

**研究のトピックス**

## 閉経後女性の骨強度に及ぼすスポーツ経験および運動実践の影響

<sup>1)</sup>鳥取大学医学部病態運動学 (主任 清水 克哉教授)

<sup>2)</sup>鳥取大学医学部公衆衛生学 (主任 能勢 隆之教授)

<sup>3)</sup>鹿屋体育大学生涯スポーツ学

加藤敏明<sup>1)</sup>, 清水克哉<sup>1)</sup>, 黒沢洋一<sup>2)</sup>, 波多野義郎<sup>3)</sup>

## The influence of the sports experience and the habitual exercise on the bone stiffness in postmenopausal women

Toshiaki KATO<sup>1)</sup>, Katuya SHIMIZU<sup>1)</sup>,  
Youichi KUROSAWA<sup>2)</sup>, Yoshiro HATANO<sup>3)</sup>

1) *Department of Medical Science of Sports and Exercise, Faculty of Medicine, Tottori University, Tottori 680-0945, Japan*

2) *Department of Public Health, Faculty of Medicine, Tottori University, Yonago 683-8503, Japan*

3) *Faculty of Interdisciplinary Studies of Lifelong Sports and Physical Activity, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kanoya 891-2393, Japan*

**ABSTRACT**

The purpose of this study was to examine the loss in bone stiffness (BS) as growing older and to investigate the relationships between BS, body mass index (BMI), sports experience, habitual exercise and lifestyle. Subjects were 125 postmenopausal females, with a range of 50 - 87 years, lived in the residents of Hyogo prefecture. They were administered a series of tests and interview questions: the tests of BS by the speed of sound (SOS) and the broad band ultrasound attenuation (BUA), of BMI as well as interview questions about their lifestyle and physical activity. The loss in BS was significantly correlated with age ( $r = -.674$ ,  $p < .01$ ), with BMI ( $r = .386$ ,  $p < .01$ ), with the sports experience in their youth ( $r = .432$ ,  $p < .01$ ), and with the an amount of physical activity ( $r = .378$ ,  $p < .01$ ). But the loss in BS were not significantly correlated with the situation of their nutrition and sleep. There were significant differences between high-BS and low-BS groups in the sports experience in their youth ( $t = 3.78$ ,  $p < .001$ ), in the intensity ( $t = 4.21$ ,  $p < .001$ ) and an amount ( $t = 4.14$ ,  $p < .001$ ) and duration time ( $t = 3.45$ ,  $p < .01$ ) of exercise. (Accepted on October 21, 1999)

**Key words :** osteoporosis, bone stiffness, physical activity, lifestyle, postmenstrua women

## はじめに

骨粗鬆症は、骨塩量が減少し骨の力学的強度が減少したために疼痛や機能障害が起り、運動支持機構としての働きが破綻した状態と定義されている<sup>1)</sup>。高齢化の急速な進行とともに、以前に増してこの疾患の予防法や早期対処策が注目されていると言えよう。ところが、骨粗鬆症の発症機序には多岐にわたる因子が介在し、そこには生活習慣とは無縁な内的因子（遺伝因子・加齢因子・ホルモン因子）と、生活習慣によって調節可能な外的因子（栄養因子・運動因子・生活環境因子）が存在し、これらの相互関係によって起こるとされていることから、骨粗鬆症を含む骨代謝性疾患の治療に際しては、薬物療法を開始する前に関係する外的因子を探り、その調整を行うことが重要とされる<sup>1)</sup>。

中でも、近年研究が進められているのが外的因子の一つである運動と骨代謝の関係である。Wolff<sup>2)</sup> や Smith<sup>3)</sup> , Pauwels<sup>4)</sup> , Gjelsvik<sup>5)</sup> , Carter<sup>6)</sup> , Cowin<sup>7)</sup>らによって、力学的ストレスの影響についての定量化の試みや、Lanyonら<sup>8)</sup>やFrost<sup>9)</sup>によって運動によって生じるメカニカルシグナルが骨代謝を亢進または抑制する働きについての研究が報告されているが、いまだ明確な実証はなされていないと言えよう。

骨の代謝は、骨芽細胞による骨形成と破骨細胞による骨吸収によって、モデリング（骨の形や大きさを変化させる代謝、主に成長期に見られる様相）、リモデリング（骨の維持代謝機構、成長の終わった骨の様相）および修復（病的または非生理的的刺激が加わったときの代謝、骨折修復時などの様相）に分けられる。成人の骨量は、リモデリングによる骨吸収と形成のバランスおよび代謝回転速度に依存し、運動が骨に与える影響もこの種の代謝の変化と考えられている。

運動が骨代謝に影響を与えることが明確なのは、不動による廃用性骨萎縮である。このことは、重力的環境が一変する宇宙飛行についてとくに著名であるが、正常な荷重環境下においても加齢による骨量減少が年間1%程度であり、閉経期には2~4%に加速されるが、これに対して臥床下では1週間で1%、脊髄損傷下では1月に2%の骨量が減少すること知られている。これに対して運動負荷を増量した場合の骨量増加については、不動

