

「運動習慣が作り替える骨の立体構造と体積密度」

筑波大学体育科学系 齊 藤 慎 一

要 約

本研究では、運動習慣が骨の立体構造と体積骨密度に及ぼす影響について、40歳代と50歳代の中高年女性テニス愛好家計105名について（実験Ⅰ）、また骨量がピーク値に至ったと考えられる30歳以降にテニスを開始した愛好家66名と同年齢のテニスをやったことのない一般中高年女性対照者22名について（実験Ⅱ）、pQCT法を用いて、利き腕と非利き腕の骨密度及び立体構造を比較検討した。その結果、

- 1 実験Ⅰでは、いずれの年代の中高年女性テニス愛好家においても、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨の近位部全骨面積が大きく、また遠位部全骨体積骨密度、海面骨体積骨密度が高かった。
- 2 実験Ⅱでは、30歳以後にテニスを開始したテニス愛好家とテニスをしたことがない対照群ともに、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨近位部では全骨面積、皮質骨面積が小さく、全骨骨塩量、皮質骨骨塩量が低く、皮質骨厚は減少し、全骨体積骨密度と皮質骨体積骨密度には差がなかった。また、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨遠位部では全骨面積、海綿骨面積が小さく、逆に、海面骨体積骨密度と全骨体積骨密度は高かったが、全骨骨塩量には差がなかった。

これらの結果から、若年からテニスを開始する場合と、最大骨塩量を獲得した後からテニスを開始する場合とでは、テニス運動が骨形態に及ぼす影響に差があることがわかった。

キーワード：運動習慣、骨形態、体積骨密度、運動開始年齢

1. 緒 言

21世紀の日本は、未曾有の高齢化社会を迎える。高齢化社会の進行に伴って、さまざまな健康問題が起きることが予想されている。その1つに、骨粗鬆症があげられているが、骨粗鬆症の確実で有効な治療方法はまだ見つかっていない⁴⁾。それゆえ、骨粗鬆症の対策としては、治療よりも予防することがより重要となる。骨粗鬆症の予防にはバランスのよい食事、適度な運動を主としたライフスタイルが推奨されているが、運動を習慣的に行うことが最も効果的であると考えられている¹⁹⁾。運動は骨にメカニカルストレスを加え、骨代謝回転を亢進させ、骨形成を促進するという効果がある。さらに、運動は筋力、姿勢の安定性及び関節可動域を保持、向上させるので、転倒事故を防ぎ、骨折のリスクを低下させる。

ところで、骨量は思春期後半に急激に増加し、20歳代後半にピークに達し、その後年齢とともに低下する。特に女性においては、閉経前後から卵巣機能の低下に伴って、骨吸収が増加するために骨量減少は亢進する。中高年女性における、運動の骨量に与える影響についてのこれまでの研究成果から、

運動が適切に行われる限り、骨量の維持あるいは減少の抑制に効果的であることが示されている¹⁴⁾。

運動が骨量に及ぼす影響は、スポーツ選手について横断研究^{9, 11, 15)}及び縦断研究^{3, 10, 13)}が行われている。なかでも、HaapasaloらはDXA (Dual-energy X-ray Absorptiometry) 法を用いて、若年テニス選手の利き腕と非利き腕の差について検討し、面積BMD (Bone Mineral Density) は対照者に比べてスポーツ選手の方が大きいことを明らかにした⁷⁾。

pQCT (peripheral Quantitative Computer Tomography) 法はDXA法と異なり、皮質骨と海綿骨の骨形態の識別を可能にし、体積BMDを測定できる装置である。Ashizawaら¹⁾は、pQCT法を用いて発育期にあるテニス選手の利き腕の橈骨近位部では、全骨面積及び皮質骨厚が増加し、骨の力学特性が向上することを明らかにした。従って、長期的な激しい運動は、若者の骨の体積BMD及び立体構造に影響することがわかった。最近、Haapasaloら⁸⁾は、フィンランドのトップレベルの成人男性テニス選手を用いて、橈骨と上腕骨のpQCT法による解析を行い、Ashizawaら¹⁾と同様な結果を得ている。上述の研究から、若年期からのテニスのトレーニングは利き腕の骨の形態を変化させることがわかるが^{1), 7)} ⁸⁾、その基本的なメカニズムはまだ不明である。更に、成人期以降にテニスをやり始めることが、若年期からテニスを始めることと同じ結果をもたらすかどうかについてはわかっていない。

本研究では、まず40歳代と50歳代の中高年女性テニス愛好家について、次に骨量がピーク値に至った30歳以降にテニスを開始した中高年女性テニス愛好家と、同年代でテニスをやったことのない一般中高年女性対照者について、pQCT法を用いて、利き腕と非利き腕の骨密度及び立体構造を比較検討した。

2. 研究方法

<実験 I >

1) 被験者

被験者には、テニス運動の開始年齢が 32.7 ± 4.3 (平均±標準偏差、範囲: 16~41歳) 歳である40代 (年齢: 45.4 ± 2.6 歳) 女性テニス愛好家73名、及びテニス運動の開始年齢が 37.2 ± 5.6 (範囲: 22~51歳) 歳である50代 (年齢: 53.4 ± 2.0 歳) 女性テニス愛好家32名を用いた。全員が10年以上 (それぞれ: 12.8 ± 4.9 年、 16.1 ± 5.2 年) テニス運動を継続し、定期的にテニス運動を行っている (表1)。

被験者には、事前に実験の目的と内容及び骨密度などの測定の安全性等を説明し、承諾を得た後、上腕骨のpQCT測定を行った。それに加えて、運動歴、月経歴、身長、体重などの質問調査を行った。被験者全員とも臨床的に健康で、現在服薬しておらず、上腕骨骨折歴もなかった。

