体力科学 第61巻 第2号 243-249 (2012)

原 著

過体重および肥満男性を対象とした形態，体力，体組成および超音波骨指標を用いた骨密度推定式の開発の試み

大久保 寛之[1]，笹井 浩行[1,2]，中田 由夫[1]，片山 靖富[3]，田中 喜代次[1]

Predictive models of bone mineral density from anthropometric, physical fitness, body composition and quantitative ultrasound variables in overweight and obese Japanese men

Hiroyuki Ohkubo[1], Hiroyuki Sasai[1,2], Yoshio Nakata[1], Yasutomi Katayama[3] and Kiyoji Tanaka[1]

[1]筑波大学大学院人間総合科学研究科，〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1 *(Graduate school of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, Japan)*
[2]日本学術振興会，〒102-8471 東京都千代田区一番町6番地 *(Japan Society of the Promotion of Science, 6 ichibancho, chiyoda, Tokyo 102-8471, Japan)*
[3]皇學館大学教育学部，〒516-8555 三重県伊勢市神田久志本町1704 *(Faculty of Education, Kogakkan University, 1704 Kodakujimoto-cho, Ise, Mie 516-8555, Japan)*

Received: January 11, 2011 / Accepted: February 20, 2012

Abstract The purpose of this study was to develop a simple and easy predictive model of leg, spine and whole body bone mineral density (BMD) from anthropometric, physical fitness, body composition and quantitative ultrasound (QUS) variables. Participants were 138 Japanese overweight and obese men (50.9 ± 9.6 yr, body mass index [BMI] 29.1 ± 2.6 kg/m^2). We measured anthropometric variables (height, weight, BMI, chest, waist, hip, upper arm, thigh circumferences), physical fitness (grip strength, side steps, vertical jump, forced vital capacity), body composition (fat-free mass) and QUS. BMD was measured by dual energy X-ray absorptiometry. Multiple linear regression analyses showed that all predictive models for BMD were significant. As a result, the predictive model for leg BMD showed the highest model fitting. The Bland & Altman approaches demonstrated the (positive or negative) systematic error even though most plots were placed within ideal range. Predictive model from physical fitness, body composition and QUS would be useful for estimating whole body and regional BMD. Because these predictive models are likely to have some systemic errors, further research is needed to improve the predictive accuracy.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 61(2): 243-249 (2012)

Keywords : quantitative ultrasound, physical fitness, predictive model

緒 言

骨粗鬆症による脊椎や大腿骨頸部の骨折は，高齢者の自立機能を障害し，寝たきりの原因となり，高齢者の生活の質(quality of life: QoL)を著しく低下させうる．従って，骨粗鬆症をできるだけ早期に診断し，適切な治療をすること，さらに脊椎や大腿骨骨折を予防することは女性だけでなく男性においても極めて重要である[1]．本邦における骨粗鬆症の診断は，二重エネルギーX線吸収(dual energy X-ray absorptiometry: DXA）法によって得られる骨密度（bone mineral density: BMD）が判定基準値として用いられている．また，このDXAは体組成の妥当基準としても使用されてきた[2]．しかしながら，DXAはX線を用いるため，安全性や経済性の問題から，誰でも容易に受けられる測定ではない[3]．従って，大規模集団を対象に骨粗鬆症のスクリーニングをおこなう際，BMDを簡便に評価しようとすることは意義深いと考えられる．

超音波骨指標（quantitative ultrasound: QUS）はX線による被曝がなく，取り扱いが簡便である上に，小型で持ち運びも容易であり[4]，本邦においては，DXAに次いで普及している（DXA約1万台に対してQUSは約5400台)[5]．また，QUSによる骨粗鬆症や骨折のリスク予測は，有効である[6]との報告もある．QUSにより得られる指標は，骨硬度と骨構造を反映する[7]と言われるため，必ずしもBMDに準じた指標とは言えない．しかし，両者の相関関係は，測定部位や年齢にもよるが，r = 0.4～0.8前後と統計学的に有意であることが認められてい

る[8-10]．また，体重が負荷となって刺激を与える部位のBMDと形態指標の相関関係は強く，形態指標がBMDの良い指標になる[11]と報告されている．Kim et al.[12]は，腰椎BMDと年齢，身長，体重や血液生化学指標（空腹時血糖，総コレステロール，中性脂肪そして低比重リポ蛋白コレステロール）の間に有意な相関関係があったことを報告している（r = -0.37～0.17）．さらに，腰椎BMDを従属変数とする重回帰分析をした結果，年齢，身長，空腹時インスリン，除脂肪量およびウエストヒップ比が有意な独立変数として選ばれた（R^2 = 0.17）と報告している．しかし，これらの報告にある生化学指標やウエストヒップ比は，本来，肥満や動脈硬化症を示す指標であり，必ずしもBMDに対する特異的な指標とはいえない．

