

原 著

小中学生の footprint を用いた扁平足の評価と骨密度との関連

Association between bone mineral density and flatfoot evaluated using footprint analysis among schoolchildren

近藤高明¹, 平野幸伸², 堀容子¹, 鈴木重行¹, 三浦弥生³,
塩沢まゆみ³, 小林あゆみ³, 伊藤美香³, 新宅幸憲⁴

1 名古屋大学医学部保健学科

2 愛知県立循環器呼吸器病センター

3 長野県阿南町民生課

4 大阪成蹊短期大学

Takaaki Kondo¹, Yukinobu Hirano², Yoko Hori¹, Shigeyuki Suzuki¹, Yayoi Miura³,
Mayumi Shiozawa³, Ayumi Kobayashi³, Mika Ito³, Yukinori Shintaku⁴

¹ Nagoya University School of Health Sciences

² Aichi Cardiovascular and Respiratory Center

³ Health and Welfare Section, Anan Town, Nagano Prefecture

⁴ Osaka Seikei Junior College

小児期の代表的な足部変形である扁平足は、大半が靭帯弛緩性を発生要因とするflexible flatfootであり、ほとんどは装具治療を要しない自然矯正の経過をたどる。その関連要因の一つとして骨の成長を指摘できるため、我々は小中学生の骨密度と扁平足の関連性を明らかにするための調査研究を行った。解析対象者は2002年5月に、ある山間自治体の小学校1年から中学校3年までに在籍する小中学生476名のうち、調査に参加し必要なデータが得られた441名（男子211名、女子230名）である。扁平足の判定には、footprint上での内側部接線と外側部接線の交点と第二趾先端部とを結ぶH-lineを用いた。骨密度は前腕部でdual-energy X-ray absorptiometryにより測定した。統計解析は、共変量としての年齢、体脂肪率、平日の運動時間、休日の運動時間で調整された骨密度を従属変数、扁平足の有無を独立変数とする共分散分析を3学年群別に行った。両側ともに扁平足をもつ対象者は、小学生の30%、中学生の18%であり、低学年群ほど割合が高かった。骨密度と扁平足との有意な関連性は、男子では見られなかったが、女子低学年群では扁平足を有する者の骨密度は有意に低かった。結論として、扁平足と骨密度の間には小学校低学年女子で有意な関連性が認められた。

Flexible flatfoot, most of which results from ligamentous hyperlaxity, is one of the foot structure deformities commonly observed among children, and usually takes a course of natural correction, needing no particular treatment with orthoses or corrective shoes. As bone growth is among the factors contributing to improvement of flatfootedness, we investigated schoolchildren for the association of bone mineral density (BMD) with flatfoot. The study sample consisted of 211 boys and 230 girls who was attending the elementary and junior high schools in a mountainous town and fully participated in the survey program conducted in May, 2002. We collected footprints of both feet, from which the H-line was identified by connecting the tip of the second toe and the intersection of the internal surface tangent of the foot and the external one to evaluate flatfoot. BMD of the radius was measured by dual-energy X-ray absorptiometry. In the statistical model predicting BMD, analysis of covariance was applied for 3 grade-based subgroups, with the presence of flatfoot as the independent variable and age, body

fat percentage, weekday exercise hours, and weekend exercise hours as the covariates. Bilateral flatfoot was identified in 30% of the elementary schoolchildren and 18% of junior high schoolchildren, the percentage being higher for the lower graders. No significant association between flatfoot and BMD was observed in boys, while BMD was significantly lower among the lower-grade elementary schoolgirls with flatfoot. In conclusion, a significant association between BMD and flatfoot was found among schoolgirls in the lower grades.

