

# 学童の骨発育についての研究

——超音波による骨密度測定——

永野 君子・餅 美知子

## 目 的

学童期は、最大骨密度を維持獲得する出発点として重要な骨形成期である。骨密度は10歳代前半から増加傾向が見られ、17～18歳にかけて最大値に達することが報告されている<sup>1)</sup>。この基盤として10歳以下の領域における骨密度変化が極めて重大である。成長期の骨密度は、osteoporosis 発症予防のファクターとして重大な役割を果たしていると考えられるが、広田の報告<sup>2)</sup>では、若年女子19～25歳の年代で骨密度には大きな個人差が存在しており、最低値は最高値の50%以下の状況である。また、人口の高齢化とともにosteoporosisは、高齢者のQOLを阻害する要因となり、その予防対策が急がれている。一方、学童の負傷発生件数では、骨折が増加傾向にあり憂慮されており<sup>3)</sup>、成長過程における骨発育の評価は重要視されているがその検討は少ない。長嶺等<sup>4)5)</sup>の小・中学生を対象としたレントゲンによる手指骨の骨密度測定、10歳以上の学童を対象として、骨密度と食生活、運動等との関連を見た報告があるが<sup>6)</sup>、健全な10歳以下の学童期を通して、骨発育を縦断研究した報告は見られない。本研究は、学童期における正常な小児の骨密度を継続的に測定し、食生活、運動習慣について検討を加え、骨発育の状態と骨折の関係を明らかにし、保健対策の資料とすることを目的としている。

本報告では、奈良県内の学童を対象に、超音波測定値を用いて、体格、各種生活要因との関連を検討し、若干の知見を得たので報告する。

## 方 法

### 1. 調査対象及び時期

対象は、奈良県下の小学校、公立2校、私立1校の学童6歳～12歳、969名（男子414名、女子555名）を対象とした。平成9年、平成10年の5月～6月に、各校で行われる発育測定に合わせて実施した。実施に当たっては、教育委員会、保護者とのコンセンサスを得た後に実施した。対象者は骨折経験を含む学童である。本報では、私立1校505名を対象として実施した骨密度測定および体位測定の分析結果を報告する。

## 2. 測定項目および測定方法

骨密度測定：非侵襲的で安全性の高い超音波骨密度測定装置（Achilles, Lunar 社）を用い、利き手側の踵骨を測定した。得られた超音波伝導速度（SOS： Speed of Sound： m/s），透過後の超音波減衰係数（BUA： Broadband Ultrasound Attenuation）を測り，SOS と BUA から算出される骨強度（Stiffness）を骨密度の指標とした。測定に際して，足サイズ 22 cm 未満の者には，機器添付の補助板を使用した。

身長，体重は定法により測定し，握力計で利き手の測定を行った。体脂肪および除脂肪量は，体脂肪測定器（TBF-1000, TANITA 社）により測定した。

## 3. 解析方法

カテゴリー別に単純集計を行った後，男女別，学年別 Stiffness 値の平均値 $\pm$ 1 SD を cutting point として，Stiffness 値高値群，標準域群，低値群の 3 群に分け，それぞれ比較検討を行った。1 年間の測定値の変化は上昇率で分析し検定を行った。統計解析に STATISTICA を使用し，群間の平均値の比較は t 検定または対応のある比較検定を行った。Stiffness 値は 20 歳 aged matching point である。

## 結 果

体位測定結果：身長，体重等男女の測定値を Table 1, Table 2 に示した。身長は年間平均女子 6 cm，男子 5.5 cm の伸びで，女子の 5 年と 6 年の差は大きく 8.1 cm であった。体重は 6 年間で男子 16 kg，女子 20 kg の増加であるが（Figure 1），平成 9 年度国民栄養調査<sup>7)</sup>の同年齢測定値と比較すると男女ともやや数値は小さい。身長が高くなるとローレル指数の数値は小さくなるが，女子は変化が見られず，男子は低学年で高く 6 年生は最も小さい数値であっ