2) 方法

①測定方法

pQCT装置 (Densiscan-1000、Scanco Medical AG, Bassersdorf, Switzerland、日本電子輸入販売株式会社) を用いて、被験者の左右橈骨の測定を行った (写真1と2)。測定の間は上腕を動かないように、

専用ポジショナーとベルトによってスキャンナー部に固定した。そして、測定部のscout view（測定部を横から見た図）を取得してreference line（基準線）を設定した。次いで、橈骨は橈骨遠位部（骨端）から6mm離れた位置を基点として、スライス厚1.0mm、スライス間隔0.5mmで10枚の連続CT画像を撮影した。引き続いて、27.5mm間隔あけて、橈骨近位部で6枚の連続CT画像を撮影した（図1）。

表1 実験Ⅰの被験者の身体特性

	40才代テニス愛好家(n=73)	50才代テニス愛好家(n=32)	有意差
年齢(yr)	45.4±2.6	53.4±2.0	††
身長(cm)	158.1±4.9	154.8±5.4	†
体重(kg)	54.5±6.0	53.2±5.8	NS
運動歴(yr)	12.8±4.9	16.1±5.2	†
運動開始年齢(yr)	32.7±4.3	37.2±5.6	†
練習頻度 (d/w)	3.4±1.1	3.8±1.3	NS
練習時間 (h/d)	3.2±1.0	3.0±0.8	NS

mean±SD

NS:non significant

† P<0.01

†† P<0.0001

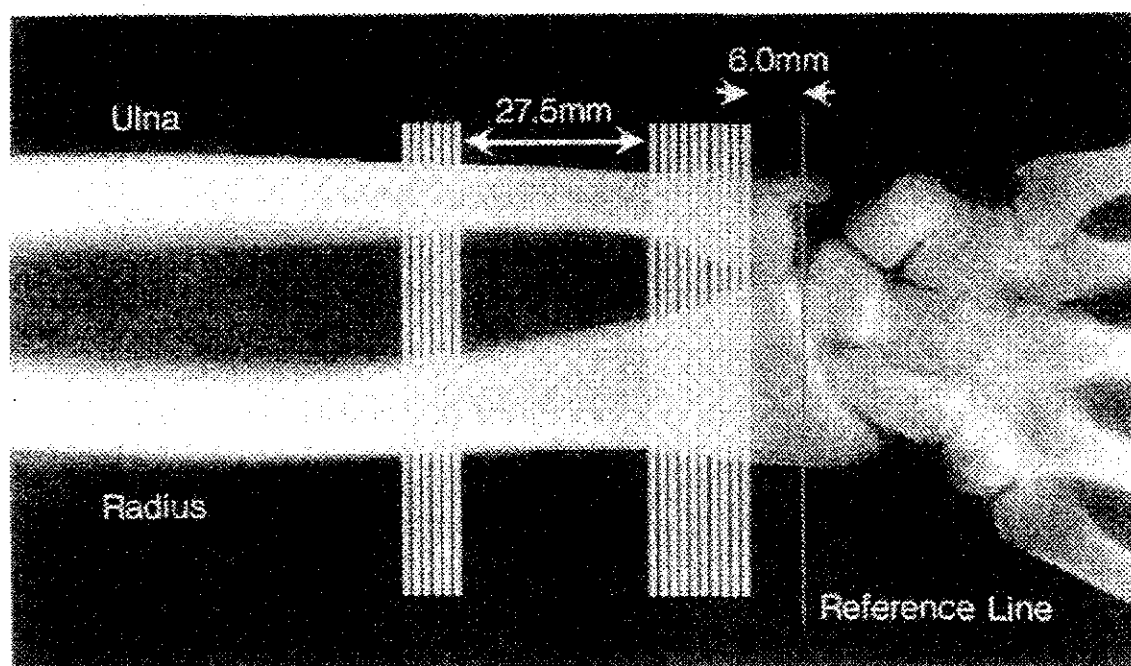


図1 測定方法

②測定部位

橈骨骨端より橈骨全長の20%離れた部位を橈骨近位部、橈骨骨端より橈骨全長の4%離れた部位を橈骨遠位部とした。橈骨遠位部は、標準的に70%以上は海綿骨であり、橈骨近位部は90%以上は皮質骨である。

③骨密度の測定

Densiscan1000における骨密度値を以下のようにして算出した。最初の10枚のスライスを用いて、橈骨遠位部の骨密度値として海綿骨のみの骨密度(D50)及び海綿骨と皮質骨を併せた全骨の骨密度(D100)を算出した。その後、次の6枚のスライスを用いて、近位部(骨幹部)の骨密度値として海綿骨と皮質骨を併せた全骨の骨密度(PI00)を算出した。

④骨横断面積の測定

被験者において等部位の比較を行うために、16枚(遠位部10枚+近位部6枚)の中の13枚目を選んで、画像解析を行った。全骨の骨面積は、軟組織を除く横断面積を算出した¹⁸⁾。

⑤統計処理

本文及び表における数値は、ことわりがない限り平均値±標準偏差で表した。統計の分析は統計ソフト(Stat View, California, Abacus Concepts, Inc.)を用いた。橈骨の利き腕と非利き腕の比較は対応のあるt-testで行った。いずれの場合も、統計的な有意水準は5%とした。

