

超音波法により測定した女子スポーツ選手の骨強度

Bone stiffness of women's sports athletes measured by using ultrasound methods

井 出 亘*, 岡 田 雅 次*, 西 山 一 行*, 石 田 良 恵**

Wataru IDE *, Masaji OKADA *, Kazuyuki NISHIYAMA * and Yoshie ISHIDA **

ABSTRACT

The purpose of this research was to clear how a differences in sports activities would influence upon bone stiffness.

Subjects are 93 college women who belong to athletic clubs and 584 college women who do not practice sports. Subject's average age were 19.9 years old, heights 162.6cm, weights 60.9kg, BMI 22.9 and %fat 28.9%. In reference to measurement, we used an ultrasonic apparatus (ALOKA INC. AOS-100, Japan).

Bone stiffness at the calcaneous in this research showed a result that sports athletes in a track and field (sprinter, long distance runner, throwing event), handball, gymnastic, volleyball, judo and kendo, they have higher significance than the college women . And significant difference was found in partial events. Also, bone stiffness at the calcaneous was significantly correlated in weights, BMI, %fat, and handgrip. In addition, improvement of bone stiffness was confirmed with weight maintenance and a proper amount of exercise.

目 的

若年時のスポーツ活動は最大到達骨量 (peak bone mass) を高めることで骨粗鬆症の予防にも効果が期待されている。衝撃や、捻じれ、牽引が骨への刺激を与えることにより、骨強度が増すと考えられるためである。しかし一方で、女子スポーツ選手は男子並みのトレーニングや減量による無月経などの影響から骨強度が低下し、一般女性と比較しても低い場合があるとの報告¹⁾もある。また、一般女性の場合では、身体は細い方が美しいと信じ、無理な減量などからホルモンのバランスを崩し、時には無月経が続くと骨強度が低

下することが懸念されている。また、若年時に骨強度が低下している場合は閉経後、早期に骨粗鬆症などを誘発することが予測され高齢化社会に向かう現在では重要な社会問題と考えられる。

一般に骨塩は単位体積当たりの骨塩量が多いほど骨折しにくいため、この骨塩量を測定することは意義あることである。本学においても、松本がDEXA法により多方面に渡る骨塩量に関する報告^{2)~5)}をしている。DEXA法は研究室内での測定になるのに対し超音波法による測定は簡便で現場において短時間に多人数の測定が可能である。そこで、本研究は超音波法を用いて女子スポーツ選手の骨強度について身体特性、競技種目差、握力及び競

* 国士館大学体育学部陸上競技研究室 (Lab. of Track and Field, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 女子美術大学体育学研究室 (Dept. of Physical Education, Women's College of Fine Arts)

技継続年数などの側面から比較検討し、競技種目の違いが骨強度に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

方 法

I 被検者

被検者は18歳から24歳（平均19.9歳）の大学体育学部で運動部に所属している女子選手であった。所属している運動部は陸上競技の投てき選手17名、短距離選手6名、長距離選手10名、器械体操選手7名、柔道選手10名、剣道選手13名、ハンドボール選手16名、バレーボール選手14名の合計93名であった。一方、対象となった一般女子学生は特別な運動を実施していない18才から22才まで的一般女子学生584名（平均18.6才）であった。

II 体脂肪率の測定

体脂肪率の測定はインピーダンス法（BIA：Bioelectrical impedance analysis）により行った。測定に際してはTANITA社製の体内脂肪計TBF-102を用いた。現在、体脂肪の測定は、水中体重法が標準とされているが、この方法は装置が大がかりであり、多くの被検者を短時間に測定することが困難である。今回使用したインピーダンス法による測定の原理は、水分は電気を通しやすく、逆に脂肪は電気を通しにくい性質を生かし、電気抵抗の違いから体脂肪を推定する方法である。インピーダンス法は体水分量に影響を受けるため、日内変動⁶⁾や運動前後⁷⁾、前日の水分摂取⁸⁾など測定条件を一定にする必要があり、その条件を整えないと測定精度に問題が生じることが知られている。一方、インピーダンス法は水中体重との相関もある程度高く⁹⁾、価格の面でもDAXA法、水中体重法などに比べ安価で簡便なことから多人数を測定する場合に有効である。測定に際しては、微弱な電流を使用することから電流の流れを良くするために全ての被検者は素足で行った。

III 握力の測定

握力の測定に際しては竹井機器製のスマッドレー式握力計TK-1201を用いて左右両方を測定し、その平均値を算出した。

IV 骨強度の測定

測定に際してはALOKA社製の超音波骨評価装置AOS-100を用いた。骨強度の測定は全員、右踵骨の骨量（OSI：Oseto Sono assessment Index）について行った。現在、骨塩量の測定には主にX線を用いる方法と超音波を用いる方法が行われている。X線を使用した方法では2種類の異なる短波長のX線で同時に測定し、組織によってX線吸収率が異なることを利用して組織量を定量するDEXA法（dual energy X-ray absorptiometry）がある。この方法は測定精度が全身で1～5%であり、被爆線量も少ないなどの利点があるが、トレーニングの現場では、コストや管理上専門家が必要であり、簡便とはいえない面もある。次に超音波法は測定骨内を超音波が伝達する速度（SOS:Speed of Sound）と測定骨通過前後の超音波の減衰率（BUA：broad band ultrasound attenuation）が測定され骨量評価値として用いられる。原理については図1に示した。この方法は、X線を用いないことから被爆の問題がなく、スポーツ選手や妊産婦などを繰り返して測定することが可能である。測定時間が20分程度必要なDEXA法に比べ、測定からデータのプリントアウトまで2分程度と測定時間が短く、多人数の測定も可能である。更に、DEXA法との相関が高く¹⁰⁾、骨密度と骨の太さとが合わさったものを反映している¹¹⁾と言われ、再現性に優れているという利点がある。

