

ヒト尺骨の音響工学的的手法による骨強度測定

濱田 初幸¹⁾, 河緒 一彦²⁾, 重岡 孝文¹⁾, 西菌 秀嗣³⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学伝統武道・スポーツ文化系

²⁾ 関西学院大学スポーツ科学・健康科学研究室

³⁾ 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

1. 目的

身体運動を日常的に高強度でおこなっているアスリートは、骨状態に関する測定値（骨塩量、骨密度、骨強度）が高いことは以前より知られている事実である。又、身体運動負荷を活動負荷と衝撃負荷に分けて分析すると、骨密度等は衝撃負荷を多く受ける種目を専攻するアスリートの値が高くなるという報告が多くなされてきた。これは、着地、打撃、投げ受け身等の受動的衝撃負荷や筋-腱活動で発生された張力が骨に伝わる能動的衝撃負荷に分けて考えることもできる。ここでいくつかの競技を想定し直感的分析を試みると、柔道はその競技特性から受動的衝撃負荷、能動的衝撃負荷のいずれもが大きいことは明らかであり、結果、他の競技群と比較した場合、高い骨密度、骨強度が柔道選手から得られると予測できる。本測定では、新たに開発された音響工学的原理を採用した骨強度測定法を用い、柔道選手男女と他の競技を専攻する男女を対象とした尺骨の骨強度測定をおこなった。測定結果から測定法の検証、骨強度の分析、一般人との比較をおこない考察とした。

2. 方法

＜被験者＞本研究の被験者は、鹿屋体育大学に在籍する学生88名（男性61名、女性27名）であった。専攻する競技種目は柔道（以下柔道部所属学生）が49名（男性37名、女性12名）であった。柔道部以外の専攻競技は陸上、ヨット、野球、バレーボール、自転車、サッカー等多岐にわたり、その他所属学生として扱うこととした。又、特別な身体活動を行っていない同年代の比較対照として関西学院大学学生（男性85名、女性28名）の資料を採用した。

＜形態計測＞身長、体重、体脂肪率、腕長、前腕周

径囲の測定が行われた。身長は身長計を用い耳眼水平面に留意しながら測定を行った。体重並びに体脂肪率はインピーダンス法を採用したタニタ社製の機器で行った。体重と体脂肪率から除脂肪体重を算出した。腕長は肘頭から尺骨頭までの距離をノギスで測った。前腕部の最大周径囲を測定し前腕周径囲とした。この前腕周径囲を真円の円周とし求めた真円の面積を前腕部の断面積（以後腕横断面積）として採用した。この前腕部の断面積は尺骨の断面積を反映するものと仮定する。この仮定は各個人の尺骨横断面積を一義的に決定することが困難であるための処理である。

＜骨強度の測定＞骨強度の測定は、誠鋼社製健骨度チェッカー、ホネミカST-246（以下ホネミカ）を用いた。この機器は、被験者の尺骨に加振するための本体、振動を採取するためのマイクそして演算処理を行うためのパソコンから構成されている。測定はパソコンのディスプレイで固有振動数・波形を確認し最適な波形を選択するようにおこなわれた。ホネミカで採用されている測定方法の理論的背景は梁の横振動を説明する、 $\{f_i = \lambda_i^2 / 2\pi * L^2 * I / A * E / \rho$ （ i ：振動モード、 f ：固有振動数、 λ ：固有値、 I ：断面2次モーメント、 A ：断面積、 E ：ヤング率、 ρ ：密度、 L ：長さ）}理論式がもとになっている。この理論式を構成し物体の強度を表すのが E / ρ （イーバイロー）である。ホネミカはこの理論式での f （振動数）と L （長さ：ノギスを用いて測った尺骨頭から肘頭までの距離）を実測して E / ρ を算出し、この値をヒトの骨強度とする。ここでの E / ρ は、実測が困難な項を無視し近似的に算出されている。ホネミカの対象とする骨は非利き側の尺骨である。この手順は軟部組織の影響をできるだけ除去するためである。