化ほど明解とはなっておらず、以下のような報告されている。

すなわち、Steinbergら<sup>10)</sup>は、ラットを用いた実験により、幼若ラットほど運動による効果が大きかったことを示し、またYehら<sup>11)</sup>は、同じくラットを用いた実験で、運動を中止すると骨量減少が起こることを報告している。ヒトを対象にした調査では、Forwoodら<sup>12)</sup>が諸家の報告をまとめて、運動で獲得できる骨量はスポーツ選手で6~20%、一般男性や閉経前女性で1~3%、閉経後女性でも2%以下の増加があると述べている。また小沢<sup>13)</sup>は、スポーツ種目の中でもメカニカルストレスの強い種目ほど骨密度が高いことを示している。あるいは、スポーツ選手の骨量や骨密度が増量するのは、競技開始年齢が早いことが要因となっていることを、森<sup>14)</sup>やVirvidakisら<sup>14)</sup>、Dalenら<sup>15)</sup>が示唆している。また最近では金ら<sup>16)</sup>や真田ら<sup>17)</sup>によって、閉経後の女性では、骨密度が除脂肪体重や筋量と相関が高いことが報告されている。

女性は閉経により、10~15年間骨代謝回転が亢進し、15~20%の骨量を失うとされているが、これに対して閉経後の運動習慣が骨量減少速度を低下させる効果があることは、Laneら<sup>18)</sup>によっても確認されている。それでは、閉経前後にどのような運動習慣を持って力学的因子を満足させ、また非力学的因子である栄養因子や生活環境因子を整えることがどの程度骨量減少抑制に、あるいは骨量増加に貢献することができるかが課題となると言えよう。

そこで、本研究では、50歳~87歳の125名の女性を対象として、力学的因子としての若年期のスポーツ経験、現在の運動習慣、労作強度および体組成について、また非力学的因子としての栄養状態や休養状況を合わせて調査し、これらの外的因子が骨強度(bone stiffness)に対してどのように影響しているかを検討することを目的とした。

## 対象および方法

**被験者** 本研究の被験者は、兵庫県生野町に在住する50歳~87歳(平均年齢65.0歳、標準偏差8.3歳)のとくに重篤な疾患を有していない中高年女性125名であった。また骨密度の減少は閉経との関連が考えられるが、今回の被験者はすべて閉経後女性を対象とした。被験者のBMIは平均22.3

表1. 生活習慣に関する質問項目

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| <u>食生活について</u>         |                           |
| ①朝食は必ず食べますか？           | (はい・ときどき食べない・いいえ)         |
| ②カルシウムをよく摂っていますか？      | (はい・わからない・いいえ)            |
| ③三食は規則的ですか？            | (はい・ときどき不規則・いいえ)          |
| ④お肉や脂濃いものをよく食べますか？     | (はい・どちらとも言えない・いいえ)        |
| ⑤お酒をよく飲みますか？           | (はい・少ししたしなむ・いいえ)          |
| ⑥タバコを吸いますか？            | (はい・ときどき・いいえ)             |
| <u>運動習慣について</u>        |                           |
| ①若い頃にスポーツ経験がありますか？     | (競技や部活動で・趣味で・しなかった)       |
| ②現在定期的な運動習慣がありますか？     | (はい・ときどきする・いいえ)           |
| 「はい」「ときどきする」と答えた方      | 運動の種類( ) 時間(一回 分) 頻度(週 回) |
| ③よく歩いている方だと思いますか？      | (はい・わからない・いいえ)            |
| ④仕事や生活の中に肉体的な労働がありますか？ | (はい・どちらとも言えない・いいえ)        |
| <u>休養について</u>          |                           |
| ①夜はぐっすりよく眠れますか？        | (はい・ときどき眠れない・いいえ)         |
| ②睡眠が足りないと思うことがありますか？   | (はい・ときどきある・いいえ)           |
| ③いつも何か心配事がありますか？       | (はい・ときどきある・いいえ)           |
| ④趣味や生きがいがありますか？        | (はい・わからない・いいえ)            |

注) 質問項目および回答欄の文言は、一部省略して掲載している。

標準偏差2.8であり、平均的な中高年女性の体格を示していると推察される。

**調査方法** 被験者には、まず表1に示すような問診を行った。すなわち、これらは食生活に関する質問と運動習慣に関する質問および休養に関する質問からなり、3段階の選択回答または数値回答により資料を得た。

骨密度の測定は、Lunar社製の超音波骨密度測定装置(A-1000plus)を用いて、座位にて右踵骨を非侵襲的に測定した。本装置の指標はstiffness(骨強度)で表しており、本研究においても骨強度を現すstiffnessを指標名として用いることとした。このstiffnessの算出は、超音波伝搬速度(speed of sound: SOS)と超音波減衰特性(broad band ultrasound attenuation: BUA)を計測することで導かれる<sup>19)</sup>。SOSは、超音波が踵骨に向かって送信されたパルスから受信波の最初の部分までの透過時間を計測することで求められ、BUAは、超音波が踵骨を通過する際に各帯域が吸収する割合を示している。BUAの算定は、通過する物質の種類や密度によって異なることから、踵骨

を水槽に入れた時と水のみでの時の通過時間および吸収割合の差から求めている。

本研究では、被験者全員のstiffnessを測定するとともに、stiffnessと年齢との関係から、本装置が定めている評価基準(図1)を参考にして、A-1域に該当する者26名を高骨強度(HBS)群とし、C-2域に該当する者45名を低骨強度(LBS)群に分類して比較検討した。

