

幼児の骨密度と身体特性、食事、身体運動との関連性

藤田 公和 中野 真知子 加藤 信子

Evaluation of the Relationship between Bone Density and Physical Characteristics,
Meal and Physical Exercise in Infant

Kimikazu FUJITA, Machiko NAKANO and Nobuko KATO

【目的】

骨は骨吸収を担当する破骨細胞と骨形成を担当する骨芽細胞により、絶えず骨吸収と骨形成を繰り返している。ヒトの一生のうちで最も骨吸収や骨形成が盛んな時期は成長期であり、中でも思春期が最も旺盛である（山中ら、2001）。ヒトの骨密度に影響を及ぼす因子として、カルシウム、タンパク質などの摂取量や身体活動などが挙げられる。これまでの研究により、学童期以降の子どもは加齢に伴って骨密度が急激に増加することがよく知られている。しかしながら骨密度・骨量に関する研究報告は成人を中心に小学校以降のデータが多く（檀上ら、2010；三村ら、2005；鳥居、2006）、幼児の骨密度は測定する骨の大きさや測定装置の特性などの課題があり、あまり実施されていない。境田ら（2007）は3、4、5歳児102名の骨密度と体格、身体組成などを測定し、男女児とも有意な加齢変化が認められるものの、それぞれの年齢の中での個人値の差異は非常に大きいことを指摘している。北野ら（2009）は骨密度測定装置を用いて、3～6歳の幼児861名の骨密度を測定している。男女別に3歳後半から6歳後半までの音速SOS値（speed of sound: m/sec）を半年ごとに比較した結果、すべての年齢間において男女とも年齢による差は認められず、男女間にも有意差は認められなかったことを報告している。

骨密度・骨量は出生後加齢に伴って急激に増加し、18～20歳で最大値となる。中・高年期以降の特に女性では、性ホルモンの作用により骨密度が減少することがよく知られており、一つの予防策として、乳幼児期から20歳までの骨の成長期に最大骨密度の数値を上げておくことの重要性も提起されている。そのため、幼児期の骨密度・骨量の個人差に着目して栄養と身体運動との関連性を探ることは、幼児の生活習慣や生活環境を見直すうえで重要な課題であると考えられる。本研究では幼児の骨密度と身体特性、食習慣や運動習慣などを調べ、骨密度の個人差の要因について検討した。さらに園庭などの環境が異なる3園の子ども達の骨密度を比較し、園での生活（遊び）環境との関連性について考察した。

【方法】

被験者は豊明市内の私立幼稚園（A園）、名古屋市内の私立保育園（B園）および長久手市内の私立幼稚園（C園）の年長クラス（5～6歳児）の男児60名と女児68名であった（表1）。子どもの骨密度は乾式超音波法骨評価装置（AOS100 ALOKA社製）を用いて右足踵骨の超音波伝播速度を計測し、骨密度を推計した。得られたデータは音響的骨評価値 OSI (osteosonassessment index) で示した。超音波骨密度測定 (Quantitative Ultrasound: QUS) は足のポジショニングや温度、測定者の経験などにより測定値にばらつきが出ることが指摘されているが(杉森ら、1997；黒澤ら、2009)、持ち運び可能で放射線を使わない簡便な測定法であり、成人対象の一般的な集団検診に広く用いられている（楊、2012）。一方、子どもの測定時には足の大きさを補正する付属品を使用するが、大まかな補正であるため誤差が生じやすいことも指摘されている（鳥居、2006）。そのため、子どもの骨密度を測定する際には、超音波の発生部位が足の踵骨に正確に密着していることが必須条件となる。本研究ではまずプレ実験として、成人男女（10名）と幼児男女（6名）の骨密度測定時に、超音波発生装置の中心部分の接触部位に印をつけ、足全体の写真撮影を行なった。さらに足の画像をもとに、床面から距骨中心部（足の内側の出っ張り）、踵から距骨中心部、床面および踵から測定装置（振動子メンブレン）の足への接触中心部位までの距離、足長などを測定し成人と子どもで比較した。その結果、成人の場合、超音波発生装置の先端部は足長全体に対して踵から $11.7 \pm 1.0\%$ 、接地面から距骨先端部までの $40.5 \pm 4.1\%$ の範囲に集中していた（足長は $23.2 \pm 1.5\text{cm}$ ）。そのため幼児の骨密度を測定する場合には、足長 $18 \sim 22\text{cm}$ 用の小児用アダプターを使用し、さらに踵部分に厚さ 3mm の厚紙を入れることによって、成人とほぼ同じ位置で踵骨の骨密度が測定できることが分かった（足長は $17.6 \pm 0.6\text{cm}$ ）。