<実験Ⅱ>

実験Ⅱは実験Ⅰから、テニス運動の開始年齢が30歳以後である中高年愛好家を選び、運動習慣がない対照者を加えて行った(表4)。

表4 実験Ⅱの被験者の身体特性

	テニス愛好家(n=66)	対照者(n=22)	有意差
年齢(yr)	48.3±4.7	49.6±5.3	NS
身長(cm)	157.2±5.7	154.6±6.4	NS
体重(kg)	54.7±5.9	51.4±4.8	NS
運動歴(yr)	12.0±4.4	—	
運動開始年齢(yr)	36.3±4.0	—	
練習頻度(d/w)	3.7±1.2	—	
練習時間(h/d)	3.2±0.9	—	

mean±SD

NS:non significant

1) 被験者

被験者には、テニス運動の開始年齢が 36.3 ± 4.0 (範囲: 31~51歳) 歳である40~60歳の女性テニス愛好家66名 (年齢 48.3 ± 4.7 歳)、及び年齢 (49.6 ± 5.3 歳) の等しい対照者22名を用いた。愛好家全員は10年以上 (平均値: 12.0 ± 4.4 年) テニス運動を継続し、1週間のテニスの練習頻度は3~4日、一日の練習は平均3.2時間 (2~5時間) である。一方、対照者は全員が健康な中高年女性であり、これまでテニスを行った経験はなかった。

2) 方法

①測定方法

実験Iと同様に、対照者を加えて行った。

②測定部位

実験Iと同様とした。

③測定項目

pQCTの画像は通常の分解能 (分解能= $300 \mu\text{m}$) で撮影した。それぞれの被験者において等部位の比較を行うために、16枚 (遠位部10枚+近位部6枚) の中の2枚目と13枚目を選んで、画像解析を行った。通常の分解能で撮影された画像をスケールや密度、分解能 ($512 \times 512 \text{pixels}$) をそれぞれ修正し、TIFF画像として、Macintosh computerで解析した。全骨体積骨密度、全骨面積、皮質骨体積骨密度、皮質骨面積、皮質骨内面積、海綿骨体積骨密度、海綿骨面積をNIH image Version 1.61のソフトウェア (Wayne Rasband, National Institute of Health (NIH)) を用いて、threshold法により算出した (付録参照)。

骨塩量 (Bone Mineral Content: BMC) は、1 mmスライスの骨塩量 (単位: mg/mm) と定義した。皮質骨厚は皮質骨の外縁と内縁の間の平均距離とした。なお、pQCTによる測定の精度は、3人の測定者が行う3回の測定による相関係数の違いから求めたが、骨塩量では0.19-1.41%、体積骨密度では0.10-0.72%、骨面積では0.44-0.74%、皮質骨厚では0.79%であった。

④統計処理

データは平均値±標準偏差で表した。橈骨の利き腕と非利き腕の比較には対応のあるt-testを用い、テニス愛好家と対照者の平均値の差の比較には対応のないt-testを用いた。いずれの場合も、統計的な有意水準は5%とした。

3. 結果

<実験I> テニス愛好家の利き腕と非利き腕の比較

①橈骨近位部 (表2)

全骨体積骨密度: 40歳代テニス愛好家では非利き腕の方が、50歳代テニス愛好家では利き腕の方がわずかに高値であったが、いずれの場合も利き腕と非利き腕の間には有意差は認めら

れなかった。

全骨面積：40歳代及び50歳代テニス愛好家ともに、非利き腕に比べて、利き腕の方が有意に高値であった。

② 橈骨遠位部 (表3)

全骨体積骨密度：40歳代、50歳代テニス愛好家ともに、非利き腕に比べて、利き腕の方が有意に高値であった。

海綿骨体積骨密度：40歳代、50歳代テニス愛好家ともに、非利き腕に比べて、利き腕の方が有意に高値であった。

表2 橈骨近位部

		テニス 愛好家		
		利き腕	非利き腕	有意差
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	40歳代	1296±106	1307±110	NS
	50歳代	1248±148	1229±143	NS
全骨面積 (mm ²)	40歳代	96±14	91±14	†††
	50歳代	94±10	87±10	†††

mean±SD

NS:non significant

†††P<0.0001

表3 橈骨遠位部

		テニス 愛好家		
		利き腕	非利き腕	有意差
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	40歳代	592±73	558±70	†††
	50歳代	556±91	512±82	†††
海綿骨体積骨密度 (mg/cm ³)	40歳代	296±60	254±52	†††
	50歳代	264±66	222±66	†††

mean±SD

†††P<0.0001

<実験Ⅱ> テニス開始年齢が30歳以後のテニス愛好家及び対照者の比較

1) 被験者の身体特性

テニス愛好家と対照者の間には、表4に示すように、年齢、身長、体重の平均値のいずれについても有意差は認められなかった。

2) テニス愛好家の利き腕と非利き腕の比較

①橈骨近位部 (表5)

体積骨密度：全骨体積骨密度は利き腕の方が高値、皮質骨体積骨密度は非利き腕の方が高値であったが、いずれの場合もそれらの間に有意差は認められなかった。

骨面積：全骨面積及び皮質骨面積は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。また、皮質骨内面積も非利き腕に比べて、利き腕の方が有意に低値であった。

皮質骨厚：非利き腕と比べて、利き腕の方が低値であったが、それら間に有意差は認められなかった。

骨塩量：全骨骨塩量及び皮質骨骨塩量は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。

②橈骨遠位部 (表6)

体積骨密度：全骨体積骨密度及び海綿骨体積骨密度は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に高値であった。

