

若年成人女性の骨密度と運動ならびに栄養摂取量との関係

佐伯綾希子, 山下 美保, 小見山百絵, 戸田 雅裕

ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科

Relationships of Exercise and Dietary Intake with Bone Density in Young Adult Women

Akiko SAIKI, Miho YAMASHITA, Momoe KOMIYAMA and Masahiro TODA

Department of Foods and Human Nutrition Faculty of Human Life Sciences, Notre Dame Seishin University

Abstract The aim of this study was to investigate the relationships of dietary intake, exercise, and menstrual regularity with bone density. In 81 female university students, the osteo-sono-assessment index (OSI) was determined by quantitative ultrasonography. In addition, a questionnaire on the intake of calcium, vitamin D, and phosphorus, exercise experiences in junior high school and high school days, and menstrual regularity was administered. The OSI was higher in the group that had the habit of exercising in junior high school and high school. Furthermore, the higher OSI was associated with higher vitamin D intake and lower phosphorus intake. These findings suggest the importance of exercise and dietary intake for improving bone density.

Key words: bone density (骨密度), sports (運動), Food Frequency Questionnaire (食物摂取頻度調査), vitamin D (ビタミン D), phosphorus (リン)

緒 言

骨粗鬆症は低骨量と骨組織の微細構造の異常を特徴とし骨の脆弱性により骨折のリスクが増大した骨格疾患である(1-3)。骨粗鬆症の合併症である骨折により罹患者の Quality of Life (QOL) が著しく損なわれる場合があり、これまでも高齢者の骨折は要介護となる主な要因として注目されてきた(4-8)。

一方、わが国の骨折は小児、特に中・高生においても増加傾向にあるが(9)、スポーツ庁により運動時間が週に60分未満の中学生女子が約2割に上ることが報告されており(10)、特に女子において運動機会の減少と骨折との関係が示唆されている。さらに、先行研究は現在の新型コロナウイルス感染症蔓延下の外出自粛による身体活動レベルの減少、ならびに授業時間の増加を示して

おり(11)、小児期、特に思春期の運動については部活動の休止等による一層の減少が推測されることから、これらの運動習慣の減少がさらなる成長期の骨量の増加不良を引き起こす可能性があると考えられる。

運動と骨密度に強い関連があるという報告は多数存在するが、運動強度による骨密度への影響差について言及したものは少ない(12, 13)。また栄養摂取量については、骨密度とカルシウム摂取との関連について検討した報告はあるが、その見解は一致しておらず、牛乳および乳製品の摂取状況のみを調査している研究も多くみられる(14-16)。さらに栄養摂取量と骨密度の調査において過去の運動歴について言及した研究はあるが(17-20)、例えば月経など女性の骨密度に影響を与える複数の因子の影響を同時に検討した研究はこれまでに行われていない。したがって本研究では若年女性について、骨密度に栄養摂取状況、月経、ならびに運動歴が及ぼす影響を調査することで、若年女性の健全な成長を促す効果的な指導につなげることを目的とした。また栄養摂取状況については食物摂取頻度調査法 Food Frequency Questionnaire (FFQ) を用いた食事調査を行い、主な栄養素の摂取量の算出まで行うこととした。

受付 2022 年 11 月 2 日, 受理 2023 年 3 月 14 日

Reprint requests to: Masahiro TODA

Department of Foods and Human Nutrition Faculty of Human Life Sciences, Notre Dame Seishin University, 2-16-9 Ifuku-cho, Kita-ku, Okayama 700-8516, Japan

TEL: +81(86)252-2199, FAX: +81(86)252-2196

E-mail: mt@m.ndsu.ac.jp

方 法

1. 対象者

調査は 2020 年 10 月に実施した。19～20 歳の女子大学生 81 名を対象に、骨量の測定および質問紙による調査を行った。本研究の趣旨については書面および口頭で説明を行い、書面にて対象者の同意を得た。なお、本研究はノートルダム清心女子大学「ヒトを対象とする研究」に関する研究倫理委員会の承認を受けたものである。