保護者に対して子どもの食生活や身体運動習慣についてアンケート調査を実施した。質問項目は日常の食事内容、食べ物の好き嫌いおよび運動習慣などである。また各クラスの担当保育者には、クラスの中で体力水準の高い子どもと低い子ども、各2～3名を選んでもらった。保護者および園長、担当保育者に対して、研究の目的や具体的な測定方法および得られたデータの扱いについて書面で説明し、測定についての理解と協力を得た。子どもには骨密度の測定時に丁寧な説明を行ない、測定協力の意思を確認した。

表1. 被験者数

	男子 (人)	女子 (人)
A園	31	40
B園	15	15
C園	14	13
合計	60	68

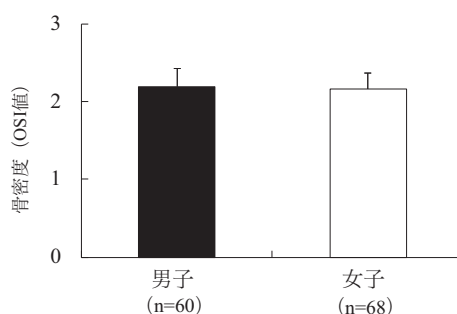


図1. 骨密度の男女差

男女間および3園の骨密度の比較は一元配置分散分析と Tukey-Kramer 法を用い、5%未満を有意差ありとした。

【結果】

男子の骨密度は 2.19 ± 0.25 OSI 値、女子は 2.17 ± 0.20 OSI 値であり、性差は見られなかった(図1)。体力水準の高い子ども(男女13名)の骨密度は 2.19 ± 0.92 OSI 値、低い子ども(男女15名)は 2.23 ± 0.31 OSI 値であった(図2)。図3, 4は骨密度と身長との相関を示しているが、男女とも骨密度と身長との間に有意な関係は見られなかった。図5, 6は骨密度とBMIとの関連性について示しているが、男女とも有意な相関は認められなかった。骨密度と食事内容との関連については、図7が乳製品の摂取状況、図8が肉や魚などの摂取状況を示している。アンケート調査の結果、乳製品や肉・魚の摂取状況で全く摂取しない子どもはいなかったため、「よく」と「ときどき」間で、摂取頻度の違いによる比較を行なった。その結果、乳製品をよく摂取する子どもの骨密度は 2.16 ± 0.20 OSI 値、時々摂取する子どもは 2.11 ± 0.26 OSI 値であった。肉や魚をよく食べる子どもの骨密度は 2.12 ± 0.22 OSI 値、時々食べる子どもは 2.18 ± 0.18 OSI 値

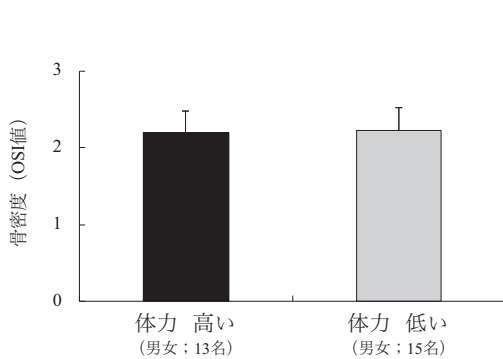


図2. 骨密度と体力水準との関係

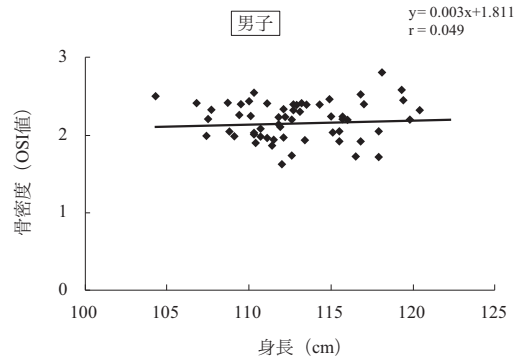


図3. 骨密度と身長との相関 (男子)