得られた資料は、平均値と標準偏差で示し、stiffnessと各変数との関係はピアソンの相関分析を用いて、また2群間の比較は対応のないt検定によって解析した。検定は、相関分析については危険率1%~5%の範囲で、平均値の有意差検定については危険率0.1%~5%の範囲で行い、ともに危険率5%以下を有意水準とした。

## 結 果

### 生活習慣に関する全体的な傾向

表2は、測定された資料の平均値および標準偏差を示すと同時に、HBS群とLBS群の比較を表している。全被験者についてみると、stiffnessの平均62.8は要注意域と要精検域の境界に位置し、

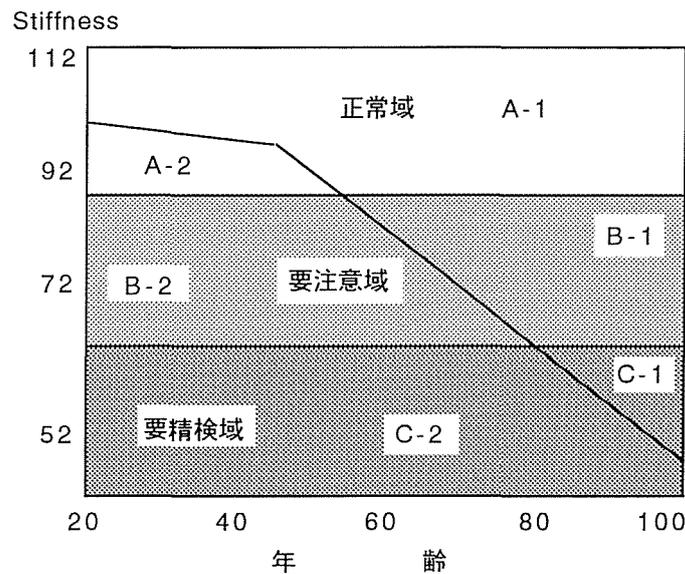


図1. Stiffness測定による評価基準(Lunar社による)

本研究ではA-1域を高骨強度(HBS)群に、C-2群を低骨強度(LBS)群に分類した。

表2. 測定値の平均と標準偏差およびHBS群とLBS群の比較

|                            | 全被験者(n=125) |      | HBS群(n=26) |      | LBS群(n=45) |      |
|----------------------------|-------------|------|------------|------|------------|------|
|                            | M           | SD   | M          | SD   | M          | SD   |
| 1) 年齢(years)               | 64.9        | 8.5  | 61.9       | 6.5  | 70.9       | 8.0  |
| 2) BMI(kg/m <sup>2</sup> ) | 22.3        | 2.8  | 25.1       | 3.9  | 20.9       | 3.5  |
| 3) Stiffness               | 62.8        | 14.0 | 78.1       | 13.4 | 49.7       | 7.8  |
| 4) 朝食(1-3点)                | 2.93        | .34  | 2.96       | .20  | 2.92       | .31  |
| 5) Ca摂取(1-3点)              | 2.63        | .60  | 2.73       | .53  | 2.63       | .56  |
| 6) 規則的(1-3点)               | 2.82        | .48  | 2.73       | .60  | 2.88       | .38  |
| 7) 肉脂摂取(1-3点)              | 2.01        | .75  | 1.73       | .67  | 2.04       | .72  |
| 8) アルコール(1-3点)             | 2.78        | .44  | 2.69       | .47  | 2.78       | .46  |
| 9) 喫煙(1-3点)                | 2.99        | .09  | 2.96       | .20  | 3.00       | 0    |
| 10) スポーツ経験(1-3点)           | 1.75        | .85  | 2.08       | .85  | 1.51       | .73  |
| 11) 運動強度(0-3点)             | 1.02        | .94  | 1.54       | .95  | .78        | .73  |
| 12) 運動時間(0-3点)             | 1.18        | 1.07 | 1.88       | 1.11 | 1.06       | .94  |
| 13) 運動頻度(0-3点)             | 1.20        | 1.17 | 1.54       | 1.07 | 1.16       | 1.15 |
| 14) 歩行(1-3点)               | 2.00        | .87  | 2.19       | .85  | 1.96       | .87  |
| 15) 労作(1-3点)               | 1.98        | 1.50 | 2.04       | .77  | 1.77       | .74  |
| 16) 活動度(2-15点)             | 8.88        | 3.77 | 11.15      | 3.20 | 8.19       | 3.36 |
| 17) 熟睡(1-3点)               | 2.34        | .66  | 2.50       | .65  | 2.35       | .66  |
| 18) 睡眠不足(1-3点)             | 2.16        | .67  | 2.23       | .71  | 2.16       | .60  |
| 19) 心配事(1-3点)              | 2.31        | .68  | 2.50       | .66  | 2.35       | .63  |
| 20) 生きがい(1-3点)             | 2.60        | .63  | 2.77       | .43  | 2.55       | .67  |

注) 4)~20)の評価はすべて健康的と判断される方を高得点として採点した。

運動強度は、回答された運動種目の運動強度をMetsに換算し、2 Mets未満を1点、2~3 Metsを2点、3~4 Mets以上を3点とした。運動時間は20分未満を1点、20~60分を2点、それ以上を3点とした。運動頻度は週1回以下を1点、週2~3回以内を2点、4回以上を3点とした。運動習慣の無い場合は0点。活動度とは、11)~15)までの評価点合計とした。

