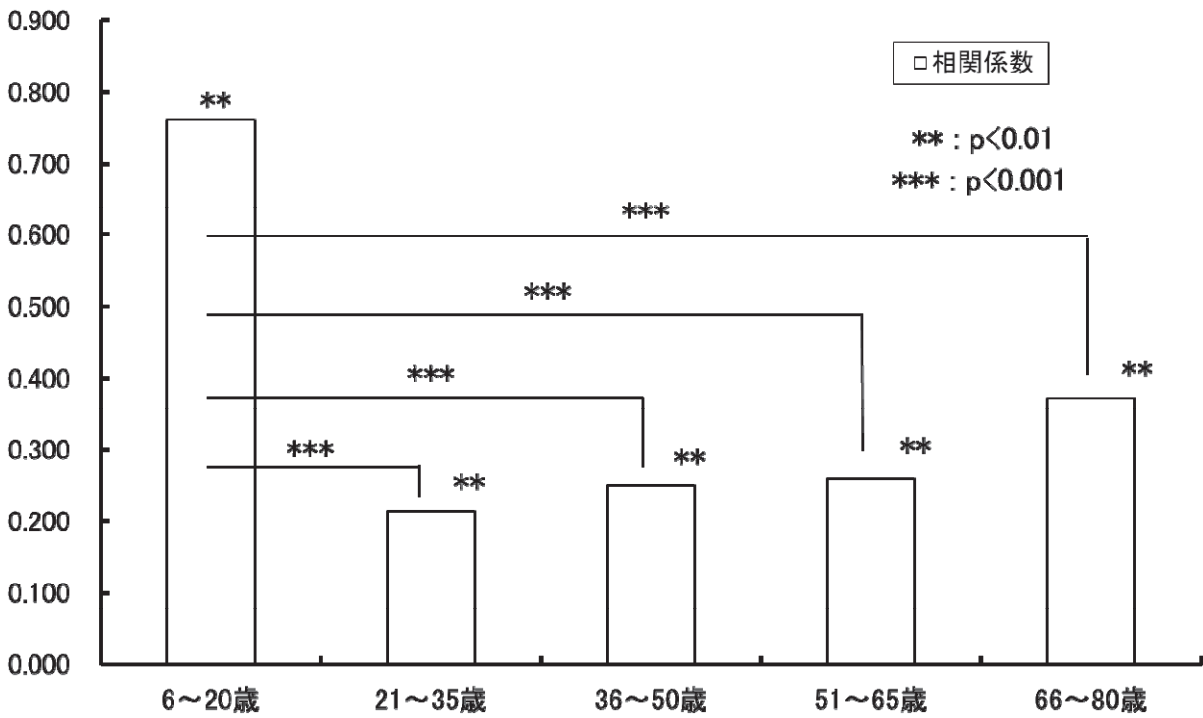


図9 OSI と体重との相関係数の比較（女性）

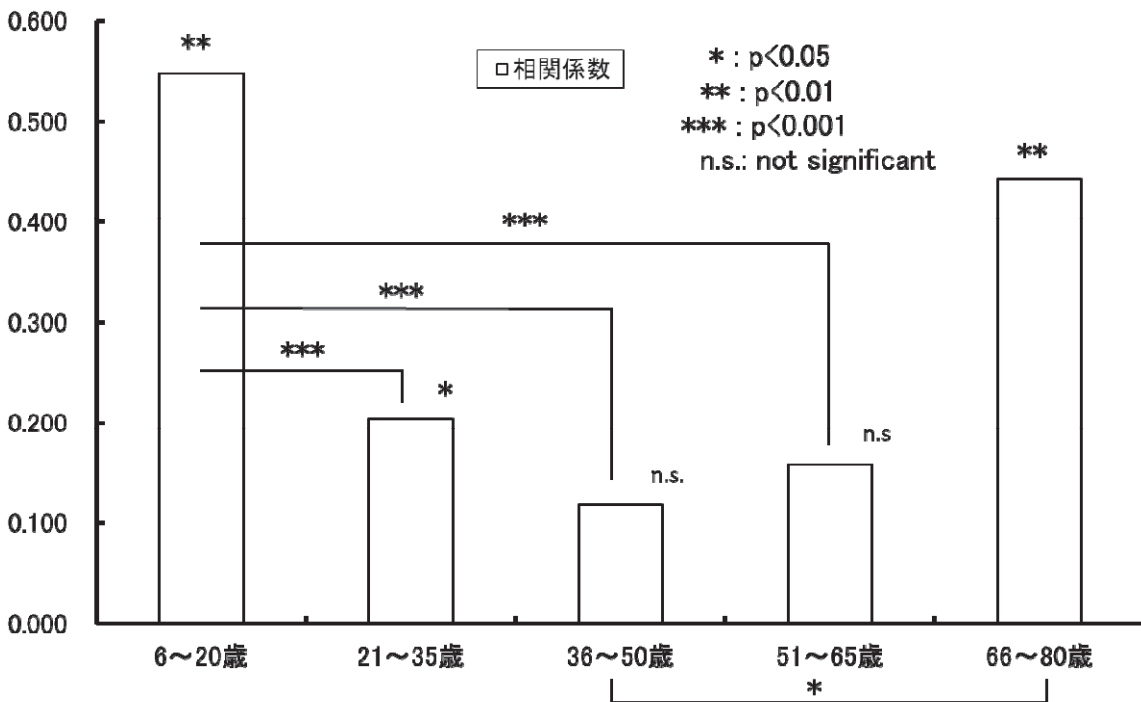