**Table 1** The attribute of the research of object

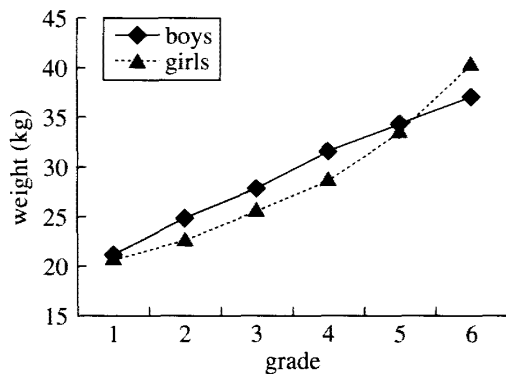
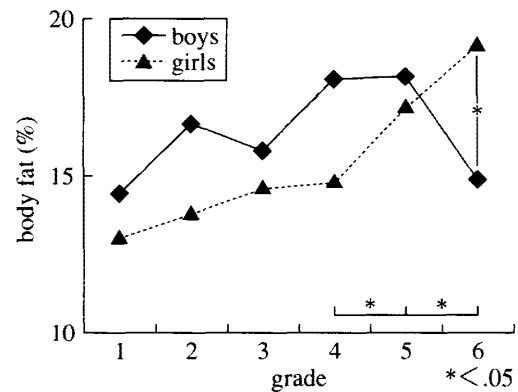
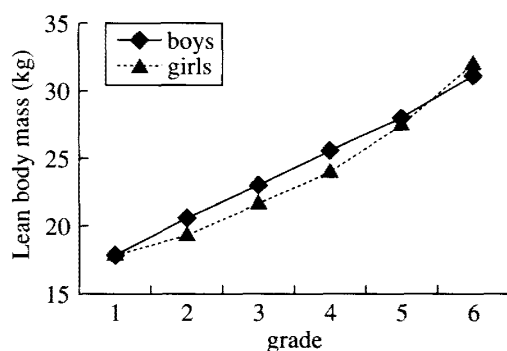
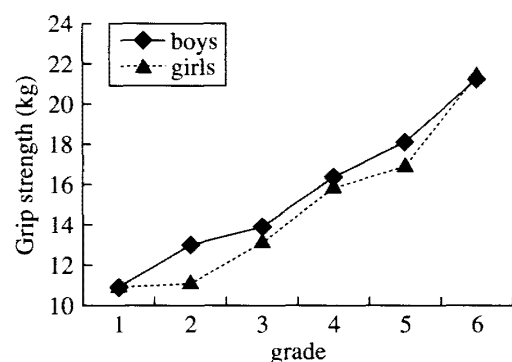
	grade	n	Height(cm)	Weight(kg)	Rohrer Index	Body fat(%)	Lean body(kg)
boys	1	30	118.7 $\pm$ 6.26	21.0 $\pm$ 2.85	125.7 $\pm$ 11.03	14.4 $\pm$ 2.73	17.9 $\pm$ 2.24
	2	32	122.8 $\pm$ 4.43	25.0 $\pm$ 4.61	134.2 $\pm$ 17.13	16.7 $\pm$ 4.13	20.7 $\pm$ 3.01
	3	29	127.7 $\pm$ 6.50	27.7 $\pm$ 6.10	131.7 $\pm$ 17.80	15.8 $\pm$ 4.91	23.1 $\pm$ 4.12 *
	4	32	133.7 $\pm$ 5.07	31.6 $\pm$ 5.96	130.0 $\pm$ 16.75	18.1 $\pm$ 6.44	25.6 $\pm$ 4.10
	5	28	138.9 $\pm$ 5.99	34.3 $\pm$ 6.10	127.4 $\pm$ 18.54	18.2 $\pm$ 5.05	27.9 $\pm$ 4.56
	6	32	145.2 $\pm$ 7.39	36.9 $\pm$ 6.00	116.9 $\pm$ 14.23	14.9 $\pm$ 4.68	31.3 $\pm$ 4.89
girls	1	57	117.5 $\pm$ 4.88	20.8 $\pm$ 2.59	128.0 $\pm$ 12.84	13.5 $\pm$ 3.42	18.0 $\pm$ 1.82
	2	53	121.5 $\pm$ 5.11	22.8 $\pm$ 3.59	126.5 $\pm$ 11.41	13.8 $\pm$ 3.99	19.5 $\pm$ 2.31
	3	56	127.2 $\pm$ 3.96	25.7 $\pm$ 3.24	125.1 $\pm$ 13.65	14.6 $\pm$ 3.99	21.9 $\pm$ 1.88 *
	4	54	133.1 $\pm$ 5.41	28.6 $\pm$ 5.49	120.7 $\pm$ 14.77	14.8 $\pm$ 4.81	24.1 $\pm$ 3.19
	5	52	140.3 $\pm$ 5.51	33.6 $\pm$ 5.04	121.7 $\pm$ 15.60	17.2 $\pm$ 5.16	27.7 $\pm$ 3.19
	6	50	148.4 $\pm$ 6.60	40.5 $\pm$ 8.39	120.7 $\pm$ 11.63	19.2 $\pm$ 5.31	32.3 $\pm$ 4.65

