

# 男子大学生競泳選手の骨密度と体格の関係

内藤 健二 (Kenji Naito)  
鳥居 俊 (Suguru Torii)  
堀之内 徹 (Toru Horinouchi)  
奥野 景介 (Keisuke Okuno)

早稲田大学大学院人間科学研究科  
早稲田大学スポーツ科学部  
武蔵丘短期大学非常勤講師  
早稲田大学スポーツ科学部

## 【要旨】

Decrease of bone mineral density (BMD) is a severe medical problem for swimmers. It is well known that non-weight bearing exercise, such as swimming is not beneficial for bone formation. The purpose of this study is to investigate the relationship between BMD and muscle mass in competitive collegiate male swimmers.

In the first study, we investigated twenty male swimmers. BMD of the lumbar spine and proximal femur was assessed by dual X-ray absorptiometry (DXA). Body composition was assessed by bioimpedance analysis. There were high correlation between BMD of the lumbar spine and muscle mass index and BMI ( $r = 0.75$  and  $0.80$ ,  $p < 0.001$ ).

In the second study, we investigated bone metabolic markers of nine male collegiate swimmers through one year of competitive season. Most of the subjects expressed high level bone resorption. But, swimmers who have high BMD and muscle mass remained at low level.

In conclusion, swimmers, who have large amount of muscle mass, might have high BMD, because of inhibition of bone resorption that is specific feature in swimmers.

◆キーワード：競泳選手、骨密度、骨形成、骨吸収、筋量

## 1. 緒言

スポーツ・運動は、身体にその競技特有の適応を引き起こす。そのような身体適応はスポーツのパフォーマンス向上にとっては合目的であっても、医学的見地から見ると競技特異的な外傷・障害や疾病の原因となる可能性もある。水泳・水中運動は他のスポーツとは大きく異なり、浮力の生じる水中で行なうという特異性を持つ。すなわち、水泳・水中運動によって身体に生じる適応も、陸上で行なうスポーツとは異なる影響を生じる可能性が高い。そのため、より医学的見地からみた水泳選手の特有の問題点への注意が必要だと言えるだろう。

医学的見地からみた水泳選手特有の問題点の一つに、骨密度 (Bone mineral density、以下「BMD」とする) の低値が挙げられる。様々な報告で競泳選手のBMDについての調査がなされている<sup>2)-4),7)-8),10),12)-14)</sup>。その多くは、他の競技の選手や一般人に比べ、水泳選手のBMDが低いことを指摘している。骨は力学的刺激によってその形成が促進される<sup>4)</sup>ということは周知であるが、それを背景に、

骨に対し重力や身体運動による衝撃負荷がかかる重量挙げ、跳躍系競技 (バスケットボール、バレーボールなど)、体操、柔道などの競技選手に比べ、浮力によってそのような力学的刺激が軽減される水泳選手では骨形成が促進されにくいということが示唆されている。一般的には骨量を増大させるには適度な運動による力学的刺激が重要だとされており、一般人に対してスポーツ選手ではBMDが高値を示す事が示唆されているが<sup>12)</sup>、水泳選手の場合、報告によっては座業の一般人よりもBMDが低いことも示唆されている<sup>10)</sup>。それらのことから、その後の骨粗鬆症などの発生に関係するとされる若年時の最大骨量 (peak bone mass) の形成のためには、水泳・水中運動による身体適応は相反する効果を生み出している可能性があると言える。しかし、同様のトレーニングを行なっている水泳選手においてもBMDに個人差があるのは事実であり、その要因は不明である。一般的にはスポーツ選手に限らず、体格とBMDの関連性が指摘されている<sup>1)</sup>が、水泳選手においてそのような報告はあまり見られない。

そこで、本研究1および2では水泳選手の骨量低下の予防策を講じる上での基礎資料とするために、特に体格すなわち身体組成とBMDとの関係に注目し個人差の要因を検討した。研究1では特にBMDと身体組成の関係に注目し、両者の相関関係を検討した。研究2ではそれらと骨代謝動態を反映する生化学的な骨代謝マーカーとの関連について検討した。

## 研究1 BMDと身体組成・体格との関係

### 方法

#### 1) 対象

20名の男子大学生競泳選手（年齢：19.4±1.0才）を対象とした。また、被験者の競技レベルは大学選手権出場レベルから日本選手権上位までであった。なお、対象には測定内容に関して十分な説明を行い、研究参加への承諾を得た後に研究を開始した。