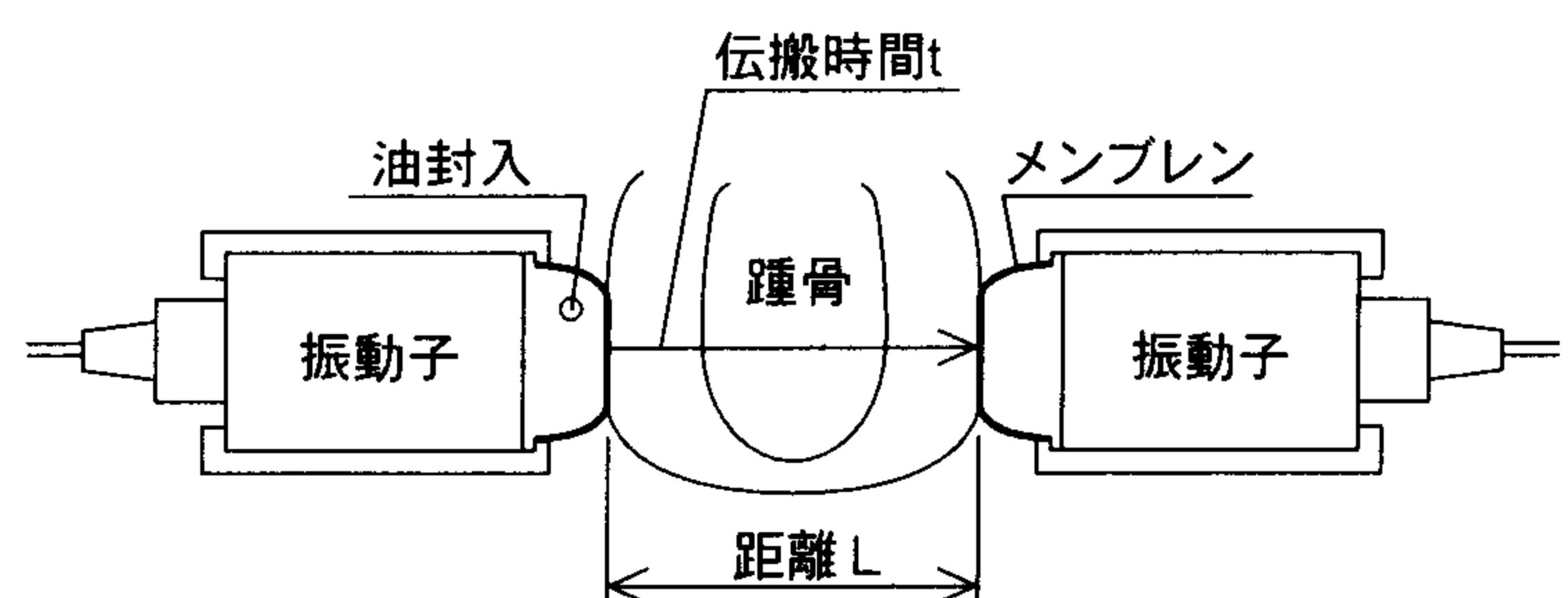


図1 超音波骨評価装置による骨強度の測定原理

V 統計処理

各測定項目についての統計処理は平均値と標準偏差値を求めた。平均値間の有意性は t 検定により検討し、5 %水準で有意と判断した。

結果と考察

I 身体特性

表1は被検者の身体特性について平均値と標準偏差値により示したものである。両被検者間の年齢についてみると、女子運動選手が19.9歳、一般女子学生は18.6歳であった。身長では、女子運動

選手が162.6cm、一般女子学生が158.5 cmと女子運動選手が有意に高い身長であり、体重では女子運動選手が60.9kg、一般女子学生が51.8kgと有意差がみられた。身体の大きさの指標として国際的に用いられているBMI (Body Mass Index) は両群ともに19~24の範囲内に入るが、女子運動選手が22.9、一般女子学生が20.6と女子運動選手が有意に高かった。体脂肪率においても女子運動選手が有意に高い値を示し、身体組成全てにおいて女子運動選手が有意に高かった。また競技種目別の年齢、身長、体重、BMI、体脂肪率の平均値及び標準偏差値について表2に示した。競技別にみる

表1 被検者の身体特性

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI	※	体脂肪率(%)
女子運動選手(N=93)	19.9±1.1	162.6±6.8	60.9±12.0	22.9±3.7		28.9±6.6
一般女子学生(N=584)	18.6±0.8	158.5±5.2	51.8±7.0	20.6±2.4		25.3±5.0

※BMI=体重/身長×身長

表2 各競技種目別被検者の身体特性(平均値及び標準偏差値)

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI	体脂肪率(%)
投擲(N=17)					
Mean	20.4	163.6	70.6	26.3	34.5
SD	1.3	6.1	11.9	3.9	7.2
ハンドボール(N=16)					
Mean	19.3	161.4	57.2	21.9	28
SD	0.8	7.6	7.9	1.8	3.3
体操(N=7)					
Mean	19.6	154.1	51.1	21.5	26.9
SD	1.3	2.3	3.9	1	2.6
バレーボール(N=14)					
Mean	19.7	167.2	61.9	22.1	27.4
SD	0.8	5.6	5.9	1.3	3.7
柔道(N=10)					
Mean	19.9	166.4	75.4	27.2	34.1
SD	0.7	5.1	12.3	4.2	6.9
長距離(N=10)					
Mean	20	159.8	47.3	18.5	19.8
SD	1.2	5.3	4.2	1.3	2.6
短距離(N=6)					
Mean	19.8	164.2	53.2	19.6	22.3
SD	0.8	6.2	6.7	1.2	3
剣道(N=13)					
Mean	20.4	160.9	59.5	22.9	31.2
SD	1	6.7	8.1	2	4.4
一般女子学生(N=584)					
Mean	18.6	158.5	51.8	20.6	25.3
SD	0.8	5.2	7	2.4	5

