

原著論文

女子学生における過去の運動習慣が骨密度に及ぼす影響 - 運動種目の特性による検討 -

Effects of past exercise habits on bone mineral density in female students - Examination by the characteristics of the exercise type -

間瀬 知紀¹⁾

Tomoki MASE¹

Abstract

We evaluated the influence of past exercise habits on bone mineral density (BMD) in female students (mean±SD=18.8±0.4 years old) according to the characteristics of exercise types and the presence or absence of their continuation. BMD was measured using an ultrasound bone densitometer (Achilles-1000 plus). Physical characteristics were simultaneously measured, and a questionnaire survey was performed to evaluate past exercise habits during the junior high school and high school periods.

The following results were obtained.

1. BMD was significantly higher ($p<0.05$) in the group who continued high impact sports (C-HIGH) than in the other groups.
2. Lean body mass (LBM) was significantly higher ($p<0.05$) in the C-HIGH group than in the other groups.
3. An increase in the muscle amount associated with jumping exercise was not a stimulus that promotes an increase in BMD.

These results suggest that the characteristics of exercise types markedly affect the acquisition of BMD in the growth stage, and the continuation of jumping exercise accompanied by high impact throughout the junior high/high school period is beneficial.

Key words : female students, bone mineral density, exercise habits, exercise type, ultrasound bone densitometer

1. 緒言

近年、急速な高齢化に伴い骨粗鬆症が重大な社会問題となっている。骨粗鬆症に起因する骨折は寝たきりの原因疾患となり、高齢者のQOL (Quality of Life) を阻害する要因となる。特に女性においては閉経後、急激に骨密度は減少を示し、骨粗鬆症を誘発する原因となることから、その予防が重要な課題となっている。骨粗鬆症を予防するには、最大骨量 (peak bone mass) の獲得が低い状態では、中高年期を迎えてからの予防には限界

があることから、最大骨量が形成される成長期に可能な限り骨密度を高め、加齢に伴う減少を抑制することが重要とされている。

最大骨量の獲得には成長期における栄養、運動といったライフスタイルが大きく影響する^{1,2)}。特に骨密度に対する運動の効果を認める報告は多く、成長期における規則正しい運動は骨密度を高める上で重要であり、成長期の適切な運動習慣によって高められた骨密度は、中高年期における高い骨密度の維持に貢献することも指摘されている^{3,4)}。しかしながら、最大骨量を獲得する上

1) 京都文教短期大学 *Kyoto Bunkyo Junior College*

で有効な運動実施時期について、中学生時における運動習慣の重要性を指摘する報告^{5,6)}と中学・高校生時の運動継続の重要性を指摘する報告があり^{7,8)}、一致した見解は得られていない。しかし、これらの報告は運動習慣の有無のみを問題とした検討が多く、運動種目とその継続の有無について言及したものは少ない。骨密度に対する運動の効果は、運動種目の特性(強度)が大きく影響するものと考えられる。

そこで、本研究は最大骨量の到達時期にある女子学生を対象に超音波骨密度測定装置により骨密度の測定を実施し、過去の運動習慣に関する質問紙調査より中学、高校生時における成長期の運動習慣が青年期の骨密度に及ぼす影響を運動種目の特性とその継続の有無により検討をした。

2. 方法

2.1. 対象者

対象者は京都府下K短期大学1回生の健康な女子学生157名(18.8 ± 0.4歳:平均値 ± 標準偏差;以下同様)であった。質問紙調査により中学、高校生時の課外活動で実施していた運動種目および運動継続の有無からCreightonら⁹⁾による分類を参考として次のように分類した。medium impact sports(ソフトボール, テニス, バドミントン, 卓球, 陸上競技短中長距離走)を中学生時のみ実施していた群(n=29, junior high school medium impact sports; J-MED群), 中学・高校生時と継続して実施していた群(n=27, continuation medium impact sports; C-MED群), high impact sports(バレーボール, バスケットボール, ハンドボール, 陸上競技跳躍, 剣道)を中学生時のみ実施していた群(n=29, junior high school high impact sports; J-HIGH群), 中学・高校生時と継続して実施していた群(n=19, continuation high impact sports; C-HIGH群)および中学, 高校生時と運動習慣がなかったControl群(n=32)の5群であった。なお, 中学, 高校生時をとおしてインパクトの異なる運動を実施していた者および高校生時のみ運動習慣があった者は例数が少ないため分析から除外した。