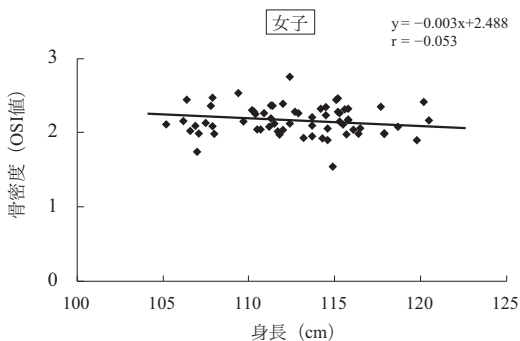


図4. 骨密度と身長との相関 (女子)

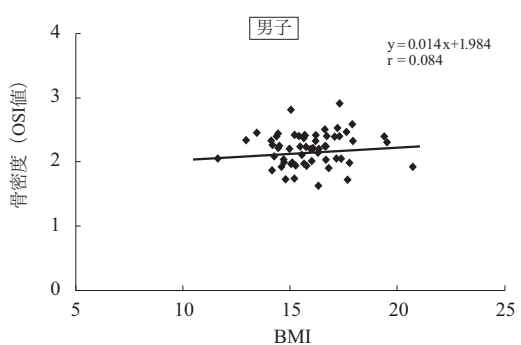


図5. 骨密度とBMIとの相関 (男子)

であり、どちらも有意な差異は認められなかった。図9,10は男女別に3園の子どもたちの骨密度を比較したものである。男子では3園間で大きな差異は観察されなかったが、女子ではC園と他の2園との間に有意な骨密度の差異が認められた。図11は3園の園庭の様子を示した。A園は300名の子どもに対して、平面の普通の広さの園庭、B園は建物の屋上でも遊べるようになってはいるが、名古屋市内に設置されて

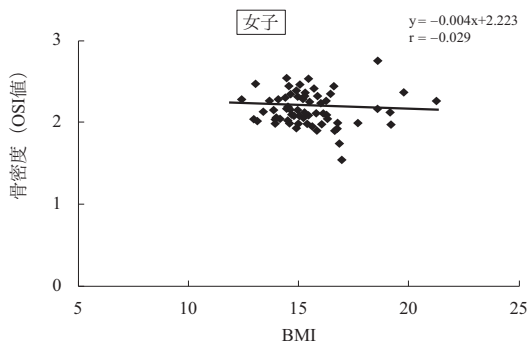


図6. 骨密度とBMIとの相関 (女子)