この年代の女性の多くが骨強度減少において注意が必要であることを示唆している。

問診の評価点は1~3点で表し、健康的な方が点数が高くなるように算定されている。食生活については、ほとんどの項目で平均値が3.00に接近しており、健康に留意した食生活を送っていることが推察される。すなわち、骨粗鬆症の予防として第一に挙げられているCaの摂取についても、多くの場で教育・指導がなされているため高い摂取状況を示していると考えられる。またアルコール摂取や喫煙についてもほとんどの人がその習慣がなく、同様な男性の調査<sup>20)</sup>に比べて食生活における骨粗鬆症の危険因子が低いことが示唆された。

運動習慣については、「取り立てて何もしていない」「やらなければと思いながら継続できていない」という人多く、平均点が2.00を下回っている項目が多い。食生活や休養の項目に対して平均値が低く、運動実践の難しさを示唆している。ただし、日常の歩行活動については「よく歩いている方だと思う」という人が多くやや平均点が高くなっている。日常歩行を運動と考えるかどうかという問題と、歩行くらいしか日常的に行える運動がないことを表している。また、日常の労作強度については、この地域の特色として、家事に加えて農作業が含まれる人が存在することが平均点を上げている。

休養に関する項目については、比較的高い平均点が示されたが、その中で「睡眠が不足する」と答えた人がかなりいた点が注目される。十分な睡眠時間の確保という課題が挙げられよう。

HBS群とLBS群を比較すると、生活習慣についてHBS群がほとんどの項目で平均値が高く、より健康的な生活習慣を有していることが推察された。ただし、これらが統計的に有意な差異であるかについては後述する。

#### Stiffnessに関係する要因

得られた結果が、stiffnessに対して、あるいは相互にどのような関係にあるかをみるために、全20項目の相関行列を求めた(表3)。Stiffnessに対して年齢(加齢)が負の高い相関( $r = -.674, p < .01$ )を示した。つまり、Stiffnessの減少は年齢依存度が最も大きいことを示唆している。

年齢の次に相関が高いのは、若年期のスポーツ経験である。これについては、「競技や部活動で

経験した」あるいは「趣味として親しんだ」または「ほとんどしなかった」という3段階に分けて聞いているが、stiffnessと $r = .432, p < .01$ で有意な正の相関を示した。

現在の運動習慣に関しては、運動強度の高いことと運動時間が長いことが、それぞれ $r = .334, r = .294$ を示し両者ともに $p < .01$ で有意な正の相関を示した。日常歩行の多少や労作強度は統計的には有意であるが、 $r$ 値が低く相関を見るに至らないといえよう。また、これら運動習慣および歩行・労作強度の総合評価として考案した活動度についてみると、stiffnessとの相関が $r = .378, p < .01$ で有意な正の関係を示した。

運動以外の外的因子としてstiffnessに有意な相関を示したのものにはBMIが挙げられる。相関係数がやや小さいながらも( $r = .386, p < .01$ )統計的に有意な正の相関を示した。

食生活に関する質問に対しては、まったくstiffnessとの相関をみることができなかった。このことは、これらの因子が関係しないのではなく、先にも述べたが、様々な教育や情報により、骨粗鬆症の予防としてすでに実行されている因子であると考えられる。しかしながら、Caの摂取に関しても本人が十分と思っても足りない場合もあると指摘されている。より詳細な栄養学的調査と供に行う必要があると考えられる。

#### HBS(高骨強度)群とLBS(低骨強度)群の比較

図2は、HBS群とLBS群におけるstiffness、年齢、BMIの比較を示している。stiffnessの平均値の差30.12は、LBS群がHBS群の約40%減を示唆しており( $t = 10.29, p < .001$ )、およそ50代と70代の平均値の差異にあたる。それぞれの群の平均年齢にもおよそ9歳の差(HBS群:平均61.8歳、標準偏差6.3歳、LBS群:平均年齢70.5歳、標準偏差7.6歳)が現れており( $t = -4.98, p < .001$ )、stiffnessが年齢に大きく依存していることを示唆している。また、体格指数であるBMIについても有意な差異を認めた( $t = 2.81, p < .01$ )のは、先の相関分析と同様な結果を示した。

図3は、HBS群とLBS群における運動に関係する因子について比較検討を行っている。若年期のスポーツ経験については有意な差異となって示された( $t = 3.78, p < .001$ )。また、現在の運動習慣については、運動強度の高さが最も大きく差異

