

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

岡野 亮介

The Validity, Reliability, Reproducibility and Precision of Osteo-Sono-Assessment Index Measured by an Acoustic Osteo Screener(AOS-100).

Ryosuke Okano

Abstract

This study examined the validity, reliability, reproducibility and precision of OSI (osteosono-assessment index) measured by an acoustic osteo screener (AOS-100, Aloka).

The main results are as follows:

1) There are moderate to very high correlations with significance among OSI, BMD(bone mineral density) measured by dual energy X-ray absorptiometry using a Norland XR-26, and bone stiffness measured by an ultrasound bone densitometer (Achilles, Lunar), indicating the high validity of OSI.

2) There is no significant difference between the two means of OSI measured separately and also no significant level in F-value just as correlation coefficient between the OSIs is very high and significant, indicating a good reliability and reproducibility of OSI.

3) The precision of OSI is presumed to be inferior to that of BMD. Consequently one subject should be measured plural times if there is enough time for the OSI measurement.

From these results, it is confirmed that an acoustic osteo screener(AOS-100) can be put to practical use for the screening of osteoporosis.

Key words: validity, reliability, reproducibility, precision, OSI

I. 研究目的

2020 年には 4 人に 1 人が高齢者となる超高齢化社会を迎えるにあたって、近年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（蛋白質、カルシウム、マグネシウム、リン、ビタミン D およびビタミン K などの摂取）^{3~5)}、体格（身長、体重および BMI）^{6,7)}、体脂肪量・体脂肪率^{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⁾などが大きく影響を与える。このような現状にあつて、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^{1,15,16)}。

骨密度 (Bone Mineral Density:BMD) の測定には、異なる 2 つのエネルギーの X 線を利用した Dual Energy X-ray Absortometry (DXA) が一般的によく利用されている。この方法の利点は測定精度が非常に高いことである。しかし、測定に約 10~20 分ほどの時間を要すること、X 線による被曝を伴うため測定に対して医療施設と医療スタッフが必要であること、測定のための費用もやや高価であることが短所として挙げられている。これらの短所のため DXA は大多数の対象者を短時間に測定するというスクリーニング機器として利用されるのではなくて、精密検査の 1 つとして利用されるものであると認識されている。これらのことから、スクリーニングテストとしての利用価値を有し、しかも持ち運びが容易でかつ測定者の資格制限が比較的緩和されている超音波による測定法が開発されてきた。当初は Lunar 社製超音波骨量測定装置 Achilles を始めとする湿式測定器で、踵骨を測定対象としていた。しかし、この測定法にしても測定時間は大幅に短縮されたものの（約 30~60 秒）定期的に換水しなければならないという不便さは残っていた。そのためこれらの欠点をさらに補うため乾式の測定器が開発されてきた。その代表がアロカ社製超音波骨評価装置 AOS-100 である。本装置では測定に要する時間も約 10 秒程度である。

超音波骨評価装置 AOS-100 では、アダプターにより対象者の足を固定し、対向する一対の振動子で踵骨の両側を挟み、広帯域パルス波を送受信することで骨強度を評価するものである。具体的には、踵骨部分を透過する超音波の速度 (Speed of Sound:SOS) と透過指標 (Transmission Index:TI,超音波が踵骨を透過する時の減衰の周波数特性に関連する) を求め、 $TI \times SOS^2$ を Osteo-Sono-Assessment Index (OSI:音響的骨評価値) と称し、この OSI より骨強度を評価するわけである。

本研究は、スクリーニング機器としての利用可能性の高いと考えられる超音波骨評価装置 AOS-100 により算出される計測値の妥当性、信頼性、再現性および測定精度を検討し、本測定装置の有効性を明らかにすることを目的としている。

II. 研究方法

1. DXAによるBMDと超音波骨評価装置AOS-100による骨強度との相関性

1)被検者

被検者は健康な成人男女34名(男性19名、女性15名)であった。彼らの年齢、身長および体重はそれぞれ 36.1 ± 7.9 歳(平均値 \pm 標準偏差,以下同じ)、 165.5 ± 7.2 cm および 59.0 ± 8.9 kgであった。

2)測定方法

DXAはNorland社製XR-26を使用し、腰椎(L2~L4)と左右大腿骨頸部のBMDを測定した。その後アロカ社製超音波骨評価装置AOS-100を使用して右踵骨骨強度を測定した。

2. Lunar社製超音波骨量測定装置Achillesによる骨強度とアロカ社製超音波骨評価装置AOS-100による骨強度との相関性

1)被検者

被検者は健康な成人男女84名(男性38名、女性46名)であった。彼らの年齢、身長および体重はそれぞれ 39.2 ± 14.8 歳、 163.2 ± 7.1 cm および 57.1 ± 8.4 kgであった。