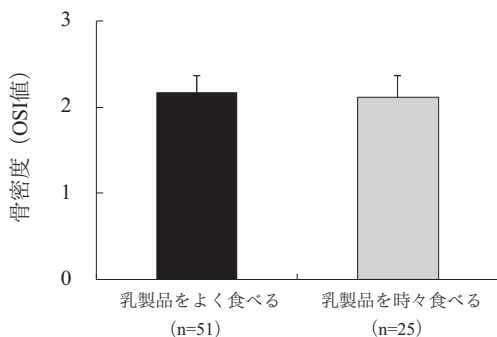


図7. 牛乳やチーズ、ヨーグルトなどの乳製品の摂取状況と骨密度との関係

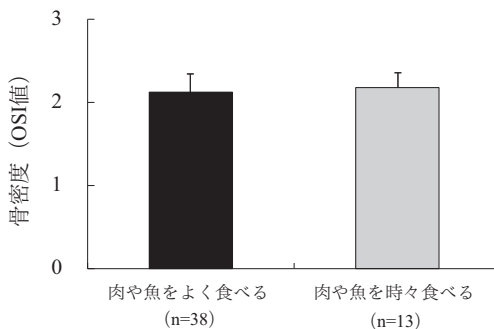


図8. 肉や魚の摂取状況と骨密度との関係

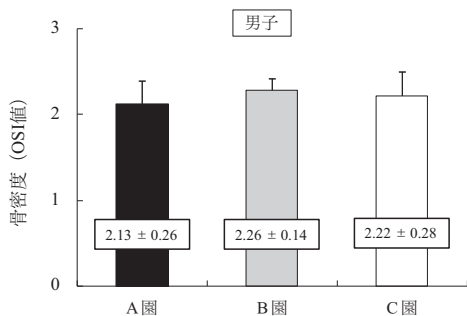


図9. 3園の子ども (男子) の骨密度の比較

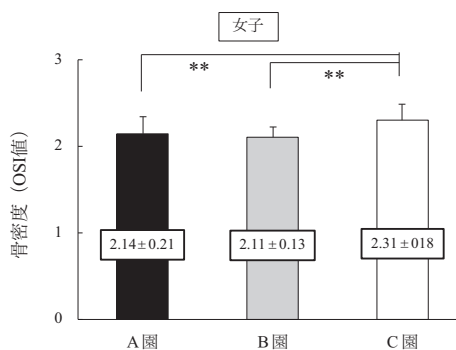


図10. 3園の子ども (女子) の骨密度の比較 (**p<0.01)



図11. 3園の園庭の様子

いることから基本的には狭い園庭、C園は広い園庭の大部分が段差のある傾斜地で、この傾斜を利用した様々な遊びが日常的に展開されている。

【考察】

骨密度、骨量を規定する因子は遺伝的要因、栄養的要因および身体運動的要因であると考えられている。このうち、遺伝的要因の関与の程度は年齢によって異なり、幼児期では大きい、加齢とともに栄養や運動の環境的要因が増加することが指摘されている（西田ら、2001；清野、2006）。

1、栄養と骨密度

骨形成、骨密度の維持のためにカルシウムの摂取が重要であることは一般的な共通認識である。廣田ら（2014）は、骨粗鬆症の発症原因としてカルシウム摂取の影響が最も多く、カルシウム吸収や骨のリモデリングに関わるビタミンD、成長ホルモンやIGF-1、さらにビタミンKとCおよび各種ミネラル量の摂取が影響していると述べている。田中（2009）は、子どもの骨強度を規定する因子としてI型コラーゲンの重要性を指摘している。清野（2006）は小児のカルシウム摂取量を1,500mg/日群と900mg/日群とで比較した場合、高カルシウム負荷群の骨密度は対象と比較して1年間で1%増加していたことを報告している。三村ら（2005）は、中学生男女で3食きちんと摂取できている生徒と時々抜く・毎日2食以下の生徒との間にはSOS値に有意差が見られたことを報告している。西田ら（2001）は3～5歳の82名の女兒とその母親の骨密度と食事に関するアンケート調査を実施した。その結果牛乳・乳製品の摂取頻度と骨密度との関連性は認められず、出生後3～5年程度の短期間では食習慣の影響が出にくいことを指摘している。

今回のアンケート調査では「牛乳やチーズ、ヨーグルトなど」「肉や魚」を全く食べないという回答はなかったため、結果的によく食べる群と時々食べる群との比較を行なった。そのため食品群別摂取頻度と骨密度の間にはいずれも有意な相関は認められず、明確な結論は得ら

れなかった。西田ら（2001）の調査も、週当たりの食品群別（牛乳・乳製品、肉類、緑黄色野菜など）摂取頻度と骨密度との関連性というレベルの解析であり、栄養学的な観点から幼児の骨密度の個人差を解明するためには、摂取栄養素の内容に関して、より厳密な解析の方法を検討する必要があると思われる。

