

青年期男女における最大骨量（ピークボンマス）に関する除脂肪量の意義

Significance of Fat Free Mass associated with Peak Bone Mass in male and female adolescents

佐藤 洋一郎* 細谷 志帆* 河口 明人*
Yoichiro Sato, Shiho Hosoya and Akito Kawaguchi

Abstract

In pubertal phase, to increase peak bone mass as much as possible is quite important, because of preventing from osteoporotic fracture in the future. To clarify influences of fat free mass on densification of bone mass, we estimated relationship between bone mineral density (BMD) and body compositions in both male and female adolescents. In ninety-nine healthy University students (59 males aged of 19.1 ± 1.7 , 40 females aged of 18.8 ± 0.5), we assessed body composition using bioelectrical impedance analysis and calcaneal BMD by quantitative ultrasound method. BMD was represented as "stiffness index" consisting of speed of sound and broadband ultrasound attenuation. Spearman's rank correlation coefficients showed that stiffness index, for male, was positively associated to body-mass index (BMI, $p < 0.05$) whereas, for female, was proportional to fat free mass index (FFMI, $p < 0.05$). After dichotomizing of the subjects (high & low) by the standard value of stiffness index, BMI, FFMI and fat mass index of high group were higher than those of low group in male, whereas, in female, only FFMI was higher in high group than that in low group. In conclusion, FFMI in adolescence, when is once opportunity in a life-time to maximize peak bone mass, is an important determinant of BMD in both genders, especially in female adolescents who are high at risk for post-menopausal osteoporosis.

1. はじめに

骨量の減少によって起こる骨粗鬆症は、骨折の危険因子である⁽¹⁾。骨折は、要介護など身体機能の障害を招くため⁽²⁾、骨粗鬆症を予防することは、介護予防などの観点から重要である。骨量は、加齢によって減少する⁽³⁾。骨量の減少（骨粗鬆症の予防）のための方略の1つとして最大骨量（Peak Bone Mass）を増大させることが挙げられる⁽⁴⁾。骨量は20歳前後でピークに達するといわれており^(4,5)、男女ともに青年期のこの年代での骨量が最大骨量となる。最大骨量に影響を及ぼす因子は、栄養や運動習慣など多様であるものの⁽⁵⁾、体組成の各指標は、それら栄養や運動習慣などの結果であるため、近年、様々な年代で骨量との関連が検討されている^(6,7)。これらの先行研究において、最大骨量となる青年期、特に

20歳前後での骨量と除脂肪量及び脂肪量の2コンパートメントのモデルを仮定した体組成とで検討しているものは少ない⁽⁶⁾。さらに、これら除脂肪量や脂肪量はBody Mass Index（BMI）と同じように、身長と関連していると考えられるが、その点を考慮した報告はない。

そこで、本研究の目的は、最大骨量となる青年期の男女において、骨量における体組成、特に除脂肪量の意義を検討することとした。

2. 方法

2.1 対象

健康大学生男女99名（男性59名、女性40名）を対象とした。平均年齢（標準偏差）は、男性と女性それぞれ19.1（1.7）歳と18.8（0.5）歳であった。

* 北海道科学大学保健医療学部理学療法学科

基本的身体特性を表1に示した。各測定は授業における学習の一環として、対象者が自主的に実施した。また、すべての被験者に対して、測定実施前に書面を用いて測定内容の説明と参加を拒否した場合にも不都合を被らないことの説明を実施し、その後書面による研究参加の同意を得た。

2.2 測定項目

体組成の測定には、多周波インピーダンス分析装置(In Body、Biospace社製)を用いた。この装置は、6種類の周波数(1、5、50、250、500、1000 kHz)の微弱な電流を流した上で Bioelectrical Impedance 法により体組成の各要素を指標として評価するものである^(8,9)。