表3. 各変量間の相関行列

|             | 1)    | 2)           | 3)           | 4)    | 5)          | 6)          | 7)    | 8)    | 9)          | 10)         | 11)         | 12)         | 13)         | 14)         | 15)         | 16)         | 17)          | 18)          | 19)         | 20)         |
|-------------|-------|--------------|--------------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1)年齢        | 1.000 | <u>-.340</u> | <u>-.674</u> | .108  | .067        | .096        | -.078 | -.047 | -.044       | -.135       | -.109       | -.089       | -.038       | .209        | -.043       | -.008       | .137         | <u>.244</u>  | .142        | .133        |
| 2)BMI       |       | 1.000        | <u>.386</u>  | -.046 | -.031       | -.167       | .028  | -.107 | .107        | .122        | <u>.194</u> | <u>.163</u> | .111        | -.102       | .055        | <u>.163</u> | .056         | -.060        | -.104       | .098        |
| 3)Stiffness |       |              | 1.000        | .017  | .137        | .096        | -.146 | .020  | .066        | <u>.432</u> | <u>.334</u> | <u>.294</u> | .113        | <u>.183</u> | <u>.198</u> | <u>.378</u> | .018         | <u>.172</u>  | .017        | .101        |
| 4)朝食        |       |              |              | 1.000 | <u>.182</u> | <u>.460</u> | .093  | .008  | -.019       | -.090       | -.070       | .014        | -.004       | -.081       | .029        | -.031       | .146         | .120         | .149        | .156        |
| 5)Ca摂取      |       |              |              |       | 1.000       | .150        | .134  | .047  | -.056       | .070        | .058        | .094        | .026        | <u>.257</u> | .073        | .133        | .041         | .068         | .080        | .091        |
| 6)規則的生活     |       |              |              |       |             | 1.000       | -.092 | .072  | -.034       | -.151       | -.008       | .034        | .065        | -.114       | .007        | -.038       | .097         | .140         | .120        | .122        |
| 7)肉脂摂取      |       |              |              |       |             |             | 1.000 | -.151 | -.009       | -.053       | .079        | .121        | .038        | .133        | -.001       | .079        | -.011        | .018         | .045        | .051        |
| 8)アルコール     |       |              |              |       |             |             |       | 1.000 | <u>.191</u> | .002        | -.006       | .001        | .118        | .105        | .093        | .082        | .127         | .039         | <u>.178</u> | .135        |
| 9)喫煙        |       |              |              |       |             |             |       |       | 1.000       | .080        | -.093       | -.069       | -.061       | -.102       | .059        | -.050       | .046         | -.122        | -.088       | -.089       |
| 10)スポーツ経験   |       |              |              |       |             |             |       |       |             | 1.000       | <u>.208</u> | <u>.236</u> | .146        | <u>.216</u> | <u>.288</u> | <u>.471</u> | <u>-.164</u> | <u>-.169</u> | -.028       | -.017       |
| 11)運動強度     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             | 1.000       | <u>.814</u> | <u>.683</u> | <u>.252</u> | <u>.176</u> | <u>.727</u> | .051         | .133         | .113        | .092        |
| 12)運動時間     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             | 1.000       | <u>.666</u> | <u>.265</u> | <u>.172</u> | <u>.772</u> | .149         | <u>.248</u>  | <u>.185</u> | .144        |
| 13)運動頻度     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             | 1.000       | .210        | .166        | <u>.725</u> | .139         | <u>.162</u>  | <u>.205</u> | .153        |
| 14)歩行量      |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             | 1.000       | <u>.232</u> | <u>.567</u> | .028         | .027         | .108        | .123        |
| 15)労作強度     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             | 1.000       | .126        | .046         | .026         | .091        | .084        |
| 16)活動度      |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             |             | 1.000       | .125         | .155         | <u>.212</u> | <u>.230</u> |
| 17)熟睡       |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             |             |             | 1.000        | <u>.489</u>  | <u>.689</u> | <u>.521</u> |
| 18)睡眠不足     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             |             |             |              | 1.000        | <u>.641</u> | <u>.489</u> |
| 19)心配事      |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             |             |             |              |              | 1.000       | <u>.773</u> |
| 20)生き甲斐     |       |              |              |       |             |             |       |       |             |             |             |             |             |             |             |             |              |              |             | 1.000       |

(n = 125, — p &lt; .05, = p &lt; .01)