2.2. 測定項目

身体組成および骨密度の測定を実施した。体重および体脂肪率をタニタ社製の体内脂肪計(TBF-305)により測定し, これらの値から体格指数(BMI: Body mass index), 体脂肪量および除脂肪量(LBM: Lean Body

Mass)を算出した。骨密度はLunar社製の超音波骨密度測定装置(Achilles-1000plus)を用い右踵骨部に超音波を照射し, 踵骨の骨密度と骨弾性を反映する超音波伝導速度(SOS: speed of sound)および踵骨の硬度を反映する超音波減衰係数(BUA: broadband ultrasound attenuation)から算出されるStiffness Index(以下; Stiffness)を骨密度の指標とした。

2.3. 統計処理

各測定値は, すべて群ごとに平均値と標準偏差で示した。5群間における各測定値の差の検定は一元配置分散分析を用い, その後の多重比較にはLSD法を用いた。また, 運動種目の特性および運動継続の有無とLBMならびにStiffnessとの関連を検討するためにパス解析を行った。いずれも有意水準は5%以下とした。以上の分析には, 統計パッケージソフトSPSS 13.0 J for WindowsおよびAmos5.0を用いた。

3. 結果

対象者157名のStiffnessの平均値と標準偏差は, 90.1 ± 12.7であった。各群のStiffnessの平均値と標準偏差を図1に示す。J-MED群, C-MED群, J-HIGH群, C-HIGH群およびControl群で, それぞれ, 86.6 ± 11.7, 87.9 ± 12.6, 88.9 ± 11.2, 102.5 ± 13.1, 87.3 ± 11.8であった。一元配置分散分析の結果, 5群間に有意な差が見られ($F(4, 131) = 6.4, p < 0.001$), 多重比較の結果, C-HIGH群において他の4群との間に有意に高い値が認められた($p < 0.05$)。また, 各群の身体特性を表に示す。一元配置分散分析の結果, LBMにおいて有意傾向が見られ($F(4, 127) = 1.9, p < 0.10$), 多重比較の結果, C-HIGH群のLBMは他の4群と比べ有意に高い値を示した($p < 0.05$)。そこで, 運動種目の特性および運動継続の有無とLBMならびにStiffnessとの関連を明確にするためにパス解析を行った。その結果を図2に示す。図中の矢印は因果の方向を示すパスであり, 矢印上のパス係数は標準化偏回帰係数を示す。運動種目の特性($p < 0.01$)および運動継続の有無($p < 0.05$)は, Stiffnessに対し有意なパスを示し, LBMに対しては明確な関連を示さなかった。また, LBMはStiffnessに対し有意なパスを示した($p < 0.01$)。