骨密度の測定には、超音波骨密度測定装置(A-1000 Express、GEヘルスケア社製)を用いた。この装置は、これまでの骨密度の測定にはX線が用いられていたものの、被曝の問題や持ち運びができないという問題から、近年用いられているものであり、X線による測定結果との比較^(10,11)から妥当性を認められているものである。測定は右の踵で実施された。この装置では超音波減衰係数(Broadband Ultrasound Attenuation: BUA、dB/MHz)と超音波伝播速度(Speed of Sound: SOS、m/s)が算出され、さらにこれらの値を用いて装置に組み込まれているアルゴリズムからスティッフネス指数が算出された。スティッフネス指数は、骨密度の指数であり、数値が高いほど骨密度が高いことを示している

2.3 データ解析

Body Mass Index (BMI)が、体重を身長²で除して算出された。また、BMIと同じように除脂肪量や脂肪量も身長に関連しているため、近年はそれらの値を身長で基準化した除脂肪指数(Fat Free Mass Index: FFMI)および脂肪指数(Fat Mass Index: FMI)が体組成の指標として使用されている^(12,13,14)。これらの先行研究に基づいて、FFMIおよびFMIは、それぞれ除脂肪量(kg)および脂肪量(kg)を身長(m)²で除して求められた。

2.4 統計処理

Shapiro-Wilkの正規性の検定により正規分布して

いない変数(脂肪量とFMI)があったため、Mann-WhitneyのU検定が、測定および算出された変数の男女差を検討するために用いられた。また、Spearmanの順位相関係数が男女それぞれにおける各変数間の相関関係の検討に用いられた。さらに、男女それぞれにおけるスティッフネス指数の基準値⁽³⁾に基づいて、男女それぞれを2つの群(HighとLow)に分けたときの群間の差をMann-WhitneyのU検定を用いて検討した。すべての統計処理には、統計処理ソフトSPSS ver.20 (IBM Corporation)を用いた。統計学的有意水準を5%に設定した。

3. 結果

表1に男性と女性それぞれにおける体組成指標および骨量指標の結果を示す。体重および除脂肪量は男性が女性よりも有意に多く($p < 0.001$)、一方、脂肪量は女性が男性よりも有意に多かった($p < 0.001$)。スティッフネス指数は、男性が女性よりも有意に高かった($p < 0.001$)。

図1に男性と女性における身長に対する体重、脂肪量および除脂肪量との散布図を示す。男性と女性ともに体重と除脂肪量は身長に対して正の相関を有意に示し、それらの相関係数は体重よりも除脂肪量で高かった(男性: 0.327 vs. 0.540、女性: 0.446 vs. 0.650)。脂肪量においては、男性および女性において有意な相関関係は示さず、男性においては負の係

表1. 男性と女性における身体特性と体組成指標および骨量指標 (平均 (標準偏差))

	男性(n=59)	女性(n=40)
身長(m) ^{*1}	1.73(0.05)	1.58(0.05)
体重(kg) ^{*1}	66.5(8.1)	52.7(4.9)
除脂肪量(kg) ^{*1}	55.4(5.6)	38.0(3.5)
脂肪量(kg) ^{*1}	11.0(4.9)	14.7(3.9)
BMI(kg/m ²) ^{*2}	22.1(2.7)	21.0(2.3)
FFMI(kg/m ²) ^{*1}	18.5(1.5)	15.1(1.1)
FMI(kg/m ²) ^{*1}	3.7(1.7)	5.8(1.6)
スティッフネス指数 ^{*1}	114.8(20.8)	96.6(15.8)
SOS(m/s) ^{*2}	1599.6(42.0)	1574.3(27.4)
BUA(dB/MHz) ^{*1}	130.8(20.5)	114.0(17.9)