と身長は167.2 cmでバレーボールが最高値を示し、体操が154.1 cm最低値を示した。体重およびBMIは柔道が75.4kg、27.2で最高値を示し、長距離が47.3kg、18.5で最低値を示した。また、体脂肪率は投げきが34.5%で最高値を示し、長距離が19.8%で最低値を示した。

II 骨強度の種目差

図2は各競技種目別及び一般女子学生の踵骨骨強度の平均値を示したものである。骨強度の高い種目（平均値±標準偏差）からみると、投げき（3.507±0.353）、ハンドボール（3.324±0.245）、体操（3.246±0.243）、バレーボール（3.180±0.237）、柔道（3.164±0.279）、長距離（3.133±0.240）、短距離（3.133±0.322）、剣道（2.965±0.175）、一般女子（2.715±0.259）の順であった。測定した平均値により比較してみると全ての種目において、踵骨骨強度は骨塩量同様に一般女子学生と比較して女子運動選手が有意に高い結果であった。一般的に長距離選手や水泳選手の骨量はスポーツ選手の中では比較的低いといわれる。さらに一般女性と比較した場合でもこれらの種目の方が低いとする報告もある¹⁾が、今回の被検者の長距離は、投げきやハンドボールとの比較では有意に低いものの、他の種目との比較では有意差はなく、一般女子学生と比較すると有意に高く、剣道よりも高い値となった。その理由としては、今回

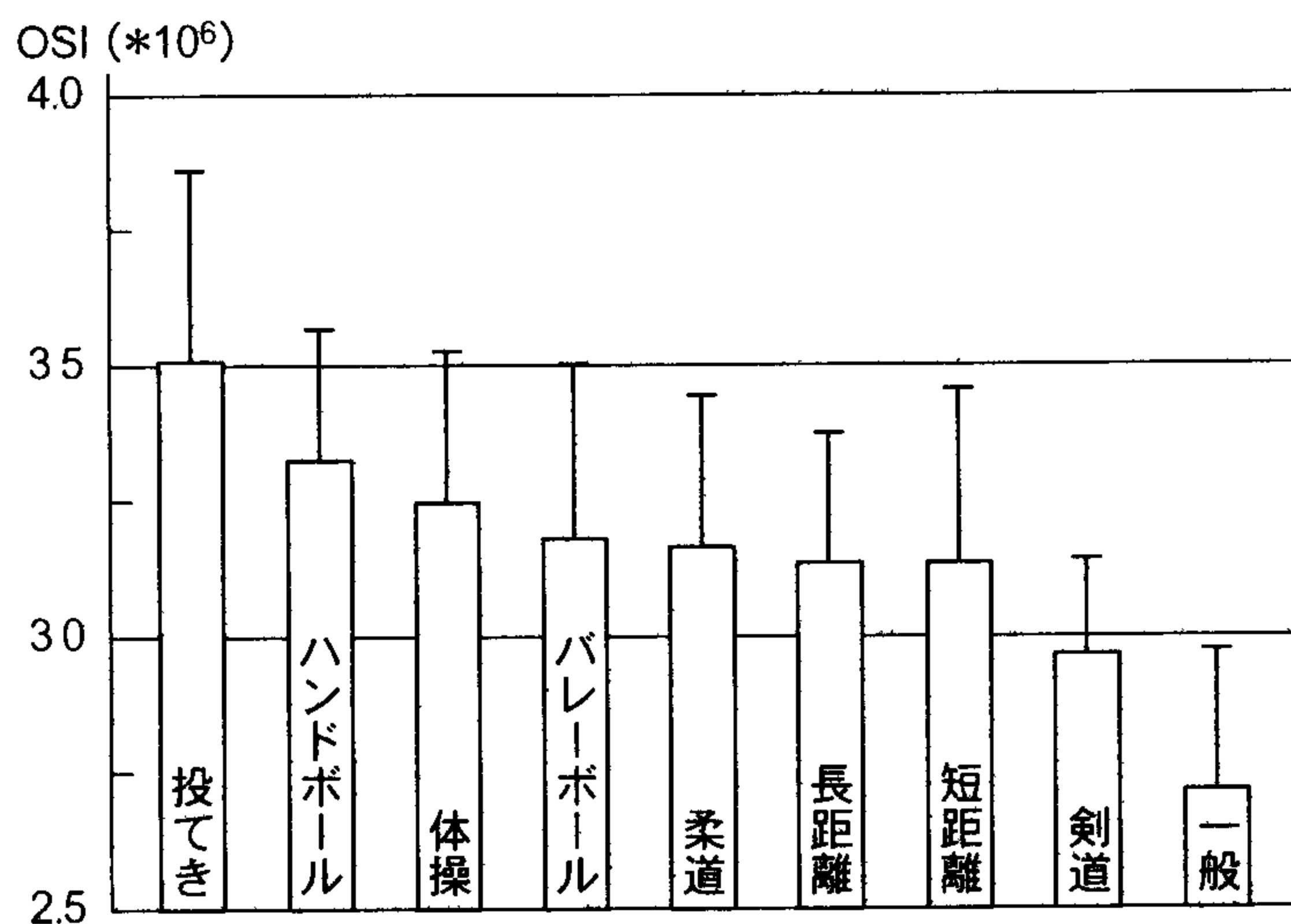


図2 女子運動選手の競技種目別の踵骨骨強度

の被検者の場合は月経も正常にあり、競技力の面からも、まだ初心者が多かったためと推察される。また、剣道は女子運動選手の中で最も低い値であり、短距離以外の種目とは有意に低い値であった。