#### 2) BMDの測定

BMDはHologic社のQDR-1000を用いてDXA（Dual energy X-ray absorptiometry）法によって測定した。本研究ではすべて前後方向から、腰椎はL2～4の各部位、大腿骨近位部は大転子部、転子間部、大腿骨頸部、Wardの三角部の各部位の骨量測定を行なった<sup>5)</sup>。それぞれを平均し、腰椎平均BMD（腰椎BMD）および大腿骨近位部平均BMD（大腿骨BMD）とした。また大腿骨近位部のBMDには左右に差が見られなかったため、右側の値を代表値とした。腰椎BMDにおいては、絶対値（g/cm<sup>2</sup>）と若年成年時の平均を基準としたTスコア（%）を用いて表記した。

表1 身体組成および骨密度計測の結果

	身体組成						骨密度			
	身長 cm	体重 kg	筋肉量 kg	体脂肪率 %	BMI kg/m <sup>2</sup>	MMI kg/m <sup>2</sup>	腰椎BMD		大腿骨BMD	
							絶対値 g/cm <sup>2</sup>	Tスコア %	絶対値 g/cm <sup>2</sup>	Tスコア %
Ave.	175.4	70.3	58.6	12.0	22.8	19.0	1.047	100.1	1.044	—
SD	4.7	5.2	3.9	2.5	1.6	1.1	0.110	10.9	0.085	—

表2 骨密度と身体組成との相関関係

	BMD			
	腰椎		大腿骨	
	r	P value	r	P value
身長	-0.24	0.31	-0.09	0.69
体重	0.56	0.008	0.27	0.24
筋量	0.45	0.04	0.14	0.54
BMI	<b>0.80</b>	<0.001	0.38	0.09
MMI	<b>0.75</b>	<0.001	0.27	0.23

### 3) 身体組成の測定

身体組成は8点接触型多周波インピーダンス式高精度身体組成測定装置 In body 3.0（Biospace社製）を用いて測定した。本研究では全身水分量から算出される筋肉量、体脂肪率などをパラメーターとして用いた。また、BMI（kg/m<sup>2</sup>）と、筋肉量（kg）を身長（m）の二乗で除して補正した値（kg/m<sup>2</sup>）をMuscle Mass Index（MMI）として算出し、体格の指標として用いた。

### 4) 統計解析

上記のBMDのパラメーターと、身体組成パラメーターとの関連性を検討するために、統計解析ソフトStat view 5.0を用いPearsonの相関係数の検定を行なった。検定の有意水準はp<0.05とした。

### 結果

各種身体組成とBMDのデータを表1に示した。腰椎BMDのTスコアは平均で100.1%であったが、75～121%と大きな個人差を示した（図1）。

表2にはそれらのパラメーター相互の相関係数を示した。腰椎BMDと体重、筋量、BMI、MMIとがr = 0.45～0.80と有意な正の相関を示した。特にBMIとMMIでは非常に強い相関を示した（図2：A-D）。また、大腿骨BMDでは有意ではないもののBMIとの間でr = 0.38と弱い相関関係を示したが、全体的に体格指標との関連性は少なかった（図3：A-D）。