BMDを従属変数とした推定式を作成する際には，年齢や身長，体重などの他，QUSによって得られる指標を独立変数として加えることが有効であると考えられる．BMDの推定式作成によって，BMDを簡便かつ妥当に予測できる可能性があり，骨粗鬆症スクリーニングに有用なツールになると考えられる．また，女性のみならず男性を用いたBMD推定式の作成はおこなわれていない．

そこで本研究は，過体重および肥満男性を対象として，測定が簡便かつBMDの予測因子となりうる年齢や形態，体力，体組成およびQUSから脚部，脊椎および全身BMDの推定式を作成することを目的とした．

方　法

対象者　本研究の対象者は，茨城県に在住する者で，過体重および肥満（body mass index [BMI] > 25kg/m^2）[13]の男性169名であった．すべての対象者は，茨城県つくば市およびその近隣自治体から，広報誌および地域情報紙を通じて募集した．そのうち，代謝性骨疾患の既往歴やBMDおよびQUSに影響を及ぼす可能性のある薬剤を服用している５名とデータに不備がある７名は除外した．さらに，157名のデータから，年齢，身長，体重，BMIの標準偏差を求め，それらから２倍を超える値を外れ値として19名（それぞれ６名で24名，そのうち５名は同一対象者）を除外し，138名（年齢50.9±9.6歳，BMI 29.1±2.6kg/m^2）を解析対象者とした．すべての対象者には測定に先立ち，研究の目的および測定内容を十分に説明した上で，研究参加について同意を得た．また本研究は，筑波大学に帰属する倫理委員会の承認を得ておこなった（記番号674）．対象者は，以下に述べる測定項目の全て（形態，体力および体組成，QUSおよびDXA測定）に参加し，各測定は同じ時間帯である午前中のうちにおこなわれた．

測定項目および測定方法

形態　身長は身長計（YG-200, ヤガミ社製）により0.1cm，体重は体重計（TBF-551，タニタ社製）を用いて0.1kg単位まで測定した．得られた身長，体重から，体重（kg）を身長（m）の２乗で除すことによりBMIを算出した．さらに，胸囲（cm），腹囲（cm），臀囲（cm），および右側の上腕囲（cm）と大腿囲（cm）も形態指標として測定した．なお，形態指標の測定はすべて立位姿勢で測定した．体重測定は，身につけていた貴金属類を外させた上で，測定用の衣服（検査着）に着替えさせ，測定をおこなった．

体力および体組成　体力では，握力（kg）（デジタル握力計，竹井機器工業社製），反復横とび（回/20秒），垂直とび（cm）（デジタル垂直とび測定器，竹井機器工業社製），努力性肺活量（ml）（SP-310，フクダ電子社製）を測定した．努力性肺活量と１秒量から１秒率を求めることも可能であったが，１秒率は，閉塞性肺疾患の診断などに用いられる呼吸筋を評価する指標であり，BMD値を特異的に反映する指標とは考えられなかった為，努力性肺活量のみ検討した．

体組成は，生体電気抵抗法（bioelectrical impedance method: BI法）（HBF-300，オムロン社製）による体脂肪率（%）を測定した．BI法により体脂肪率を測定する手順および測定姿勢は，製造・販売元によって推奨される方法に従った．また測定値は，測定機器に内蔵されている推定式より算出し，表示された数値を採用した．さらにBI法によって求められた体脂肪率に体重をかけ，体脂肪量を算出し，体重から体脂肪量を引くことで除脂肪量（kg）を算出した．

QUSおよびBMD　QUS指標としてAOS-100（ALOKA社製）を用いて得られる音速（speed of sound: SOS），および透過指標（transmission index: TI）を測定した．測定部位は，右足の踵骨部とし，３回測定した平均値を用いた．BMDは，DPX-NT（Lunar社製）によるDXA法によって測定した．DXA法は，高エネルギー（80～100keV）と低エネルギー（40～50keV）の２種類のX線が組織を通過するとき，吸収と散乱による減衰の特性が２つのX線間で異なることを利用して，照射前後のX線強度減弱率から軟部組織量の影響を補正した骨量値を得る方法である．DXAではBMD（g/cm^2），area（cm^2），およびBMC（bone mineral content: 骨量）が得られる．DXAによるBMDは，二次元データより得られた単位面積当たりの骨量指標であり，物理学的な意味の密度とは異なる[14]．測定にあたり，前日の暴飲暴食と過度な身体活動を，控えるように指示した．さらに，測定の２時間前からの飲食をおこなわないよう指示した．測定直前には，身につけていた貴金属類を外させた上で，測定用の衣服（検査着）に着替えさせた．測定姿勢は仰臥位で，