本研究の測定での女子運動選手の踵骨骨強度の平均値は3.230±0.31であり、女子運動選手における踵骨骨強度の最高値は投げき選手で3.994と非常に高かった。最低値は短距離選手の2.662であったが、この値は同年齢の女性の平均値と比較すると93%の値であった。

III 骨強度と体重及びBMIの関係

一般的に骨強度が体重と相関が高いことが数多く報告されている^{12) 13)}が、図3は女子運動選手の体重と踵骨骨強度の関係について示したものである。本研究においても、被検者の踵骨骨強度と体重は有意な相関関係にあり、体重の多い者の方が高い踵骨骨強度を示し、先行研究と同様な結果であった。

また、BMIと骨強度の関係についても少ないが報告されており¹³⁾、BMIは身体の大きさの指標として国際的に用いられているが身体組成と骨量との関わりを検討するにあたり重要であると考え、BMIと踵骨骨量の関わりについて図4に示した。BMIと骨強度も体重と同様に有意な相関関係が認められ、身体の大きい者の方が高い踵骨骨強度を示した。

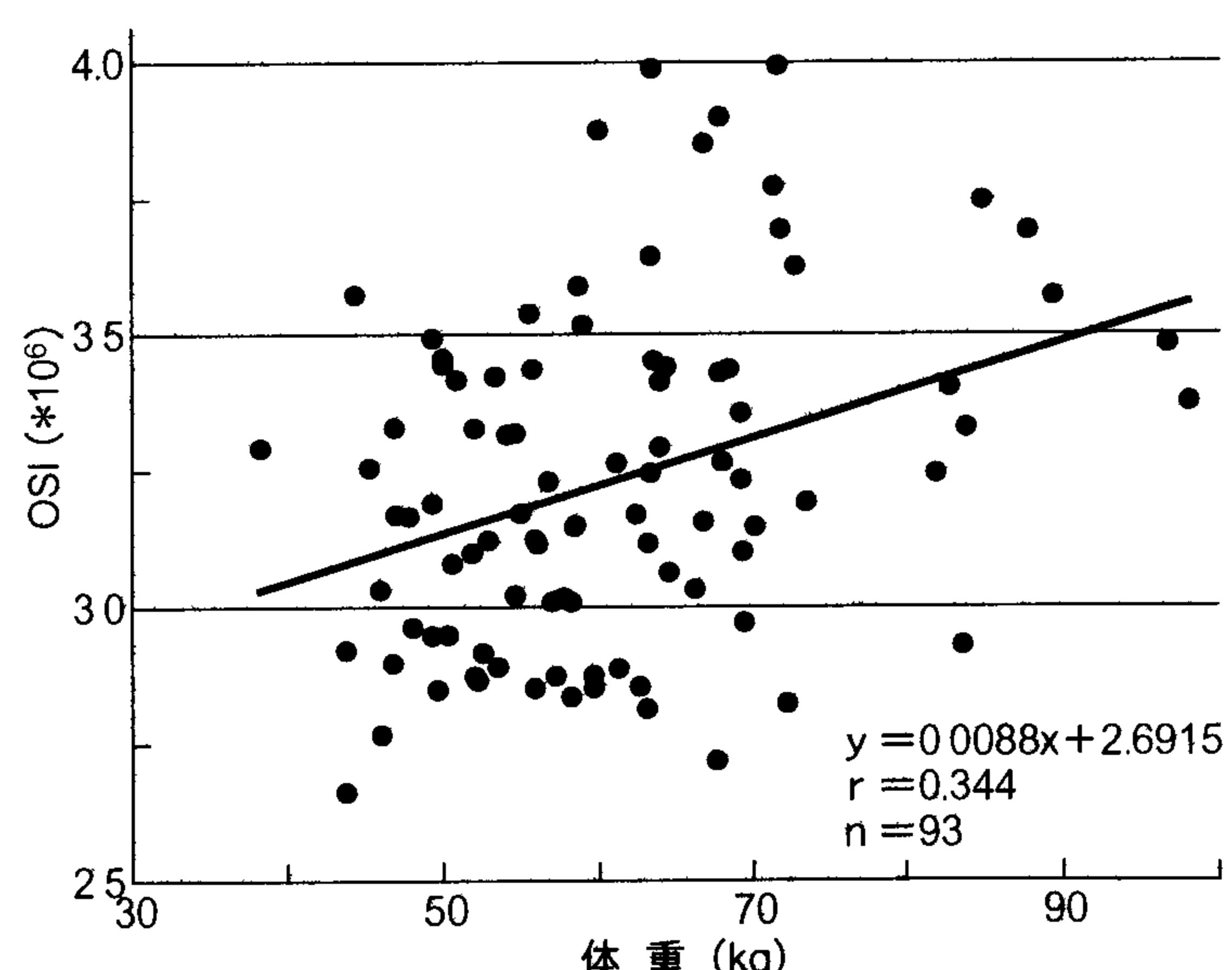


図3 女子運動選手の体重と踵骨骨強度の関係

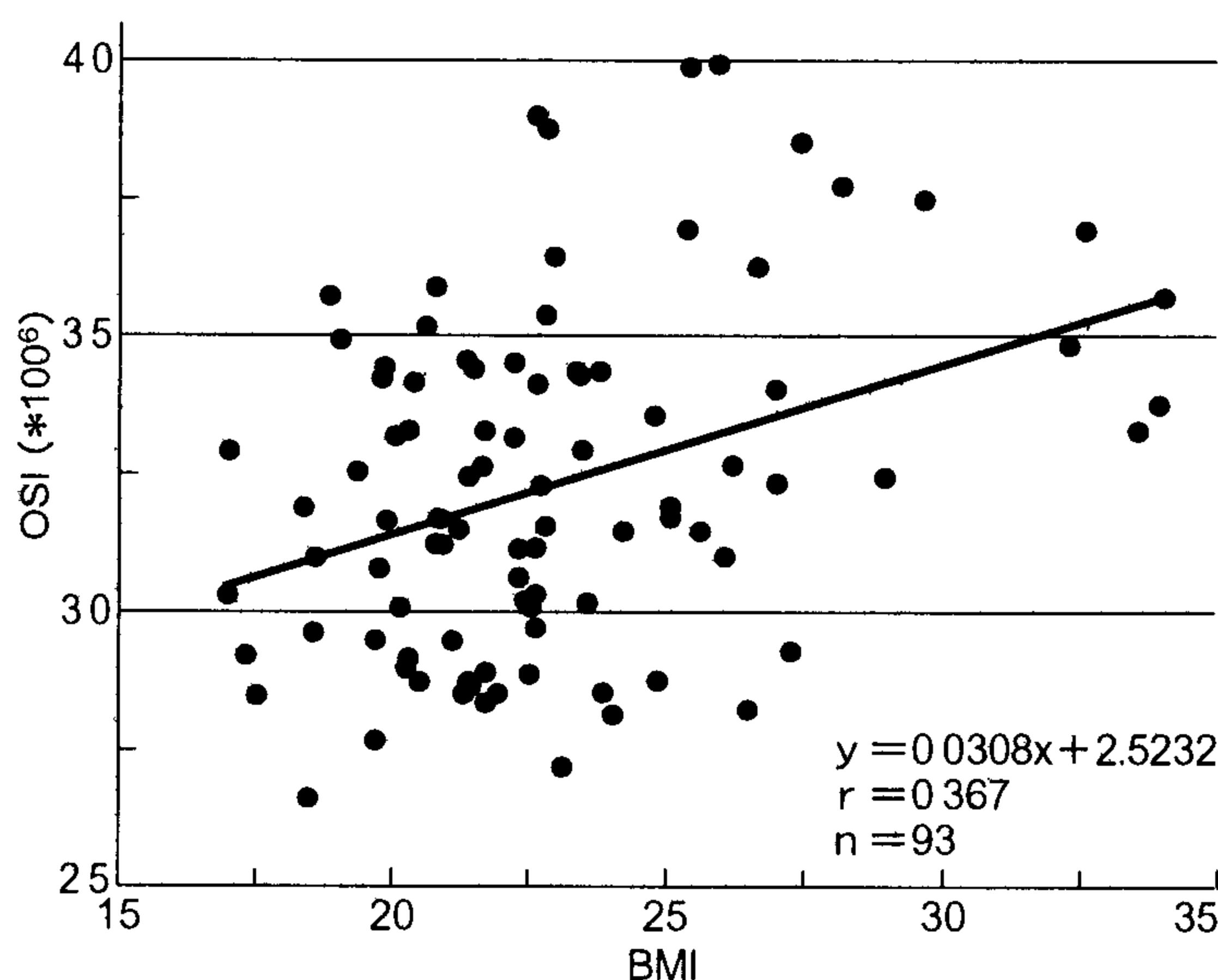


図4 女子運動選手のBMIと踵骨骨強度の関係

IV 骨強度と握力の関係