2. 骨量の測定

骨量の測定は定量的超音波測定法 (Quantitative Ultrasound: QUS) で行った (1, 21)。QUS は骨粗鬆症のリスク評価に用いられる方法である (22)。AOS-100SA (Hitachi Aloka Medical, Co., Ltd., Tokyo, Japan) を使用し、右足踵骨における音響的骨評価値 (Osteo Sono assessment Index: OSI) を骨量に相当する指標として用いた。「骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2015 年版」の診断手順をもとに、OSI の 90%YAM (Young Adult Mean) 値 2.428 未満を「要指導」、2.428 以上を「正常」と分類した (23)。

3. 質問紙による調査

中学時・高校時の課外活動で実施していた運動の有無と種目、継続期間について質問を行った。複数行っていた場合は全て答えてもらった。運動種目は、中学時・高校時それぞれについてハイインパクト群とローインパクト群に分類した。この分類は Hara らの研究にしたがい、テニス、バスケットボール、バレーボール、ハンドボール、空手、マラソン、陸上競技等をハイインパクトスポーツに、また、卓球、水泳、ソフトボール、エアロビ、筋トレ等をローインパクトスポーツに分類した (24-26)。各時期にハイインパクトとローインパクトの複数種目を行っていた場合はハイインパクトスポーツの種目で分類した。中学時・高校時ともに課外活動において実施していた運動がないと回答した者については運動歴なしと分類した。

栄養摂取状況については、現在の食品及び栄養素摂取量をエクセル栄養君食物摂取頻度調査新 FFQg Ver. 6 (KENPAKUSHA Co., Ltd., Japan) を用いて推定した。このソフトは食品群別にわけられた 30 の食品グループと、10 種類の調理方法から構成された簡単な質問により、日常の食事の内容を評価し、最近 1～2 か月程度のうちの 1 週間を単位として、1 回摂取目安量と摂取頻度から食品群別摂取量・栄養素摂取量を推定するものである (27)。FFQ は、栄養素摂取量を推定する方法として妥当性が認められている (28)。本研究では骨との関係が示唆されているカルシウム、ビタミン D、リン、Ca/P 比の 4 種について摂取量を算出した (29, 30)。

月経については規則的な発来が認められるか、不規則または無月経かについて確認した。

4. 統計解析方法

数値は平均値±標準偏差で示す。OSI を目的変数、運動歴、月経、BMI、エネルギー摂取量、栄養素摂取量を説明変数とした多重ロジスティック回帰分析を行い、骨密度に関係する要因を検討した。また、一元配置分散分析を用いて、中学時・高校時の運動強度による骨密度の比較を行った。統計解析は、SPSS Statistics 22 (IBM Japan Co., Ltd., Tokyo, Japan) を用い、有意水準は 5% とした。

結 果

1. 対象者の特性

対象者の特性を表 1 に示す。年齢は 19.6±0.5 歳、BMI は 19.9±2.1 kg/m²、骨密度 (OSI) は 2.78±0.35、エネルギー摂取量は 1,624.9±455.0 kcal、カルシウム摂取量は 456.7±181.5 mg、ビタミン D 摂取量は 3.7±2.0 µg、リン摂取量は 862.2±270.4 mg、Ca/P 比は 0.52±0.10 であった。OSI の 90%YAM 値が 2.428 未満の要指導者は 13.6% であった。中学時・高校時に運動歴があった者は 74.7% であり、平均運動期間は 47.5±16.5 か月であった。また、月経不順の者は 36.1% であった。

2. 骨密度を目的変数とした多重ロジスティック回帰分析

骨密度を目的変数とした多重ロジスティック回帰分析の結果を表 2 に示す。骨密度要指導に有意に関係している要因は、運動歴がないこと (p=0.04)、BMI が低いこと (p=0.03)、ビタミン D 摂取量が少ないこと (p=0.03)、

表 1 対象者の特性 (n=81)