*1: $p < 0.001$ 、*2: $p < 0.01$

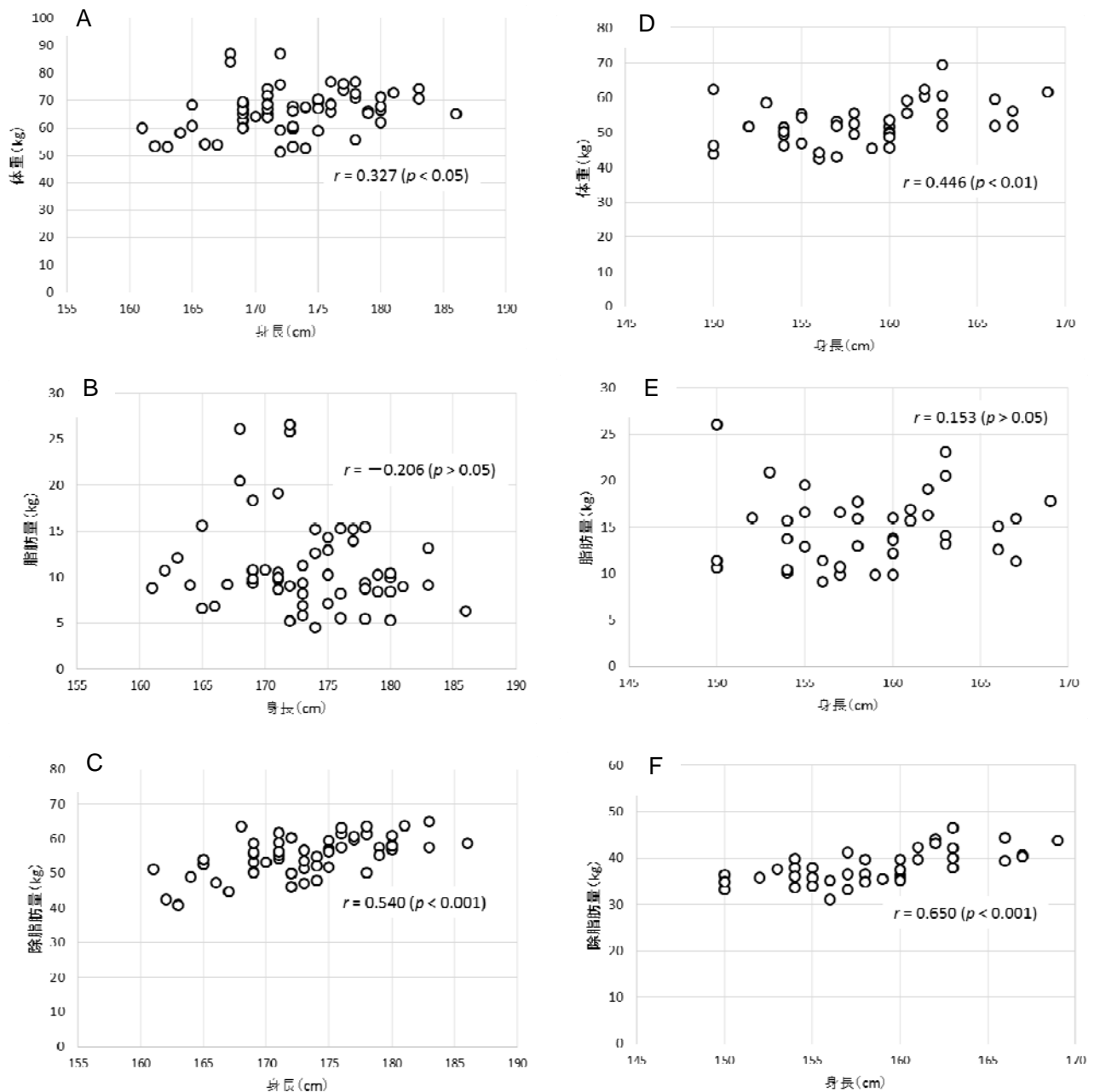


図 1. 身長に対する体重 (A、D)、脂肪量 (B、E) および除脂肪量 (C、F) の散布図. A から C は、男性 ($n=59$)、D から F は女性 ($n=40$) の値である。

数を示した ($r=-0.206$)。

表 2 に男性および女性における体組成指標と骨量指標との相関係数を示す。男性において、スティッフネス指数と統計学的に有意な相関を示した体組成指標は BMI ($r = 0.256$, $p < 0.05$) のみであった。FFMI および FMI においても同程度の相関係数 (FFMI : 0.237, FMI : 0.229) であったものの統計学的には有意ではなかった (p 値、FFMI : 0.070、

FMI : 0.082)。一方、女性において、スティッフネス指数と統計学的に有意な相関を示したのは体重 ($r = 0.316$, $p < 0.05$)、除脂肪量 ($r = 0.458$, $p < 0.01$) および FFMI ($r = 0.395$, $p = 0.012$) であった。