骨面積：全骨面積及び海綿骨面積は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。

表5 橈骨近位部

	テニス 愛好家			対照者		
	利き腕	非利き腕	有意差	利き腕	非利き腕	有意差
全骨骨塩量 (mg/mm)	139.8±17.7	146.6±18.5	†††	128.3±16.8	141.6±17.8	†††
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	1378±162	1373±176	NS	1465±194	1492±210	NS
全骨面積 (mm ²)	102.3±13.8	107.8±15.2	†††	88.2±10.9	95.9±12.8	†††
皮質骨骨塩量 (mg/mm)	140.1±17.4	147.2±18.2	†††	127.9±16.6	141.3±17.6	†††
皮質骨体積骨密度 (mg/cm ³)	1924±93	1934±97	NS	1921±100	1942±84	NS
皮質骨面積 (mm ²)	72.8±8.2	76.0±7.9	†††	66.5±7.7	72.7±8.0	†††
皮質骨内面積 (mm ²)	29.5±9.6	31.8±10.9	†	21.7±8.6	23.2±10.2	NS
皮質骨厚 (mm)	2.67±0.29	2.71±0.27	NS	2.71±0.36	2.86±0.38	††

mean±SD

NS:non significant

† P<0.001

†† P<0.0005

††† P<0.0001

表6 橈骨遠位部

	テニス 愛好家			対照者		
	利き腕	非利き腕	有意差	利き腕	非利き腕	有意差
全骨骨塩量 (mg/mm)	282.3±63.4	271.4±67.1	NS	248.5±39.9	252.3±44.8	NS
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	742±104	642±125	†††	710±98	672±98	†
全骨面積 (mm ²)	379.0±58.1	423.7±60.4	†††	351.8±29.4	376.8±41.4	†
海綿骨骨塩量 (mg/mm)	76.3±14.2	92.4±21.6	†††	75.9±9.0	83.2±13.8	†
海綿骨体積骨密度 (mg/cm ³)	383±57	361±72	†††	388±61	364±67	†
海綿骨面積 (mm ²)	203.1±45.8	263.7±68.5	†††	201.6±45.5	233.7±46.1	†††

mean±SD

NS:non significant

† P<0.05

†† P<0.005

††† P<0.0001

骨塩量：全骨骨塩量は、非利き腕に比べて、利き腕の方が高値であったが、それらの間に有意差は認められなかった。一方、海綿骨骨塩量は、非利き腕に比べて、利き腕の方が有意に低値であった。

3) 対照者の利き腕と非利き腕の比較

①橈骨近位部 (表5)

体積骨密度：全骨体積骨密度及び皮質骨体積骨密度は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が低値であったが、それらの間に有意差は認められなかった。

骨面積：全骨面積及び皮質骨面積は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。また、皮質骨内面積は非利き腕に比べて、利き腕の方が低値であったが、それらの間に有意差は認められなかった。

皮質骨厚：非利き腕と比べて、利き腕の方が有意に低値であった。

骨塩量：全骨骨塩量及び皮質骨骨塩量は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。

②橈骨遠位部 (表6)

体積骨密度：全骨体積骨密度及び海綿骨体積骨密度は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に高値であった。

骨面積：全骨面積及び海綿骨面積は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が有意に低値であった。

骨塩量：全骨骨塩量、海綿骨骨塩量は、非利き腕に比べて、ともに利き腕の方が低値であったが、それらの間には海綿骨骨塩量のみ有意差が認められた。

4) テニス愛好家と対照者の比較 (表7)

①橈骨近位部

全骨体積骨密度：利き腕と非利き腕において、対照者に比べて、ともにテニス愛好家の方が有意に低

表7 テニス愛好家と対照者の比較

	利き腕		非利き腕	
	テニス愛好家と対照者の差*	有意差	テニス愛好家と対照者の差*	有意差
橈骨近位部				
全骨骨塩量 (mg/mm)	11.6 (139.8-128.3)	<0.01	5.1 (146.6-141.6)	NS
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	-87 (1378-1465)	<0.05	-118 (1373-1492)	<0.05
全骨面積 (mm ²)	12.6 (102.3-88.2)	<0.005	11.9 (107.8-95.9)	<0.005
皮質骨骨塩量 (mg/mm)	12.2 (140.1-127.9)	<0.01	5.8 (147.2-141.3)	NS
皮質骨体積骨密度 (mg/cm ³)	3 (1924-1921)	NS	-8 (1934-1942)	NS
皮質骨面積 (mm ²)	6.2 (72.8-66.5)	<0.005	3.3 (76.0-72.7)	NS
皮質骨内面積 (mm ²)	7.9 (29.5-21.7)	<0.001	8.6 (31.8-23.2)	<0.005
皮質骨厚 (mm)	-0.04 (2.67-2.71)	NS	-0.15 (2.71-2.86)	<0.05
橈骨遠位部				
全骨骨塩量 (mg/mm)	33.7 (282.3-248.5)	<0.05	19 (271.4-252.3)	NS
全骨体積骨密度 (mg/cm ³)	33 (742-710)	NS	-30 (642-672)	NS
全骨面積 (mm ²)	27.2 (379.0-351.8)	<0.05	46.8 (423.7-376.8)	<0.005
海綿骨骨塩量 (mg/mm)	0.4 (76.3-75.9)	NS	9.1 (92.4-83.2)	NS
海綿骨体積骨密度 (mg/cm ³)	-5 (383-388)	NS	-3 (361-364)	NS
海綿骨面積 (mm ²)	1.5 (203.1-201.6)	NS	30 (263.7-233.7)	NS