図10 OSI とBMI との相関係数の比較（男性）

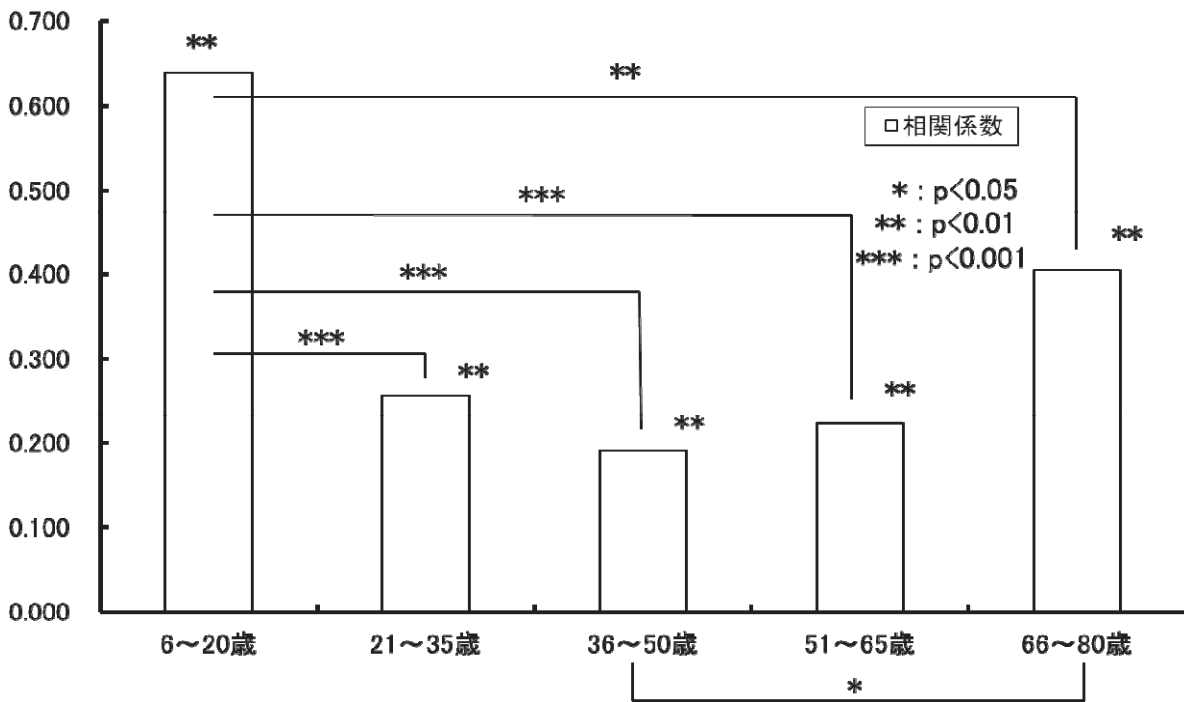


図 11 OSI と BMI との相関係数の比較 (女性)

