

踵骨骨強度の発育状態に対する縦断的観察

—小学校1年生時から6年生時まで2カ月毎に測定した男児1例について—

岡野 亮介

I. 目的

2020年には30%弱の人が65歳以上であるという超高齢化社会の到来が予測されている。この予測が的中するならば、現在予備軍まで含めると1100万人前後はいると考えられている骨粗鬆症患者はさらに増加することは容易に想像できる。そのような事態に陥れば医療費がさらに高騰することは明白で、骨粗鬆症の予防対策の構築は国家レベルの急務な課題であると言っても過言ではないであろう。

骨粗鬆症の発症には、運動習慣^{1, 2)}、食習慣^{3~5)}、形態（身長、体重）^{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⁾ および遺伝¹⁴⁾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、若年時にピークボーンマス（最大骨量）を高めることの必要性が叫ばれている^{1, 15, 16)}。この課題に応えるためには先ず若年時期における骨強度の発育上の特徴を把握することが重要であり、これまで横断的な観察に基づいてその試みがなされたことが多かった^{1, 6, 17~22)}。しかしながら数年の期間にわたり比較的短期のインターバルをもって縦断的に骨強度の発育状態が観察された試みは非常に少ない。

本研究では1例の男児ではあるが、小学校1年生の4月（2000年）から6年生の2月（2005年）まで2カ月毎に踵骨骨強度を縦断的に観察し、整合性を確認するために横断的データとの比較検討を行いながら、その発育特性の一端を推測することを目的としている。

II. 方法

1. 被検者

縦断的に観察した被検者は健康な男児1名であり、横断的に観察した被検者は小学校1年生から6年生までの健康な男児432名（1年生：70名、2年生：75名、3年生：58名、4年生：70名、5年生：74名、6年生：85名）であった。

2. 測定項目

縦断的観察対象者および横断的観察対象者に対し、身長、体重、および踵骨骨強度（アロカ社製骨評価装置AOS-100使用、対象骨は右踵骨）を測定した（横断的観察対象者は石川県小松市と山口県萩市の小学生で1996年から2006年にかけて測定した）。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×SOS²）より行った。なお、縦断的観察対象者の踵骨骨強度に際しては1回毎にフォルダーを開いて5度の連続測定を行い、最大値と最小値を除いた3測定値の平均値を代表値とした。測定時刻はいずれも午後1～2時の間であった。

横断的観察対象者の測定時期はいずれも1～2月であった。

3. 統計処理

相関係数についてはPearsonの積率相関係数を用い、相関係数の比較はZ変換を施して行った。さらに回帰係数の差の検定はt検定を利用した。またOSIについては 10^6 で除した値を使用し、図4～図6における横断的データについては平均値±標準偏差で示した。

III. 結果

1. 縦断的研究結果（1名の男児）

OSIは身長と体重以上に大きな凹凸を示しながら経月的に漸増傾向を示し、スポーツ少年団に入団して野球を開始した小学校5年生の10月を境に、やや急峻に増加した（図1）。小学校1年生の時のOSI値（2.093, 10月測定時）を基準にすれば6年生の時のOSI値（2.579, 2月測定時）は23.2%の増加率で、年平均では4.64%の増加率であった。