*mean

NS:non significant

値であった。

全骨面積：利き腕と非利き腕において、対照者に比べて、ともにテニス愛好家の方が有意に高値であった。

全骨骨塩量：利き腕においては、対照者に比べて、テニス愛好家の方が有意に高値であったが、非利き腕ではそれらの間に有意差は認められなかった。

皮質骨体積骨密度：利き腕と非利き腕において、ともにテニス愛好家と対照者の間に有意差は認められなかった。

皮質骨面積：利き腕においては、対照者に比べて、テニス愛好家の方が有意に高値であったが、非利き腕ではそれらの間に有意差は認められなかった。

皮質骨骨塩量：利き腕においては、対照者に比べて、テニス愛好家の方が有意に高値であったが、非利き腕ではそれらの間に有意差は認められなかった。

皮質骨内面積：利き腕と非利き腕において、対照者に比べて、ともにテニス愛好家の方が有意に高値であった。

皮質骨厚：利き腕においては、テニス愛好家と対照者の間に有意差は認められなかったが、非利き腕においては、対照者に比べて、テニス愛好家の方が有意に低値であった。

②橈骨遠位部

全骨体積骨密度：利き腕と非利き腕において、ともにテニス愛好家と対照者の間に有意差は認められなかった。

全骨面積：利き腕と非利き腕において、対照者に比べて、ともにテニス愛好家の方が有意に高値であった。

全骨骨塩量：利き腕においては、対照者に比べて、テニス愛好家の方が有意に高値であったが、非利き腕ではそれらの間に有意差は認められなかった。

海綿骨の体積骨密度、面積及び骨塩量：利き腕と非利き腕において、いずれの場合もテニス愛好家と対照者の間に有意差は認められなかった。

4. 考 察

1) 実験Ⅰ

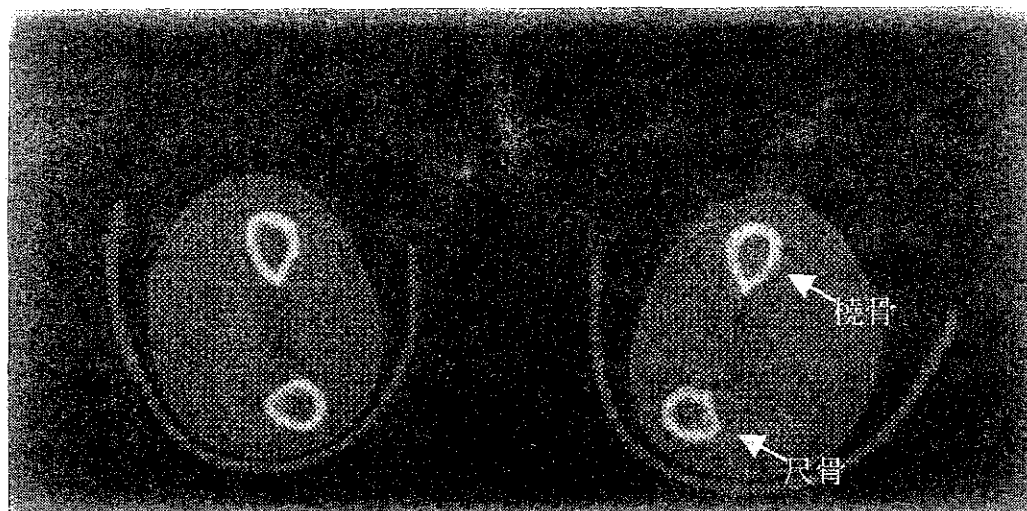
いずれの年代の中高年女性テニス愛好家においても、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨の近位部全骨面積が大きく、また遠位部全骨体積骨密度、海綿骨体積骨密度が高かった。

これらの結果は、すでにAshizawa¹⁾ら、Haapasalo^{5), 6), 7), 8)}らの若年テニス選手を用いた研究の結果と同じである。すなわち、いずれの研究でも発育期からテニスを行っている選手の利き腕の骨密度が増大し、それにあわせて骨面積も大きくなっていた。この理由は、発育期からのテニス、言い換えればラケットとボールの衝撃による、メカニカルストレスに適応したためと考えられているが、中高年テニス愛好家でも若年と同様な理由であるかどうかについてはわからない。

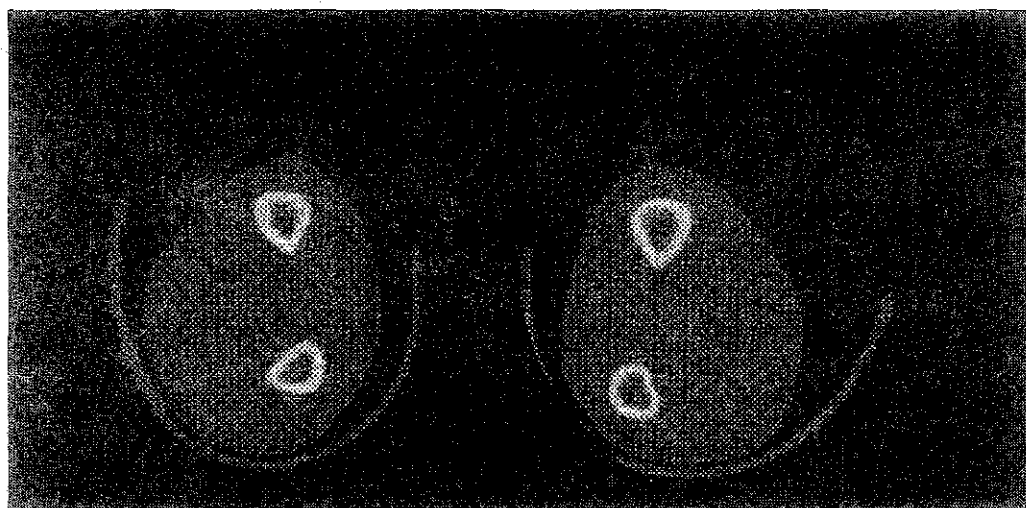
2) 実験Ⅱ

テニス愛好家と対照群ともに、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨近位部では全骨面積、皮質骨面積が小さく、全骨骨塩量、皮質骨骨塩量が低く、皮質骨厚は減少し、全骨体積骨密度と皮質骨体積骨密度には差がなかった。また、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨遠位部では全骨面積、海綿骨面積が小さく、逆に、海綿骨体積骨密度と全骨体積骨密度は高かったが、全骨骨塩量には差がなかった。一方、対照群に比べて、テニス愛好家においては、非利き腕、利き腕にかかわらず骨面積が大きく、骨塩量は高かった。