背筋力や脚伸展パワーだけでなく、垂直跳びや立ち幅跳びなどと腰椎骨塩量は相関関係にあると報告¹⁴⁾¹⁵⁾がされており、筋力や筋量と骨量との関わりが高いと考えられる。そこで、踵骨骨強度と握力との関わりについて検討した。表3は各競技種目別の握力について、平均値と標準偏差値を示したものである。握力の最高値は投げの62.0kgで、最低値は短距離の21.3kgであった。図5は握力とOSI（踵骨骨量）との関係を示したものである。握力と骨強度間には $r = 0.269$ の有意な相関関係が認められた。しかし、骨強度と握力の間には個人差が多く、それは競技種目による使用筋の差ではないかと予測される。

V 運動経験年数と骨強度の関係

成長期では成長とともに骨密度が高くなり¹⁶⁾、最大到達骨量に達する時期は20~30歳代にみられる。若年時におけるスポーツ経験によってその時期は早まる可能性があることから、成長期には衝撃などを伴ったスポーツ活動が勧められている。青年期では運動の経験年数が長いほど骨強度が高いことが考えられる。そこで、運動経験年数と踵骨骨強度との関わりについて検討した。表4は各競技種目別の経験年数について、平均値と標準偏

表3 各競技種目別の握力の平均値及び標準偏差値(kg)

投 掷 (N=17)	柔 道 (N=10)
Mean 39.8	Mean 35.1
SD 9.6	SD 5.0
ハンドボール (N=16)	長距離 (N=10)
Mean 33.1	Mean 29.0
SD 5.0	SD 3.1
体 操 (N=7)	短距離 (N=6)
Mean	Mean
SD	SD
バレーボール (N=14)	剣 道 (N=13)
Mean 33.1	Mean 35.2
SD 3.0	SD 6.4