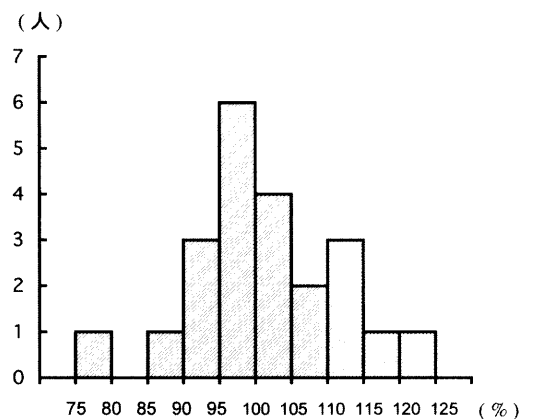


図1. 腰椎BMD Tスコアの分布

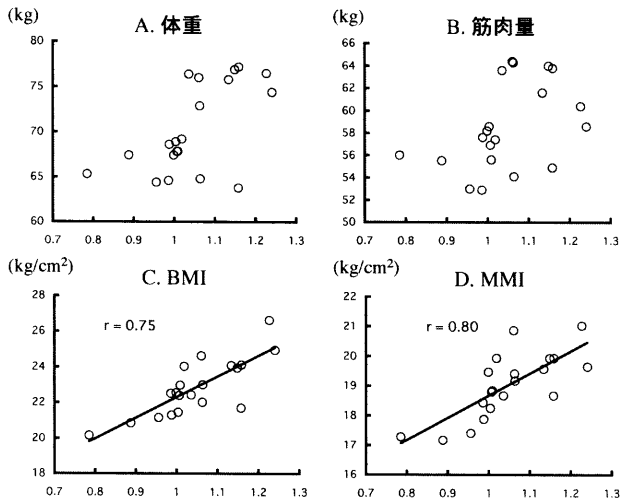


図 2 A-D.各種身体組成パラメーターと腰椎BMDの関係

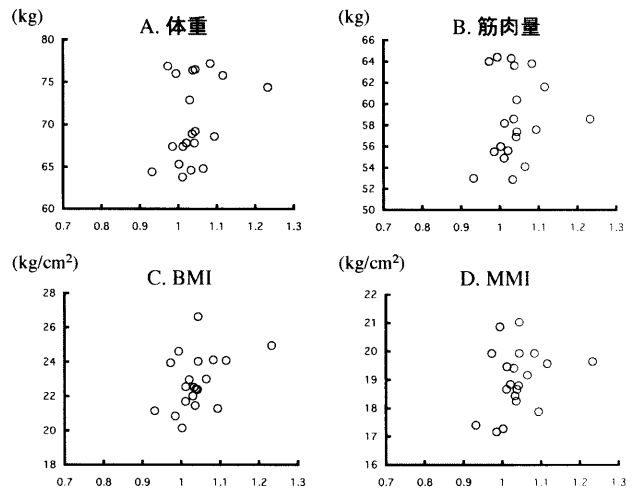


図 3 A-D.各種身体組成パラメーターと大腿骨BMDの関係

### 考 察

本研究では従来から一般的に低値を示すとされる水泳選手のBMDの個人差の要因を検討するために、特に体格との関連性に注目してBMDパラメーターと身体組成パラメーターとの相関を調査した。

まず、本研究の対象となった大学生水泳選手のBMD値について検討する。本研究ではコントロール群の測定を行っていないため、厳密に他の競技選手や運動習慣の無い一般人のBMD値との比較はできないが、日本人一般の膨大なデータに基づくTスコアの値から、本研究の対象は平均してみると100%程度と、一般人と同程度でありスポーツ選手としてはやや低いBMDを示している。これは従来から言われている水泳選手のBMDの低値を裏付けた結果だといえるだろう。しかし、中には80%を下回る者から120%を超える者もあり、個人差が大きく存在する事も明らかである。

そのような個人差に関連する因子として、本研究では体格・身体組成に注目した。Bakker I. et al. は一般人において除脂肪体重とBMDの正の相関を示唆しており、筋張力による骨への力学的刺激が骨形成に影響すると示唆している<sup>1)</sup>。また、各種スポーツ選手においても体格とBMD値が相関性を示す事が示唆されている<sup>2)</sup>。すなわち、BMDに影響を与える因子としての運動負荷、栄養摂取などがある程度均一である場合、体格という要素が大きくBMD値を左右する因子である事が示唆されている。

本研究の結果、従来から他のスポーツや一般人などで示唆されているのと同様、競泳選手のBMDと体格に関連

する指標が大きな関連性を示す事が明らかとなった。特に腰椎BMDとMMI、BMIなどの身長で標準化した相対的な体格指標との相関が高かった。すなわち、全身を支える荷重軸となる腰椎のBMDは、水泳選手において身長に比して全身の筋量が高い者ほど高値を示すということが明らかになった。逆に考えれば、高い筋量を持つ選手の場合、水泳選手特有のBMDの低値を克服できる可能性が示唆できる。

このようなBMDと筋量の関係が生じた要因として、筋量を増大する過程もしくは筋量を増大した結果による何らかの影響によって、骨形成の促進、あるいは骨吸収の抑制が行なわれたことが推測されるが、そのメカニズムとして二通りの作用が考えられる。

まず一つに、高い筋量をもたらしたweight trainingによる重量負荷が骨形成の促進に作用した事が挙げられる。若年期の水泳選手では比較的陸上での運動量は少なく、水中でのトレーニングに時間を割くため、weight trainingを積極的に行なってきた選手とそうでない選手とではバーベルなどの重量による骨にかかる力学的刺激が大きく異なる事が予想される。またもう一方の要素として、高い筋量をもたらす、筋張力による骨への牽引刺激の増大が考えられる。Taahhe DR. and Marcus R. は水泳選手の男女のBMDの違いの原因として、筋量の違いによる骨への力学的刺激の差を示唆している<sup>3)</sup>。本研究の対象は男子選手のみであったが、同様に筋量の差が骨への力学的刺激の量に影響した事が推測できる。