\*p<0.05

**Table 2** Bone density, Foot length & Grip strength

	grade	n	Stiffness	SOS (M/S)	BUA (dB/MHZ)	Foot length (cm)	Grip strength (kg)
boys	1	30	68.5±5.67	1545.1±14.09	83.7±5.58	18.5±1.19	10.9±2.60
	2	32	71.4±9.50	1543.6±16.81	89.0±9.79	19.3±0.79	13.0±2.79
	3	29	70.7±6.39	1537.6±12.61	90.4±6.80	19.7±1.24	13.9±2.84
	4	32	73.8±7.76*	1539.8±13.47	94.1±8.39	20.7±1.16	16.5±2.92
	5	28	77.2±6.71	1545.1±14.21	97.1±5.93	21.7±1.28	18.2±3.53
	6	32	82.7±7.93	1555.1±15.55	101.1±7.20	22.4±1.19	21.3±3.86
girls	1	57	64.0±6.91	1535.8±12.72	80.7±7.28	18.0±0.99	10.7±2.00
	2	53	66.2±7.05	1540.7±14.97	82.7±9.16	18.5±0.94	11.0±2.09
	3	56	68.3±7.42	1535.9±15.00	87.5±6.49	19.7±0.984	13.1±2.56
	4	54	* 75.0±6.83*	1545.6±15.71	93.5±5.776	20.4±1.01	15.9±2.86
	5	52	* 74.7±8.77	1542.6±20.97	94.4±6.18	21.4±0.95	17.0±3.25
	6	50	* 82.7±8.71	1554.7±17.12	101.2±8.55	22.4±1.04	21.6±4.25

\*p&lt;0.05

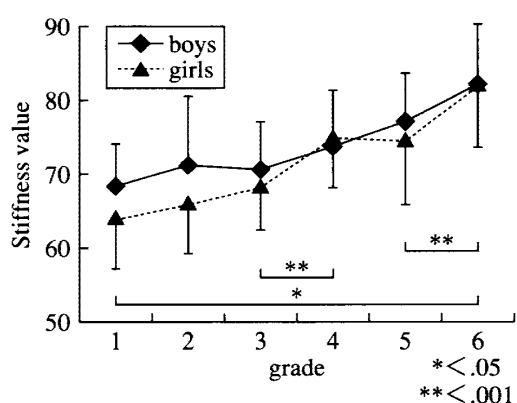
**Figure 1** Weight of the grade**Figure 2** Percent body fat**Figure 3** Lean body mass of the grade**Figure 4** Grip strength of the grade

た。Figure 2 に体脂肪率の平均値をプロットした。男女の上昇傾向は大きく異なり、女子は4年生以上で有意な伸びを示すが、男子は5年から6年生は下降するパターンであった。6年生では男女で4 kg の違いが見られ、女子は有意に高い値を示した。体位測定で性差の見られ