掌を下向きにしてベッドに密着させた．本研究で考案した推定式に使用する部位は，全身スキャンモードで全身BMDを測定した後，全身BMDとそれを身体各部位に分割した脚部，脊椎BMDとした．また，脊椎は頸椎，胸椎，腰椎の椎骨を対象とした．

統計処理　各項目の測定結果は，平均値±標準偏差で表した．各項目間の相関係数はPearsonの積率相関係数（r）により検討した．BMD推定式を作成するために，Stepwise法（変数増加法）による重回帰分析を施した．重回帰分析をするにあたり，脚部，脊椎，および全身BMDを従属変数，年齢や形態，体力，体組成およびQUSを独立変数として解析をした．推定式の精度は，標準推定誤差（standard error of estimate: SEE = standard deviation $(1-r^2)^{1/2}$）により評価した．実測値と推定値の一致度については，Bland & Altman[15]の手法を用いて検討した．すべての検定において，統計学的有意水準を5％に設定し，統計解析にはSPSS12.0J（SPSS社製）を用いた．

結　果

各項目の測定結果をTable 1に，また脚部，脊椎および全身BMDと各項目の相関係数をTable 2に示した．脚部および全身BMDと各指標との相関係数は，ほぼ全ての項目において統計学的に有意であった．各部位BMDに対する重回帰分析の結果をTable 3に示した．また，これらの結果より，脚部BMD = 0.012×除脂肪量+0.002×SOS-0.017×上腕囲+0.003×垂直とび-0.003×努力性肺活量-1.348，自由度調整済みの決定係数（adjusted R^2: $AjdR^2$）= 0.46，脊椎BMD = 0.012×除脂肪量+0.002×SOS-0.006×腹囲+0.004×年齢-2.044，$AjdR^2$ = 0.26，さらに全身BMD = 0.002×SOS+0.006×除脂肪量-1.562，$AdjR^2$ = 0.45の推定式を作成することができた．説明率の最も高いモデルについてBland & Altmanの手法を用いて一致度を検討した．その結果，実測値および推定値の平均値（X）と両者の差（Y）の間には，それぞれ有意な相関関係がみとめられた（r = 0.35, r = 0.60, r = 0.31）（Fig. 1～3）．

考　察

本研究の目的は，過体重および肥満である男性を対象として，測定が簡便かつBMDの予測因子となりうる形態，体力，体組成およびQUSから脚部，脊椎および全身BMDの推定式を作成することであった．

各部位BMD推定式を作成する前に，まずBMDの予測因子となりうる年齢や形態，体力，体組成およびQUSと各部位BMDの相関関係を確認した（Table 2）．BMDが身長，体重などの形態，また除脂肪量，体脂肪量などの体組成と相関関係があることは古くから知られている[16]が，詳細については明らかになっておらず，いまだ検討の余地がある[3]．ウエストヒップ比による形態指標がBMDに関係するという報告[12]が見受けられるが，Edelstein & Barrett-Connor[11]は，有意な相関関係がみられなかったと報告している．本来，ウエストヒップ比

Table 1.　Characteristics of the participants (n = 138).

Age and anthropometric variables	Mean ± SD	Min	Max
Age, yr	50.9 ± 9.6	30	71
Height, cm	168.6 ± 5.4	157.1	180.6
Weight, kg	82.8 ± 10.0	62.5	109.2
Body mass index, kg/m²	29.1 ± 2.6	25.1	37.0
Chest circumference, cm	102.9 ± 5.9	92.3	124.4
Waist circumference, cm	99.5 ± 6.9	84.7	121.6
Hip circumference, cm	101.5 ± 5.4	89.8	123.6
Upper arm circumference, cm	34.4 ± 2.2	27.4	41.1
Thigh circumference, cm	58.7 ± 4.0	50.7	68.0
Physical fitness and body components			
Grip strength, kg	46.0 ± 7.0	30.1	64.9
Side steps, times/20seconds	36.6 ± 8.5	14	52
Vertical jump, cm	43.3 ± 8.3	17.0	59.0
Forced vital capacity, ml	3712 ± 589	2180	5410
Fat-free mass, kg	59.3 ± 6.7	44.4	76.8
Quantitative ultrasound			
Speed of sound, m/s	1573 ± 29	1499	1678
Transmission index, s	1.167 ± 0.125	0.749	1.691
Dual energy X-ray absorptiometry			
Leg bone mineral density, g/cm²	1.356 ± 0.121	1.123	1.731
Spine bone mineral density, g/cm²	1.233 ± 0.160	0.853	1.649
Whole body bone mineral density, g/cm²	1.242 ± 0.098	1.026	1.521