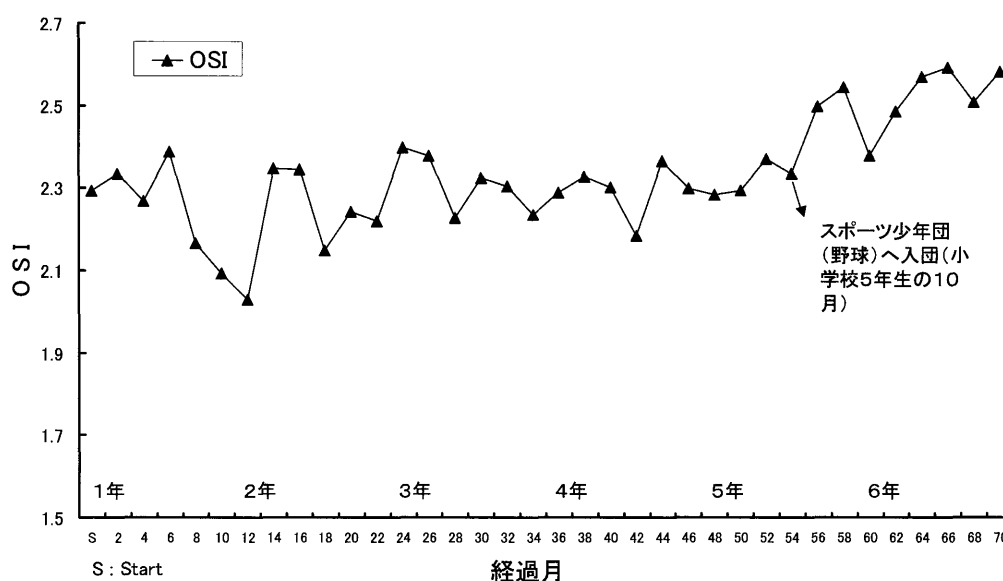


図1 OSIの経月的変動

また、経過月とOSIの直線回帰係数（0.0084）は、経過月と身長（1.0226）および経過月と体重の直線回帰係数（0.5617）より有意（いずれも $p < 0.001$ ）に低い値であった（図2、図3）。さらにOSIと身長および体重との相関係数（それぞれ $r = 0.700$, $r = 0.717$ ）は有意水準であったが身長と体重との相関係数（ $r = 0.989$ ）より有意に低かった。