これらの結果は、ラケットを持っていない腕に比べて、ラケットを持っている腕で骨密度が高いとするこれまでの数多くの研究とはほぼ一致するものの^{1), 2), 8), 16), 18)}、非利き腕に比べて、利き腕の骨面積が高いとする実験Ⅰの結果とは一致しない(図2)。その理由は十分にはわからないが、実験Ⅱでは30歳以降にテニスを始めた愛好家のみに対象を絞ったことが考えられる。実験Ⅰの20歳以前からテニスを開始した愛好家は、Ashizawa¹⁾ら、Haapasalo⁸⁾らの研究で用いたプロあるいはプロ的な激しい練習をしたテニス選手と同じような練習をしたのかもしれないが、一方、実験Ⅱの30歳以降にテニスを始めた愛好家の練習はそのように激しいものではなく、実験ⅠとⅡのテニス愛好家の間には、メカニカルストレスの程度に差があったのかもしれない。



実験Ⅰ：運動開始年齢が21才の被験者（41才）は、利き腕の橈骨の全面積は 93mm^2 、非利き腕は 77mm^2 であり、%差は+20.8%である。



実験Ⅱ：運動開始年齢が40才の被験者（53才）は、利き腕の橈骨の全面積は 88.2mm^2 、非利き腕は 101.7mm^2 であり、%差は-13.3%である。

図2 左側は利き腕、右側は非利き腕

加齢に伴う骨密度の変化については、30歳前後に最大骨塩量に到達した後、徐々に骨密度は低下し、特に女性では閉経以降の骨密度の減少が著しいことが知られている²⁰⁾。一方、骨面積の加齢による変化は、骨密度の低下とは逆にむしろ面積が増加すること、すなわち骨密度の低下による骨強度の低下を補うように変化することが知られている^{12)・17)}。面白いことに、実験Ⅱのテニス愛好家も対照群もともに、非利き腕に比べて、利き腕の骨面積は小さかった。したがって、骨の加齢に伴う変化は、非利き腕に比べて、利き腕で少ないのかもしれない。

30歳以降にテニスを始めた愛好家の骨密度と骨形態に対する、運動と加齢の影響のどちらが強いのかについて興味があるが、ここでは十分に検討できなかった。今後、それぞれの被験者の数を増やして検討したい。

5. 結 論

本研究では、中高年女性テニス愛好家、及び骨量がピーク値に至った後にテニスを開始した愛好家と、テニスをやったことのない一般中高年女性対照者について、pQCT法を用いて、利き腕と非利き腕の骨密度及び立体構造を比較検討し、以下の結果を得た。

1. 実験Ⅰでは、いずれの年代の中高年女性テニス愛好家においても、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨の近位部全骨面積が大きく、また遠位部全骨体積骨密度、海面骨体積骨密度が高かった。中高年テニス愛好家においても、発育期からのテニス、言い換えればラケットとボールの衝撃による、メカニカルストレスに適応したためと思われる。
2. 実験Ⅱでは、30歳以後にテニスを開始したテニス愛好家とテニスをしたことがない対照群ともに、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨近位部では全骨面積、皮質骨面積が小さく、全骨骨塩量、皮質骨骨塩量が低く、皮質骨厚は減少し、全骨体積骨密度と皮質骨体積骨密度には差がなかった。また、非利き腕に比べて、利き腕の橈骨遠位部では全骨面積、海綿骨面積が小さく、逆に、海面骨体積骨密度と全骨体積骨密度は高かったが、全骨骨塩量には差がなかった。骨の加齢に伴う変化は、非利き腕に比べて、利き腕で少ないと考えられた。一方、対照群に比べて、テニス愛好家においては、非利き腕、利き腕にかかわらず骨面積が大きく、骨塩量が高かった。

最大骨塩量を獲得した後に、テニスを始めた愛好家の骨密度と骨形態に対する、運動と加齢の影響については今後さらに検討が必要である。

謝 辞

本研究をすすめるにあたって、ご協力頂いた筑波大学体育科学系徳山薫平助教授、通産省工業技術院機械研究所白崎芳夫先生、林和彦先生、筑波大学医療技術短期大学部天貝均助教授、国立がんセンター研究所細胞増殖因子研究部、奈良典子博士、及び筑波大学体育研究科劉莉莉さんに心より感謝申し上げます。

- 1) M. Suzuki: Tomographical description of tennis loaded radius: reciprocal relation between bone size and volumetric density. J. Appl. Physiol. 86: 1347-1351, 1999
- 2) Ayalon, J., A. Simkin, I. Leichter, and S. Raifmann: Dynamic bone loading exercise for postmenopausal women: effect on the density of the distal radius. Arch. Phys. Med. Rehabil. 68: 280-283, 1987
- 3) Dalsky GP, Stocke KS, Eshani AA, Slatopolsky E, Lee WC, Birge SJ: Weight bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. Ann Intern. Med. 108: 824-828, 1988
- 4) Fujita T.: Osteoporosis: Past, Present and future. Osteoporosis Int. 7 (suppl.3): S6-S9, 1997