キーワード：扁平足、内側縦アーチ、骨密度、フットプリント、靭帯弛緩性

Key words : flatfoot, medial longitudinal arch, bone mineral density, footprint, ligamentous hyperlaxity

はじめに

二本立位や歩行を行う人間にとって、その大きな躯幹を支え、また歩行時の衝撃を吸収したりアキレス腱に加わる力を効率よくつま先に伝達するための構造として、外側縦アーチ、内側縦アーチ、横アーチの3つのアーチが存在する¹⁻³⁾。通常は単に足のアーチといえれば内側縦アーチを意味し、第1中足骨、内側楔状骨を前脚、踵骨、距骨を後脚とする⁴⁾。この内側縦アーチが低下あるいは消失した状態を扁平足といい、足底全体、またはその大部分が接地することで特徴づけられる。病態に基く分類から、扁平足には先天性足根骨癒合症などによる固定性扁平足 (rigid flatfoot)、Marfan 症候群などの全身異形成に伴うもの、あるいは外傷や神経障害に伴うものも存在するが、大半の扁平足は flexible flatfoot と呼ばれるもので、過剰な靭帯弛緩性 (ligamentous hyperlaxity) を発生要因とする²⁾。

先天異常による足部疾患が少なくなった現代では、扁平足は小児期に見られる代表的な足部変形であり、従来、成長に伴う足跡の変化や扁平足の治療の是非について論じた報告が多く見られる⁵⁻⁸⁾。多数の小児を対象にした footprint による内側縦アーチの調査結果によると、新生児や乳児期には豊富な脂肪組織や靭帯弛緩性のためほとんどの小児は外見上扁平足を呈しているが、その後は足底脂肪組織や靭帯弛緩性が減少するため、内側縦アーチが見られるようになる⁵⁾。また footprint から見ると同じ年代の小児でも、足部形態にはかなりばらつきがある。小児期の扁平足は成長とともに自然矯正され、結果として装具や靴による治療例と無治療例との間に差は見られなかったと報告されている⁹⁾。このような扁平足の改善要因には成長に伴う筋の発達、関節弛緩性の減少の他に、骨性要素による安定化があげられ、これらのどれか一つでも不十分であれば自然矯正は起こらないとされている¹⁾。

ところで骨密度は小児期に著しく増加するが^{10,11)}、

一般健常小児を対象にした足部変型と骨密度との関連性を検討した報告は従来の文献には見あたらない。骨性要因が扁平足の自然矯正に関与しているのであれば、骨密度と扁平足の間にも何らかの関連性が存在する可能性が考えられる。そこで我々は、小中学校の児童・生徒集団を対象に扁平足の有無の判定を行い、骨密度との関連性を分析することを目的に本研究を実施した。

対象と方法

調査の実施地域は、長野県下伊那郡阿南町である。阿南町は長野県南端に位置する人口約6,000人の山間の町であり、小児から高齢者までを対象に平成13年度から阿南町健康な町づくり推進事業「ふっと・ふっとエクササイズ」を実施している¹²⁻¹³⁾。対象者は、調査時点で阿南町の4小学校に在籍する児童316名と、2中学校に在籍する生徒160名の、町内の全小中学生476名である。調査は2002年5月9日～22日に実施された学校健診の機会を利用して、問診、骨密度測定、体脂肪率測定、footprintの採取を行った。問診では、骨折の既往歴、平日と休日の運動時間、乳製品の摂取量、朝食摂取状況を含む質問項目への回答を得た。

骨密度 (g/cm^2) の測定は、ALOKA製骨密度測定装置 (DCS-600EX-I) を用い、非利き手の橈骨に対して前腕長の遠位1/3の位置にてDXA (dual energy X-ray absorptiometry) 法により行った。体脂肪率 (%) はタニタ製体脂肪計 (TBF-215) を用いて、立位にて測定した。Footprintの採取は、新宅らが提唱している方法に準拠した¹⁴⁾。被検者はまずキレート液を浸したウエットスーツ生地の上に5秒間立位保持し、足裏にキレート液を十分付着させた後、その前方に置かれたキレート紙の上に片足ずつ順に移動するよう指示される。そのまま両足を平行に約5cm開脚し、キレート紙上に直立位を保持した後、初めに移動させた足から順に前方に移動させた^{12,14)}。扁平足の有無の判定にはH-line