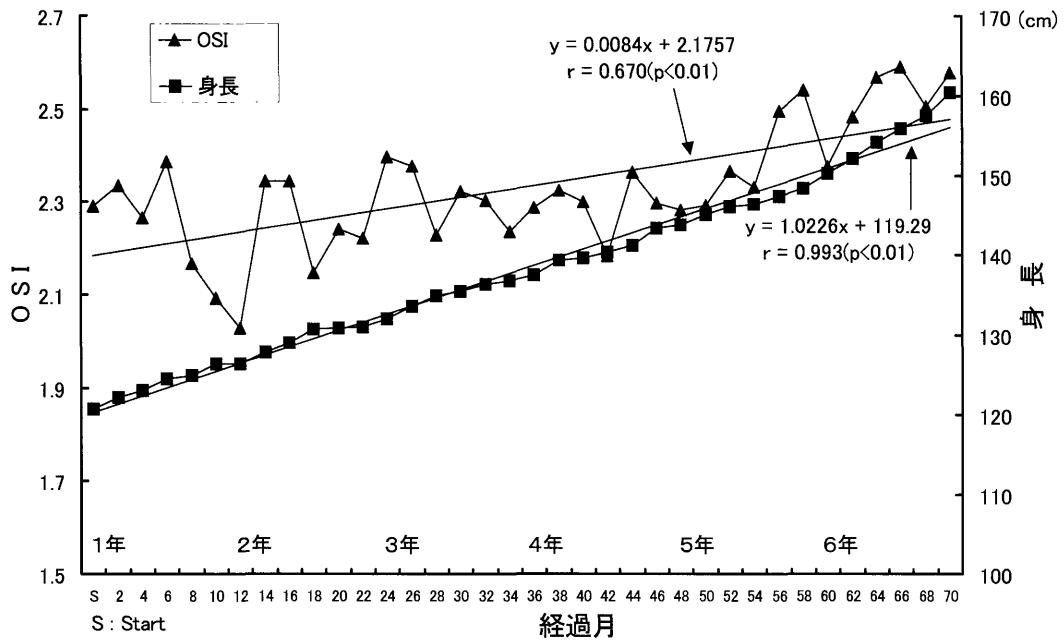


図2 OSIと身長を経月的変動の比較

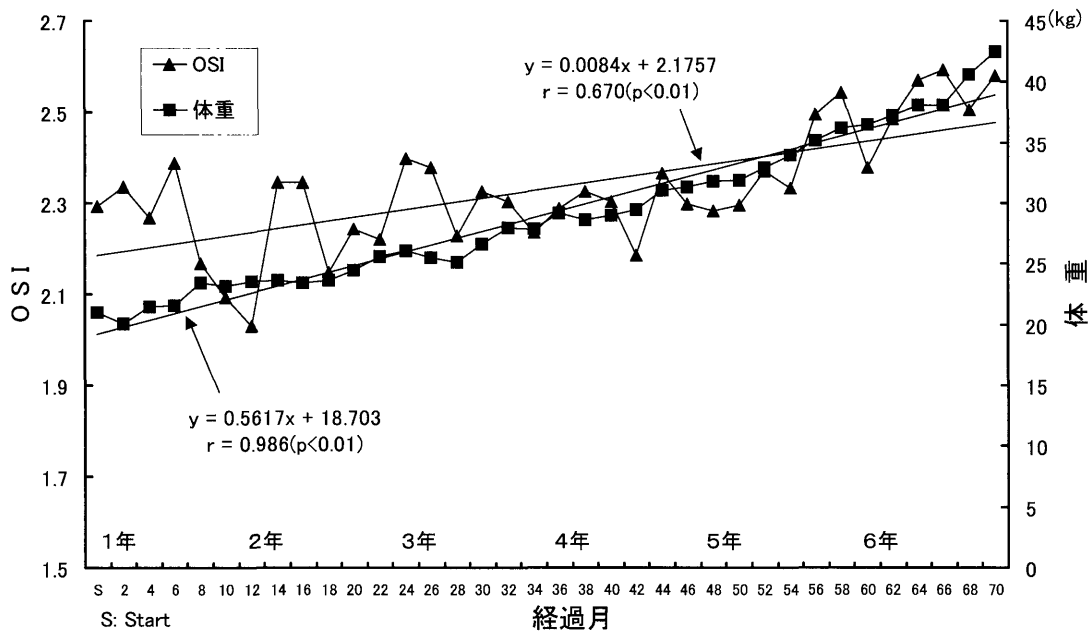


図3 OSIと体重を経月的変動の比較

2. 縦断的结果と横断的结果の比較 (各年2月の測定値での比較)

横断的データは1月から2月に測定したので、縦断的データも各学年2月に測定したデータを用いて比較した。

OSIの縦断的データと横断的データを図4に示した。縦断的データが横断的データの平均値から標準偏差(以下SD)より下であったのは1年生時と4年生時であったが、経年的な発育パターンについて両者は概ね同様の漸増状況を示した。

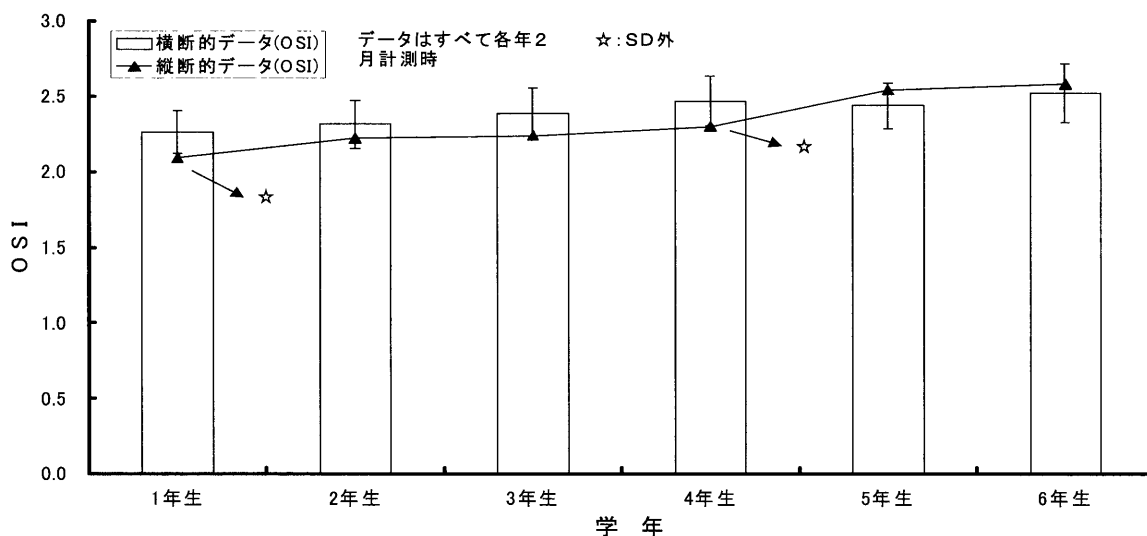


図4 OSIの縦断的データと横断的データの比較 (両者とも各年2月測定時の値)