表1 柔道部所属学生とその他運動部に所属している学生を各群に分け、得られた各測定値の平均値、標準偏差、最大値、最小値（男性）

		身長	体重	体脂肪率	除脂肪体重	握力	骨強度	骨強度指数	腕長	前腕周径	前腕横断面積
柔道部	平均値	171.8	78.1	13.5	67.2	49.0	569	37635	26.5	28.5	65.0
	標準偏差	6.4	13.2	4.3	9.0	6.2	161	13909	1.3	1.7	7.8
	最大値	187.6	119.0	28.8	91.9	65.0	1110	87691	28.9	32.0	81.5
	最小値	155.6	59.0	8.1	53.4	29.8	299	15480	23.3	25.0	49.8
その他	平均値	173.8	71.7	12.7	62.2	47.8	540	31617	26.1	26.7	57.4
	標準偏差	5.2	12.2	4.1	8.2	7.9	141	12691	1.4	2.3	10.0
	最大値	183.2	113.0	22.8	87.2	66.0	877	69284	29.0	31.5	79.0
	最小値	163.5	57.0	7.2	47.7	36.2	225	11557	22.6	21.3	36.1
	単位	cm	kg	%	kg	kg	index	index	cm	cm	cm ²

表2 柔道部所属学生とその他運動部に所属している学生を各群に分け、得られた各測定値の平均値、標準偏差、最大値、最小値（女性）

		身長	体重	体脂肪率	除脂肪体重	握力	骨強度	骨強度指数	腕長	前腕周径	前腕横断面積
柔道部	平均値	158.0	61.7	21.5	47.7	34.2	310	15534	23.3	24.8	49.2
	標準偏差	4.7	12.6	6.4	5.8	4.8	78	6185	0.9	2.0	8.3
	最大値	164.6	89.8	34.3	59.0	43.5	474	31738	24.8	29.0	67.0
	最小値	151.8	48.6	15.7	40.6	27.5	204	8867	22.0	22.5	40.3
その他	平均値	162.5	58.2	20.3	46.4	31.3	305	14183	23.7	24.1	46.5
	標準偏差	6.1	6.2	2.5	4.5	3.6	54	2808	0.9	1.1	4.1
	最大値	170.4	67.0	23.9	52.2	37.5	412	19059	25.0	25.7	52.6
	最小値	152.2	46.8	15.4	37.9	20.7	235	9221	22.3	22.2	39.2
	単位	cm	kg	%	kg	kg	index	index	cm	cm	cm ²

表3 柔道部所属学生とその他運動部に所属している学生を各群に分け、得られた各測定値を、t検定を用いて有意差を調べた結果

		身長	体重	体脂肪率	除脂肪体重	握力	骨強度	骨強度指数	腕長	前腕周径	前腕横断面積
男	有意差	n. s.	n. s.	n. s.	5%水準	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	1%水準	5%水準
女	有意差	5%水準	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

<骨強度指数>上述の手順で得られた骨強度に前腕の最大周径から求めた腕横断面積を乗じた値を骨強度指数とした。

<握力の測定>握力は、文部科学省が1999年度に導入した新体力テストの方法に準拠した。本研究においては、骨強度並びに骨強指数測定に用いられた側肢の値を採用した。

測定に先立ち実験に参加してくれる学生に対して測定の意義、測定に伴う危険性、得られた資料の取り扱いについて十分な説明を行い書面で合意を得た。

3. 結果

表1は、柔道部所属学生とその他運動部所属学生に分け得られた測定値の平均値、標準偏差値、最大値、最小値を示している。

表2には、柔道部所属学生とその他所属学生に分け得られた測定値の平均値、標準偏差値、最大値、最小値が示されている。

表3は、柔道部所属学生とその他運動部所属学生との群間の有意差検定をt検定を用いて行った結果を示している（男性、女性）。骨強度、骨強度指数には有意差が見られなかった。

図1から図4は鹿屋体育大学の柔道部所属学生と
 その他運動部所属学生を合わせて体育学専攻学生と
 し一群にまとめ関西学院の骨強度並びに骨強度指数
 と比較した。男性を対象とした場合は骨強度、骨強
 度指数とも有意に体育学専攻学生の値が大きかつ
 た。女性に関しては骨強度指数のみが有意に大きな
 値であった。

4. 考察

骨を議論するにあたり、まず骨の状態を把握する
 ためが重要である。骨の状態を把握する標準的な方
 法はDEXA法である。通常、研究・医療現場におい
 て骨の状態はX線を用いたDEXA法で得られた骨
 密度をスタンダードな値として扱う。しかしDEXA
 法は簡便な方法ではなく、加えて侵襲的であり危険
 性がある。まして、学校単位の健康、スポーツ教育