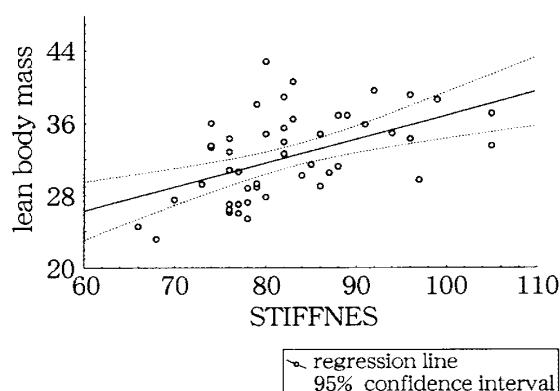
**Table 3** The correlation coefficient of physic and bone mineral density in the grade

grade	boys							girls						
	Height	Weight	Rohrer Index	percent body fat	lean body mass	foot length	grip strength	Height	Weight	Rohrer Index	percent body fat	lean body mass	foot length	grip strength
1								0.31*	0.31*			0.31*		0.28*
2														
3	0.4*	0.46*			0.49*				0.44*	0.36*	0.38*	0.42*		
4		0.37*						0.47*						
5						0.39*								
6		0.49*			0.58*			0.44*		0.35*	0.5*	0.33*	0.46*	

\*:  $p < 0.05$



**Figure 5** Stiffness value



**Figure 6** Scatter diagram of Stiffness and Lean body mass (6 grade girls)

たのは6年生の脂肪率だけであった。除脂肪は男女同じ上昇傾向を示した (Figure 3)。筋力の指標となる<sup>8)</sup>握力は (Figure 4)，1年生と6年生では10 kgの有義の差が認められた。2年生で男女の開きがあるものの，他の学年はほとんど男女同じ数値で上昇している。奈良県の10歳，11歳の体力診断テスト結果 (握力) と比較すると，今回の測定対象者は男女ともわずかながら高い値を示した。身長，除脂肪量，ローレル指数，握力で，男子の漸増傾向の数値が女子に比べてやや高値を示した。

骨密度測定結果：Stiffness 値の学年別平均値をプロットすると (Figure 5)，有義な上昇が観察され，6年生 (12歳) は aged mached 83% で男女同じ数値であった。1年生，2年生の低学年では，男子が高い傾向にあり，4年生，6年生では男女同じ傾向を示している。女子の3年生と4年生，5年生と6年生で有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。

Table 3 に Stiffness 値とパラメータで有意の相関が認められた項目を示した。男子は4項目，女子は7項目で有意な相関が認められ，女子6年生では，体重，体脂肪率，除脂肪，足サイズ，握力の5項目で，骨密度との間に有意な正の相関が認められた。2年生は骨密度との有意な関連は認められなかった。

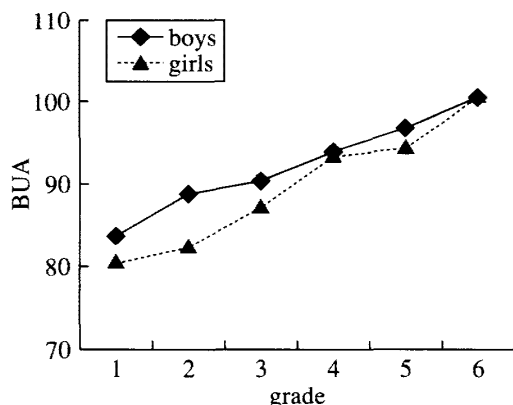


Figure 7 BUA of the grades

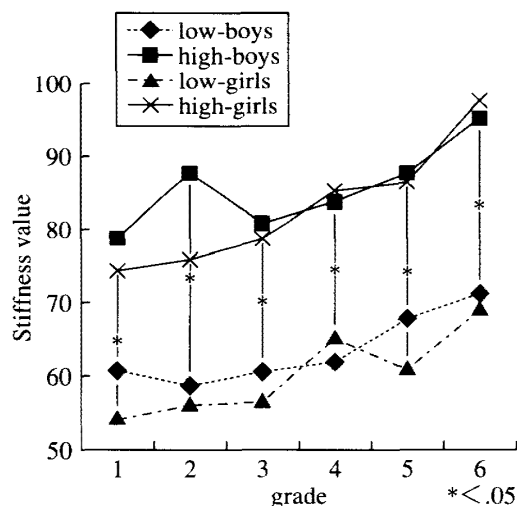


Figure 8 Stiffness value of high and low group

Table 4 Rising rate of the physical measurement (boys)