	平均値±標準偏差	18-29歳の基準値*
年齢 (yr.)	19.6±0.5	—
BMI (kg/m ²)	19.9±2.1	—
骨密度 (OSI)	2.78±0.35	—
エネルギー摂取量 (kcal)	1,624.9±455.0	2,000 ^a
カルシウム (mg)	456.7±181.5	650 ^b
ビタミン D (µg)	3.7±2.0	8.5 ^c
リン (mg)	862.2±270.4	800 ^c
Ca/P 比	0.52±0.10	—

* 日本人の食事摂取基準 2020

^a 推定エネルギー必要量 (活動レベル II), ^b 推奨量, ^c 目安量

表 2 骨密度 (0 正常, 1 要指導) を目的変数とした多重ロジスティック回帰分析

説明変数	オッズ比	95%CI	p
運動歴 (0, なし; 1, あり)	0.16	0.03-0.96	0.04
月経 (0, 不順; 1, 順)	0.34	0.07-1.76	0.20
BMI	0.55	0.32-0.94	0.03
エネルギー摂取量	1.00	0.99-1.00	0.14
カルシウム	0.99	0.98-1.00	0.06
ビタミン D	0.43	0.20-0.90	0.03
リン	1.02	1.00-1.03	0.02

表 3 中学時から高校時にかけての運動強度の変化による骨密度, エネルギー摂取量, BMI の比較

	n	骨密度 (OSI)	エネルギー摂取量 (kcal)	BMI (kg/m ²)	要指導者 (%) ^a
中学時・高校時ともに運動習慣なし	20	2.6±0.2	1,652.9±531.6	18.8±1.9	30.0
中学時に比べ高校時で運動強度増加	4	2.8±0.2	1,642.5±79.2	20.1±2.4	0
中学時に比べ高校時で運動強度減少	25	2.8±0.4	1,678.0±499.4	19.7±1.8	16.0
中学時と高校時で運動強度に変化なし	32	2.9±0.4*	1,563.7±400.8	20.9±2.2**	3.1

平均値±標準偏差

^aOSI の 90%YAM 値が 2.428 未満の者の割合

*p<0.05, **p<0.01 (一元配置分散分析と Bonferroni 多重比較, 「中学時・高校時ともに運動習慣なし」との間に有意差あり)

リン摂取量が多いこと (p=0.02) であった。またカルシウム摂取量が少ないこと (p=0.06) にも関係する傾向がみられた。月経の状況ならびにエネルギー摂取量と骨密度との関係はみられなかった。さらに、中学時・高校時に運動歴があった者について通算運動期間と骨密度との関係を調べたが、有意な相関はみられなかった (r=0.13, p=0.32)。

3. 中学時から高校時にかけての運動強度の変化による骨密度, エネルギー摂取量, BMI の比較

中学時から高校時にかけての運動強度の変化による骨密度, エネルギー摂取量, BMI の比較を表 3 に示す。中学時・高校時に同程度の強度の運動を継続していた群では、中学時・高校時ともに運動習慣がなかった群に比べ、骨密度 (F=3.77, p<0.05) ならびに BMI (F=4.98, p<0.01) が有意に高かった。エネルギー摂取量については、中学時から高校時にかけての運動強度の変化との関係はみられなかった。OSI の 90%YAM 値が 2.428 未満の要指導者は、中学時・高校時ともに運動習慣がなかった群でもっとも多く (30.0%), 次いで中学時に比べ高校時で運動強度が減少した群 (16.0%) で多かった。

考 察

本研究の対象者は年代的には思春期後半の高い最大骨量を有する時期であり (31), 骨密度の平均値は 2.78±0.35 と高かったが, OSI の 90%YAM 値 2.428 未満の要指導の対象者も一定数認められた。骨に大きな影響を与える栄養素であるカルシウム, ビタミン D の摂取量はともに食事摂取基準の推奨量あるいは目安量を大きく下回っており, カルシウムの摂取量については 85.2% が推奨量を, またビタミン D の摂取量については 98.8% の者が目安量を下回っていた。これらの要因として食習慣の問題が考えられたが, 実際, 総摂取エネルギー量も低く, 対象者の平均摂取エネルギー量は 1,624.9±455.0 kcal であり, 約 6 割が 1,700 kcal 未満であった。これは「日本人の食事摂取基準」(2020 版) に記されている推定エネルギー必要量を大きく下回っている。FFQ によって算出される栄養素やエネルギー摂取量は推定値であり, 一般的に過小評価されることは考慮すべきであるが, 対象者の BMI は約 2 割が低体重評価であり, や