判定法を用いた¹⁵⁾。これは図1に示すようにfootprintの内足部接線と外足部接線の交点と、第二趾先端部とを結んだラインをH-lineの定義とし、土踏まずの窩みがH-lineより内側にある場合を扁平足と判定する方法である。調査は各小中学校の協力のもとに実施され、保護者からはインフォームドコンセントを得た。最終的に解析に必要なデータが得られた小中学生の数は、441名（男子211名、女子230名）で、参加率は92.6%であった。

扁平足の有無と骨密度との関連性の解析には、統計解析ソフトSPSS 11.0J for Windowsを用い、一般線型モデルにて骨密度の値を従属変数とする共分散分析を行った。交絡補正のための共変量としては、年齢、体脂肪率(%)、平日の運動時間(時間)、休日の運動時間(時間)を連続量のまま用いた。扁平足の有無については、両側とも前述の判定基準を満たした場合にありと判定し、共分散分析での独立変数として扱った。解析実施にあたっては対象者を学年により小学校1-3年(G1)、小学校4-6年(G2)、中学校(G3)の3群に分け、各群毎に関連性を評価した。すべての検定において、 $p < 0.05$ を統計学的有意水準とした。

結 果

表1に解析に用いた変数の値を、学年群毎の平均値で示した。骨密度は高学年ほど明らかに高値であり、図2でもその傾向は明かであるが、男女間で有意な差が見られるのは小学校6年生と中学校1年であり、両者とも女子は男子より高値であった。体脂肪率は、女子で高学年ほど高値を示す傾向が明かであったが、男子ではG2群がもっとも高い値であった。また女子では、平日の運動時間、休日の運動時間も高学年群ほど少ない傾向であるが、男子では学年群との間には関連性がみられなかった。

次いで学年群ごとの扁平足の出現者数を表2に、出現割合を図3に示した。男子で両側とも扁平足をもつ者の割合は、G1群で37%と3分の1以上を占め、G2群で27%、G3群で21%と高学年になるに従って出現率が次第に減少した。女子ではその割合がG1群、G2群とも28%と同率であり、G3群で16%と減少した。

表3には共分散分析の結果を、p valueで示した。また表4には、両側扁平足の有無別の平均骨密度の平均値を、共変量で補正した値で示した。年齢ほどの学年群でも有意な関連要因であり、体脂肪率も男子のG1

群を除いては有意な関連要因であった。また女子のG1群を除いては、平日の運動時間と休日の運動時間ほどの学年群においても有意な関連要因とはいえなかった。男子では扁平足(両側)の有無と骨密度との間に有意な関連性は認められなかったが、女子ではG1群で関連性を認め、扁平足を有する場合は有しない場合より骨密度が低値であった。

考 察

本研究では、footprint上でのH-lineを用いて扁平足の判定を行ったが、同じ方法を用いて日本人大学生を対象に実施した調査結果によると、男子大学生(571名)の15.1%、女子大学生(233名)の6.7%で一側または両側に扁平足が認められている¹⁶⁾。本研究での結果では、両側とも扁平足を有する者の割合は、小学校では30%、中学校では18%であり、さらに少なくともいずれか一側で扁平足を有する者の割合はそれぞれ、47%と33%であった。このように小中学生で扁平足の出現頻度が高い理由として、全身の靭帯弛緩性を基盤とする荷重時のflexible flatfootが、小児では出現しやすいことがあげられる¹⁾。また乳幼児期では足底の豊富な脂肪組織のためほとんどの小児は外見上扁平足を有するが、年齢の上昇とともに靭帯弛緩が改善し、また脂肪組織が減少することで土踏まずの形成が進むことから、足底の脂肪組織量の多寡もfootprintにより判定される扁平足の出現に関与しているといえる。また本研究は、小学校の低学年では女子の扁平足出現率が男児より明らかに低いことを示している。その説明としては、先行研究で明らかにされているように、4-5歳の幼児期には女子は男子より足跡の形成、特に土踏まずの形成が早く発達することが影響していると考えられる¹⁴⁾。