表 3 に、青年期のスティッフネス指数を基準 (男性 : 103.1、女性 : 93.1) ⁽³⁾ に 2 群 (High 群と Low 群) に分けたときの骨量指標および体組成指標の平均値 (標準偏差) を示す。体組成指標において、男

表 2. 男性と女性における骨量指標と体組成指標の相関係数

男性(n=59)	SOS	BUA	身長	体重	除脂肪量	体脂肪量	BMI	FFMI	FMI
スティッフネス指数	0.829**	0.804**	-0.115	0.161	0.121	0.210	0.256*	0.237	0.229
SOS		0.370**	-0.204	0.050	0.003	0.139	0.139	0.144	0.192
BUA			-0.007	0.238	0.219	0.218	0.323*	0.278*	0.192
女性(n=40)									
スティッフネス指数	0.672**	0.899**	0.260	0.316*	0.458**	0.130	0.269	0.395*	0.094
SOS		0.329*	0.005	-0.044	0.130	-0.088	0.003	0.115	-0.110
BUA			0.346*	0.431**	0.549**	0.166	0.321*	0.474**	0.124

** : $p < 0.01$ 、* : $p < 0.05$

SOS: Speed of Sound; BUA: Broadband Ultrasound Attenuation

FFMI: Fat Free Mass Index; FMI: Fat Mass Index; BMI: Body Mass Index

表 3. 男性と女性における High 群と Low 群の体組成指標と骨量指標

	男性		女性	
	High(n=38)	Low(n=21)	High(n=23)	Low(n=17)
スティッフネス指数	126.9(15.1)**	93.1(7.8)	108.3(8.7)**	80.8(6.2)
SOS(m/s)	1623.1(32.6)**	1557.0(14.5)	1589.6(22.9)**	1553.5(17.7)
BUA(dB/MHz)	139.0(19.7)**	115.9(11.7)	125.2(13.9)**	98.9(9.8)
身長(m)	172.4(5.6)	174.3(5.2)	159.3(4.6)	157.6(5.2)
体重(kg)	68.0(7.9)	63.8(7.9)	54.3(6.1)	50.6(5.7)
除脂肪量(kg)	56.0(4.9)	54.3(6.7)	39.1(3.1)*	36.5(3.4)
脂肪量(kg)	11.9(5.3)	9.5(3.8)	15.1(4.4)	14.2(3.2)
BMI(kg/m ²)	22.8(2.7)*	21.0(2.4)	21.4(2.4)	20.4(2.0)
FFMI(kg/m ²)	18.8(1.4)*	17.8(1.6)	15.4(1.0)*	14.7(1.0)
FMI(kg/m ²)	4.0(1.9)*	3.2(1.3)	6.0(1.9)	5.7(1.3)

** : $p < 0.01$ 、* : $p < 0.05$

SOS: Speed of Sound; BUA: Broadband Ultrasound Attenuation

FFMI: Fat Free Mass Index; FMI: Fat Mass Index; BMI: Body Mass Index

性では、High 群は、BMI、FFMI および FMI で有意に高く ($p < 0.05$)、女性では、除脂肪量と FFMI で有意に高かった ($p < 0.05$)。

4. 考察

骨量の指標の一つであるスティッフネス指数は男性が有意に女性よりも高かった(表 1)。スティッフネス指数の高さは骨密度が高いことを意味しており、この知見は最大骨量を迎える青年期においてでさえ

女性の骨量が低いことを示している。これまで学童期から青年期にかけての骨量の男女差について述べた報告^(15,16)では、どの年代においても女性の骨量は男性よりも低く、本研究の知見を支持する。骨量には、遺伝的な要因が強く関与している⁽¹⁷⁾との報告があり、この知見は生物学的に骨量には男女差があることを示唆しており、本研究の知見を含めて考えると、最大骨量においても男女差があるといえる。