IV. 考察

骨粗鬆症の罹患者はその予備軍まで含めば、現在約 1300 万人いると言われている³⁶⁾。近い将来 3 人に 1 人が 65 歳以上という超高齢化社会が予想されている中で、その予防法の確立が求められている。

ところで、踵骨骨強度の発育発達状態については、横断的^{37~39)}にも縦断的^{34,40,41)}にも追究されてきており、ピーク後の変化にも観察がなされているが²⁶⁾、踵骨骨強度と体格との関係において、ピークに達するまでの両者の相関性とピークに達した後のそれらとが比較追究されることはなかった。

本研究においては、踵骨骨強度と年齢との直線回帰係数についてはピーク (男性：大学 1 年生時、女性：高校 2 年生時) 後から 49 歳までは男性の方が女性より有意に大きな負の値であった。これには、厳密に調査による比較を行った訳ではないが、男性の喫煙習慣や飲酒習慣等が関与していることが推測さ

れた。女性においては、以前の筆者の報告²⁶⁾と同様にピーク後から 49 歳までの直線回帰係数より、50 歳～80 歳までの直線回帰係数の方が有意に大きな負の値であったが、これには 50 歳以降における閉経に基づくエストロゲン分泌減少が大きく関与していると推測された。また、男女とも 21 歳～80 歳までの直線回帰式に基づく踵骨骨強度の平均減少率は身長および体重のそれらより大きかった。また、36～50 歳の値および 51～65 歳の平均値を基準とした場合においても、男女とも OSI の平均変化率は身長、体重および BMI のそれらより負の方向に大きい値であった。これらは踵骨骨強度のピーク後の減少が体格だけでなく多くの生活習慣や踵骨骨強度に影響を与える様々なホルモンの分泌量および自律神経系の緊張状態の加齢に伴う変化^{15,16)}等が関与しているものと思われた。

身長、体重および BMI と踵骨骨強度との相関係数

は、男女共、6～20 歳までの集団における値についてはすべて有意な水準があったが、その後の年代すべてにおいて有意な水準が認められたのは女性の体重と BMI であった。これより、踵骨骨強度と体格との関連性は、男性より女性の方がより密接であることが示唆された。

さらに身長、体重および BMI と踵骨骨強度との相関係数は、男女共、6～20 歳までの集団における値の方が、21～35 歳、36～50 歳、51～65 歳および 66～80 歳の各集団における値より、男性の BMI との比較以外においては、有意に高かった。このため、踵骨骨強度と身長、体重および BMI との関連性は、21 歳以降においては発育上の特性として、それ以前の段階と比較して乖離していくと思われた。しかし、体重と BMI における相関係数は、21 歳以降において 66～80 歳の集団ではやや高まる傾向が認められた。このことは、高齢期における骨強度の確保にとって、体重の獲得（特に筋肉量を伴う獲得）が重要であり、サルコペニアを予防することのさらなる必要性を示唆するものであるが、このような結果を導き出したメカニズム等に関して、66 歳以上のサンプル数をさらに増やして検討する必要があると思われた。

以上より、身長、体重、BMI と踵骨骨強度との関連性については、ある一定の狭い範囲での年齢集団における追究に限定するよりも、より広い年齢集団で区切って比較する方がより多くの知見が得られると思われた。

V. 要約

小学校 1 年生から 80 歳までの健康な男女 2737 名を対象に、踵骨骨強度のピーク後の変化と身長、体重および BMI の変化の比較を追究し、以下の結論を得た。