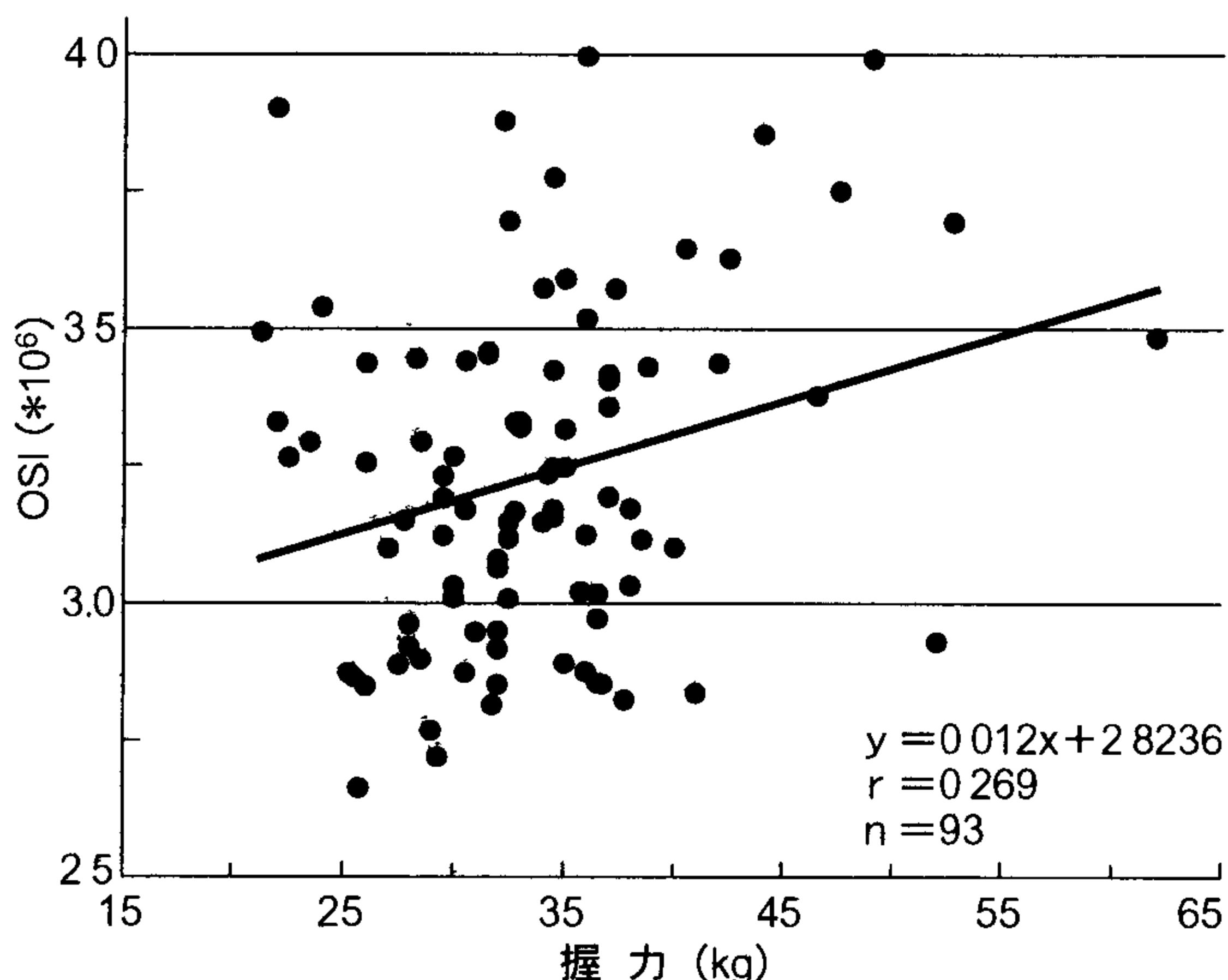


図5 女子運動選手の握力と踵骨骨強度の関係

表4 各競技種目別の運動経験年数平均値及び標準偏差値(年)

投 掷 (N=17)	柔 道 (N=10)
Mean 6.5	Mean 8.8
SD 2.7	SD 3.2
ハンドボール (N=16)	長距離 (N=10)
Mean 7.1	Mean 7.9
SD 1.3	SD 2.1
体 操 (N=7)	短距離 (N=6)
Mean 28.5	Mean 8.7
SD 4.0	SD 4.4
バレーボール (N=14)	剣 道 (N=13)
Mean 8.2	Mean 13.1
SD 2.1	SD 1.7

差値を示したものである。剣道は平均13.1年と最も長く、幼少時期から継続しており、他の種目は

中学入学前後に始めた種目を継続していることがわかる。図6は踵骨骨強度と運動経験年数との関係について示したものである。全体でみると本研究においては今までの報告と異なり、経験年数の長い方が踵骨骨強度の低下を示す傾向がみられた。しかし種目別にみると、正の相関がある種目に投てき ($r = 0.228$)、体操 ($r = 0.526$) 短距離 ($r = 0.759$)、があり、負の相関がある種目はハンドボール ($r = -0.297$) 及び長距離 ($r = -0.559$) であり、それ以外の種目に有意な相関関係は認められなかった。

本研究の対象となった女子運動選手は1日3時間程度、1週間で5日程度のトレーニングを行っている大学生であった。特に運動を実施していない一般女子大学生と比較すると、身長、体重、BMI、体脂肪率、握力の全項目において有意に高い値であり、女子運動選手は同年代の一般女子学生と比較して、身体全体が発達していることが推察された。