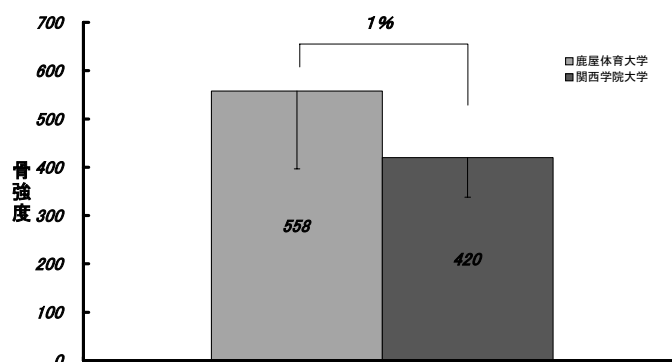


図1 鹿屋体育大学学生と関西学院大学学生の骨強度比較 (男性)

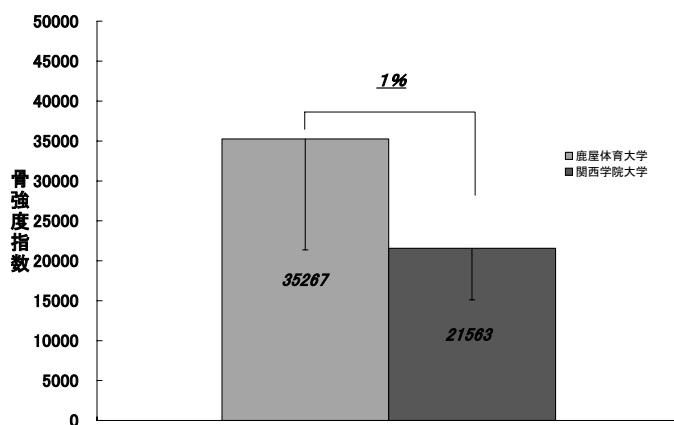


図2 鹿屋体育学生と関西学院学生の骨強度指数比較 (男性)

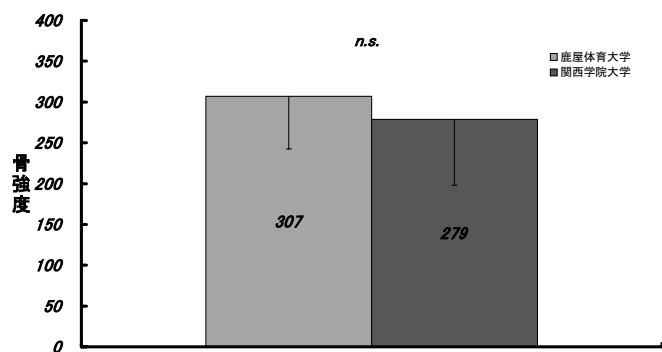


図3 鹿屋体育大学学生と関西学院大学学生の骨強度比較 (女性)

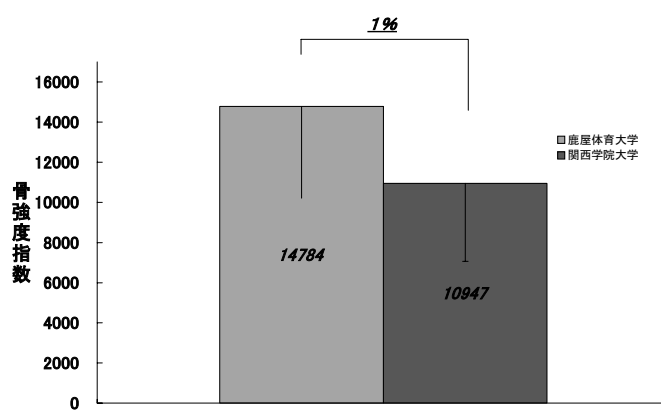


図4 鹿屋体育学生と関西学院学生の骨強度指数比較（女性）

の中にDEXA法を組み込むことは現段階では不可能に近い。そこで我々は上述した限界を鑑み安全性を最上級の優先事項とする方法を用いた測定法の開発を行ってきた。この測定法は音響工学や材料工学の分野で物体の強度を推定する原理を人体に応用するものである。昨年の体育学会にて我々の研究グループは、新たに「骨強度指標」提唱し測定法の精度向上に焦点を当てた報告を行った。そして、この骨強度指数がDEXA法で測定される骨塩量を強い正の相関があったことを報告した。