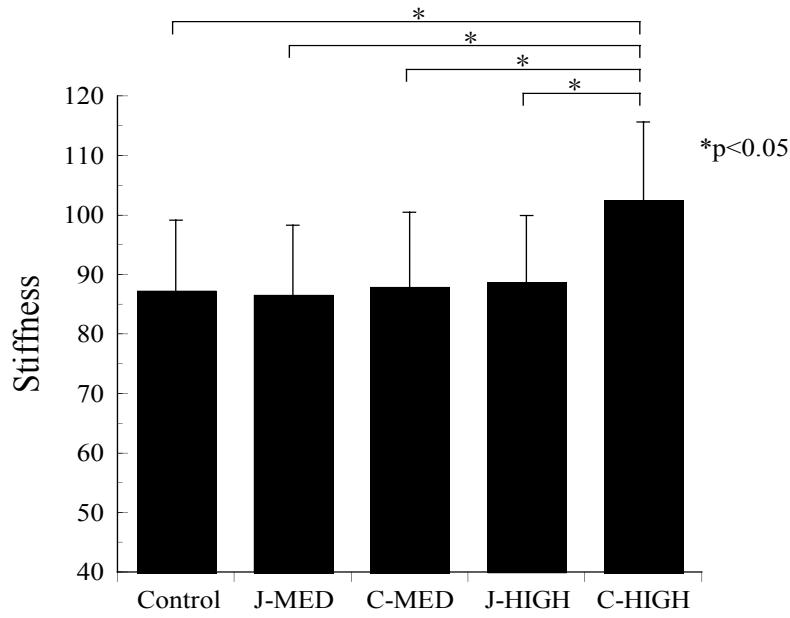


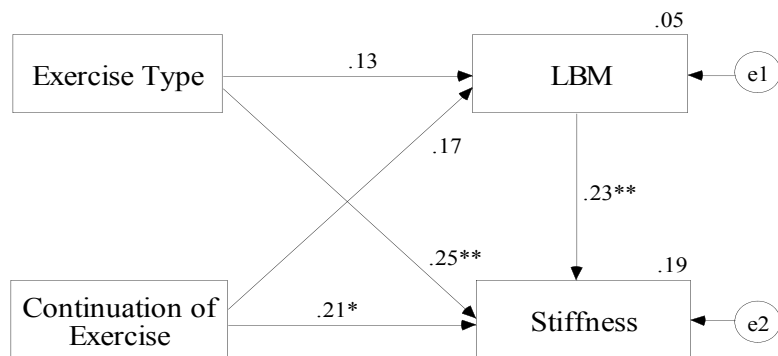
Figure 1 Comparison of bone mineral density of the subjects group

Table 1 Physical characteristics of the subjects group

	Control	J-MED	C-MED	J-HIGH	C-HIGH
Age (yr)	18.8 ± 0.4	18.7 ± 0.5	18.8 ± 0.4	18.8 ± 0.4	18.8 ± 0.5
Height (cm)	157.1 ± 4.7	158.6 ± 4.4	158.5 ± 5.1	158.1 ± 3.5	160.1 ± 4.5 ^a
Weight (kg)	53.4 ± 8.9	51.1 ± 5.1	51.1 ± 5.9	52.3 ± 6.0	54.8 ± 7.8
%Fat (%)	27.9 ± 6.8	25.7 ± 4.4	25.5 ± 4.1	27.3 ± 5.3	26.7 ± 4.5
Fat Mass (kg)	15.6 ± 6.3	13.3 ± 3.4	13.1 ± 3.4	14.6 ± 4.5	14.9 ± 4.5
LBM (kg)	37.9 ± 3.4	37.7 ± 2.5	37.9 ± 3.2	37.7 ± 2.2	39.9 ± 3.9 ^{abcd}
BMI	21.6 ± 3.1	20.3 ± 1.9	20.3 ± 1.9	20.9 ± 2.5	21.4 ± 2.6

Mean±SD. LBM:Lean Body Mass. BMI:Body Mass Index.

p < 0.05 : a=vs.Control. b=vs.J-MED. c=vs.C-MED. d=vs.J-HIGH



*p < 0.05 **p < 0.01

Figure 2 Path analysis model

4. 考察

骨密度の維持向上には、骨に加わる力学的負荷が大きく影響する。力学的負荷が骨形成を促進させ、一方で骨吸収を抑制している¹⁰⁾。Frost¹¹⁾は骨量の維持には、一定以上の刺激を必要とする閾値が存在し、閾値より大きな負荷が加われば骨量は増加し、閾値以下の負荷では骨量を減少させると述べている。力学的負荷が骨形成を促す機序は明らかにされていないが、骨内血流量の増加による骨芽細胞の活性化、圧電位発生（ピエゾ効果）による骨塩沈着の促進、骨内の微細骨折（micro crack）に対する治癒機転などが考えられている。このことから、運動・スポーツ活動に伴う衝撃、荷重といった力学的負荷が骨密度の獲得に有効であり、運動を習慣化している者およびスポーツ選手では骨密度は高いという報告が多く、基本的には各種スポーツは骨密度を高めると考えられている。しかし、すべての運動種目において骨密度の向上に対し有効であるわけではなく、その運動種目の特性（強度）によって異なる^{9,12)}。しかしながら、最大骨量を獲得する上で有効な運動実施時期について検討した報告の多くは、運動習慣の有無のみを問題としている。