これまでH-lineの妥当性を直接検討した報告は見当たらないが、基準としての明確さや簡便さが、本報告でH-lineを判定基準に用いた理由である。一方、footprintによる扁平足の程度の判定方としては、足底中足部の幅の後足部の幅に対する比(Staheli Index)を用いることが提唱されており⁵⁾、この比はX線画像上のアーチ立体構造と有意な関連を有していることが報告されている¹⁷⁾。これに対し、H-line判定法はX線画像との比較が行われておらず、今後の更なる検討が必要であるが、専門的な知識を必要とせず定規により容易に計測できる簡便な方法であること、X線画像と

比較し安価、非侵襲的であること、さらにfootprintは荷重時の足裏の形状を観察できることなどの有用性が挙げられる。臨床的には扁平足はX線画像、臨床症状、足の形状などから総合的に診断されているが、多数を検査対象とする場合には本法のような簡便な測定手法が適していると考えられる。

小児期の扁平足の大部分を占めるflexible flatfootは成長とともに自然矯正され、矯正用の装具や靴の装用は改善経過に影響を与えないばかりか⁹⁾、児に不快感を与え自尊心を阻害するという報告が見られる⁸⁾。しかしながら内側縦アーチが低下した状態では、前足部あるいは中足部への足底圧が正常足と比較して増加することが報告されており^{7,18)}、高齢者を対象にした以前の研究では、扁平足は肥満度とは独立して足裏の疲労や痛みの訴えと有意な関連性を持つことが明らかにされている¹⁹⁾。小児においても扁平足を有する児には易転倒や下肢痛などの症状を訴える場合が少なくないという指摘があり²⁰⁾、予防医学的観点から、小児の扁平足の関連要因を明らかにする意義が認められる。そこで今回我々は、骨の成長が小児扁平足の自然矯正の重要な一要素であるという指摘に鑑み、骨密度と扁平足の関連性を分析するにいたった。その結果、男子では両者の間に関連性は認められなかったが、女子では有意な関連性がみられ、特に小学校1-3年生の低学年女子群においてその関連性が明確に示され、扁平足を有する女子では、有さない女子より骨密度が低値であった。なお表には示されていないが、扁平足の判定基準を「一側または両側に扁平足がある場合」と変えて解析を行ったところ、女子のG1群でのみ骨密度と有意 ($p = 0.022$) な関連性が認められ、まったく同じ結果が得られた。

新宅らが4-5歳の幼児を対象に行った調査によれば、立ち幅跳びや連続片足跳びといった瞬発力と脚筋力を要素とする運動能力は、土踏まず面積との間に関連性を持つことが明らかにされている¹⁴⁾。この報告に照らし合わせて考えるならば、扁平足を有する児童は相対的に運動能力が低いいため運動刺激による骨へのストレスレベルも低くなり、結果的に骨の発達に遅延が生じているという機序が示唆される。しかし本研究は断面調査であるため、扁平足と骨密度との関連性を因果関係で説明することはできない。別の機序としては、骨密度は骨組織だけではなく筋や靭帯など足のアーチ形成にも関与する骨格系全体の発達を反映する指標であ

るため、扁平足の有無との関連性を示す結果となって現れている可能性が考えられる。いずれの機序を関連性の説明と採用するにせよ、この学年群においては骨密度を増すような運動刺激などの生活習慣への介入が、足部の内側縦アーチの形成という現象として現れる可能性が示唆された。また女子のこの学年群では、平日の運動時間が他の要因とは独立した扁平足との関連要因であることも本研究結果で示されており、このことから骨成長にとっての日常的な運動習慣の重要性が明らかである。なお男子や女子高学年群で骨密度との関連性が認められなかった理由としては、これらの集団においては、筋や靭帯、脂肪組織など骨以外の要因の扁平足への関与が相対的に大きいためと考えられる。

結 語

小中学生を対象に、footprintによる扁平足の判定と骨密度の測定を実施し、両者の関連性を分析した。小学生では30%、中学生では18%に両側での扁平足が見られ、低学年ほど高出現率であった。また小学校低学年の女子では、扁平足を有する場合、有意に骨密度が低かった。