詳細なメカニズムは本研究からは明らかにならないが、

どちらにせよ、水泳選手に限らずスポーツ選手全般が行なうweight trainingによる筋量増大の過程によって、骨代謝の動態が骨形成有利に傾くことが期待できるであろう。

しかし、水泳選手にとっては水中での避抵抗や柔軟性の維持のために、極度の筋量の増大は競技に対しては非合目的であると考えられることも少なくない。様々なスポーツ選手を対象にした身体組成の調査においても、水泳選手は比較的低い筋量であり、一般人とも大きく変わらない結果であった<sup>6)</sup>。すなわち、他の競技選手と比べての競技力向上における筋量の増大の占める役割の低さも、水泳選手のBMD低下の一因となっている可能性が示唆される。

一方、本研究で測定した腰椎BMDは、腰椎BMDと体格指標との間では非常に高い相関が見られたが、大腿骨BMDは体格指標との有意な相関関係はみられず、同じ荷重骨であっても体格との関係に関しては異なる影響を見せた。このような差異の原因として、各選手の得意種目の影響が考えられる。例えば、平泳ぎは他の三つの泳法と大きく異なり、股関節の内・外転、内・外旋の運動量が大きい。逆にその他の三種目では競技中の股関節の可動範囲は小さいといえる。そのような種目特異的な股関節の運動の差異が大腿骨近位部に作用し、大腿骨BMDと体格との関係に影響を与えている可能性が示唆される。Lima FL et al. も本研究の結果と同様に水泳選手においては大腿骨BMDよりも腰椎BMDの方が体格指標との相関性が高いことを報告している<sup>7)</sup>。今後さらに被験者数を増やして種目の違いによる大腿骨BMDの差についても検討する必要があるだろう。

以上の事から、部位によっては各種目による運動特性の影響を多少は受けるものの、水泳選手においても他の競技と同様に体格（筋量）によってBMDに差が見られることが明らかとなった。また特に高い筋量を持つ選手は衝撃負荷運動を伴う競技選手同様に、高いBMDを獲得できる事が示唆された。すなわち、水泳選手のBMD低下を予防・改善するためには、高い筋量をもたらすようなweight trainingの処方が効果的であると考えられる。競技成績に影響を与えない程度に、それらの導入を行なっていくことが予防医学的には重要であると考えられる。また特に筋量が低い選手に対しては、BMDの定期的な検査、スクリーニングなどを行い、さらなる低下を予防するためのトレーニング処方が重要であると言える。しかし未だに、筋量の増大と骨量の増大の関連性がどのように生

じるかというメカニズムは明らかではなく、その解明については今後のさらなる研究が求められる。

## 研究2 骨代謝マーカーとBMD、体格との関連

### 方法

#### 1) 対象

研究1の被験者の中から特に9名を対象とした。9名の競技レベルは日本選手権上位進出（準決勝以上）者であり、比較的競技レベルが高い者であった。本研究は測定に採血を伴うため、別途詳細な研究内容の説明を行い同意を得た上で研究を開始した。

#### 2) BMDと身体組成の測定

研究1に準ずるため、省略する。

#### 3) 骨代謝マーカーの測定

骨代謝マーカーは、骨形成マーカーとして血清中の骨型アルカリフォスファターゼ（以下「BAP」とする）を用い、骨吸収マーカーとして尿中のI型コラーゲンN端テロペプチド（以下「NTX」とする）を用いた<sup>9)</sup>。両者とも午前9時の朝食前に採血、採尿を行い、採取された検体はすぐに冷蔵保存した。なお尿は早朝尿排出後の第2尿とした。採血は医師によって行なわれた。冷蔵保存された検体の検査は株式会社SRLに依頼して行なった。これらを、2001年11月～2002年9月までの約1年間の競技シーズン中に12月、2月、4月、5月、6月、8月の計6回測定し、その推移を観察した。

#### 4) 統計解析

体格指標とBMD指標の関係性には研究1と同様、Pearsonの相関係数を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。骨代謝マーカーの経時的推移に関しては、個体によって変動が異なることが重要であると考えられたため、あえて統計的な検討は行わず、個人別に変動の様相を観察した。