本研究では運動種目の特性とその継続の有無から成長期の運動習慣が最大骨量の到達時期にある女子学生の骨密度に及ぼす影響を検討した。その結果、C-HIGH群において他群と比較し、Stiffnessは有意に高かった（図1）。この結果は、跳躍運動を主体とした重力に抗し骨の長軸方向への強い衝撃を伴う運動種目を中学・高校生時と継続して実施することが骨密度の向上に対し有効であることを示している。Hamdyら¹³⁾は、骨への外力の影響は負荷部位に対し特異的であることを報告している。本研究において跳躍運動を主体とした強いインパクトを伴う運動種目を経験していたC-HIGH群でStiffnessが高値を示したのは、測定部位である踵骨に加わる衝撃の大きさに起因しているものと考えられる。

一方、J-MED群およびC-MED群のStiffnessはControl群との間に差が認められなかった（図1）。Matsumotoら¹⁴⁾は、運動量が多くても荷重負荷がかからない水泳やランニングのように運動負荷が高頻度であっても低強度の運動種目では骨密度は低い傾向にあることを報告している。本研究のJ-MED群およびC-MED群はフィールドやトラックで走運動が主体であり、その運動種目の特性から下肢にかかる負荷は高頻度であるが、強度が低く骨密度を高めるのに十分な荷重負荷とならなかったためと推察される。このことから、骨密度の獲得は骨に加わる運動負荷の頻度よりも強度に依存してい

るものと考えられる。しかしながら、跳躍運動を主体とした強いインパクトを伴う運動種目を経験していたJ-HIGH群においてStiffnessがJ-MED群、C-MED群およびControl群との間に差が認められなかったことは（図1）、骨密度の獲得にはインパクトの強い運動負荷とともに運動継続の有無が影響するものと推察される。これらの結果から、骨密度に対する運動の効果は実施してきた運動種目の特性（強度）とその継続の有無といった条件によって異なることが示唆された。

また、身体組成との関連では、C-HIGH群のLBMは他群と比べ有意に高い値を示した（表）。しかしながら体重、体脂肪量およびBMIにおいて有意な差が認められなかったことから、骨密度の差は体重に占める筋量の大小が影響していると思われる。身体組成と骨密度との関連を検討した報告は多く、骨密度と筋量の目安となる除脂肪量との間に高い相関が認められている^{15~17)}。このことは、筋収縮に伴う張力が骨に対する刺激になるためと考えられる。Bakkerら¹⁸⁾は、骨密度の増大には除脂肪量との関連が大きく、筋収縮に伴う張力の重要性を示唆している。また真田ら¹⁹⁾は、閉経後女性を対象に下腿三頭筋厚とStiffnessとの間に高い相関を認め、踵骨に対する筋張力の大きさが骨強度に関係することを示唆している。これらのことから、C-HIGH群においてStiffnessが高値を示したのは、跳躍運動に伴う荷重負荷と筋量の増大が骨密度の増加を促す刺激となったためと推察される。そこで本研究では、運動種目の特性および運動継続の有無とLBMならびにStiffnessとの関連を明らかにするためパス解析を行った（図2）。その結果、運動種目の特性と運動継続の有無は、Stiffnessに対し関与することが見出せたが、LBMに対する関与は見出せなかった。また、LBMはStiffnessに対し関与することが示された。このことから、除脂肪量と骨密度との関連は明らかであるが、運動と除脂肪量との関連が認められなかったことから、跳躍運動に伴う筋量の増大が骨密度の増加を促す刺激として作用するものではないことが示された。大槻ら²⁰⁾は、筋力が有意に強くても運動時に荷重負荷がかからない水泳選手では、骨塩量はコントロール群と差がないことを報告している。したがって、LBMとStiffnessとの関連が認められたことは、筋量の大小による筋張力の影響が大きいと考えるのではなく、除脂肪量には骨重量が含まれていることを考慮する必要があると考える。そのことが影響した結果と解釈するのが妥当であると考えられる。これらの結果から、骨密度の獲得は、筋量の増大による筋張力の影響は小さく、運動種目の特性とその継続の有無により決定されることが示唆された。すな