OSI/身長 {計算式はOSI/身長 (cm) ×100} およびOSI/体重 {計算式はOSI/体重 (kg) ×100} の縦断的データと横断的データを図5、図6に示した。OSI/身長の1年生から4年生までのデータは横断的データの平均値からSDより下であったが、OSI/体重についてはいずれの学年においてもSD内であった。また、いずれの縦断的および横断的パラメータも同様な経月的に漸減する傾向を示した。一方、縦断的データにおける経月的な低下傾向はOSI/身長 (直線回帰係数: -0.0066) よりOSI/体重 (直線回帰係数: -0.1301) の方が負の方向で有意 ($p < 0.001$) に大きな値であった。

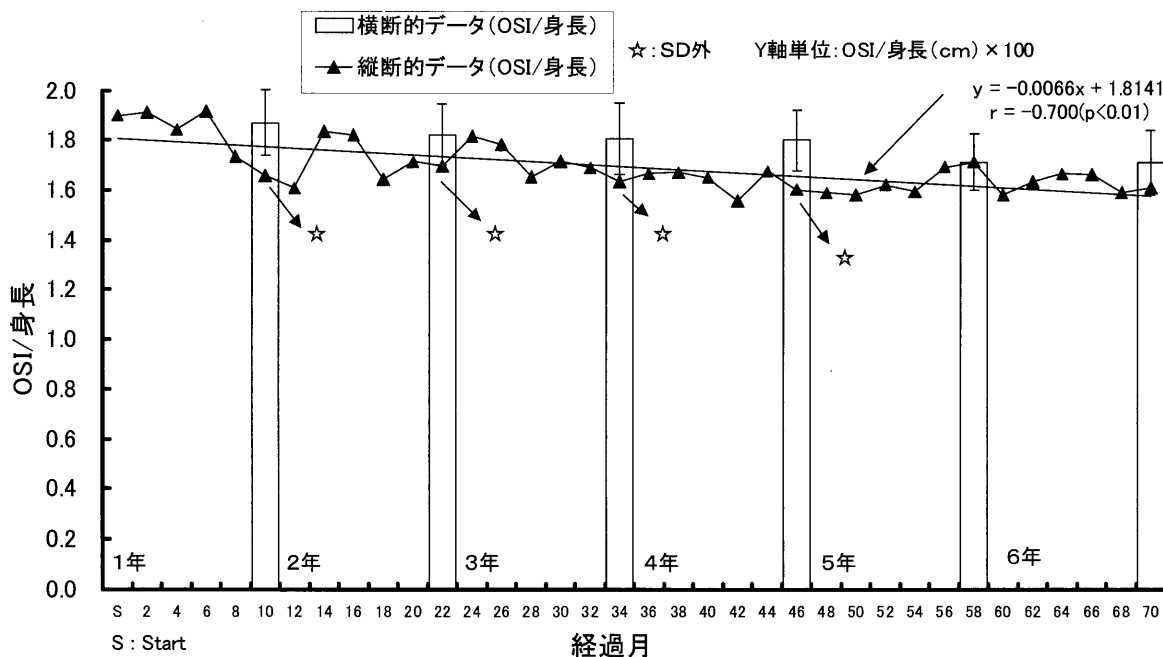


図5 OSI/身長の横断的データと縦断的データの比較 (両者とも各年2月測定時の値)