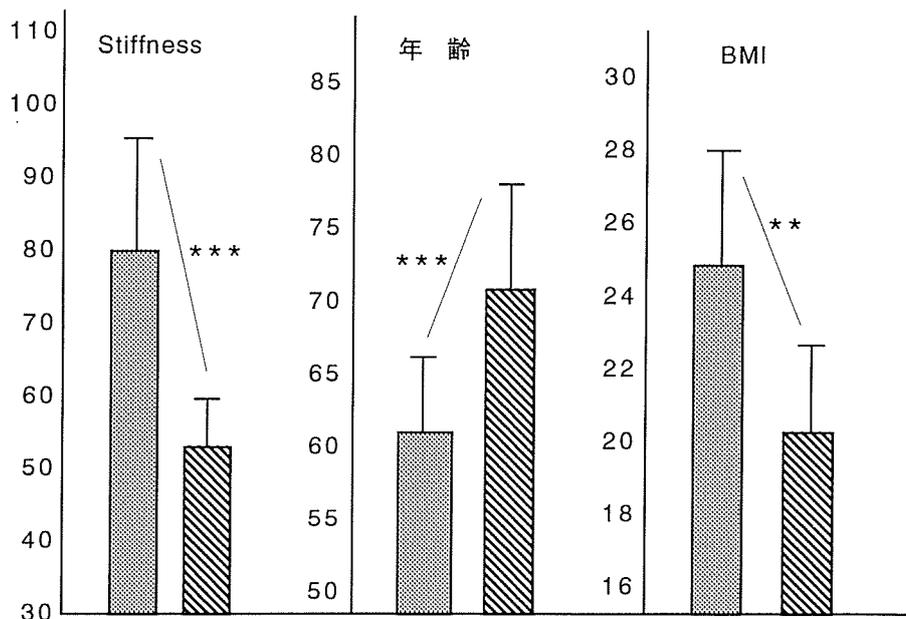


図2. HBS群とLBS群におけるStiffness, 年齢, BMIの比較

: HBS群
  : LBS群
 \* p < .05 \*\*p < .01 \*\*\* p < .001

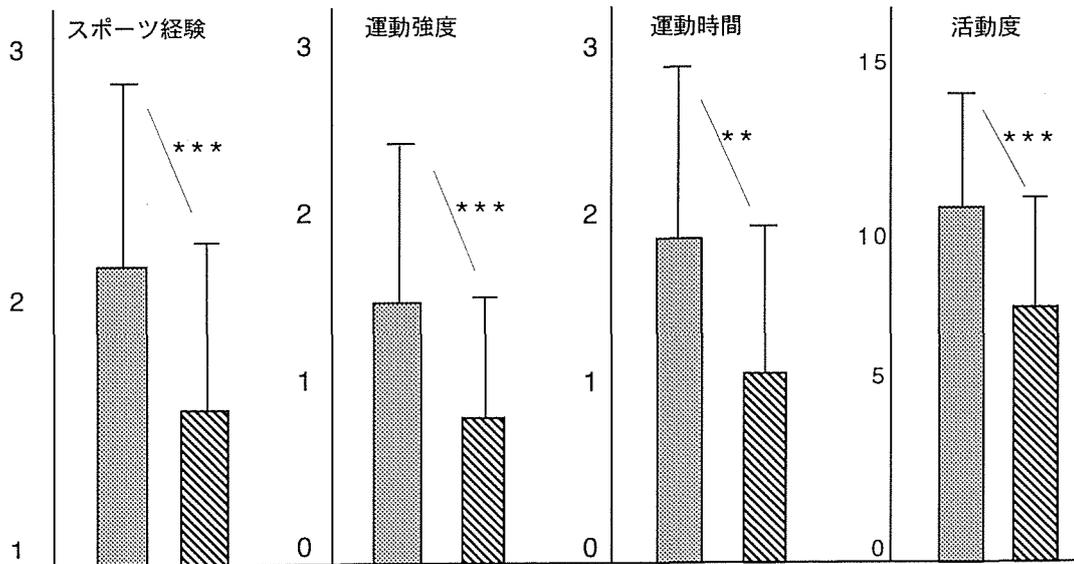


図3. HBS 群とLBS 群におけるスポーツ経験、運動強度、運動時間、活動度の比較

■ : HBS 群    ▨ : LBS 群 \*  $p < .05$  \*\*  $p < .01$  \*\*\*  $p < .001$

となって示された( $t = 4.21$ ,  $p < .001$ ). 運動持続時間の多少も影響していることが示された( $t = 3.45$ ,  $p < .01$ ). 加えて、現在の運動実践および日常歩行、労作強度を総合した指標として考案した活動度もHBS群とLBS群において有意な差異となって現れた( $t = 4.14$ ,  $p < .001$ ). しかしながら、運動頻度や日常歩行、労作の各変量に対しては有意な差異は認められなかった。

### 考 察

閉経後の中高齢女性を対象として、骨強度に影響を与える加齢および体格指数と運動に関係したいくつかの因子を抽出することができた。50歳以降からの加齢とstiffnessとの関係は、回帰式 $\text{stiffness} = 134.9 - 1.11 \times \text{暦年齢}$ ,  $p < .01$ によって表されたが、これについては森ら<sup>1)</sup>の提唱する「閉経後の女性はその後10~15年に亘り、15~20%の骨量を失う」とする見解と同等の値を示すこととなった。

体格指数であるBMIが高いことがstiffnessの高さに影響を与えていることが示された( $r = .386$ ,  $p < .01$ ). これについては、今回の測定部位が踵骨であったことから、体重が重いことが日常の諸動作においてメカニカルストレスとして作用していると推察することもできるが、金ら<sup>16)</sup>や真田ら<sup>17)</sup>の「閉経後の女性では、骨強度が除脂肪体重や筋量と相関が高い」とする見解と関連した要

因であると考えられる。すなわち、単に太っているあるいは肥満であることが骨に良い効果を与えているのではなく、十分な栄養と共に運動習慣が確保されて、筋量が確保されている(筋萎縮が起こっていない)ことが骨量減少抑制として働いていると考える方が適切であろう。

運動に関係した因子の中では、若年期のスポーツ経験が最も大きな影響を与えていることが示され、回帰式  $\text{stiffness} = 54.0 + 5.0 \times \text{若年期のスポーツ経験評価値}$ ,  $r = .432$ ,  $p < .01$ によって表された。これについては「骨の成長期に負荷された力学的なシグナルによって最も増加を促される」とする森ら<sup>1)</sup>やVir Vidakisら<sup>14)</sup>の見解に支持される結果と見ることができよう。すなわち、若年期(骨の成長期)に競技的なスポーツ等を行ったことで強いメカニカルシグナルを与えられ、peak bone massを高めたことによって閉経後の骨量減少に絶対値的な余裕が生じていることを示唆するものと推察される。一般に生体に対する運動効果は、一部のskill的な要素を除き、概ね可逆的であるとされる。つまり、運動を中止してしまうと今までのトレーニングで得た効果は時と共に減少してしまうのである。ところが、骨に対する若年期の運動効果は恒常的に有効な骨量の増加を形成していると思われる。若いときのスポーツ活動が後年の健康に対して有用とされる数少ない事例と言えよう。またこのことは、若年期のスポー