Mean ± SD (standard deviation).

Table 2. Pearson's correlation coefficients (r) between selected variables and bone mineral density (n = 138).

Variable	L BMD	S BMD	W BMD
Age	-.27 *	.07	-.24 *
Height	.35 *	.20 *	.32 *
Weight	.47 *	.23 *	.47 *
Body mass index	.37 *	.17 *	.39 *
Chest circumference	.37 *	.13	.37 *
Waist circumference	.26 *	.10	.26 *
Hip circumference	.36 *	.12	.34 *
Upper arm circumference	.24 *	.11	.28 *
Thigh circumference	.39 *	.09	.37 *
Grip strength	.30 *	.14	.30 *
Side steps	.20 *	-.05	.15
Vertical jump	.24 *	.01	.18 *
Forced vital capacity	.10	-.03	.08
Fat-free mass	.48 *	.30 *	.48 *
Speed of sound	.48 *	.37 *	.54 *
Transmission index	.33 *	.17 *	.28 *

BMD: bone mineral density; L BMD: leg BMD; S BMD: spine BMD; W BMD: whole body BMD; Significant correlation coefficient among each bone mineral density and selected variables (*: $P < 0.05$).

Table 3. Multiple linear regression analyses with stepwise method for predictive models of leg, spine and whole body bone mineral density (n = 138).

	Independent variables	Regression coeficients	β	P value	SEE (g/cm^2)	R^2	AdjR^2
Leg BMD	Fat-free mass	.012	.669	.0001	.089	.48	.46
	Speed of sound	.002	.396	.0001			
	Upper arm circumference	-.017	-.300	.0001			
	Vertical jump	.003	.213	.0001			
	Forced vital capacity	-.003	-.166	.0001			
	Intercept	-1.348					
Spine BMD	Fat-free mass	.012	.514	.0001	.137	.29	.26
	Speed of sound	.002	.349	.0001			
	Waist circumference	-.006	-.271	.0001			
	Age	.004	.266	.0001			
	Intercept	-2.044					
Whole-body BMD	Speed of sound	.002	.471	.0001	.072	.46	.45
	Fat-free mass	.006	.419	.0001			
	Intercept	-1.562					

β: standard partial regression coefficient; SEE: standard error of estimate; AdjR^2: adjusted R squared; BMD; bone mineral density.

は，上半身肥満と下半身肥満の判別に用いられる指標であり，さらに本研究においても先行研究[11]と同様に，各部位BMDとの間に有意な相関関係がなかった為，形態指標の変数として検討しなかった. Nakamura et al.[17]は，日本人閉経前女性を用い，腰椎BMDと体重との間に有意な相関関係がみられたと報告している．さらに，閉経後女性を対象とした検討では，年齢，BMIとの間に有意な相関関係がみられた[18]．女性は加齢に伴う閉経期を境に性ホルモン分泌が低下し，それによってBMDが低下する[19]ことが知られている．これら[17,18]の対象者は女性であり，本研究と性別が異なったが，脚部および全身BMDにおいて，女性と同様な傾向がみられた．

BMDと体力の関係を検討する際，本研究では，筋力を評価する指標として握力，敏捷性は反復横とび，瞬発力は垂直とび，そして努力性肺活量を採用した．先行研究において，BMDと体力に関係する体力測定項目のいくつかの関係性が検討されており[20]，本研究でも先行研究同様に，体力測定項目を含めた推定式作成を試みた．先行研究において，BMDと動的筋力に関係する測定項目で有意な相関関係あると報告されている[21]．本研究で用いた握力は，静的筋力測定であるが，全身の筋力と高い相関関係を示す簡易な測定方法であり[22,23]，全身および各部位BMDの独立した予測因子である[24]ことが報告されている．握力は，BMDとの間に他の体力指