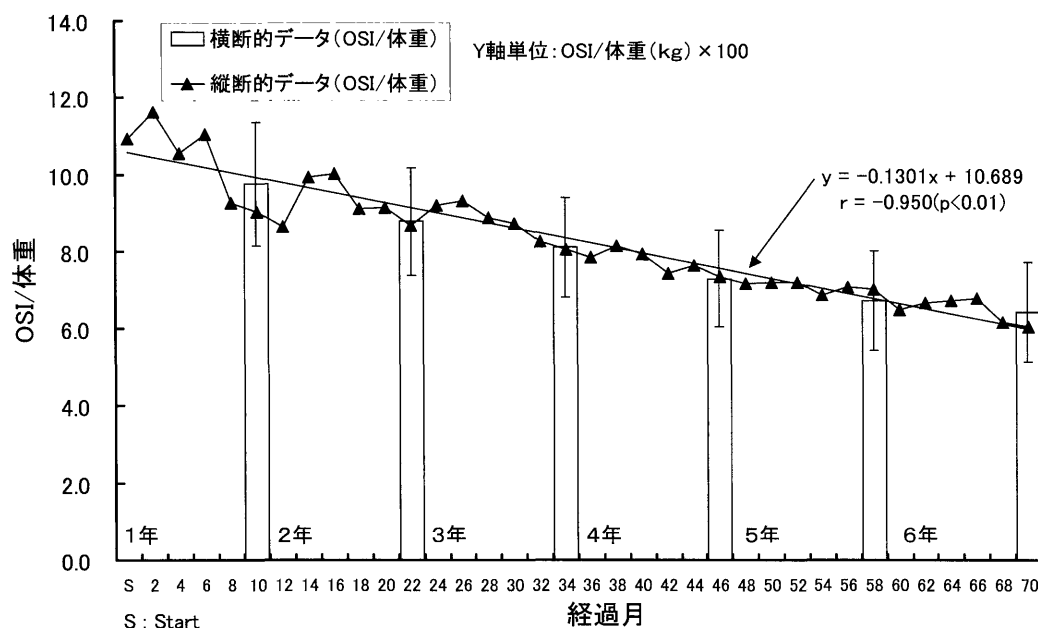


図6 OSI/体重の横断的データと縦断的データの比較（両者とも各年2月測定時の値）

IV. 考察

骨密度の検査法としては二重エネルギーX線吸収測定法（Dual Energy X-ray Absorptiometry、以下DXA）が標準的であり、その測定精度は高いことが報告されている〔変動係数（以下CV値）で約0.6%〕²³⁾。しかし、DXAによる測定では、測定時間に約10分～20分を要し、X線による被曝を伴うため測定に際して医療施設と医療スタッフが必要であり、また測定費用もやや高価であるという短所がある。そこで現在では極短時間で測定が可能で、かつ測定者の資格制限が比較的緩和されている定量的超音波測定法（以下QUS法）が、骨粗鬆症のスクリーニング法の一つであるが、骨評価を行うための測定法の主流となってきている。本研究ではQUS法の中でもアロカ社製の超音波骨評価装置AOS-100を使用している。この装置から算出されるOSIはDXAから求められた腰椎骨密度および大腿骨頸部骨密度とも有意な相関性を有する²⁴⁾。しかしながらCV値は約1.8%で測定精度は必ずしも高いとは言いがたい²⁴⁾。また、踵骨部分を超音波が透過する時には同時に踵骨直近の外部組織をも透過するため、皮膚の厚さ、踵骨の周囲の筋肉量や脂肪量、骨の中の水分量およびこれらの組織への血流量にOSIが影響を受ける可能性がある。さらに踵骨及びその直近外部組織の温度によってもOSIが影響を受ける可能性も考えられる。これらのことはQUS法が今後解決しなければならない課題である。

本研究における縦断的データからは、踵骨骨強度の絶対値の発育パターンは単純に漸増するものではないということが推測された。その原因については特定できないが、前述した測定時の気温等が多分に影響を与えている可能性が考えられる。また、スポーツ少年団（野球）での身体活動を契機として踵骨骨強度の増加が助長される様子が観察された。これは身体活動による骨内血流量の増加、骨芽細胞の活性化、骨溶解の抑制及び圧電効果に拠るものであろう²⁵⁾。なお、当被検者の小学校1年生から6年生までの踵骨骨強度における年間平均増加率（1年生時の値を基準とする）は4.64%で、女性ホルモンの分泌低下によって急激な骨量低下の見られる更年期以降の女性における骨量の年間減少率が通常2%程度である²⁶⁾ことから勘案しても、かなり大きな変動率であり成長期における骨発育の特徴の一つと思われた。しかし、経過月と踵骨骨強度の直線回帰係数は身長及び体重における直線回帰係数より有意に低かったことより、踵骨骨強度の漸増のペースは形態のそれらより緩慢であると思わ