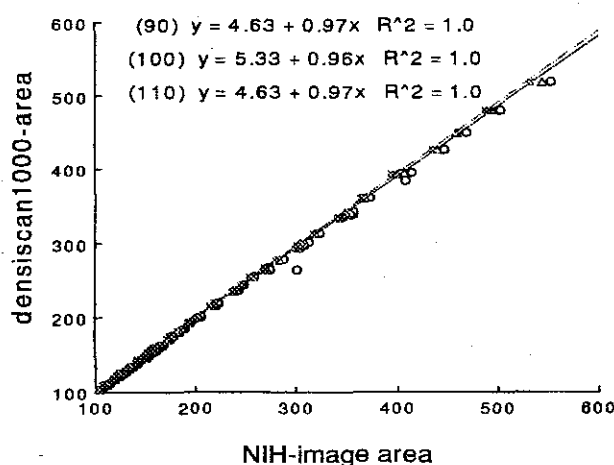
- 5) Haapasalo, H., P. Kannus, H. Sievanen, A. Heinonen, P. Oja, and I. Vuori.: Long-term unilateral loading and bone mineral density and content in female squash players. *Calcif. Tissue Int.* 54: 249-255, 1994
- 6) Haapasalo, H., H. Sievanen, P. Kannus, A. Heinonen, P. Oja, and I. Vuori.: Dimensions and estimated mechanical characteristics of the humerus after long-term tennis loading. *J. Bone Miner. Res.* 11: 864-872, 1996
- 7) Haapasalo, H., P. Kannus, H. Sievanen, M. Pasanen, K. Uusi-rasi, A. Heinonen, P. Oja, and I. Vuori.: Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players. *J. Bone Miner. Res.* 13: 310-319, 1998
- 8) Haapasalo, H., S. Kontulainen, H. Sievanen, P. Kannus, M. Jarvinen and I. Vuori.: Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: A peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone* 27: 351-357, 2000
- 9) Heinonen A, Oja P, kannus P, Sievanen H, Haapasalo H, Manttari A, Vuori I.: Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton. *Bone*. 17: 197-203, 1995
- 10) Heinonen A, Kannus P, Sievanen H, Oja P, Pasanen M, Rinne M, Uusi-Rasi K, Vuori I.: Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk-factors for osteoporotic fractures. *Lancet* 348: 1343-1347, 1996
- 11) Jacobson PC, Beaver W, Grubbs SA, Taft TN, Talamge RV.: Bone density in women: College athletes and older athletic women. *J. Orthop Res.* 2: 328-332, 1984,
- 12) Kleerekoper, M., K. Tolia and A. M. Parfitt.: Nutritional, endocrine, and demographic aspects of osteoporosis. *Orthop. Clin. North Am.* 12: 547-558, 1981
- 13) Margulies J, Simkin A, Leichter I, Bivas A, Stinberg R, Giladi M.: Effects of intense physical activity on the bone mineral content in the lower limbs of young adults. *J. Bone Joint surg.* 68A: 1090-1093, 1986
- 14) Mosekilde L.: Osteoporosis and exercise. *Bone* 17: S193-195, 1995
- 15) Nilsson BE, Westlin NE.: Bone density in athletes. *Clin. Orthop.* 77: 179-182, 1971
- 16) Pirnay F. et al.: Bone Mineral Content and Physical Activity. *J. Sports. Med.* 8: 331-335, 1987
- 17) Rosen, H.N., V. Chen, A. Cittadini, S.L. Greenspan, P.S. Douglas, A.C. Moses, and W.G. Beamer.: Treatment with growth hormone and IGF-I in growing rats increases bone mineral content but not bone mineral density. *J. Bone Miner. Res.* 9: 1352-1358, 1995
- 18) Rueggsegger, P., E. Durand, and M.A. Dambacher.: Localization of regional forearm bone loss from high-resolution computed tomographic images. *Osteoporos. Int.* 1: 76-80, 1991

- 19) Ruiz J.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 10: 675-682, 1995
- 20) Takagi, Y., Y. Fujii, A. Miyauchi, B. Goto, K. Takahashi and T. Fujita: Transmenopausal change of trabecular bone density and structural pattern assessed by peripheral quantitative computed tomography in Japanese women. J. Bone Miner. Res. 10: 1830-1834, 1995

付 録

Threshold法

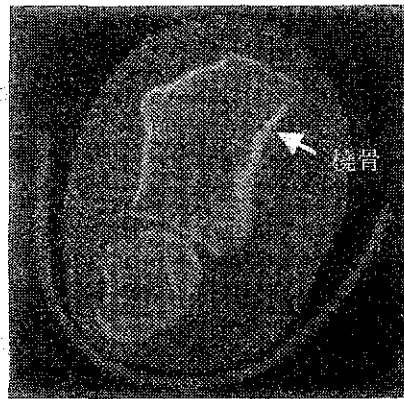
Densiscan1000のスタンダードモード*で測定された骨の、正確な測定値を出すために、NIH-Imageのthreshold法を用いた。その際、適したthreshold値を求めるため、以下の方法を用いた。DensiscanからTIFF形式に修正されてNIH-Image移動した画像は、実際の大きさよりも大きく表示されているため、正確な面積の解っているファントムを用いて、大きさの違いを修正するための定数を決定した。カスタムモード**Scan-size90（橈骨スタンダードモードの測定のScan-sizeと同じ）で遠位部から近位部まで連続で撮った橈骨画像をNIH-Imageに移動し、threshold値90～110で面積（ cm^2 ）を求めて、実際の面積値を算出した。算出した面積値とDensiscan1000（カスタムモード）で測定された面積値の関係をみた結果、どのthreshold値でも高い相関が出た。このためどのthreshold値を使ってもNIH-Imageで、面積値を出すことが可能である。体積骨密度についても、同様な結果が得られた。