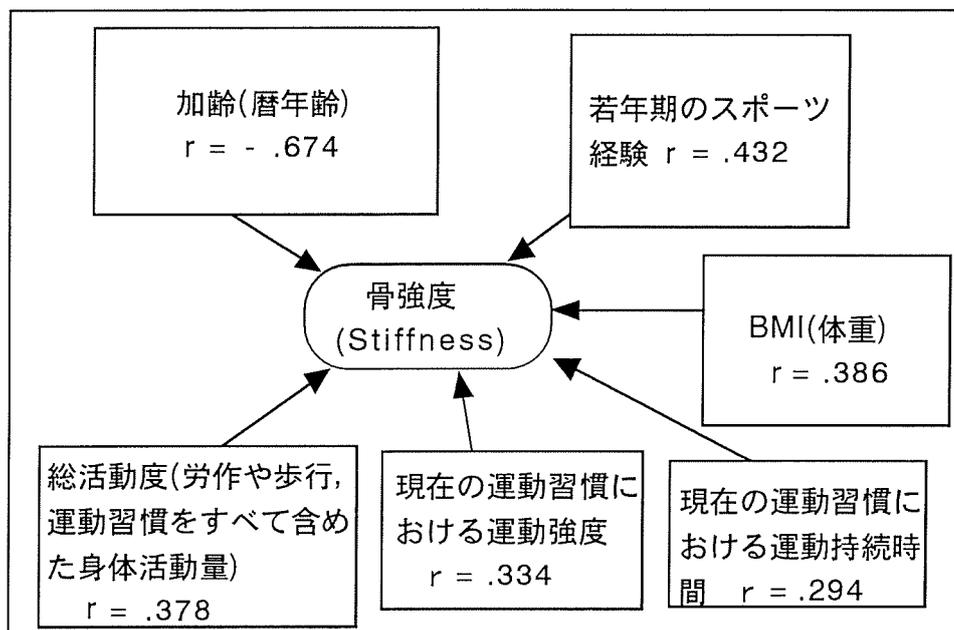


図4. 閉経後の中高齢女性における骨強度に及ぼす運動の影響について

ツ経験が年齢や現在の運動習慣との間に有意な相関の見られなかったことで、独立因子とみることができる。

現在の運動習慣における運動条件では、実践している運動の運動強度が高いこと ( $r = .334, p < .01$ ) と運動持続時間が長いこと ( $r = .294, p < .01$ ) がやや低い相関ながら影響を認めることができた。これについては、小沢<sup>13)</sup>の言う「スポーツ種目の中でもメカニカルストレスの強い種目ほど骨密度が高い」ことと一致する傾向を示したと考えられる。したがって、熟年以降においても生理学的な安全範囲（許容範囲）内であるならば運動強度の高い種目（ウォーキングよりジョギングを、あるいはダッシュやジャンプを伴う球技など）を長時間行った方が骨量減少抑制に効果があることを示唆している。

運動・スポーツに限らず、一日の中での労作や歩行量などを総括した活動度が高いことも stiffness に影響していること ( $r = .378, p < .01$ ) が示された。農作業や身体的な労働があること、よく出かけることなど日常生活の活動度を高めることで骨の廃用性萎縮を抑制できることを示唆している。やはり不動こそが大きな衰退因子であり、小さくとも常にメカニカルストレスを与え続けることの重要性が示唆されたと考えられる。

ただし、現在の運動習慣に関係するこれらの因

子は、相互に関連し合っており、運動強度が高いことは運動の持続時間が長いことと相関が高く ( $r = .814, p < .01$ )、また活動度とも相関が高い ( $r = .727, p < .01$ ) ことから活動的な生活を送っていることに関係する従属因子であると言える。

以上の骨強度 (stiffness) に及ぼす影響をまとめると図4のような模式図になる。加齢要因が最も大きく負の影響を示し、若年期のスポーツ経験、BMI、現在の運動実践における運動強度および持続時間、そして総合的な身体活動の多少という因子が浮き彫りにされた。

ただし、これらのBMIや運動に関する因子が後天的な外的環境によって現された結果ではなく、先天的、内的因子の影響が介在していると思われる。今後、横断的研究では把握できない点についても、縦断的研究によって解明していく必要性があると考えられる。

## 結 語

中高年女性の骨強度の減少に与える運動経験および生活習慣の影響を明らかにすることを目的として、兵庫県生野町在住の50歳～87歳の125名の女性の踵骨の骨強度を超音波骨密度測定装置にて測定し、運動習慣や食生活などの生活習慣について問診により調査し、これらの関連性を統計的に

検討した。その結果以下のような結論を得た。すなわち、

1. 骨強度の減少に最も相関の高い変数は加齢である。骨強度の減少程度は回帰式： $\text{Stiffness} = 134.9 - 1.11 \times \text{暦年齢}$ ,  $r = .674$ ,  $p < .01$ により算出され、加齢に伴う顕著な減少傾向を示した。
2. 運動に関係した外的因子の影響は、若年期のスポーツ経験が骨強度の高さと正の相関を示した( $r = .432$ ,  $p < .01$ )。続いて総活動状況(活動度)( $r = .378$ ,  $p < .01$ )、現在の運動習慣における運動強度( $r = .334$ ,  $p < .01$ )、運動持続時間( $r = .294$ ,  $p < .01$ )がともに骨強度に対して正の相関を示した。
3. 食生活や休養については、有意な相関を示すものは見あたらず、体格変数としてのBMIが有意な正の相関を示した( $r = .386$ ,  $p < .01$ )。
4. 骨強度の高い群(HBS群)と骨強度の低い群(LBS群)を比較すると、年齢( $t = -4.98$ ,  $p < .001$ )、現在の運動習慣における運動強度( $t = 4.21$ ,  $p < .001$ )、総活動状況(活動度)( $t = 4.14$ ,  $p < .001$ )、若年期のスポーツ経験( $t = 3.78$ ,  $p < .001$ )、運動持続時間( $t = 3.45$ ,  $p < .01$ )およびBMI( $t = 2.81$ ,  $p < .01$ )が有意な差異を示した。これらの結果は相関分析の結果を支持するものとなった。