標より高い相関係数を示したが，除脂肪量，SOSおよびBMIより低い相関係数であった．Ngai et al.[3]は，BI法が除脂肪量を測定する原理を基にしていることより，腰椎BMDとBI法による抵抗値，除脂肪量，体脂肪量の関係を検討した．その結果として，抵抗値のみ腰椎BMDと有意な相関関係を示した．体脂肪量より除脂肪量あるいは筋量がBMDと強く関係するという報告[22]があるため，本研究では，BI法による抵抗値ではなく除脂肪量とBMDの関係を検討した．相関係数を見る限り，体力と比べてQUSは，BMDにより強く関係している可能性が考えられる．QUS法における測定部位は，踵骨部にておこなうのがほとんどである．その理由としては，測定原理と高い再現性が得られるからである[9]．QUSはBMDそのものを測定していないが，骨硬度と骨構造を反映する[7]とされており，踵骨および各部位BMDと有意な相関（r = 0.7前後）を示している[8-10]．本研究の相関係数はr = 0.17～0.54と先行研究より低いが，中程度の相関係数が観察された．先行研究[10]は踵骨部BMDと踵骨部QUSと測定部位が同じであったが，本研究では脚部，脊椎そして全身BMDと必ずしも踵骨部分を特異的に測定していなかった．また，BMDとの関係を検討したQUSも，本研究と同じ指標を用いていなかった[8,10]．QUSは，製造会社ごとに独自の指標（TIやbroadband ultrasonic attenuation）があり，昨今これらの機種間の標準化する試みが本邦でなされている[25]．今後は，これらの標準化されたQUSを用いて各部位BMDとの関係性を検討する価値があると考えられる．

次に，Table 2に得られた結果より各指標を選択し，重回帰分析の独立変数として解析した（Table 3）．その結果，脚BMDの独立変数は形態として上腕囲，体組成として除脂肪量，体力として垂直とびと努力性肺活量，QUSであるSOSが採択された．前述したように，BMDと動的筋力は有意な相関があり[21]，本研究においても脚部BMDにおいて有意な独立変数として垂直とびが採択された（Table 3）．垂直とびは，脚部そのものの筋力評価であると考えられ，その結果として垂直とびが採択される結果になったのかもしれない．除脂肪量は，脚部，脊椎および全身BMDに対する独立変数として採択された．本研究におけるBI法の測定手順・測定姿勢は，電極部を両手で把持し，立位姿勢で測定する様式であり，両腕の体水分量をより良く反映したためであると推察できる．本研究の結果は，女性を対象とした先行研究[12]（R^2 = 0.17），本研究と同じ男性を対象者とした先行研究[3]（抵抗値でR^2 = 0.15）の報告より良好であり，除脂肪量がBMDを良く反映する因子であるという報告[3,12]を裏付けるものであった．全身BMDの独立変数は，SOS，除脂肪量であった．BMIと体重は各部位BMDのうち8.9～19.8%を説明する因子である[26]ことから，本研究でも，

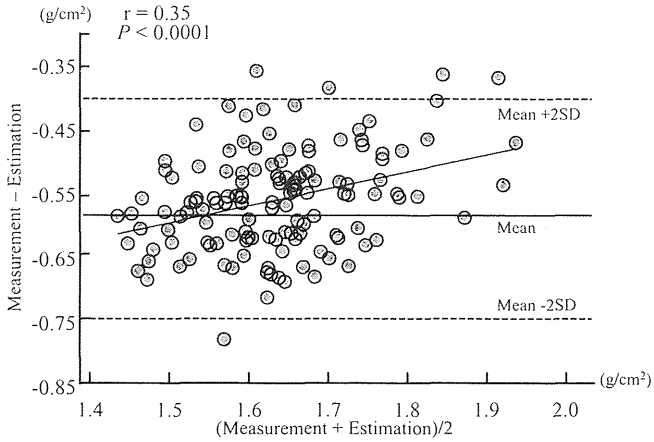


Fig 1. Agreement between measured leg bone mineral density by DXA and estimated bone mineral density.