2、身体運動と骨密度

児童期以降の子どもは、身体活動を実施することによって骨密度が増加するという研究結果は、既に多くの研究者によって確認されている。三村ら（2005）は中学期・高校期における運動群と非運動群とのSOSの比較を行ない、運動群では男女ともにSOS値が有意に高かったことを報告している。檀上ら（2010）は小学5、6年生538名と中学生339名の運動習慣と骨密度の関係調べている。そして小学生、中学生とも、運動あり群と運動なし群とを比較した場合、男女とも運動あり群の方が有意に骨密度が高かったことを報告している。

幼児期の子どもの骨密度と身体活動との関連性については、測定の高難度や数値自体の信憑性の問題もあり、研究報告例は少ない。西田ら（2001）は幼稚園の女児82名の骨密度とアンケート方式による身体的な活発度を調査している。その結果、日常的に活発な子どもは不活発な子どもと比較して骨密度が有意に高いと述べている。今回の測定では被験者数の関係で、男女一緒に高体力群（ $n=13$ ）、低体力群（ $n=15$ ）の2群に分類し比較したが、大きな差異は認められなかった。この点については今後被験者数を増やすなど、再検討が必要であろう。

既報の研究結果も含めて、同年齢の幼児における骨密度の個人差に着目した場合、かなりの個人差が認められるが、その原因については不明な点が多い。西田ら（2001）は3、4、5歳女児82名とその母親の骨密度を調べ、親子間で有意な正の相関が認められたことから、（少なくとも）幼児期の女児には母親からの遺伝的素因がかなり大きなウェイトを占めていることを指摘している。今回の研究では、幼児の骨密度と体格、運動能力、食事などとの間には相関関係がみられなかった。このような研究結果をまとめると、運動や食品群別摂取頻度の関係で骨密度に個人差が出てくるのは小学校中学年以上からであり、今回測定した6歳時点では食事内容や身体運動の量・強度に起因した骨密度の個人差は現われにくいことが分かった。ただし図10、11で示したように、女児に関しては3園間で骨密度に有意差が認められた。この原因については不明ではあるが、一つの可能性として、日常的な運動遊び環境が影響していることが推察される。すなわちC園は園庭の大部分に段差や斜面があり、骨に対して常に垂直方向の衝撃が加わっていると考えられる。B園は名古屋市内に設置されているため園庭がかなり狭く、測定は行なわなかったが、日常の運動量もA園、C園と比較してかなり少ないと考えられる（図11参照）。

Grimstonら（1993）は平均年齢12.9歳の男女34名について、着地の際の床反力を体重の3倍以上受ける衝撃負荷スポーツ（ランニング、体操、タンブリングなど）の実施者（1回60分、週3回以上実施）と水泳実施者の骨密度を比較している。その結果、大腿骨頸部の骨密度は衝撃負荷スポーツ実施者のほうが有意に高かったことを報告している。さらにCasselら（1996）

は7～9歳の体操競技実施女子では、全身の骨密度が水泳実施女子と一般女子よりも有意に高かったこと、Dysonら(1997)も7～11歳の体操競技実施女子は一般女子よりも全身、大腿骨および腰椎の骨密度が有意に高かったことを報告している。そして宮本と石河(1993)は、発育期に体重を支持することによって床反力を受けるスポーツや筋力を発揮するスポーツを実施することは、骨の発達に有意な影響を与えると述べている。スウェーデンでの小学生を対象とした研究(Detterら、2014; Lindenら、2006)では、小学校低学年(7～9歳)から6年間ないし2年間の運動指導(1日40分、週5回の球技やランニング、ジャンプ)によって、特に女子の大腿骨頸部の骨塩量や骨サイズが有意に増加したことを報告している。したがって、C園の子どもはA、B園の子ども達と比較して日常的に足(脚)に対して衝撃負荷を受ける頻度が高く、その結果男児よりも影響を受けやすい女児の骨密度が高くなったということが推測される。幼児期の子どもの骨密度を高めるためには、日常的な運動量や運動強度に加えて、縦方向の重力負荷など、運動の内容に配慮する必要があると思われる。この点については今後の検討課題である。