1. 踵骨骨強度がピーク時から 49 歳までの低下率は女性より、男性の方が大きいと思われた。

2. 男女とも 21～80 歳までの踵骨骨強度の減少率は、身長や体重の減少率より大きいと思われた。

3. 踵骨骨強度と身長、体重および BMI との関連性は、21 歳以降においてはそれ以前の段階と比較して乖離していくと思われた。

4. 66 歳以上になって踵骨骨強度と体重および BMI との相関係数がやや高くなった(21 歳～65 歳までの集団と比較して)。このことは、高齢期における踵骨骨強度の確保にとって、体重の獲得が重要であることを示唆するものであるが、このような結果を導き出したメカニズム等に関して、66 歳以上のサンプル数をさらに増やして検討する必要があると思われた。

参考文献

- 1)佐藤哲也, 小池達也 (1995)「運動と骨粗鬆症」『診断と治療』 83, 907-911
- 2)沢井史穂 (1992)「運動習慣と骨密度」『体育の科学』 42, 851-856
- 3)宮尾益理子, 中村哲郎 (1995)「骨粗鬆症と栄養」『診断と治療』 83, 912-915
- 4)広田孝子, 広田憲二 (1992)「小児・成長期の栄養・運動と骨粗鬆症」『臨床栄養』 81, 768-774
- 5)美馬宏夫充 (2000)「骨密度検査と骨粗鬆症予防の食事と運動」『骨粗鬆症は防げる治せる, 初版, マキノ出版, 90-129
- 6)片平弦一郎ほか (1995)「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—」『日骨形態誌』 5, 109-115
- 7)Felson, D.T.et al. (1993)「Effects of weight and body mass index on bone mineral density in men and women : the Framingham study.」『J. Bone Miner. Res.』 8, 567-573
- 8)Ravn, P. et al.(1999)「Low body mass index is an important risk factor for low bone mass and increased bone loss in early postmenopausal women.」『J. Bone

- Miner. Res.』 14, 1622-1627
- 9) Reid, I.R., Plank, L.D., & Evans, M.C. (1992) 「Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men.」 『J. Clin. Endocrinol. Metab.』 75, 779-782
- 10) Dalsky, G.P. (1990) 「Effect of exercise on bone : permissive influence of estrogen and calcium.」 『Med. Sci. Sports Exerc.』 22, 281-285
- 11) 岡野亮介ほか (1994) 「女性における運動と骨密度—陸上中長距離選手と育児休業女性の場合—」 『臨床スポーツ医学』 11, 446-450
- 12) 中村哲郎, 折茂肇 (1988) 「骨粗鬆症とカルシウム代謝」 『臨床科学』 24, 1268-1275
- 13) Kumano, H (2005) 「Osteoporosis and stress.」 『Clin. Calcium』 15, 1544-1547
- 14) Rozman, B., Klaić, Z.B., & Skreb, F. (2003) 「Influence of the incoming solar radiation on the bone mineral density in the female adult population in Croatia.」 『Coll. Antropol.』 27, 285-292
- 15) Elferioui, F. et al. (2005) 「Leptin regulation of bone resorption by the sympathetic nervous system and CART」 『Nature』 434, 514-520
- 16) 間野忠明 (2009) 「自律神経機能に及ぼす微小重力環境の影響—補遺」 『自律神経』 46(5), 452-455
- 17) Joyce B.J. et al. (2004) 「Homocysteine Levels and the Risk of Osteoporotic Fracture」 『N.Engl.J.Med.』 350, 2033-2041
- 18) Pocock, N.A. et al. (1987) 「determinants of bone mass in adults: a twin study.」 『J. Clin. Invest.』 80, 706-710
- 19) Cooper, C. et al. (1995) 「Childhood, growth, physical activity, and peak bone mass in women.」 『J. Bone Miner. Res.』 10, 940-947
- 20) Welten, D. C. et al. (1994) 「Weight-bearing activity during youth is a more important factor for peak bone mass than calcium intake.」 『J. Bone Miner.』 9, 1089-1096
- 21) 岡野亮介 (2005) 「小学生における形態、体脂肪率および生活履歴と踵骨骨強度の関連性」 『萩国際大学研究紀要』 7(1), 1-13
- 22) 岡野亮介 (2005) 「中学生における形態、体脂肪率および生活履歴と踵骨骨強度の関連性」 『萩国際大学研究紀要』 7(1), 15-25
- 23) 岡野亮介 (2006) 「男女高校生における形態、体脂肪率および生活履歴と踵骨骨強度の関連性」 『臨床スポーツ医学』 23(1), 73-80
- 24) 岡野亮介 (2009) 「男子大学生における形態、体脂肪率および生活履歴と踵骨骨強度の関連性」 『山口福祉文化大学研究紀要』 2(1), 1-7
- 25) Okano, R. (2013) 「Relation between shapes, percentage of body fat, living history and calcaneus bone strength in female university students.」 『Bulletin of Yamaguchi University Human Welfare and Culture』 7, 9-16
- 26) 岡野亮介 (2004) 「踵骨骨強度の発育特性と男女差」 『学校保健研究』 46(1), 59-66
- 27) Vermeulen, A. et al. (1993) 「Attenuated luteinizing hormone (LH) pulse amplitude but normal LH pulse frequency, and its relation to plasma androgens in hypogonadism of obese men.」 『J. Clin. Endocrinol. Metab.』 78, 1140-1146
- 28) Zimmerman, C.L. et al. (1990) 「Relationship of extremity muscle torque and bone mineral density in postmenopausal women.」 『Phys. Ther.』 70(5), 302-309
- 29) 宮元章次 (1991) 「習慣的な運動が青年期の骨塩量に及ぼす影響に関する研」 『学校保健研究』 33(1), 24-32
- 30) 百武衆一ほか (1989) 「スポーツの骨塩量に及ぼす影響について—Dual Energy X-ray Absorptiometryによる計測—」 『臨床スポーツ医学』 6(11), 1247-1251
- 31) Glastre, C. et al. (1990) 「Measurement of bone mineral