れた。また、踵骨骨強度と身長及び体重との相関係数が、身長と体重との相関係数より有意に低かったのは、むしろOSIの変動性の大きさが反映したものと推察される。

縦断的データと横断的データの比較からは、踵骨骨強度の発育パターンは概ね同様の漸増状況を示すことが理解された。つまり、横断的観察によっても踵骨骨強度の発育特性はある程度把握できることが示唆されたわけであるが、本研究での比較は冬場の時点だけであり、OSIの変動性の大きさと温度依存性を考慮すれば、別の季節での比較も今後必要であると思われた。また、縦断的観察の対象者の踵骨骨強度は小学校4年生までは横断的データの平均値より低かったが、5年生以降は平均値より高く、これは前述もしたスポーツ少年団への入団に伴う身体活動の増加が影響している結果と思われた。

踵骨骨強度の形態に対する相対値（OSI/身長とOSI/体重）も縦断的データは概ね横断的データに追従する傾向（年月の経過とともに漸減する傾向）を示した。ただし縦断的データのOSI/身長は小学校1年生から4年生まで横断的データの平均値よりSD以上の距離を持って低く、縦断的データの被検者はこの時期身長に比して踵骨骨強度の発育は非常に遅かったものと推測された。

また、縦断的データにおいて、経月的な低下傾向がOSI/身長よりOSI/体重の方が負の方向で有意に大きかったことより、踵骨骨強度と身長との関連性および踵骨骨強度と体重との関連性という二つの関連性のバランスが発育に伴って崩壊していく可能性が示唆された。

V. 結論

1名の男児を対象として、小学校1年生から6年生まで2カ月毎に身長、体重および踵骨骨強度を縦断的に観察し、432名の男子小学生1年生から6年生までの横断的データとの比較を行った。これより以下の結果が得られた。

①男児における小学校1年生から6年生までの踵骨骨強度（絶対値）の発育パターンは、単純に漸増するものではない様に推察された。その原因については特定できないが、測定時の気温等が超音波による測定値に影響を与えている可能性が考えられる。

また、スポーツ少年団（野球）での身体活動を契機として骨強度の増加が助長される様子が観察された。

②観察時点が冬場という一定の季節に限定されたが、縦断的にも横断的にも踵骨骨強度の発育パターンは概ね同様であった。

③身長および体重に対する踵骨骨強度の相対値は、横断的データと縦断的データの結果が類似しており、小学校1年生から6年生にかけて漸減するものと思われた。しかし、身長に対する相対値よりも体重に対する相対値の方が顕著に大きく低下することが観察された。