(%)

grade	n	Height	Weight	Percent body fat	Lean body mass	Foot length	Grip strength	Stiffness
1~2	30	5.1±0.65	11.0±3.43	-8.8±11.40	12.5±2.83	2.9±3.55	1.6±19.66	-0.7±13.00
2~3	32	4.9±0.65	15.3±6.37	6.3±16.59	13.8±5.15	3.1±2.35	-1.4±16.72	-4.1±12.76
3~4	29	4.3±0.52	12.4±4.14	11.6±12.64	10.0±3.08	5.4±2.98	-2.6±16.85	1.9±12.69
4~5	32	4.4±1.50	13.3±6.75	1.9±16.07	12.8±6.27	5.0±3.05	0.5±14.55	0.7± 9.75
5~6	28	4.5±1.21	13.4±5.75	3.1±18.73	12.2±6.59	4.7±2.88	5.0±16.84	-0.2± 6.83

Table 5 Rising rate of the physical measurement (girls)

(%)

grade	n	Height	Weight	Percent body fat	Lean body mass	Foot length	Grip strength	Stiffness
1~2	57	4.7±0.93	11.1±5.57	6.5±17.18	10.4±3.10	3.9±3.63	1.4±22.36	-0.3±19.44
2~3	53	5.1±0.89	13.1±7.32	6.1±12.66	12.4±3.45	5.2±3.43	11.1±24.93	3.3±13.85
3~4	56	5.1±1.10	12.5±4.60	9.6±10.54	9.0±11.76	5.7±2.26	-0.7±12.61	6.8±12.64
4~5	54	5.1±2.58	15.5±14.81	12.1±23.07	13.7±9.92	3.5±15.06	-5.1±27.03	-1.5± 9.17
5~6	52	5.3±0.99	16.1±6.02	13.6±20.67	13.1±4.77	4.3±3.36	4.9±20.44	6.0±10.35

学年間で差の最も大きかった 6 年生女子の Stiffness 値と除脂肪はほぼ正の直線上の回帰を示し、骨密度の高い者は除脂肪が高い傾向が認められた (Figure 6)。

骨の構造が複雑、緻密化して強度が増すと数値が大きくなるパラメータである BUA は、男女類似した伸びを示しているが、本研究では男女間の有意差は認められなかった (Figure 7)。

Figure 8 に、Stiffness 値の平均値±1 SD で群分けした高値群と低値群の Stiffness 値を示した。各学年男女とも両群間に有意差が認められた。両群の構成比は、各学年ほぼ同数で全体の 10~15% を占めていた。最も差の大きいのは男子 2 年生であった。

1年間の推移：1年経過の結果を対前年度比の上昇率で Table 4, Table 5 に示した。身長は、男女とも 5～6% の推移であるが、体重は、女子 4～5 年生、5～6 年生の推移が 15～16 % と大きい。Stiffness 値は、学年により違いがみられ、女子 3～4 年生、5～6 年生は 6% の上昇率であったが、男子 1～2 年生、2～3 年生、5～6 年生、女子 1～2 年生、4～5 年生は 1988 年の測定で低い値を示した。体位、Stiffness 値の 1 年間の推移には有意差は認められなかった。

## 考 察

超音波伝導法はその安全性、簡便性の点で小児期の低骨密度群のスクリーニングに有用であると考えられている。測定部位の踵骨は加重骨であり、90～95% は海綿骨から成り立っている。踵骨部は骨代謝の変化に鋭敏であると同時に、発育期の全身骨の状態をよく反映していると考えられる。1年間の推移で Stiffness 値の低下が見られたことは、成長に伴う海綿骨の密度の変化が推測される。成長期では身体の発育や、第二性徴発来など複数の要因が骨代謝に相互に影響を与えている可能性が考えられ、第二性徴の骨代謝への影響は、男子より女子に顕著に現れており、女子では 9 歳から骨発育のスパートが見られることが報告されているが<sup>8)</sup>、今回の調査結果においても同様の傾向が見られた。本研究では骨密度の上昇が見られる 1 年前に体重の増加傾向が見られることが分析結果で明らかとなった。学童期の骨はカルシウム沈着による骨硬化が未熟なため、外力に対して変形、骨折を起こす可能性は高い。骨折は転倒による場合がほとんどで、部位は上肢、下肢、鎖骨に多くみられる。骨折を起こしやすい学童の体型は、肥満傾向より若干骨が細い傾向にあるやせ型傾向の者が多く骨折経験者は過去に骨損傷のある者が高い<sup>9)</sup>。骨折は単一の要因だけが関与するのではなく、児童の total な生活習慣として現れたときにいくつかの要因が影響するものと考えられる。この観点より、日常生活において骨折を防ぐための配慮が必要となってくる。骨が作られ発育していくためには、食生活面でカルシウム、リンなどの無機質が重要な役割を果たす<sup>10)</sup>と同時に Stiffness 値影響因子として、体格指数 (BMI)、年齢、運動継続年数、月経が考えられる。低体重を必要としない運動種目等に学童期から参加させる意味は大きく<sup>11)</sup>。運動による膝関節への物理的加重で骨形成を促進し、踵骨の Stiffness 値を高めることになる。