両群における踵骨骨強度については女子運動選手の平均値が3.230で一般女子学生が2.715で両群には有意差が認められ、スポーツによる身体活動は踵骨骨強度に与える影響も高いことが示唆さ

れた。女子長距離ランナーには月経周期異常が多発することは良く知られており、女性ホルモンであるエストロゲン、プロゲステロン、プロラクチンが低下し、骨塩量が減少することが報告されているが、このことは閉経期の女性と類似した状態である。最大骨塩量は20歳代から30歳代にかけてむかえるが青年期以降低下が予測されることから、青年期においてはスポーツによる身体活動を実施し、骨強度の向上を図り壮年期を迎えることが望ましく、スポーツが骨粗鬆症の予防につながると考えられる。

また、女子運動選手の骨量を種目別にみると、陸上競技の投てきが3.230と最も高く、剣道が2.965と最も低い値となったものの、剣道においても同年齢の平均値との比較では決して低いとはいえない。剣道はその競技特性から考えて、他の競技種目に比べて踵から踏み込む動作が多い。ヘモグロビンは踵に受ける衝撃で破壊されることが長距離選手の貧血に関する報告の中にみられるが、剣道においては特に貧血を訴えている者が多い報告はないので、この件については、更に検討したい。

長距離については、個人差はあるものの無理のないトレーニングを行った場合、骨に対する影響

やホルモンのバランスの崩れを引き起こす問題は少なく、骨強度を向上させることが推測された。また、同じ陸上競技では投てきの骨強度が有意に高い。これは、同じ陸上競技でも重心の移動が水平方向に多い短距離や長距離と、重力に反したトレーニングが多い種目との差であると考えられる。以上のことから、ランニングを含む無理のないスポーツによる身体活動は、骨強度を向上させるだけの衝撃や重力、捻れ、牽引などの刺激を骨に与えることから骨強度を向上