謝 辞

調査にご協力下さった阿南町小中学校生徒の保護者の皆様、阿南町役場民生課の職員の皆様、および阿南町小中学校の職員皆様に謝辞を申し上げます。

文 献

- 1) 和田郁雄, 杉村育生, 寺澤 貴志, 他. 小児の足部変形に対する治療の現況 小児外反扁平足. 整形・災害外科 2001; 44: 815-923
- 2) 和田郁雄, 小児整形外科 下肢外反扁平足. NEW MOOK整形外科 2004; 15: 154-170
- 3) 梶原俊英. 特集 足と健康足の不思議. 明治生命厚生事業団 News Letter 2000; 47: 2-3
- 4) 井口傑, 扁平足をどう診るか? 日本医事新報 2003; 4153: 33-36
- 5) Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. J Bone Joint Surg Am 1987; 69: 426-428
- 6) Forriol F, Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. Foot Ankle 1990; 11: 101-104

- 7) Aharonson Z, Arcan M, Steinback TV. Foot-ground pressure pattern of flexible flatfoot in children with and without correction of calcaneovalgus. *Clin Orthop Relat Res* 1992; 278: 177-182
- 8) Staheli LT. Planovalgus foot deformity. Current status. *J Am Podiatr Med Assoc* 1999; 89: 94-99
- 9) Wenger DR, Mauldin D, Speck G, et al. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am* 1989; 71: 800-810
- 10) 長村敏生, 大野邦彦, 船木秀則, 他. 健常小児の全身骨密度の評価 dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) による測定. *日本小児科学会雑誌* 1993; 97: 2116-2123
- 11) 田中弘之, 成長・発達期の骨量測定. *Clin Calcium* 2000; 10: 1678-1682
- 12) 長野県阿南町民生課および名古屋大学医学部公衆衛生学編. 平成13年度健康な町づくり推進事業 足裏下肢の健康調査解析事業報告書 2002
- 13) 長野県阿南町編. 健康な町づくり推進事業 ふつと・ふつとエクササイズー足からの健康ー 2003
- 14) 新宅幸憲, 野崎泰彰, 山形修, 他. 幼児期における足跡と運動能力について (第2報). *大阪成蹊女子短期大学研究紀要* 1994; 31: 125-133
- 15) 原田硯三, 斎藤とみ子, 足からの健康づくり. 東京: 中央法規出版 1997: 33-36
- 16) 山崎信寿編. 足の事典. 東京: 朝倉書店 1999: 62-63
- 17) Kanatli U, Yetkin H, Cila E. Footprint and radiographic analysis of the feet. *J Pediatr Orthop* 2001; 21: 225-228
- 18) Ledoux WR, Hillstrom HJ. The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. *Gait Posture* 2002; 15: 1-9
- 19) 大塚礼, 八谷寛, 三浦弥生, 他. 地域在住高齢者における扁平足と足の自覚症状,及び肥満との関連. *日本公衆衛生雑誌* 2003; 50: 988-998
- 20) 和田郁雄, 加藤文之, 堀内統, 他. 子どもの足の健康 小児外反扁平足. *チャイルドヘルス* 2004; 7: 896-904