- content of the lumbar spine by dual energy X-ray absorptiometry in normal children: correlations with growth parameters.」『J.Clin.Endocrinol.Metab.』70(5), 1330-1333
- 32)Ducy,P.et al. (2000) 「Leptin inhibits bone formation through a hypothalamic relay:a central control of bone mass.」『Cell』100, 197-207
- 33)Young,D.,et al. (1995) 「Determinants of bone mass in 10- to 26-year-old females:a twin study.」『J.Bone Miner.Res.』10(4), 558-567
- 34) Bakker, I.et al. (2003) 「Fat-free mass is the most important body composition determinant of 10-yr longitudinal development of lumbar bone in adult men and women.」『J.Clin Endocrinol.Metab.』88, 2607-2613
- 35)体育学科教育研究会編 (1979)「第3章 資料整理」
「4. 有意性の検定」「IV 回帰係数の有意性の検定」『体育学実験・演習概説』大修館書店, 161-162
- 36)武田薬品工業会社 (2021) 「高齢化と骨粗しょう症」
<https://www.takeda.co.jp/patients/osteoporosis/aging/index.html> (2021年9月23日参照)
- 37) 山崎薫ほか (1992) 「超音波骨量測定装置 (Achilles Ultrasound Bone Densitometer) の使用経験—測定精度と有用性の検討—」『Ther.Res.』13(8), 585-593
- 38) 呉堅ほか (1997) 「超音波骨評価装置 (AOS-100) による計測値の再現性と骨密度との相関について」『体力科学』46(5), 570
- 39) Hui,S.L., Johnston Jr, C.C.,& Mazess, R.B. (1985) 「Bone mass in normal children and young adults.」『Growth』49, 34-43
- 40) Hannan, M.T.et al. (2000) 「Risk factors for longitudinal bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study.」『J.Bone Miner.Res.』15, 710-720
- 41) Chapurlat, R.D.et al. (2000) 「Longitudinal study of bone loss in pre- and perimenopausal women: evidence for bone loss in perimenopausal women.」『Osteoporos. Int.』11, 493-498