骨強度ならびに骨強度指数の多寡を決定する因子のうち身体運動がもたらす影響が大きいことは我々の研究グループが先行研究で明らかになっている。特に筋力に関する測定値が大きい被験者からは高い値の骨強度並びに骨強度指数が得られることが示唆されている。このように得られた結果の考察は、筋力の多用により骨に対する加重並びに衝撃負荷が増し筋力増加に応じた骨の強度向上が見られるためであるとした。このように明らかにされた先行研究の結果および考察を勘案すると本研究が対象とした柔道部学生群とその他所属学生群を対象とした測定では、骨強度並びに骨強度指数が柔道部所属学生群がその他所属学生群よりも高い可能性があった。表1,2に見られるように実際に得られた骨強度並びに骨強度指数は、男女とも柔道部所属学生がその他所属学生よりも平均値では高い値であった。しかし、表3にあるように統計的な有意差を見ることは出来なかった。図1から図4には関西学院大学学生男女の値と本研究における体育専攻学生との各測定値のt検定を用いて有意差を調べた結果が示されている。

男性被験者は骨強度、骨強度指数とも1%水準で有意差があった。体育専攻学生の骨強度指数が大きかったことは筋力や体格等から説明でき先行研究で得られた知見と一致する。しかし、女性被験者群での比較では、骨強度に有意が見られず、骨強度指数に有意差が現れた。なぜこのような結果が出たのか現段階では明らかではない。しかし、骨強度指数が骨強度の測定上の不備を補完する目的で開発され、その成果が本研究のこのような結果に反映されたと考えるとことは可能である。

結論として①柔道部所属学生とその他運動部所属学生との骨強度並びに骨強度指数の比較では、平均値に統計的に有意な差はなかった。平均値のみでは柔道部選手の方が大きな値であった。②特別な鍛錬をおこなっていない関西学院大学学生から得られた骨強度並びに骨強度指数は、女性の骨強度以外は体育専攻学生のが大きな値であった。③上記②から骨強度指数が骨強度より測定上の精度が高い可能性が示唆された。

最後に骨の状態を良くすることすなわち骨量や骨密度を増やすために身体運動が重要な役割を演じていることは多くの先行研究で明らかになっている。我々の先行研究でも運動能力が高い被験者は骨強度並びに骨強度指数が高値を示すことを明らかにしてきた。カーレース最高峰、フォミラー1の技術者が「多くの燃料を利用して最大値の出力を發揮するを目指すことは一見無駄のように見えるが、実は最少量の燃料で最大出力を得ることにつながる」と述べたことをメディアで聞いたことがある。アスリートの骨強度を分析することは高齢社会を迎えた

我が国における骨に関する諸問題解決の一助となる
と願ひ報告を終える。

謝辞

スポーツトレーニング教育研究センターが募集された共同研究企画に採用され、2004年11月10、11日の両日にわたり、「ヒト尺骨の音響工学的的手法による骨強度測定」を実施しました。測定の方法、結果、考察を報告書としてまとめることができました。このような貴重な機会を与えてくださった関係者にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井出隆俊, 林雅敏, 原田純二, 田中聡, 赤松功也 (1992): 骨粗鬆症の音響学的診断法, 日本臨床バイオメカニクス学会, 14, 211-215.
 - 2) 河鱈一彦, 中山俊一, 佐藤博信, 濱田初幸, 徳田真三 (2000): 女性柔道選手の骨強度 - 高等学校生から実業団選手を対象として -, 関西学院大学スポーツ科学・健康科学研究, 3号, 31-35.
 - 3) 河鱈一彦, 甲斐知彦, 溝畑潤, 濱田初幸:(2003): 新しい指標を用いた骨強度測定, 関西学院大学スポーツ科学・健康科学研究 5号, 13-17.
 - 4) 河鱈一彦, 小谷恭子, 甲斐知彦, 佐藤博信, 濱田初幸, 中塘二三生 (2003): 新しい指標を用いた骨強度測定, 日本体育学会第54回大会号, 462.
 - 5) 矢野澄雄 (1998): 固有振動数を利用した骨強度指標の基礎的検討 (皮質骨密度との比較), 日本機械学会 (No.98-31) シンポジウム講演論文集, 176-180.
- * 4) の発表にて骨強度指数とDEXA法から得られ骨塩量との強い相関関係を報告した。