### 結果

MMIと腰椎BMDとの相関関係は $r = 0.91$ と非常に高い有意な正の相関を見せ、大腿骨BMDとも $r = 0.55$ と中等度の相関を示した。すなわち、被験者数は減ったものの研究1で示された体格とBMDの関係性は維持されていた。

骨形成マーカーとして測定したBAPの変動を図4に、骨

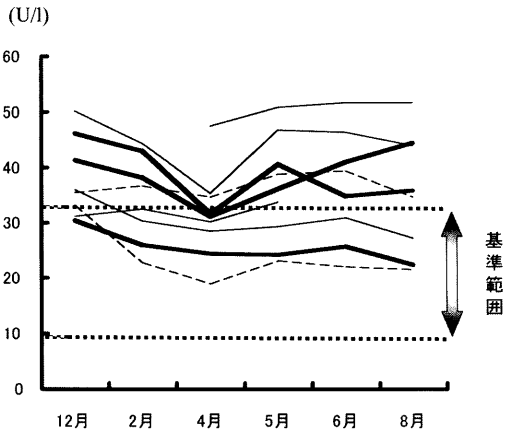


図 4. BAP の経時的変動

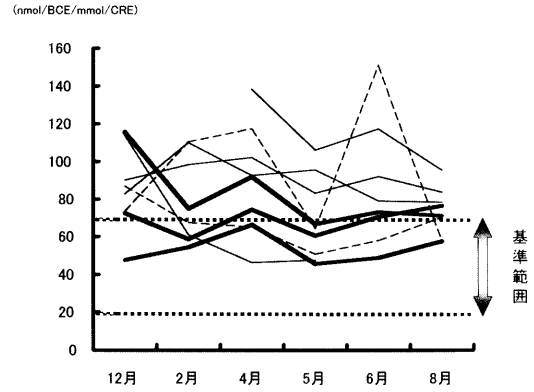


図 5. NTX の経時的変動

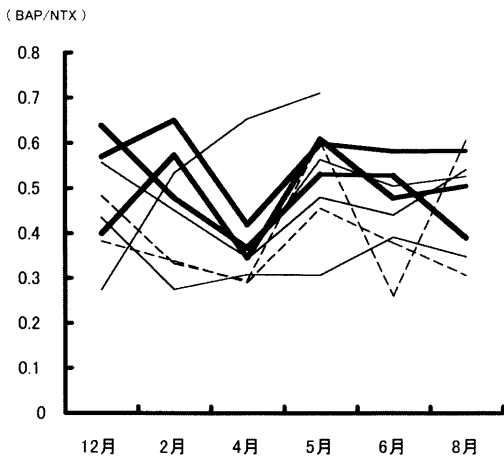


図 6. 形成/吸収比の経時的変動

### 考 察

本研究では1年間に渡り継続的に骨代謝マーカーを測定し、水泳選手の骨代謝動態を観察した。これまでに水泳選手のBMDに関する報告は数多くあり<sup>2)-4),7)-8),10),12)-14)</sup>、また近年では骨代謝マーカーを用いて骨代謝動態について言及した報告<sup>2),7)-8)</sup>も散見することが出来るが、長期縦断的に骨代謝マーカーを観察した研究は見られない。本来、BMDは静的な骨の状態を表すものとし、骨代謝マーカーは形成と吸収によるリモデリングを絶えず繰り返す動的な骨の代謝動態を表すものされている<sup>2),5)</sup>。すなわち、骨代謝マーカーを測定する場合、一回の横断的な測定ではなく縦断的に変動を観察して初めて、その本来の意義が果たせると考えられる。その点では、本研究は被験者数が少ないものの、その意義を十分に満たす有用な研究であると言える。

本研究の結果、あくまで統計的な検討がされていないため、それを確証することはできないが、比較的に水泳選手の骨代謝マーカーは基準値よりも高くなる傾向が示された。特に骨吸収マーカーは全体的に高い値の範囲で変動していた。Creighton DL. et al. は本研究の結果とは対照的に、水泳選手のBMD低下の要因として、骨形成マーカーの低値を示している<sup>2)</sup>。また、Matsumoto T. et al. は水泳選手と柔道選手、長距離走選手の骨代謝マーカーを比較した際に、柔道選手の骨形成および吸収マーカーの高値を報告し、高い骨代謝回転によって柔道選手の高いBMDが形成されているであろうことを示唆している<sup>8)</sup>。一方でLima F. et al. は本研究の結果と同様に水泳選手の群では骨形成、吸収マーカーともに衝撃負荷運動群に対し高い値を示すことを示唆している<sup>7)</sup>。これらの研究結果の差異の要因としては、まず研究期間の問題が挙げら