はり摂取エネルギーが少ないことから適切な BMI の維持が難しくなっているのではないかと考えられる。骨を維持するためには適切な BMI を維持することが重要とされており, 本研究においても低い BMI は骨密度要指導に有意に関係していた。今回の調査対象は大学生であることから生活リズムが不規則であることも想定され, そのため欠食が生じやすいことが考えられる。また, 1 回の食事量が少ないことや食事内容の偏りも考えられ, 摂取エネルギー量・栄養素摂取不足につながっていると考えられる。

栄養素摂取量に関しては, 少ないカルシウム摂取量が骨密度要指導に関係する傾向がみられた。この結果は, 中高年女性や若年男性でカルシウム摂取量と骨密度との間に相関を認めた先行研究の報告と同様の傾向であるが (14, 32), 一方でカルシウムや乳製品の摂取状況と骨密度との間に相関を認めない先行研究もみられる (15, 16)。今後は調査対象者の人数を増やし再度検討が必要である。また, 低いビタミン D と高いリン摂取量が骨密度の低下に関係することが認められ, 栄養摂取状況が骨密度に一定の影響を与えていることがうかがわれた。カルシウムは主に乳製品または大豆・魚などに多く含まれており, 乳幼児期は積極的な摂取が勧められる。しかし, 大学生においてはそれらのカルシウムが豊富な食材を食生活に取り入れていない状況も想定される。また, 今回の食事調査は骨密度測定時の大学生における調査であり, 学童期の栄養摂取状況とは異なってきている可能性もある。そのため, 今後は大学生へのカルシウム摂取を後押しすると同時に, 学童期の食事調査も同時に行う必要があると考えられた。

一方, リンは加工食品や清涼飲料水に多く含まれており, また食品添加物に含まれるリンは生体への影響も大きいことが報告されている (33)。本研究結果ではリンの摂取量が目安量を上回っており, また 49.4% の者が食事摂取基準の目安量を超えて摂取していたことから, 大学生の食習慣には, 加工食品や清涼飲料水といった食品が多く入り込んでいることがうかがわれる。また, 生体へのリンの影響はカルシウムの摂取量に大きく影響され, リンに対するカルシウムの摂取比率 (Ca/P 比) が 0.5 未満の場合には骨強度が低下すると言われている (33)。本研究対象者の Ca/P 比は 0.52±0.10 であり, 今後の骨密度低下へのリスクが懸念される。

ビタミン D は消化管からのカルシウム吸収を促進し、骨代謝にも関与することから骨に重要な栄養素である。ビタミン D を摂取できる主な食材はきのこ類や魚類に限られるため、不足しやすい栄養素である。したがって高いリン摂取量に対する骨へのマイナスの影響について啓発するとともに、摂取基準を大きく下回っているビタミン D についてより積極的に摂取を推奨する必要があると考えられる。

中学時・高校時に運動歴がないことは骨密度要指導に有意に関係していた。先行研究は、運動歴がある場合には運動歴がない場合に比べて骨密度が有意に高くなることを報告しており (24)、これらの結果は骨密度を上昇させる運動の効果を裏付けるものである。さらに、中学時から高校時にかけての運動強度の変化が骨密度に与える影響を検討したところ、運動強度の増減がなく、一定の強度で継続してきた群が運動歴のない群に比べて骨密度が有意に高い結果となった。また、BMI についても同様の結果であったがエネルギー摂取量には差がみられなかったことから、一定強度の運動を継続している群では運動習慣のない群に比べて筋肉量が多く、骨に適切な負荷がかかり骨密度も高くなっていることが考えられる。中学時・高校時ともに運動習慣がなかった群、および中学時に比べ高校時で運動強度が減少した群に要指導者が多く含まれていたことは、この考えを裏付けるものである。以上より、ハイインパクトまたはローインパクトにかかわらず一定強度の運動を長く継続することが高い骨密度につながる可能性が示唆され、強度にかかわらず個人が好む運動を継続する効果について認識する結果となった。