わち、跳躍運動を主体とした強いインパクトを伴う運動種目を中学・高校生時と継続して実施することが骨密度の獲得に有効であることが明らかとなった。

骨密度の増加を促す運動様式として跳躍運動を主体としたインパクトの強い荷重負荷が加わる運動・スポーツ活動の有効性を示唆する報告は多い。Creightonら⁹⁾は、若年女子スポーツ選手を対象に荷重負荷がかからない水泳および走運動を主体としたサッカー、陸上競技を実施している者と比してバレーボール、バスケットボールのような跳躍運動を主体としたハイインパクトのスポーツを実施している者の骨密度は高いことを報告している。同様にDookら¹²⁾は、閉経前の中年女性を対象に水泳および走運動を主体とした運動経験よりもバレーボール、バスケットボールのようなハイインパクトの運動経験が骨密度を高める要因となることを報告している。また、ハイインパクトの荷重負荷に耐える体操競技選手の骨密度が高いことが多く認められている^{21~23)}。さらに、骨密度の向上に対し、ジャンプトレーニングの有効性を認める報告は多い^{4,24,25)}。これらの報告からも、骨密度の獲得には跳躍運動を主体とした運動種目の実施が有効であり、骨に対しインパクトの強い荷重負荷を加えることが重要であると考えられている。

本研究において骨密度の獲得には、中学・高校生時をとおして重力に抗し骨の長軸方向への強い衝撃を伴う跳躍運動を主体とした運動種目を継続して実施することが有効であることが示唆された。したがって、最大骨量が形成される成長期においては、インパクトの強い荷重負荷を伴う運動・スポーツ活動を選択的に実施することで骨密度を高めることが若年期からの骨粗鬆症予防にとって重要になると思われる。

5. 結論

本研究は最大骨量の到達時期にある女子学生を対象に超音波骨密度測定装置により骨密度の測定を実施し、過去の運動習慣に関する質問紙調査より中学、高校生時における成長期の運動習慣が青年期の骨密度に及ぼす影響を運動種目の特性とその継続の有無により検討をした。

以下に結果を示す。

1. 運動種目の特性と骨密度との関連は、C-HIGH群においてStiffnessは他群と比較し有意に高かった。
2. 身体特性との関連は、C-HIGH群のLBMは他群と比べ有意に高い値を示した。

3. 跳躍運動に伴う筋量の増大が骨密度の増加を促す刺激として作用しないことが示された。

以上の結果より、成長期における骨密度の獲得には運動種目の特性が大きく影響し、跳躍運動を主体とした重力に抗し骨の長軸方向への強い衝撃を伴う運動種目を中学・高校生時と継続して実施することが有効であることが示唆された。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、ご指導とご助言を賜りました京都文教短期大学森井秀樹助教授、大阪電気通信大学金田啓念講師、データ収集に関しご協力を頂きました京都文教短期大学池田順子教授に深く感謝を申し上げます。

文 献

- 1) Ruiz JC, Mandel C, Garabedian M. (1995) : 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 (5) : 675-82.
- 2) Stear SJ, Prentice A, Jones SC, Cole TJ. (2003) : Effect of a calcium and exercise intervention on the bone mineral status of 16-18-y-old adolescent girls. *Am J Clin Nutr*, 77(4) : 985-92.
- 3) Vuillemin A, Guillemin F, Jouanny P, Denis G, Jeandel C. (2001) : Differential influence of physical activity on lumbar spine and femoral neck bone mineral density in the elderly population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56(6) : B248-53.
- 4) 小原美紀, 向井直樹, 宮永豊 (2000) : 中年女性の骨密度に対する跳躍運動の効果とVDR遺伝子多型の関係. *臨床スポーツ医学*, 17 (6) : 741-744.
- 5) 広田孝子, 中林朋子, 藤木雅美, 木藤由紀子, 城谷万希子, 山西佐智美, 広田憲二 (1995) : 若年女性の骨密度に及ぼす影響因子—運動種目, 期間, 時期について—. *Osteoporosis Japan*, 3 (2) : 186-188.
- 6) 長瀬博文, 林宏一, 中村裕之, 山田晃裕, 荻野景規 (1999) : 超音波式踵骨骨量測定装置を用いた骨量とその関連要因についての横断的研究. *日本公衆衛生雑誌*, 46(9) : 799-810.
- 7) 宮元章次, 石河利寛 (1993) : 成長期の規則的な運動が大学生の骨密度に及ぼす効果. *体力科学*, 42 : 37-45.