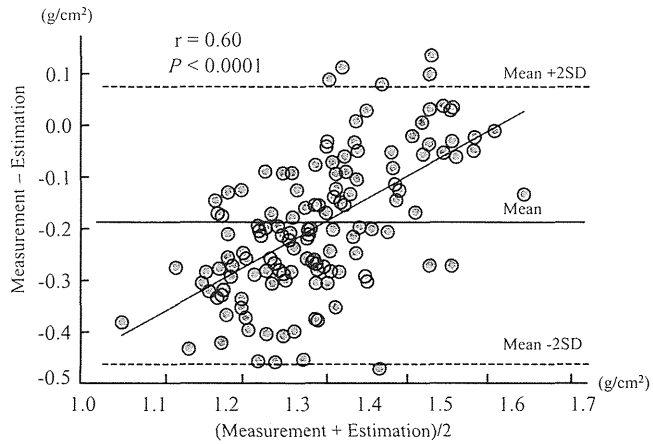


Fig 2. Agreement between measured spine bone mineral density by DXA and estimated bone mineral density.

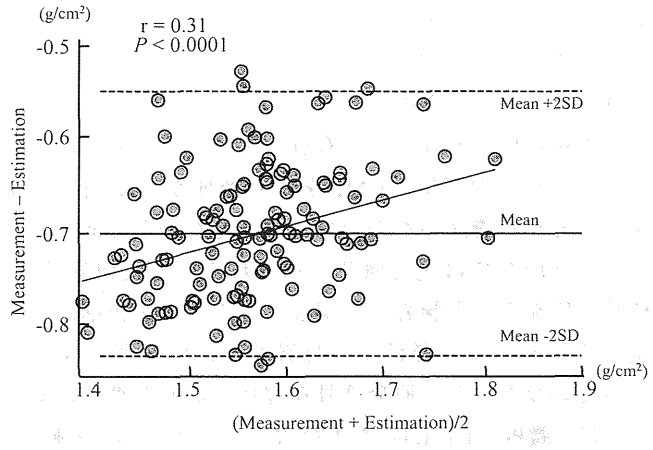


Fig 3. Agreement between measured whole body bone mineral density by DXA and estimated bone mineral density.

同様な結果が予想されたが，BMIと体重は採択されなかった．Lee et al.[24]の検討でも，体重，BMIは採択されず，DXA法による除脂肪量，体脂肪量そして握力が採択される結果であった（AjdR^2 = 0.49）．また，QUSは，踵骨部を測定部位としている為，脚部BMDにおいてのみ採択されることが予測されたが，全ての式の独立変数として採択される結果となった．QUSを独立変数

から除外して重回帰分析をおこなった．その結果，それぞれの説明率は，いずれも大きく低下する傾向がみられた（脚部[AjdR^2 = 0.33]，脊椎[AjdR^2 = 0.13]および全身BMD[AjdR^2 = 0.24]）．この結果は，各部位BMDを予測する際，QUSを独立変数として用いることが有効であるということを示唆していると考えられる．

本研究の脊椎BMDの説明率は，他の部位BMDと比較しても最も低く（AjdR^2 = 0.26），逆に，最も説明率が高かったのは，脚部BMD（AjdR^2 = 0.46）であった．また，全身BMDの説明率は，0.45であった．これらの説明率は，DXAによる除脂肪量，体脂肪量を変数として用いていた先行研究[24]とほとんど変わらなかった．

BMD推定式において，説明率が最も高いモデルについての標準推定誤差を求めたところ，その値は決して小さくなく（SEE = 0.072～0.137 g/cm^2），測定精度は十分であるとはいえなかった（Table 3）．さらに，Bland & Altmanの手法を用いた一致度の検定では，実測値と推定値の平均値（X）と両者の差（Y）の間にはそれぞれ有意な相関関係がみとめられた（Fig 1～3）．このことは，本研究で作成されたBMD推定式が一般化されるために解決すべき問題点があることを意味している．