さらに、生物学的に骨量に男女差があることは、男女それぞれで骨量に影響を及ぼす因子が異なることを示唆しており、男女は区別して検討する必要性を示している。

男性において、スティッフネス指数と有意な相関を示したのはBMIのみであった。一方、女性では除脂肪量とFFMIが有意な正の相関を示した。また、骨粗鬆症学会の報告にある20歳前後のスティッフネス指数⁽³⁾を基準に2群に分けたときの体組成指標は、男性ではBMI、FFMIおよびFMIで有意に差があり、女性ではFFMIで有意な差を認めた(表3)。これらの知見は、20歳前後の青年期の男女において骨量に関連する体組成の指標が異なることを示唆しており、男性においては体格で補正された除脂肪量と脂肪量の多い方が骨量は多く、女性においては除脂肪の量が多い方が骨量は多いことを示している。青年期の男女の骨量と体組成指標との関連を検討している研究では、男女ともに除脂肪量が骨量⁽¹⁸⁾や骨密度⁽¹⁹⁾と関連していると報告されている。本研究の知見は、それらの先行研究によって支持され、加えて、男性においては脂肪量も骨量に関連していることを示した。本研究において除脂肪量に加えて脂肪量にも関連を認めた原因は先行研究と本研究の対象の年齢の違いにあると考える。男女を同時に比較している青年期の報告^(18,19)では、対象の年齢は15歳前後であり最大骨量となる年齢よりも若い。さらに、男性での除脂肪量の発達は女性よりも遅いことから⁽²⁰⁾、若年期での脂肪量はばらつきが多くなるため、それらの報告における骨量と脂肪量との関連は認められなかったと考えられる。ただし、除脂肪量や脂肪量の取り扱いには注意が必要である。図1に示されたように、男女ともに除脂肪量は身長と有意に正相関しており、一方で脂肪量は身長と相関していない。つまり、除脂肪量は、体格(身長)の影響を受ける。男性においては、体重や除脂肪量では、骨量と関連していなかったにも関わらず、BMIやFFMIで関連性を示したことの原因が、このことにあると考える。今後は、除脂肪量を身長で基準化したFFMIと骨量との関連を検討していくこと

が必要である。

最大骨量となる20歳前後において、骨量に影響を及ぼす因子が男女で異なったことは、興味深い。これまでの体組成指標では、BMIが簡便であるが故に主に用いられてきたが、BMIでは体格を正確に把握することの限界が近年報告されている⁽²¹⁾。特に女性では、生得的に体脂肪量が多く、本研究においても、男性よりも体重は少ないにも関わらず、脂肪量は多かった(表1)。骨量は、運動の量と関連しており、特に高い衝撃力のあるスポーツに参加している女性の方が衝撃力の低いスポーツに参加している女性よりも骨量が高い⁽²²⁾。FFMIは、脂肪を除いた量であり、脂肪量は運動量に比例して減少するから⁽²³⁾、除脂肪量は運動量と関連しているといえる。したがって、運動量が多い方がFFMIの値は高くなるため、女性においては除脂肪量及びFFMIでのみ骨量と関連したものとする。女性においては、男性よりも加齢による骨量の減少量が多く⁽⁴⁾、骨粗鬆症の予防が重要である。この予防のためには、最大骨量を増加させることが因子の1つとして挙げられることから、本研究の知見は、女性において骨粗鬆症予防のために最大骨量を増加させるには、除脂肪量を増加させることが必要であることを示した。一方、男性においては、FFMIとFMIがともに高いと骨量が高いという結果は、男性においては除脂肪の量よりも体重の重さそのものが骨量増加に関与していることを示唆している。中高齢者の男性においては、低体重が低骨密度や骨粗鬆症性の骨折のリスクファクターであるから⁽²⁴⁾、最大骨量となる時期においてもある程度の体重が必要であることを示していると考えられる。ただ、本研究の男性被験者においては、脂肪量が多い対象が少なかったために、これまでの報告のような除脂肪量を除いた値との関連性を認めなかったと考えられる。今後、様々な体格の男性を対象に検討をする必要がある。

5. 本研究の限界と今後の課題

本研究の対象は、男性と女性ともに肥満体型が少なく、除脂肪量が体重を直接的に反映している可能

性があった。このことが、男性において、除脂肪指数（FFMI）だけではなく、BMIにおいても骨量との関連性を示した原因であった可能性がある。今後は、20歳前後における様々な体格を対象として、検討する必要があると考える。