以上の結論は、中高年女性の骨強度の減少に対して、運動の効用を示すとともに、骨強度減少を予防するために、および骨粗鬆症に対する早期治療に有益な資料を提供することができたと考えられる。

稿を終えるにあたり、本研究を遂行する上での貴重な助言をいただいた鳥取大学医学部公衆衛生学能勢教授に、また本調査の被験者として参加いただいた生野町の皆さんに、測定および資料の整理に協力いただいた同町の保健婦の方々に心より感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 森論史, 真柴賛, 乗松尋道. (1994) 骨の代謝のメカニズム: 運動が骨動態に与える影響について. 臨床スポーツ医学 11, 1233-1238.
- 2) Wolff, J. (1892) Das Gesetz der Transformation der Knochen. A. Hirschwald, Berlin.
- 3) Smith, E. L., Gilligan, C. (1991) Physical activity effects on bone metabolism. *Calcif Tissue Int* 49, 50-54.
- 4) Pauwels, F. (1980) Biomechanics of locomotor apparatus: contribution on the functional anatomy of the locomotor apparatus. Springer-Verlag, Berlin.
- 5) Gjelsvik, A. (1973) Bone remodeling and piezoelectricity *J Biomech* 6, 69-77.
- 6) Carter, D.R., Fyhrie, D. P., Whalen, R. T. (1987) Biology by mechanical energy. Selected proceedings of the 5th meeting of European Society of Biomechanics. Martius Nijhoff, Dordrecht, Holland.
- 7) Cowin, S. C. (1984) Mechanical modeling of the stress adaptation process in bone. *Calcif Tissue Int* 98-103.
- 8) Lanyon, L. E., Smith, R. N. (1969) Measurements of bone strain in the walking animal. *Res Vet Sci* 10, 93-94.
- 9) Forst, H. M. (1987) The mechanostat: a proposed pathogenic mechanism of osteoporoses and the bone mass effects of mechanical and non mechanical agents. *Bone Miner* 2, 73-85.
- 10) Steinberg, M. E., Trveta, J. (1981) Effects of activity on bone growth and development in the rats. *Clin Orthop Relat Res.* 156, 51-60.
- 11) Yeh, J. K., Aloia, J. F. (1990) Deconditioning increases bone resorption and decreases bone formation in the rat. *Metab Clin Exp* 39, 659-663.
- 12) Forwood, M. R., Burr, D. B. (1993) Physical activity and bone mass. *Bone Miner* 21 : 89-112.
- 13) 小沢治夫. (1994) スポーツ種目と骨密度. 臨床スポーツ医学 11, 1245-1251.
- 14) Virvidakis, K., Georgiou, E., Korkotsidis, A., Natalles, K., Proukakis, C. (1990) Bone mineral content of juniorcompetitive weightlifters. *Int J Sports Med* 11, 244-246.

- 15) Dalen, N., Olsson, K. E. (1974) Bone mineral content and physical activity. *Acta Orthop Scand* 45, 170-174.
- 16) 金憲経, 田中喜代次, 中西とも子, 天貝均. (1999) 骨密度の加齢に伴う変化および身体組成との関連: 成人女性について. *体力科学* 48, 81-90.
- 17) 真田樹義, 佐藤真治, 神戸義彦, 朽木勤, 文谷知明, 江橋博. (1999) 閉経後女性における腓腹筋厚およびヒラメ筋厚と踵骨骨強度との関係. *体力科学* 48, 291-300.
- 18) Lane, N. E., Bloch, D. A., Hubert, H. B., Jones, H., Simpson, U., Fries, J. F. (1990) Running, osteoarthritis and bone density; initial 2-year longitudinal study. *Am J Med* 88, 452-459.
- 19) 山崎薫, 串田一博, 大村亮宏, 佐野倫生, 佐藤義弘, 井上哲郎. (1992) 超音波骨量測定装置 (Achilles ultrasound bone densitometer) の使用経験: 測定精度と有用性の検討. *Ther Res* 13, 585-593.
- 20) 加藤敏明, 清水克哉, 西沢富江, 能勢隆之, 黒沢洋一, 波多野義郎, 椎名健. (1998) 中高齢者における重回帰式を用いた動脈硬化性疾患危険因子保有数と健康関連体力との関連性分析. *米子医学雑誌* 49, 295-307.
- 21) O'Connell, M. B. (1999) Prevention and treatment of osteoporosis in the elderly. *Pharmacotherapy* 19, 7-20.
- 22) Nguyen, T. V., Sambrook, P. N., eisman, J. A. (1998) Bone loss, physical activity, and weight change in elderly women: the Dubbo osteoporosis epidemiology study. *J Bone Miner Res* 13, 1458-1467.
- 23) Shephard, R. J. (1997) What is the optimal type of physical activity to enhance health. *B J Sports Med* 31, 227-284.