一方、今回の調査には大学入学後の運動習慣は含んでおらず、現在の運動状況が与える影響を除外することができなかった。また、食事調査は現在の食生活を対象としており、過去の食事内容については確認できなかった。したがって、大学入学を機に食習慣が大きく変わった場合、その影響については加味できていない結果となった。今後の課題としては、普段の食習慣が自炊なのか、中食か、あるいは外食が多いのか、また、間食でのスナックや清涼飲料水の摂取量等についても確認を行い、それらの食習慣が骨密度に与える影響も検討したい。また中学時・高校時とともに現在の運動状況についても調査を行い、それらによる骨密度への影響も確認できれば、運動を推奨する時期について、より詳細な提案につなげられる可能性がある。

本研究では、中学時・高校時の運動歴、また、ビタミン D といった栄養素の摂取が女子大学生において骨密度を高めることを明らかにした。また運動強度については一定強度の運動を長く継続することが効果的であることが確認できた。先に述べた現在の運動習慣や大学入学後の食習慣の変化といった方法論的な問題に加え、81 名という少ない被験者数は本研究の限界となり得るが、本研究結果は、特に思春期には強度にかかわらず何らかの運

動に取り組むこと、またビタミン D をより積極的に摂っていくことを推奨する根拠になり得ると考えられる。

利益相反なし

文 献

- (1) Lane JM, Russell L, Khan SN. Osteoporosis. *Clin Orthop Relat Res* 2000;372:139–150.
- (2) Lane NE. Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *Am J Obstet Gynecol* 2006;194:S3–11.
- (3) Anthamatten A, Parish A. Clinical Update on Osteoporosis. *J Midwifery Womens Health* 2019;64:265–275.
- (4) Fuller GF. Falls in the elderly. *Am Fam Physician* 2000;61:2159–2168, 2173–2154.
- (5) Guirguis-Blake JM, Michael YL, Perdue LA, Coppola EL, Beil TL. Interventions to Prevent Falls in Older Adults: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA* 2018;319:1705–1716.
- (6) Karinkanta S, Piirtola M, Sievänen H, Uusi-Rasi K, Kannus P. Physical therapy approaches to reduce fall and fracture risk among older adults. *Nat Rev Endocrinol* 2010;6:396–407.
- (7) Kim KI, Jung HK, Kim CO, Kim SK, Cho HH, Kim DY, et al. Evidence-based guidelines for fall prevention in Korea. *Korean J Intern Med* 2017;32:199–210.
- (8) Moncada LVV, Mire LG. Preventing Falls in Older Persons. *Am Fam Physician* 2017;96:240–247.
- (9) 日本スポーツ振興センター. 学校の管理下の災害. 日本スポーツ振興センター学校安全部 2021.
- (10) 令和元年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査結果. https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/kodomo/zencyo/1411922_00001.html (2023.3.8)
- (11) Ammar A, Brach M, Trabelsi K, Chtourou H, Boukhris O, Masmoudi L, et al. Effects of COVID-19 Home Confinement on Eating Behaviour and Physical Activity: Results of the ECLB-COVID19 International Online Survey. *Nutrients* 2020;12(6):1583.
- (12) 亀井 文, 大下市子, 白井睦子, 箱田雅之. 女子大学生の食生活と骨量に及ぼす食事環境の影響. *日本家政学会誌* 2013;64:89–100.
- (13) 相良多喜子, 西条旨子, 広川 涉, 森河裕子, 三浦克之, 田畑正司, 他. 高校生の骨密度に対する栄養素摂取量および生活習慣の関連. *日本公衆衛生雑誌* 2002;49:389–398.
- (14) 野澤美樹, 伊藤早苗, 佐藤理恵子, 石田裕美, 上西一弘. 思春期男子における骨量とカルシウム摂取量およびビタミン K 摂取量の関連. *日成長会誌* 2021;27:5–13.
- (15) 伊藤千夏, 古泉佳代, 渥美圭子, 鈴木智恵美, 金子佳代子. 中学生における骨量と生活習慣および体力との関連. *日本栄養・食糧学会誌* 2007;60:53–59.
- (16) Bolland MJ, Leung W, Tai V, Bastin S, Gamble GD, Grey A, et al. Calcium intake and risk of fracture: systematic review. *BMJ* 2015;351:h4580.