2)測定方法

Lunar社製超音波骨量測定装置Achillesとアロカ社製超音波骨評価装置AOS-100を用いて右踵骨骨強度を測定した。両測定時の間隔は3カ月以内であった。

3. 超音波骨評価装置AOS-100による骨強度の信頼性・再現性

1)被検者

被検者は健康な成人女性51名であった。彼女らの年齢、身長および体重はそれぞれ 53.7 ± 9.5 歳、 153.4 ± 5.0 cm および 53.6 ± 5.2 kgであった。

2)測定方法

約3カ月間の間隔を設け、アロカ社製超音波骨評価装置AOS-100を用いて2度右踵骨骨強度を測定した。

4. 超音波骨評価装置AOS-100による骨強度の測定精度

A.同一日に連続して10回測定した場合—アダプターで足の固定を継続して

(1)被検者

被検者は健康な男女15名(男性11名、女性4名)であった。彼らの年齢、身長および体重はそれぞれ 28.2 ± 8.3 歳、 167.7 ± 6.5 cm および 61.3 ± 12.2 kgであった。

(2)測定方法

超音波骨評価装置 AOS-100 のアダプターに右の踵を固定したままの状態 (図 1) で 10 回連続して骨強度を測定した。

B. 同一日に連続 10 回測定した場合—測定毎にアダプターを開放し足の入れ直しを行って

(1)被検者

被検者は健康な男女 16 名 (男性 10 名、女性 6 名) であった。彼らの年齢、身長および体重はそれぞれ 26.5 ± 7.1 歳、 166.4 ± 6.9 cm および 58.5 ± 11.5 kg であった。

(2)測定方法

超音波骨評価装置 AOS-100 を用いて右踵骨骨強度を 10 回連続して測定した。この場合アダプターを測定毎に開放して足の入れ直しを行わせた。

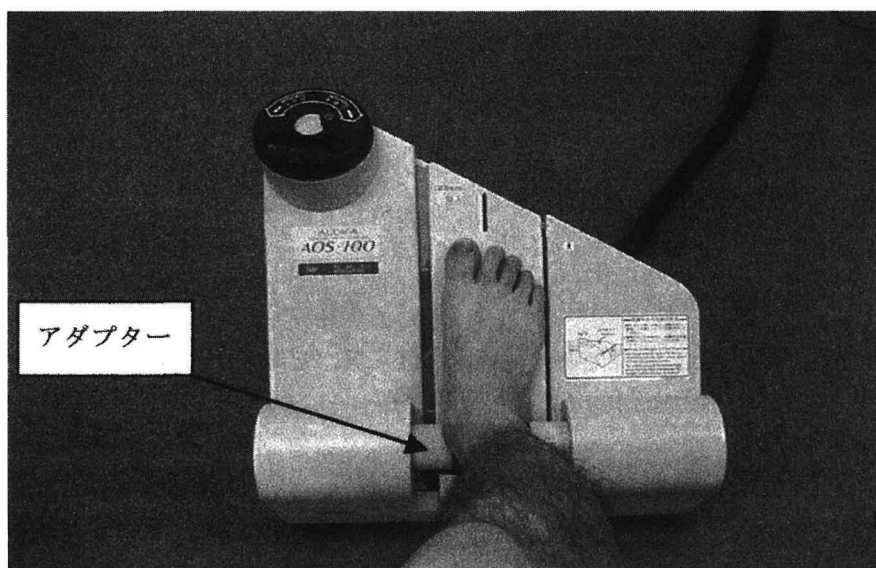


図 1 超音波骨評価装置 AOS-100 のアダプターで踵を固定した状態

C. 日を変えて連続 10 回測定した場合

(1)被検者

被検者は健康な成人男女 5 名 (男性 3 名、女性 2 名) であった。彼らの年齢、身長および体重はそれぞれ 31.2 ± 6.5 歳、 165.7 ± 8.6 cm および 59.9 ± 9.2 kg であった。

(2)測定方法

1 日 1 回連続 10 日間に亘って超音波骨評価装置 AOS-100 により右踵骨骨強度を測定した。

Norland 社製 XR-26 による測定はリハビリテーション加賀八幡温泉病院（石川県小松市）の放射線科において行われた。超音波骨評価装置 AOS-100 と超音波骨量測定装置 Achilles による測定は財団法人北陸体力科学研究所（石川県小松市）と萩国際大学において行われた。いずれの場合の測定においても検者は同一人であった。また表中の OSI の値はすべて 10^6 で除した値を使用した。

5. 統計処理

対応のある t 検定、分散分析、単相関分析（Pearson の積率相関係数を使用）および z 変換後に相関係数の差の検定を行い、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