我々の知る限りでは，本研究は，簡便な指標を用いてBMDの推定式を作成した数少ない報告であるが，いくつかの限界があり，その一つに被験者の選択バイアスの問題が挙げられる．本研究の対象者は一般男性でなく，過体重および肥満男性であったため，本研究によって作成された各部位BMD推定式は過体重および肥満でない男性および女性に当てはまるかどうか解らず，今後検討する必要がある．BMD推定式を作成する際，脚部，脊椎，全身を対象とした理由として，これらの部位が骨量の減少（骨粗鬆症）と骨折との有意な関係がみとめられており[27]，これらの部位のBMDをより簡便かつ妥当に推定することが意義深いものであると考えたからである．しかし，本研究では先行研究で示されている大腿骨頸部，橈骨遠位端部，上腕骨近位端部などの部分を包括的に測定しており，より詳細で，特異的な部位を測定するに至っていなかった．原発性骨粗鬆症の診断基準[28]にあるように，腰椎（L1-L4）や大腿骨（ワード三角，大転子，頸部など）のBMD推定式を作成することが，臨床的意義が大きく検討する必要性がある．また，本研究によって得られた簡便な指標を用いた部位別BMDの推定式の説明率は26～46%であり，その他の因子を探索する必要がある．その際には，対象者をさらに増やすと共に過体重および肥満でない集団においても交差妥当性の面から検討を重ね，推定式の一般化が望まれる．成人男性において体重と除脂肪量がBMDに正相関し，過体重あるいは肥満であることが骨粗鬆症の低リスクとなる[29]ことが知られている．肥満者では加重（体重および除脂肪量）がかかり，BMDおよびQUS値は高くなる傾向があると思われる．本研究では踵骨のQUSを測定部位としたが，踵骨は負荷骨であり，しかも90%が海綿骨によって構成されており，運動や体重による影響をうけやすい[30]．従って，骨粗鬆症予防という観点からすると過体重および肥満男性を用いた検討の意義は低いと考えられる．一方で，若年者の過体重および肥満は低骨量である[31]ことも報告されており，過体重および肥満者を用いた検討は重要であるといえる．特に閉経後女性は男性に比べ，骨粗鬆症の発症率が高いことからBMD測定が臨床的意義深い．このことより若年の過体重および肥満者や閉経後女性を対象者とした検討が不可欠であると考える．

まとめ

本研究の目的は，過体重および肥満男性138名を対象として，測定が簡便かつBMDの予測因子となりうる形態指標，体力，体組成およびQUS指標から脚部，脊椎および全身BMDの推定式を作成することであった．その結果，各部位のBMDを従属変数としたすべてのモデルにおいて統計学的に有意な推定式を作成することができた．また，SOSは，すべてのモデルにおいて有意な独立変数として採択された．また，モデルの説明率が最も高かったのは脚部BMDを従属変数にしたモデルであった（R^2 = 0.46）．Bland & Altmanの手法を用いて各部BMDの実測値と推定値の一致度を検討したところ，それぞれの式は，ほぼ良好であることが認められたが，系統誤差もみとめられた．すなわち，本研究によって得られた推定式は，各部位BMDを簡便な指標を用いて予測できる可能性が示されが，BMDが高値になるにつれて実測値と測定値の差が大きくなる傾向があり，今後更なる改善の必要性がある．

文　献

1) Martin AR, Sornay-Rendu E, Chandler JM, Duboeuf F, Girman CJ, Delmas PD. The impact of osteoporosis on quality-of-life: the OFELY cohort. *Bone* 31: 32-36, 2002.
2) Humphries IR, Hua V, Ban L, Gaskin KJ, Howman-Giles R. Validation of estimates of lean tissue mass made by dual-energy X-ray absorptiometry. *Ann NY Acad Sci* 904: 104-106, 2000.
3) Ngai HH, Cheung CL, Yao TJ, Kung AW. Bioimpedance: can its addition to simple clinical criteria enhance the diagnosis of osteoporosis? *J Bone Miner Metab* 27: 372-378, 2009.
4) 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. QUS使用の実際. Osteoporosis Jpn, 13: 21-56, 2005.
5) 福永仁夫：骨粗鬆症検診に広く用いられる定量的超音波測定法（QUS）について，骨粗鬆症財団ニュース，12: 1, 2007.