- (17) 田地陽一, 坂本友里, 深津佳世子, 小池亜紀子, 北徹朗, 飯田薫子, 他. 女子大学生の骨量に及ぼす運動習慣の影響. 東京家政大学研究紀要 2018;58:71-77.
- (18) Ilesanmi-Oyelere BL, Brough L, Coad J, Roy N, Kruger MC. The Relationship between Nutrient Patterns and Bone Mineral Density in Postmenopausal Women. *Nutrients* 2019;11:1262.
- (19) Melaku YA, Gill TK, Taylor AW, Adams R, Shi Z. Association between nutrient patterns and bone mineral density among ageing adults. *Clin Nutr ESPEN* 2017;22:97-106.
- (20) Souza MLR, Jansen AK, Rodrigues LOC, Vilela DLS, Kakehasi AM, Martins AS, et al. Reduced bone mineral content and density in neurofibromatosis type 1 and its association with nutrient intake. *Rev Assoc Med Bras* (1992) 2020;66:666-672.
- (21) Chin KY, Ima-Nirwana S. Calcaneal quantitative ultrasound as a determinant of bone health status: what properties of bone does it reflect? *Int J Med Sci* 2013;10:1778-1783.
- (22) Krieg MA, Barkmann R, Gonnelli S, Stewart A, Bauer DC, Del Rio Barquero L, et al. Quantitative ultrasound in the management of osteoporosis: the 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Densitom* 2008;11:163-187.
- (23) 細井孝之. 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2015 年版. 内分泌・糖尿病・代謝内科 2016;42:224-228.
- (24) Hara S, Yanagi H, Amagai H, Endoh K, Tsuchiya S, Tomura S. Effect of physical activity during teenage years, based on type of sport and duration of exercise, on bone mineral density of young, premenopausal Japanese women. *Calcif Tissue Int* 2001;68:23-30.
- (25) Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* (1985) 2001;90:565-570.
- (26) Dook JE, James C, Henderson NK, Price RI. Exercise and bone mineral density in mature female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:291-296.
- (27) 吉村幸雄. エクセル栄養君: 食物摂取頻度調査 新 FFQg Ver. 5. 建帛社, 2016.
- (28) 高橋啓子, 吉村幸雄, 開元多恵, 國井大輔, 小松龍史, 山本 茂. 栄養素および食品群別摂取量推定のための食品群をベースとした食物摂取頻度調査票の作成および妥当性. 栄養学雑誌 2001;59(5):221-232.
- (29) Jones G, Hogan DB, Yendt E, Hanley DA. Prevention and management of osteoporosis: consensus statements from the Scientific Advisory Board of the Osteoporosis Society of Canada. 8. Vitamin D metabolites and analogs in the treatment of osteoporosis. *CMAJ* 1996;155:955-961.
- (30) Dawson-Hughes B, Harris SS, Krall EA, Dallal GE. Effect of calcium and vitamin D supplementation on bone density in men and women 65 years of age or older. *N Engl J Med* 1997;337:670-676.
- (31) Chevalley T, Rizzoli R. Acquisition of peak bone mass. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2022;36(2):101616.
- (32) Xu L, McElduff P, D'Este C, Attia J. Does dietary calcium have a protective effect on bone fractures in Women? A meta-analysis of observational studies. *Br J Nutr* 2004; 91(4):625-634.
- (33) Calvo MS, Tucker KL. Is phosphorus intake that exceeds dietary requirements a risk factor in bone health? *Ann N Y Acad Sci* 2013;1301:29-35.