1. DXA による BMD と超音波骨評価装置 AOS-100 による骨強度との相関性

超音波骨評価装置 AOS-100 により算出された SOS、TI および OSI と腰椎 BMD および右脚の大腿骨頸部 BMD との相関係数（妥当性係数）を表 1 に示した。腰椎 BMD においては、いずれも中程度で有意な相関係数であった。一方、大腿骨頸部 BMD においては、いずれも非常に高く有意な相関係数であった。また、SOS と OSI では大腿骨頸部 BMD との相関係数の方が腰椎 BMD との相関係数より有意に高く（いずれも $p < 0.05$ ）、TI は高い傾向であった。

表 1 SOS、TI および OSI と各 BMD との相関

	腰椎 BMD	大腿骨頸部 BMD
SOS (m/sec)	0.582 **	0.823 **
TI (sec)	0.413 *	0.722 **
OSI	0.488 **	0.784 **

N=34

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

2. Lunar 社製超音波骨量測定装置 Achilles による骨強度とアロカ社製超音波骨評価装置 AOS-100 による骨強度との相関性

Lunar 社製超音波骨量測定装置 Achilles による骨強度（Stiffness）とアロカ社製超音波骨評価装置 AOS-100 による OSI との間の相関係数は 0.834 で 1%水準で有意であった。なお Stiffness は超音波が踵を通過する時の伝播速度と広帯域減衰係数より求められた指標である。

3. 超音波骨評価装置 AOS-100 による骨強度の信頼性・再現性

約 3 カ月間の期間を設けて 2 度測定した SOS、TI および OSI の結果を表 2 に示した。対応した各パラメータ間の相関係数 (信頼性係数) はいずれも非常に高く有意であった。またすべてのパラメータにおいて平均値間に有意な差はなく、分散比も有意な水準ではなかった。

表 2 SOS、TI および OSI の 2 回の測定における比較

	1 回目	2 回目	F	r
SOS (m/sec)	1550.8 ± 21.2	1552.7 ± 23.5	1.229	0.886 **
TI (sec)	1.050 ± 0.076	1.049 ± 0.082	1.172	0.925 **
OSI	2.531 ± 0.245	2.534 ± 0.263	1.156	0.942 **

N=51

** : p<0.01

4. 超音波骨評価装置 AOS-100 による骨強度の測定精度

A. 同一日に連続して 10 回測定した場合—アダプターで足の固定を継続して

SOS、TI および OSI の変動係数はそれぞれ $0.068 \pm 0.050\%$ 、 $0.579 \pm 0.409\%$ および $0.661 \pm 0.511\%$ であった。OSI を対象として反復のある一元配置分散分析を行った結果、測定値間の差は有意ではなかった。

B. 同一日に連続 10 回測定した場合—測定毎にアダプターを開放し足の入れ直しを行って

SOS、TI および OSI の変動係数はそれぞれ $0.151 \pm 0.049\%$ 、 $1.726 \pm 0.642\%$ および $1.857 \pm 0.641\%$ であった。OSI を対象として反復のある一元配置分散分析を行った結果、測定値間の差は有意ではなかった。

C. 日を変えて連続 10 回測定した場合

SOS、TI および OSI の変動係数はそれぞれ $0.342 \pm 0.086\%$ 、 $2.239 \pm 0.539\%$ および $2.463 \pm 0.405\%$ であった。OSI を対象として反復のある一元配置分散分析を行った結果、測定値間の差は有意ではなかった。

IV. 考察

踵骨の OSI は、先行研究^{17~19)}と同様に、腰椎および大腿骨頸部の BMD と有意な相関を示した。踵骨、腰椎および大腿骨頸部が海綿骨であることを勘案すれば、本研究結果は超音波骨評価装置 AOS-100 から算出される OSI が骨の状態を評価する上で十分な妥当性を有するこ

とを示すものである。超音波骨評価装置 AOS-100 からの各パラメータと大腿骨頸部 BMD との相関係数の方が、腰椎 BMD とのそれらより高かったのは、同じ脚部分を測定している特性に由来するものであろう。また同じ超音波法で骨強度を評価し測定精度も高い²⁰⁾Lunar 社製超音波骨量測定装置 Achilles によって測定された Stiffness と OSI の間にも非常に高くて有意な相関係数が認められた。この結果も骨評価に対する OSI の妥当性の高さを支持するものである。

次に 3 カ月間の間隔を設けて 2 度測定した場合の SOS、TI および OSI における相関係数はいずれも非常に高くて有意であり、各パラメータの信頼性は高いと思われた。また各パラメータの平均値間には有意な差はなく、分散比も有意な水準ではなかったことから、SOS、TI および OSI の再現性も良好と思われた。