吸収マーカーとして測定したNTXの変動を図5に示す。図中の太線は比較的BMDおよび筋量が高値を示した3選手の変動を示す。図中の細点線は中等度のBMDを示した2選手の変動を示す。図中の細線は低いBMDと筋量を呈した4選手の変動を示す。また、図中に太点線および矢印で両マーカーの標準値の範囲を示した。

骨形成マーカー、骨吸収マーカーともに多くの選手が基準値より高い範囲での変動を示していた。特に骨吸収マーカーは基準値を大幅に上回る値を示した選手が多かった。特に低いBMDと筋量を示した選手は比較的に両マーカーの値が高く、特に骨吸収マーカーは全体的に高い値での推移を示した。また、BAPの値をNTXの値で除した形成/吸収比を見ると、一名を除き低いBMDを示した選手は低い値を示し、逆に高いBMDを示した選手は平均的に高い値を示した(図6)。

れる。上記の先行研究は全て横断的になされているものであり、動的な変動を示す骨代謝の一時的な動態を示すに過ぎない。また、対象の年齢、性別などによっても内分泌動態は異なるため、その点も考えなければならない。本研究結果では一年間の長期に渡る観察によっても両マーカーが高い値を示したことから、Lima F. et al. の研究<sup>7)</sup>と同様、水泳選手は高い骨代謝回転の動態を示す傾向を支持する。しかし、今後、他の競技種目選手および一般人も含めてさらに詳細に比較する必要があるだろう。

本研究2の被験者も少数ながら、研究1の被験者と同様に体格指標とBMD値の間で非常に強い正の相関がみられた。すなわち、筋量の増大と関連する骨代謝動態の特徴があることが考えられる。本研究の被験者である比較的高レベルの水泳選手の骨代謝動態は、上述のように比較的高い骨代謝回転を示した。しかし、特に高いBMD値を示した筋量の多い選手に注目すると、骨吸収マーカーは比較的低値を示し標準範囲に近いレベルでの推移を示した。そのため、骨形成と骨吸収のバランスを示す形成/吸収比は比較的に高いレベルでの変動を示した。すなわち、筋量の増大、もしくはそうなるに至った過程において骨吸収の抑制が進み、それが骨吸収と骨形成のバランスを骨形成優位に変換させ、BMDの低値を抑制した可能性が考えられる。筋量の増大にはレジスタンストレーニングによる成長ホルモン、テストステロンなどの内分泌系の活性が重要と考えられているが、Lima F. et al. は水泳選手の低いテストステロンレベルを報告しており、その低値とBMDの低下が関係すると考察している<sup>7)</sup>。しかしそのメカニズムの詳細は未だ明らかではなく、今後はBMDの男女差の要因の解明も含めて、性ホルモンとBMDおよび骨代謝動態との関連性を検討する必要がある。

## まとめ

本研究では、一般的に低値を示すとされる水泳選手のBMDと体格の関連性を検討した。その結果、腰椎BMD値と体格指標との間で高い相関がみられ、筋量が多い選手においては高いBMD値を示すということが示唆された。すなわち、水泳選手の低いBMDを改善するためには、筋量の獲得を促すようなトレーニングが効果的であろうことが示唆された。また、少ない被験者数ながら骨代謝マーカーによる骨代謝動態を長期的に観察した結果、水泳選手の骨代謝動態が比較的高回転型であることと、BMDが高く筋量も多い選手においては骨吸収が通常範囲まで

抑制されている可能性が示唆された。どのようなメカニズムで筋量の獲得と骨吸収の抑制が関連しているのかは、今後、性ホルモンの測定などもふまえて被験者数をさらに増やして検討していく必要がある。

## 謝 辞

本研究のDXA測定に際し、医療法人永仁会入間ハート病院放射線科の亀山先生、木原先生に多大な御協力をいただきました。ここに記し感謝を表明いたします。また、本研究の一部は早稲田大学特定課題研究助成（2001A-612 研究代表者：鳥居俊）並びに東京女子医科大学スポーツ健康科学研究奨励金（研究代表者：鳥居俊）の助成を受けて行ないました。ここに記し、感謝の意を表します。