学童期における骨量測定は、骨形成への意識を高め、より高い骨量獲得に有効な一つ的手段として継続性を持たせることが望ましい。本調査結果を踏まえ、引き続き同一対象について成長に伴う骨密度の時系列変化を観察する計画である。

## 要 約

横断研究として正常な成長期学童の骨密度を測定し、男女で増加傾向に違いのみられることが知られたが、今後、頻回骨折予防への取り組みの上で、発育測定にあわせた定期的な実施方

法の検討が重要課題と考えられる。

1. **Stiffness** 値は、1 年 2 年生では男子が高い傾向にあったが、6 年生では男女同じ値に上昇した。
2. 踵骨の超音波測定法で得られた **BUA** 及び **stiffness** 値の最高値は男女とも 6 年生であった。
3. 体重、体脂肪率は 5 年生から 6 年生へかけて女子が男子より高値を示した。
4. **Stiffness** 値とパラメータでは、女子で有意の相関が認められる項目が多く、特に 6 年生が著しい。
5. **Stiffness** 高値群と低値群ではすべての学年で、男女とも **Stiffness** 値に有意差が認められた。

本研究を行うに当たり、ご高配下さいました奈良県郡山保健所主幹大前利一氏、および測定にご協力いただいた小学校教職員奈良県学校栄養職員松田仁氏に深く感謝いたします。本論文要旨は、2nd AsianCongress of Dietetics (Seoul), 第 44 回, 第 45 回日本栄養改善学会(福岡, 福島), で発表した。

本研究は平成 10 年度, 平成 11 年度帝塚山学園特別研究費の援助を受けて行った。

#### 文 献

- 1) 広田孝子他：小児・成長期の栄養・運動と骨粗鬆症，臨床栄養，**81**(7)，768-774, 1992
- 2) 広田孝子他：思春期・青年期女子における腰椎ならびに大腿骨近位部の骨密度に影響を及ぼす因子について，平成 5 年度厚生省心身障害研究報告：96-98, 1994
- 3) 文部省：平成 9 年度学校保健統計調査報告，1998
- 4) 長嶺晋吉他：日本人学童の骨密度と栄養摂取状態に関する研究．栄養学雑誌，**34**(6)：251-256, 1976
- 5) 山川喜久江他：就学前児童における骨密度と栄養摂取状態に関する研究，栄養学雑誌，**34**(6)257-261, 1976
- 6) Williams, D. E. and Samson, A. : *J. Am. Diet. Assoc.*, **36**, 462 (1960)
- 7) 厚生省：国民栄養の現状，平成九年国民栄養調査結果，第一出版：142-145, 1999
- 8) 松岡尚史：日本人小児の骨成熟の特性に関する研究，日本小児科学会誌，**98**(7)，1364-1373, 1994
- 9) 小野三嗣：小児の骨折，医歯薬，1996
- 10) Metz BA, Anderson, et al : Intakes of calcium, phosphorus, and protein, and physical-activity level are related to radical bone mass in young adult women. *Am J Clin Nutr* **58**, 537-542, 1993
- 11) 福岡秀興他：学童期小児の骨代謝に及ぼす運動効果の検討，平成 4 年度厚生省心身障害研究，88-90