図1 フットプリントによる H-line の描線

H-line は内足部接線と外足部接線の交点と第二趾先端部とを結んだライン。

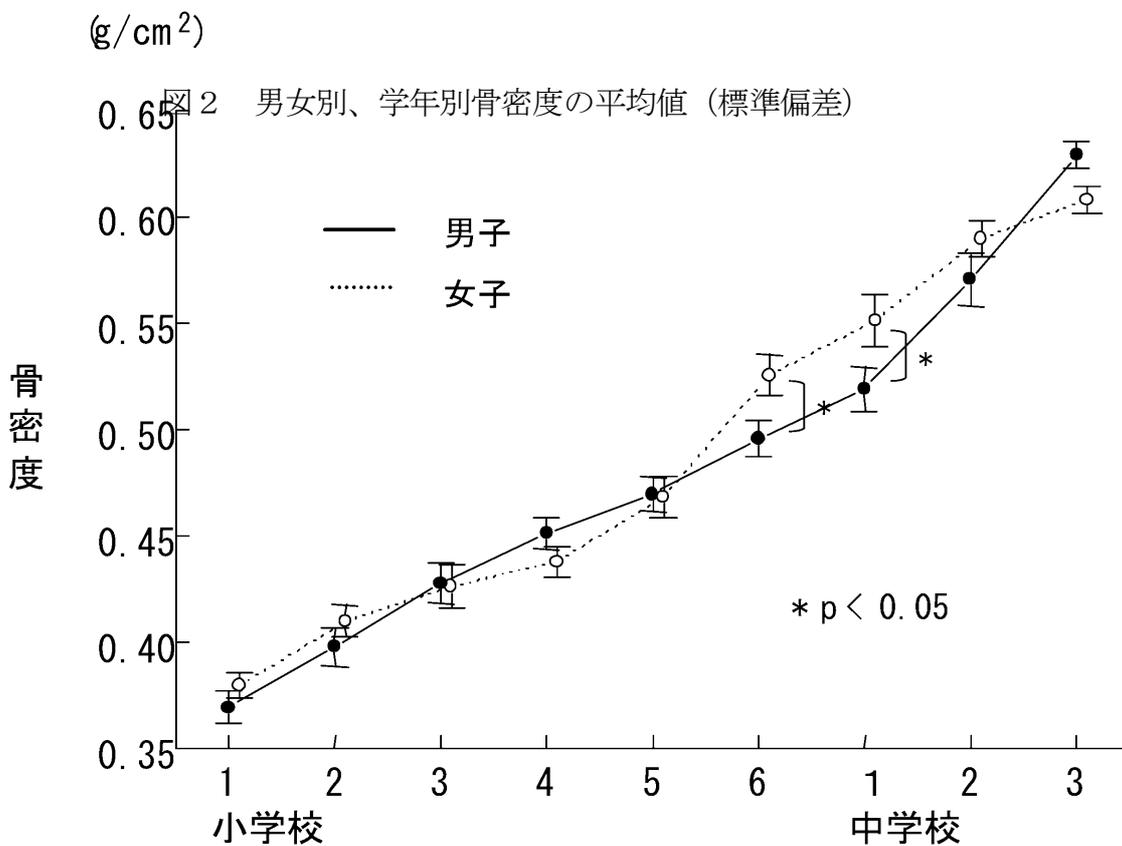
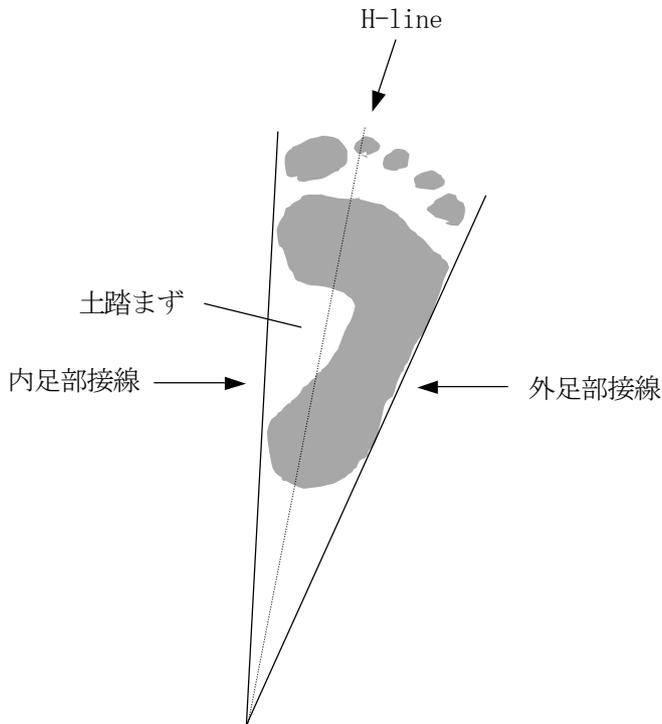