文献

- Casell, C., Benedict, M. and Specker, B. (1996) Bone mineral density in elite 7-to-9-yr-old female gymnasts and swimmers. *Med.Sci.Sports Exerc.* 28: 1243–1246.
- 檀上和真、梅田 孝、三宅良輔、大西基喜、工藤 久、久米田桂子、佐藤淳也、中路重之(2010) 小中学生において、運動習慣が体格に及ぼす影響について、*体力・栄養・免疫学雑誌* 20(2): 152–155.
- Detter, F., Rosengren, B. E., Dencker, M., Lorenzon, T., Nilsson, J. A., Karlsson, M. K. (2014) A 6-year exercise program improves skeletal traits without affecting fracture risk: a prospective controlled study in 2621 children. *J. Bone Miner. Res.* 29: 1325–1336.
- Dyson, K., Blimkie, C. J. R., Davison, K. S., Webber, C. E. and Adachi, J. D. (1997) Gymnastic training and bone density in preadolescent females. *Med.Sci.Sports Exerc.* 29: 443–450.
- Grimston, S. K., Willows, N. D. and Hanley, D. A. (1993) Mechanical loading regime and its relationship to bone mineral density in children. *Med.Sci.Sports Exerc.* 25: 1203–1210.
- 廣田孝子、廣田憲二(2014) 食生活と骨粗鬆症、*骨粗鬆症治療* 13(2): 30–35.
- 北野裕大、上田真也、三村達也、三村寛一、安倍恵子(2009) 幼児期における運動能力、活動量および骨密度の関連性について、*体力科学* 58(2): 322.
- 清野佳紀(2006) 骨粗鬆症の予防 1. 小児期からの予防、*The Bone* 20(4): 19–23.
- 黒澤幸男、杉森裕樹、堀 ルミ、窪田 薫、玉沖弘美、工藤弘美、池田佐智子、雄鹿 薫、阿部勝己、浦 清、松本 勝、山内邦昭、米元まり子、磯辺啓二郎(2004) 成長期の骨評価値と peak High Velocity に関する検討 *Osteoporosis Japan.* 12(2)35–41.
- Linden, C., Ahlborg, H. G., Besjakov, J., Gardsell, P., Karlsson, M. K. (2006) A school curriculum-based exercise program increase bone mineral accrual and bone size in prepubertal girls: two-year data from the pediatric osteoporosis prevention (POP) study. *J. Bone Miner. Res.* 21: 829–835.
- 三村寛一、鉄口宗弘、山本威久、中塚喜義、楊 鴻生、新井竜雄、森井浩世(2005) 超音波法による発育期における子どもの骨密度の経年変化、*Osteoporosis Japan* 13(2): 166–169.
- 宮本章次、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.

西田弘之、鷺野嘉映、竹本康史、春日晃章、横山 強、杉浦春雄、中神 勝 (2001) 幼稚園女児の踵骨骨評価値とその関連因子—母親との類似性を中心に—, 民族衛生 67(6): 269-276.

境田雅章、藤井勝紀、梶丸武臣、花井忠征、酒井俊郎 (2007) 幼児の身体組成および骨密度 (SOS 値) の加齢変化と身体組成間の関係, 発育発達研究 35: 1-9.

杉森裕樹、正木基文、中村健一、稲葉 裕、吉田勝美 (1997) 踵骨乾式超音波法 (AOS100) による小児骨量評価の開発と応用, 映像情報 Medical. 29(8): 497-502.

田中弘之 (2007) 骨粗鬆症予防—小児期の重要性—, 日本医師会雑誌 136(2): 307-311.

鳥居 俊 (2006) 子どもの骨密度に関する研究, 成長会誌 12(2): 57-60.

山中良孝、山上恵美、井上 勝、清野佳紀 (2001) 成長期の骨発達と骨代謝, The Bone. 15(6): 17-21.

楊 鴻生 (2012) 特集: 骨密度測定の再考「QUS」, 骨粗鬆症治療 11(1): 19-23.

(受理日 2018年1月6日)