6) Fujiwara S, Sone T, Yamazaki K, Yoshimura N, Nakatsuka K, Masunari N, Fujita S, Kushida K, Fukunaga M. Heel bone ultrasound predicts non-spine fracture in Japanese men and women. *Osteoporos Int* 16: 2107-2112, 2005.
7) Glüer C. Quantitative ultrasound techniques for the assessment of osteoporosis: expert agreement on current status. The International Quantitative Ultrasound Consensus Group. *J Bone Miner Res* 12: 1280-1288, 1997.
8) Yamazaki K, Kushida K, Ohmura A, Sano M, Inoue T. Ultrasound bone densitometry of the os calcis in Japanese women. *Osteoporos Int* 4: 220-225, 1994.
9) 游逸明, 山本逸雄, 高田政彦, 浜中恭代, 大田豊承, 松下亮二, 森田陸司: 骨密度測定の方法: 各種骨塩定量法の比較, 臨床スポーツ医学, 15: 703-707, 1998.
10) Waud CE, Lew R, Baran DT. The relationship between ultrasound and densitometric measurements of bone mass at the calcaneus in women. *Calcif Tissue Int* 51: 415-418, 1992.
11) Edelstein SL & Barrett-Connor E. Relation between body size and bone mineral density in elderly men and women. *Am J Epidemiol* 138: 160-169, 1993.
12) Kim CJ, Oh KW, Rhee EJ, Kim KH, Jo SK, Jung CH, Won JC, Park CY, Lee WY, Park SW, Kim SW. Relationship between body composition and bone mineral density in perimenopausal Korean women. *Clin Endocrinol* 71: 18-26, 2009.
13) WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Consultation. WHO Technical Report Series Number 854. World Health Organization: Geneva, 1995.
14) 曽根照善: X線吸収法 (DXA法), 日本臨床, 60: 192-196, 2002.
15) Bland JM & Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8476: 307-310, 1986.
16) Compston JE, Bhambhani M, Laskey MA, Murphy S, Khaw KT. Body composition and bone mass in postmenopausal women. *Clin Endocrinol* 37: 426-431, 1992.
17) Nakamura K, Ueno K, Nishiwaki T, Okuda Y, Saito T, Tsuchiya Y, Yamamoto M. Nutrition, mild hyperparathyroidism, and bone mineral density in young Japanese women. *Am J Clin Nutr* 82: 1127-1133, 2005.
18) Nakamura K, Tsugawa N, Saito T, Ishikawa M, Tsuchiya Y, Hyodo K, Maruyama K, Oshiki R, Kobayashi R, Nashimoto M, Yoshihara A, Ozaki R, Okano T, Yamamoto M. Vitamin D status, bone mass, and bone metabolism in home-dwelling postmenopausal Japanese women: Yokogoshi Study. *Bone* 42: 271-277, 2008.
19) Tsunenari T, Tsutsumi M, Ohno K, Yamamoto Y, Kawakatsu M, Shimogaki K, Negishi H, Sugimoto T, Fukase M, Fujita T. Age- and gender-related changes in body composition in Japanese subjects. *J Bone Miner Res* 8: 397-402, 1993.
20) Kärkkäinen M, Rikkonen T, Kröger H, Sirola J, Tuppurainen M, Salovaara K, Arokoski J, Jurvelin J, Honkanen R, Alhava E. Physical tests for patient selection for bone mineral density measurements in postmenopausal women. *Bone* 44: 660-665, 2009.
21) Vicente-Rodriguez G, Dorado C, Perez-Gomez J, Gonzalez-Henriquez JJ, Calbet JA. Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* 35: 1208-1215, 2004.
22) Snow-Harter C, Bouxsein M, Lewis B, Charette S, Weinstein P, Marcus R. Muscle strength as a predictor of bone mineral density in young women. *J Bone Miner Res* 5: 589-595, 1990.
23) Kritz-Silverstein D & Barrett-Connor E. Grip strength and bone mineral density in older women. *J Bone Miner Res* 9: 45-51, 1994.
24) Lee N, Radford-Smith GL, Forwood M, Wong J, Taaffe DR. Body composition and muscle strength as predictors of bone mineral density in Crohn's disease. *J Bone Miner Metab* 27: 456-463, 2009.
25) 岸本英彰: 測定QUS値の機種間差と標準化, Osteoporosis Japan, 17: 8-13, 2009.
26) Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Anderson JJ. 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, 1993.
27) Seeley DG, Browner WS, Nevitt MC, Genant HK, Scott JC, Cummings SR. Which fractures are associated with low appendicular bone mass in elderly women? The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Ann Intern Med* 115: 837-842, 1991.
28) 折茂肇, 林泰史, 福永仁夫, 曽根照喜, 藤原佐枝子, 白木正孝, 串田一博, 宮本繁仁, 宗圓聰, 西村純二, 大橋靖雄, 細井孝之, 五来逸雄, 田中弘之, 猪飼哲夫, 岸本英彰: 原発性骨粗鬆症の診断基準, 日本骨代謝学会雑誌, 18: 76-82, 2001.
29) Reid IR, Plank LD, Evans MC. 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, 1992.
30) Suominen H & Rahkila P. Bone mineral density of the calcaneus in 70- to 81-yr-old male athletes and a population sample. *Med Sci Sports Exerc* 23: 1227-1233, 1991.
31) Goulding A, Taylor RW, Jones IE, McAuley KA, Manning PJ, Williams SM. Overweight and obese children have low bone mass and area for their weight. *Int J Obes Relat Metab Disord* 24: 627-632, 2000.