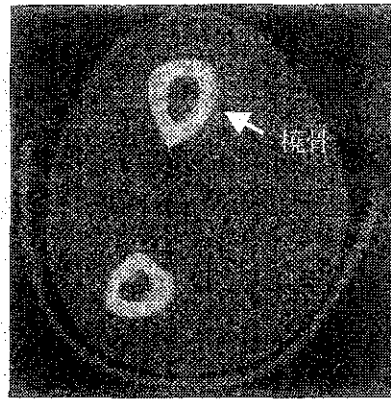
*スタンダードモードとは、遠位部10枚、近位部6枚の画像を連続で撮像するものであり、スライス間隔、スキャンサイズなどがあらかじめ Densiscan1000に設定されている。

**カスタムモードとは、撮像する位置や枚数、スライス間隔、スキャンサイズなどを測定の目的に合わせて設定できる。

NIH-Imageに移した橈骨画像



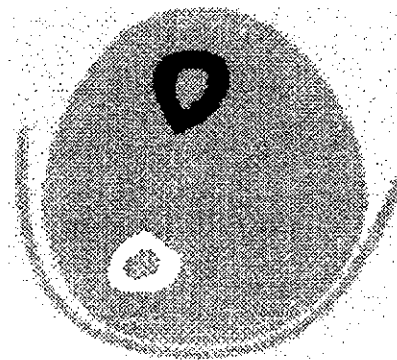
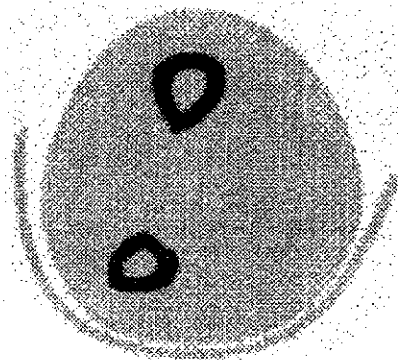
橈骨遠位部



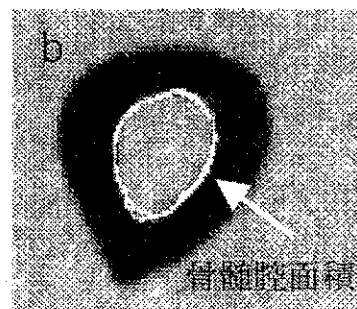
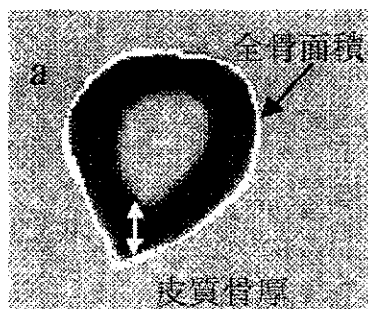
橈骨近位部

橈骨近位部の各測定値の算出方法

- 1) NIH-Imageに移した画像を反転し、Density Sliceで (lower : 102) 橈骨を選択する。



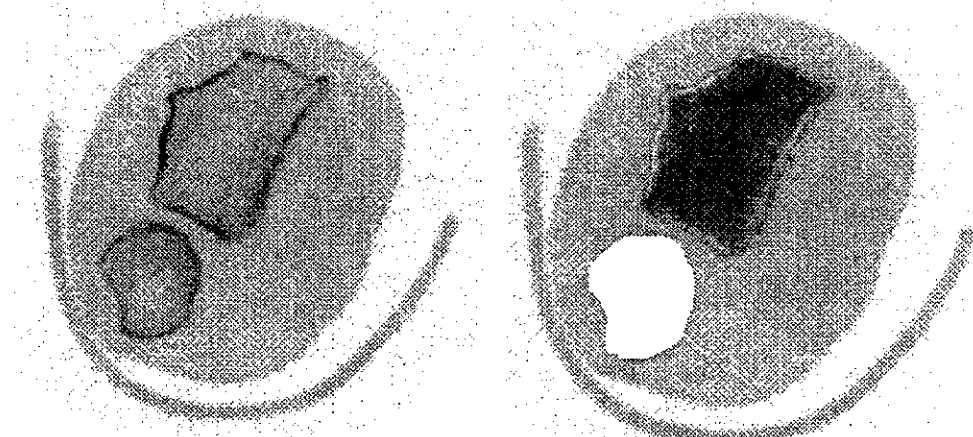
- 2) 全骨 (a) あるいは骨髓腔 (b) を選択し、全骨面積、骨髓腔面積及び全骨体積骨密度、骨髓腔体積骨密度を算出する。



- 3) さらに、皮質骨面積 (皮質骨面積 = 全骨面積 - 骨髓腔面積)、皮質骨厚 (骨が円として、皮質骨厚 = 全骨の半径 - 骨髓腔の半径)、及び皮質骨体積骨密度 (皮質骨体積骨密度 = (全骨面積 × 全骨体積骨密度 - 骨髓腔面積 × 骨髓腔体積骨密度) ÷ 皮質骨面積) を算出する。

橈骨遠位部の各測定値の算出方法

1) NIH-Imageに移した画像を反転し、DensitySliceで (lower:102) 橈骨を選択する。



2) 全骨 (a) あるいは海綿骨 (b) を選択し、全骨面積、海綿骨面積及び全骨体積骨密度、海綿骨体積骨密度を算出する。