参考文献

- 1) 佐藤 哲也, 小池 達也. 運動と骨粗鬆症, 診断と治療, (1995), **83**, 907-911.
- 2) 沢井 史穂. 運動習慣と骨密度, 体育の科学, (1992), **42**, 851-856.
- 3) 宮尾 益理子, 中村 哲郎. 骨粗鬆症と栄養, 診断と治療, (1995), **83**, 912-915.
- 4) 広田 孝子, 広田 憲二. 小児・成長期の栄養・運動と骨粗鬆症, 臨床栄養, (1992), **81**, 768-774.
- 5) 美馬 宏夫充. 骨粗鬆症は防げる治せる, 初版, 骨密度検査と骨粗鬆症予防の食事と運動, マキノ出版, 東京, (2000), 90-129.
- 6) 片山 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—, 日骨形態誌, (1995), **5**, 109-115.
- 7) Felson,D.T., Zhang,Y., Hannan,M.T., & Anderson,J.J. Effects of weight and body mass index on bone mineral density in men and women : the Framingham study. *J. Bone Miner. Res.*, (1993), **8**, 567-573.
 - 8) Ravn,P., Cizza,G., Bjarnason,N.H., Thompson,D., Daley,M., Wasnich,R.D., Mcclung,M., Hosking, D.,Yates,A.J.,& Christiansen,C. 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.*, (1999), **14**, 1622- 1627.
 - 9) Reid,I.R., Plank,L.D., & Evans,M.C. Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, (1992), **75**, 779-782.
 - 10) Dalsky,G.P. Effect of exercise on bone : permissive influence of estrogen and calcium. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1990), **22**, 281-285.
 - 11) 岡野 亮介, 勝木 建一, 碓井 外幸, 勝木 道夫, 中田 勉, 山口 昌夫. 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, (1994), **11**, 446-450.
 - 12) 中村 哲郎, 折茂 肇. 骨粗鬆症とカルシウム代謝, 臨床科学, (1988), **24**, 1268-1275.
 - 13) 目崎 登, 佐々木 純一. スポーツによる月経障害, 産婦人科の実際, (1990), **39**, 1007-1010.
 - 14) Pocock,N.A., Eisman,J.A., Hopper,J.L., Yeates,M.G., Sambrook,P.N., & Eberl,S. Genetic determinants of bone mass in adults : a twin study. *J. Clin. Invest.*, (1987), **80**, 706-710.
 - 15) Cooper,C., Cawley,M., Bhalla,A., Egger,P., Ring,F., Morton,L., & Barker,D. Childhood, growth, physical activity, and peak bone mass in women. *J. bone Miner. Res.*, (1995), **10**, 940-947.
 - 16) Welten,D.C., Kemper,H.C.G., Post,G.B., Van Mechelen,W., Twisk,J., Lips,P., & Teule,G.J. Weight-bearing activity during youth is a more important factor for peak bone mass than calcium intake. *J. Bone Miner. Res.*, (1994), **9**, 1089-1096.
 - 17) 松枝 睦美, 高橋 香代, 加賀 勝, 守分 正, 清野 佳紀. 成長率と生活習慣が骨強度に与える影響, 学校保健研究, (2001), **42**, 486-495.
 - 18) 西山 宗六, 井本 岳秋. 世界の骨塩量の比較—小児期を中心に—, (1995), **5**, 584-588.
 - 19) 清野 佳紀, 田中 弘之, 西山 宗六, 井本 岳秋, 福永 仁永. 日本人若年女子の最大骨量, 医学のあゆみ, (1994), **170**, 1041-1042.
 - 20) 三村 寛一, 鉄口 宗弘, 山本 威久, 中塚 喜義, 楊 鴻生, 新井 竜雄, 森井 浩世. 超音波法による発育期における子どもの骨密度の経年変化, *Osteoporosis Japan*, (2005), **13**, 166-169.
 - 21) Schepper,J.D.,Derde,M.P.,Broeck,M.,Piepsz,A.,& Jonckheer,M.H. Normative data for lumbar spine bone mineral content in children:influence of age,height,weight,and pubertal stage. *J.nucl.Med.*, (1991), **32**, 216-220.
 - 22) Ruiz,J.C.,Mandel,C.,& Garabedian,M. Influence of spontaneous calcium intake and physical exercise on the vertebral and femoral bone mineral density of children and adolescents. *J.Bone Miner.Res.*, (1995), **10**, 675-682.
 - 23) 近藤 洋司, 黒田 他寿子, 堂下 雅雄, 北出 真寿美, 平加 保彦, 宮野 正彦, 中田 勉. 骨密度測定におけるDEXA法の精度, 日本放射線技師会雑誌, (1992), **39**, 766-769.
 - 24) 岡野 亮介. 超音波骨評価装置AOS-100による音響的骨評価値の妥当性、信頼性、再現性および測定精度, 萩国際大学論集, (2002), **4**, 107-115.
 - 25) 森谷 敏夫. からだと心の健康づくり—運動療法—, 初版, なぜ運動で骨粗しょう症が予防・改善できるのか, 中央労働災害防止協会, 東京, (2006), 117-123.
 - 26) 鈴木 隆雄. 骨量と骨粗鬆症, 初版, 骨量の減り方にもタイプがある, 主婦の友, 東京, (2001), 50-53.