図 3 性別学年別の扁平足出現割合

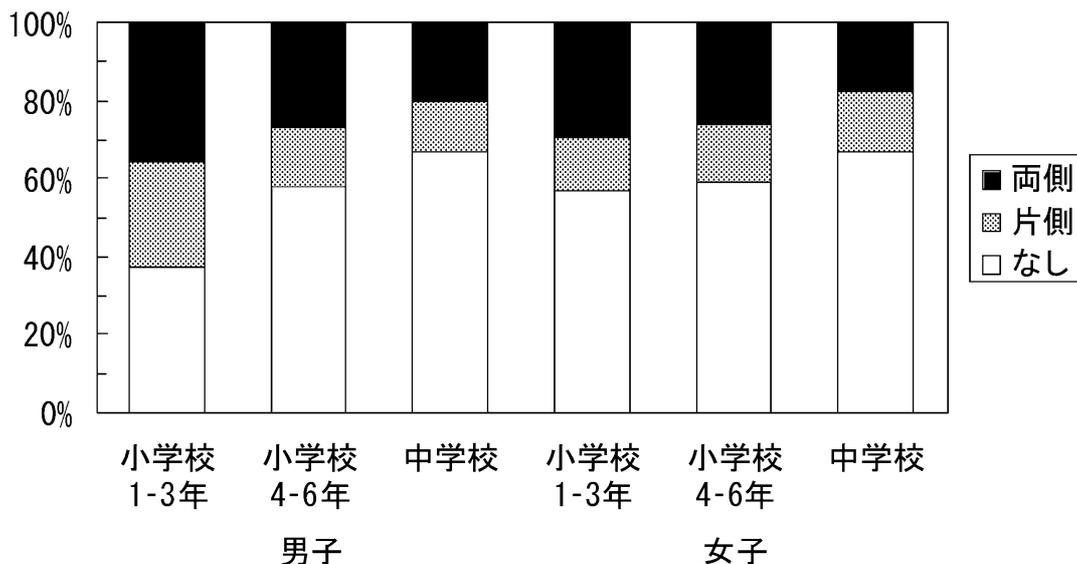


表 1 男女別、学年郡別の測定特性の平均値

	男子			女子		
	小学校 1-3年 (n=65)	小学校 4-6年 (n=75)	中学校 (n=71)	小学校 1-3年 (n=78)	小学校 4-6年 (n=75)	中学校 (n=77)
骨密度 (g/cm ²)	0.399	0.474	0.570	0.403	0.473	0.580
体脂肪率 (%)	16.2	18.2	16.7	14.6	19.1	24.0
平日の運動時間 (時間)	3.4	3.1	3.3	3.4	2.7	2.4
休日の運動 (時間)	3.2	3.2	3.4	3.6	2.7	2.0

表 2 対象者の性別学年別の扁平足出現数

性別	学年	扁平足			計
		なし	片側	両側	
男子	小学校 1-3年	23	18	24	65
	小学校 4-6年	44	11	20	75
	中学校	47	9	15	71
女子	小学校 1-3年	45	11	22	78
	小学校 4-6年	44	10	21	75
	中学校	52	13	12	77

表3 共分散分析を用いた骨密度に対する各共変量と両側扁平足の有無の効果 (p value)

	男子				女子			
	全男子	小学校 1-3年	小学校 4-6年	中学校	全女子	小学校 1-3年	小学校 4-6年	中学校
年齢 (歳)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001
体脂肪率 (%)	0.15	0.065	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002
平日の運動時間 (時間)	0.54	0.25	0.090	0.16	0.16	0.039	0.25	0.39
休日の運動時間 (時間)	0.54	0.18	0.37	0.96	0.80	0.61	0.68	0.91
両側扁平足の有無 [†]	0.90	0.21	0.71	0.20	0.047	0.016	0.37	0.87

† 二値をとる母数効果として扱い、他の変数は連続値をとる共変量とした

表4 両側扁平足の有無別の骨密度平均値 (g/cm²)

両側扁平足	男子				女子			
	全体	小学校 1-3年	小学校 4-6年	中学校	全体	小学校 1-3年	小学校 4-6年	中学校
あり	0.484	0.390	0.471	0.591	0.477	0.389	0.466	0.583
なし	0.485	0.404	0.475	0.569	0.490	0.408	0.477	0.585

† 年齢、体脂肪率、平日の運動時間、休日の運動時間で補正後の平均値