測定精度に関しては、3 つの条件とも分散分析の結果では OSI の測定値間の差は有意な水準がなかったことから、測定精度に大きな問題があるとは思われなかった。しかし精度の高さを示す OSI の変動係数は、同一日でアダプターにより足の固定を継続した場合は $0.661 \pm 0.511\%$ であったが、同一日で測定毎にアダプターを開放して足の入れ直しを行った場合は $1.857 \pm 0.641\%$ 、日を変えて測定した場合は $2.463 \pm 0.405\%$ であった。測定精度を論議する場合、実際の測定時を想定すれば、後 2 者の方法がより現実的である。そのため OSI の変動係数は 2%前後は存在すると考えるべきであろう。この数値は福永ら²¹⁾、松山ら²²⁾、中土ら¹⁸⁾の報告と概ね一致するものである。呉らは日内変動で $0.2 \sim 0.5\%$ という値を示したがおそらくアダプターを固定した状態での測定値と思われる。また変動係数で $0.5 \sim 1.5\%$ ^{15,23~25)}と考えられている DXA と比較すると超音波骨評価装置 AOS-100 より求められる評価値の精度はやや劣ると考えるべきである。従って、超音波骨評価装置 AOS-100 は、X 線被曝のない非侵襲性であり、かつ簡易で短時間に多数の測定が可能であるという利点をもつ一方で、もし時間的條件が許せば、同一被検者に対して複数回の測定が必要であり、それによりさらに確度の高い値が得られると思われた。

V. 結語

超音波骨評価装置 AOS-100 から算出される OSI と DXA から求められた BMD および超音波骨量測定装置 Achilles から算出される Stiffness との相関係数を求めた。また日を変えて 2 度 OSI を測定しその時の相関を求め、そして条件を変えて連続した 10 回の OSI を求め、変動係数を評価した。これらより OSI の妥当性、信頼性、再現性および測定精度を追究した。

- ① OSI と BMD および Stiffness との間には、中等度から非常に高い有意な相関関係が存在し、OSI の妥当性は高いと思われた。

- ② 日を変えて 2 度測定した時の OSI における相関係数は非常に高く有意であり、また平均値間に有意な差はなく分散比も有意な水準ではなかった。これより OSI の信頼性と再現性は良好と思われた。
- ③ OSI の変動係数は 2%前後にあると思われ、DXA で求める BMD の測定精度よりはやや劣ると思われた。従って測定時の時間的条件が許されるならば、同一被検者に対して複数回の測定を実施すべきであると思われた。

以上より、超音波骨評価装置 AOS-100 は骨粗鬆症のスクリーニング機器として有効に活用され得るものと判断された。

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)中村 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,第 2 章 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)呉 堅,深代 千之,福永 哲夫,黒田 善雄.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,(1997),**46**,570.
- 18)中土 幸男,土金 彰,野村 彰夫,吉田 郁夫.踵骨の超音波伝播パラメータの年齢的变化と骨粗鬆症の踵骨、腰椎、および大腿骨頸部骨塩量との相関,第 23 回日本臨床バイオメカニクス学会誌,(1996),121.
- 19)谷澤 龍彦,遠藤 直人,高橋 栄明,中土 幸男.超音波骨評価装置 AOS-100 と DXA 法による踵骨、腰椎測定値の検討,第 4 回日本骨粗鬆症研究会抄録,(1995),105.
- 20)山崎 薫,串山 一博,大村 亮宏,佐野 倫生,佐藤 義弘,井上 哲郎.超音波骨量測定装置 (Achilles Ultrasound Bone Densitometer)の使用経験,Ther.Res.,(1992),**13**,585-593.
- 21)福永 仁夫,曾根 照喜,友光 達志,武田 直人,赤木 辛久子,難波 三郎.乾式定量的超音波法による踵骨の骨量測定法の基礎的検討,平成 8 年度厚生省心身障害研究 子どもの健康に及ぼす生活環境の影響に関する研究,(1997),150.
- 22)松本 敏勝,石井 清一.骨粗鬆症の診断—骨塩定量法およびその測定部位が測定値に与える影響—,臨床スポーツ医学,(1994),**11**,1239-1244.
- 23)Reid,I.R., Legge,M., Stapleton,J.P., Evans,M.C.,& Grey,A.B.Regular exercise dissociates fat mass and bone density in premenopausal women.J.Clin.Endocrinol.Metab.,(1995), **80**,1764-1768.
- 24)Sandström,P., Jonsson,P., Lorentzon,R.,& Thorsen,K.Bone mineral density and muscle strength in female ice hockey players.Int.J.Sports Med.,(2000),**21**,524-528.
- 25)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.