6. 参考文献

- (1) Cummings SR, "Risk factors for hip fracture in white women." *The New England Journal of Medicine*, Vol. 332, 1995, pp.767-773.
- (2) 厚生労働省ホームページ : <http://www.mhlw.go.jp/seisaku/2009/07/02.html>
- (3) 萩野浩, "QUSの基準値", *Osteoporosis Japan*, Vol. 13, 2005, pp.31-35.
- (4) 折茂肇(編), "骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2011年版", 日本骨粗鬆症学会, 2011, pp. 41-49.
- (5) Heaney RP, et al, "Peak bone mass." *Osteoporosis International*, Vol. 11, 2000, pp. 985-1009.
- (6) Lazcano-Ponce E et al, "Peak bone mineral area density and determinants among females aged 9 to 24 years in Mexico." *Osteoporosis International*, Vol. 14, 2003, pp. 539-547.
- (7) Witzke KA, et al, "Loss of RAGE defense: A cause of Charcot neuroarthropathy?" *Diabetes Care*, Vol., 34, 2011, pp. 1617-1621.
- (8) Janssen I et al, "Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis." *Journal of Applied Physiology*, Vol. 89, 2000, pp. 465-471.
- (9) Corcoran C, et al, "Comparison of total body potassium with other techniques for measuring lean body mass in men and women with AIDS wasting." *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 72, 2000, pp. 1053-1058.
- (10) Takeda N, et al, "Sex and age patterns of quantitative ultrasound densitometry of the calcaneus in normal Japanese subjects." *Calcified Tissue International*, Vol. 59, 1996, pp. 84-88.
- (11) Pisani P, et al, "Screening and early diagnosis of osteoporosis through X-ray and ultrasound based techniques." *World Journal of Radiology*, Vol. 5, 2013, pp. 398-410.
- (12) Cotes JE, et al, "Body mass, fat percentage, and fat free mass as reference variables for lung function: effects on terms for age and sex." *Thorax*, Vol. 56, 2001, pp. 839-844.
- (13) Kyle UG, et al, "Aging, physical activity and height-normalized body composition parameters." *Clinical Nutrition*, Vol. 23, 2004, pp. 79-88.
- (14) Bahadori B, et al, "Body composition: the fat-free mass index (FFMI) and the body fat mass index (BFMI) distribution among the adult Austrian population — results of a cross-sectional pilot study." *International Journal of Body Composition Research*, Vol. 4, 2006, pp. 123-128.
- (15) Sioen I, et al, "Relationship between markers of body fat and calcaneal bone stiffness differs between preschool and primary school children: results from the IDEFICS baseline survey." *Calcified Tissue International*, Vol. 91, 2012, pp. 276-285.
- (16) Xu Y, et al, "The correlation between calcaneus stiffness index calculated by QUS and total body BMD assessed by DXA in Chinese children and adolescents." *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, Vol. 32, 2014, pp. 159-166.
- (17) Pocock NA, et al, "Genetic determinants of bone mass in adult." *Journal of Clinical Investigation*, Vol 80, 1987, pp. 706-710.
- (18) Courteix D, et al, "Preserved bone health in adolescent elite rhythmic gymnasts despite hypoleptinemia." *Hormone Research*, Vol. 68,

- 2007, pp. 20-27.
- (19) Vincente-Rodriguez G et al, "Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers." *Bone*, Vol 33, 2003, pp. 853-859.
 - (20) Zanchetta JR, et al, "Bone mass in children: normative values for the 2-20-year-old population." *Bone*, Vol. 16, 1995, pp. 393S-399S.
 - (21) Frankenfield DC, et al, "Limits of body mass index to detect obesity and predict body composition." *Nutrition*, Vol 17, 2001, pp. 26-30.
 - (22) Vincente-Rodriguez G et al, "Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players." *Bone*, Vol 35, 2004, pp. 1208-1215.
 - (23) Kerr D, et al, "Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent." *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol 11, 1996, pp. 218-225.
 - (24) Llu H, et al, "Screening for osteoporosis in men: A systematic review for an American college of physicians guideline." *Annals of Internal Medicine*, Vol. 148, 2008, pp. 685-701.