- 8) 小嶋康夫, 橋本慎太郎, 大口昭英, 佐竹紳一郎, 中野隆, 舘野政也, 桑守豊美 (1996) : 若年女性の踵骨骨量パラメーターに関与する諸因子の検討. *Osteoporosis Japan*, 4 (2) : 380-383.
- 9) Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. (2001) : Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol*, 90 (2) : 565-70.
- 10) Hillam RA, Skerry TM. (1995) : Inhibition of bone resorption and stimulation of formation by mechanical loading of the modeling rat ulna in vivo. *J Bone Miner Res*, 10 (5) : 683-9.
- 11) Frost HM. Bone "mass" and the "mechanostat" : a proposal. (1987) : *Anat Rec*, 219(1) : 1-9.
- 12) Dook JE, C. James N K, Henderson R I Price. (1997) : Exercise and bone mineral density in mature female athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 29(3) : 291-296.
- 13) Hamdy RC, Anderson JS, Whalen KE, Harvill LM. (1994) : Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med Sci Sports Exerc*, 26(7) : 884-8.
- 14) Matsumoto T, Nakagawa S, Nishida S, Hirota R. (1997) : Bone density and bone metabolic markers in active collegiate athletes : findings in long-distance runners, judoists, and swimmers. *Int J Sports Med*. 18(6) : 408-12.
- 15) Madsen KL, Adams WC, Van Loan MD. (1998) : Effects of physical activity, body weight and composition, and muscular strength on bone density in young women. *Med Sci Sports Exerc*, 30(1) : 114-20.
- 16) Nichols DL, Sanborn CF, Bonnick SL, Gench B, DiMarco N. (1995) : Relationship of regional body composition to bone mineral density in college females. *Med Sci Sports Exerc*, 27(2) : 178-82.
- 17) 横内樹里, 安藤大輔, 小野悠介, 尾崎芳雄, 浅川和美, 北川淳, 中原凱文, 小山勝弘 (2003) : 女子大学生の踵骨超音波計測値と体格の関係. *体力科学*, 52 : 639-646.
- 18) Bakker I, Twisk JW, Van Mechelen W, Kemper HC. (2003) : Fat-free body mass is the most important body composition determinant of 10-yr longitudinal development of lumbar bone in adult men and women. *J Clin Endocrinol Metab*, 88(6) : 2607-13.
- 19) 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.
- 20) 大槻伸吾, 大久保衛, 小池達也, 佐藤哲也, 田中一成, 辻信宏, 山野慶樹 (1997) : 運動時の衝撃が骨塩量に与える影響. *臨床スポーツ医学*, 14(11), 1291-1296.
- 21) Taaffe DR, Duret C, Cooper CS, Marcus R. (1999) : Comparison of calcaneal ultrasound and DXA in young women. *Med Sci Sports Exerc*, 31 (10) : 1484-9.
- 22) Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Svedstrom E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J. (2000) : Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scand J Med SciSports*, 10(4) : 236-43.
- 23) Proctor KL, Adams WC, Shaffrath JD, Van Loan MD. (2002) : Upper-limb bone mineral density of female collegiate gymnasts versus controls. *Med Sci Sports Exerc*, 34(11) : 1830-5.
- 24) Arnett MG, Lutz B. (2002) : Effects of rope-jump training on the os calcis stiffness index of postpubescent girls. *Med Sci Sports Exerc*, 34(12) : 1913-9.
- 25) Pettersson U, Nordstrom P, Alfredson H, Henriksson-Larsen K, Lorentzon R. (2000) : Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females : A comparative study between two different types of sports. *Calcif Tissue Int*, 67(3) : 207-14.