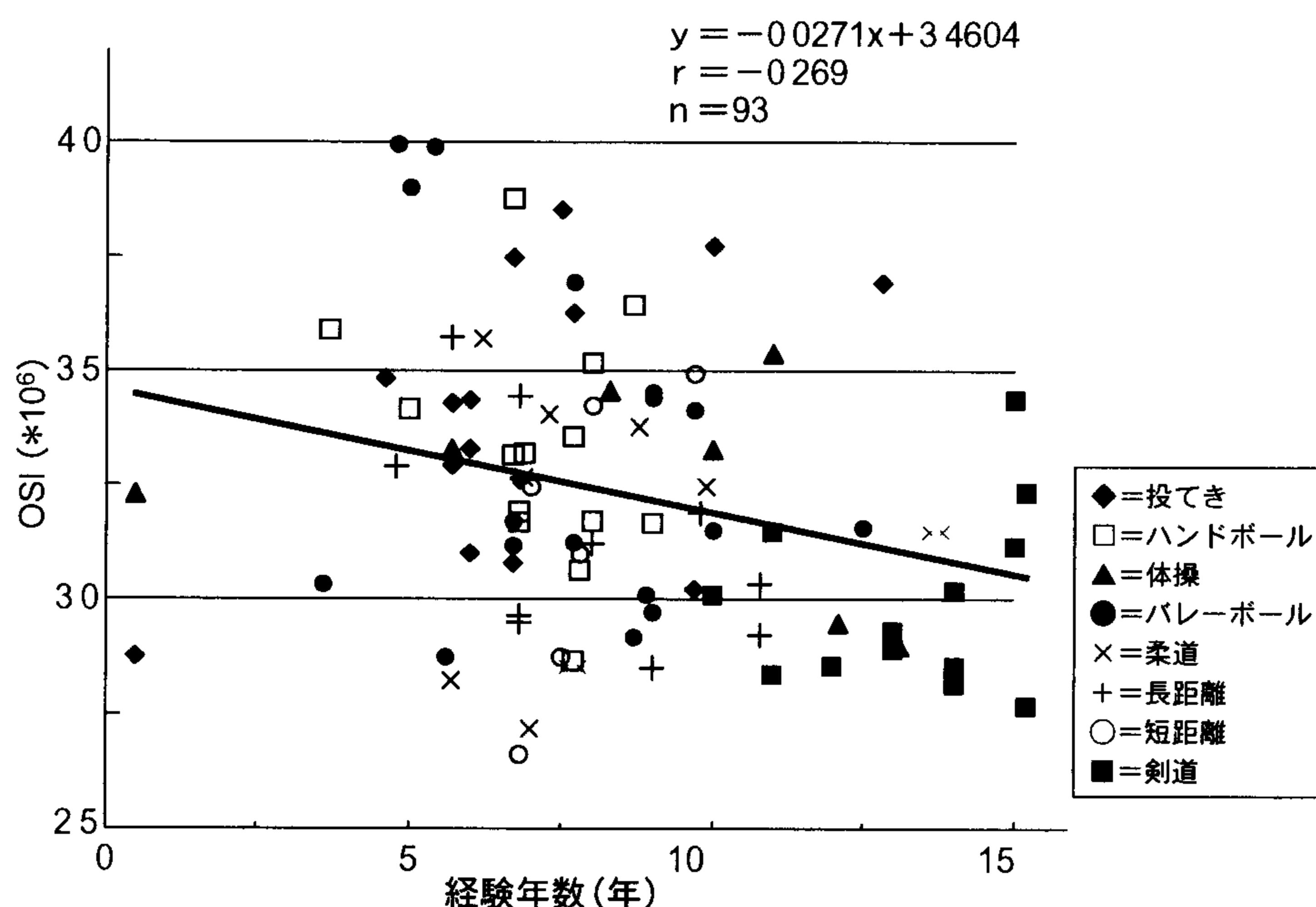


図6 女子運動選手の競技経験年数と踵骨骨強度の関係

させる要因と考えられる。

更に、骨密度は、体重との相関関係が報告されているが、今回の踵骨骨強度は体重 ($r = 0.344$) よりも体の大きさの指標であるBMI ($r = 0.367$) との相関が高い結果となった。このことは身体の大きい者の方が骨強度は高いといえる。体脂肪率も高い者ほど骨強度が高いことなどをあわせて考えると、身体は細い方が美しいと信じてダイエットをしている女性は、将来早期に骨強度の低下を招き骨粗鬆症を誘発しやすいことが確認された。現在では身体の細い男性もよく見受けられるが、青年期における適度なスポーツ活動により最大到達骨量を高め、骨粗鬆症を予防することの必要性が示唆された。

以上のことから、運動様式の違いや身体特性の違いもあるが、スポーツによる身体運動が全身の骨強度に有意な影響を与えることが確認された。

ま　と　め

女子スポーツ選手の骨強度を超音波法により測定し、検討した結果、以下のことが明らかになった。

1. 跗骨骨強度は、体重、BMI、体脂肪率の身体組成について正の相関関係が認められ、身体の大きい方が骨強度は高いことが示唆された。
2. 跗骨骨強度は、競技種目間で差が認められ、女子スポーツ選手と一般女子学生の間には有意な差が認められた。尚、競技種目別に高い種目からみると、投げ、ハンドボール、体操、バレーボール、柔道、長距離、短距離、剣道、一般女子の順であった。
3. 跗骨骨強度と握力の関係については、個人差が大きいもの正の相関関係が認められた。

これらのことから、スポーツによる身体活動は種目差があるものの骨強度に与える影響が高く、

身体組成に最も影響を与える体重をある程度維持することにより、骨強度を高く維持し、将来の骨粗鬆症の予防につながることが考えられる。また、超音波法による骨強度の測定により、スポーツ選手の健康管理をトレーニングの現場において継続的に実施できることが考えられた。これからも超音波法の利点を生かし、骨粗鬆症の予防につながる継続的な測定や比較・検討を引き続き実施したいと考える。

本研究は、国士館大学体育学部付属体育研究所の1999年度研究助成により行った。

参考文献

- 1) 松本高明：青年期スポーツ選手の骨密度—種目間の相違—，—スポーツ・身体活動と骨密度—：臨床スポーツ医学，15(7)：727-731, 1998.
- 2) 松本高明、齊藤 仁、杉野健二郎、吉田耕志郎、関根修一、林 泰史、鳥居 俊：大学生柔道選手の部位別骨塩量、国士館大学体育研究所報、10, 11：35-40, 1992.
- 3) 松本高明、岩原文彦：競泳選手の骨量と骨代謝、国士館大学体育研究所報、16：1-6, 1997.
- 4) 松本高明、中川滋木：女性中学生駅伝選手の骨量と骨代謝マーカー：国士館大学体育研究所報、15：1-5, 1996.
- 5) Matsumoto, T. et al : Bone Desity and Bone Metabolic Markers in Active Collegiate Athletes : Findings in Long-distance Runners, Judoists, and Swimmers. Int. J. sports Med. 18 : 408-412, 1997.
- 6) 小野寺孝一：Bioelectrical impedance 法による身体組成の測定における問題点：体力科学38：519, 1989.
- 7) Schell, B. and Gross, R. : The reliability of bioelectrical impedance measurements in the assessment of body composition in healthy adults. : Nutr. Rep. Int.36 : 449-459, 1987.
- 8) 国井実：インピーダンス法による身体組成の測定：保健の科学，31：448-452, 1989.
- 9) 中塘二三生、田中喜代次、渡辺完児、三宅眞理、前田如矢：成人女性の身体組成評価におけるbioelectrical impedance法およびその交差妥当性：体力科学，41：467-476, 1992.
- 10) 游 逸明：かかとで測る機器を比較検討する：新医療9：56-60, 1994.
- 11) 浜中恭代：脊椎圧迫骨折評価における踵骨超音波測定の意義、第75回日本医学放射線学会学術発表会, 1998.
- 12) Sinaki. M , Offord, K. P. : Physical activity in

- postmenopausal women : Effect on back muscle strength and bone mineral density of the spine. Arch Phys. Med. Rehabili. **69** : 277-280, 1988.
- 13) 辻 秀一, 勝川史憲, 大西祥平, 山崎 元: 若年女性スポーツ選手の骨密度に関する多角的検討: 臨床スポーツ医学, **12**(12) : 1421-1424, 1995.
- 14) 井本岳秋, 中島仁子, 高沢竜一, 境 式子, 田井美穂, 本田裕美, 沖汐美由紀, 桜井洋子, 中根惟武, 未満弘之, 澤田芳男: 女性の腰椎骨塩濃度と基礎体力: 臨床スポーツ医学, **10**(6) : 701-706, 1993.
- 15) 小沢治夫: スポーツ種目と骨密度-運動と骨粗鬆症-: 臨床スポーツ医学, **11**(11) : 1245-1251, 1994.
- 16) 井本岳秋, 西山宗六, 友枝新一, 中根惟武, 未満弘之, 松田一郎, 澤田芳男: 子供のスポーツ活動と骨折・骨密度: 体育の科学, **43**(9) : 696-701, 1993.