

# 小児期における超音波法を用いた腹部体脂肪分布と身体組成の関係

## The relationship between abdominal fat distribution and body composition by ultrasonography in childhood

加藤 玲 香

### I 緒言

現在、内臓脂肪蓄積を評価する方法としてCT法やMRI法による直接的な画像診断法が最も有効とされているが<sup>1,2)</sup>、被験者が多数の場合や小児を対象とした測定は困難である。そこで、内臓脂肪蓄積の有効な簡便法として超音波法が利用されている。Suzukiら<sup>3)</sup>は、腹膜前脂肪厚 (preperitoneal fat tissue thickness, mm ; Pmax) と腹壁皮下脂肪厚 (subcutaneous fat tissue thickness, mm ; Smin) を測定し、Pmax/Smin比がX線CT法による内臓脂肪面積 (V) /皮下脂肪面積 (S) 比と高い相関を示すことを報告している。また、Pmax値は単独で用いてもCT法の内臓脂肪面積と正の相関を示し、代謝性疾患との関連も高いことが明らかにされている<sup>4,5)</sup>。

小児肥満を対象とした超音波法による研究は、腹膜前脂肪厚と血清インスリン値との間に有意な相関関係があり、肥満小児の代謝異常をスクリーニングする体脂肪分布評価法の一つとして利用可能であるとされている<sup>6)</sup>。しかし、肥満小児以外の多数の被験者を対象とした研究はほとんど行われておらず、発育に伴う個体差なども十分に検討されていないのが現状である。

成人肥満と同様に、小児肥満も多くの合併症を伴い、成人期へトラッキングする傾向にあることから、小児肥満の早期スクリーニングとメタボリックシンドロームを予防する対策の一つとして、小児の内臓脂肪蓄積の評価は重要である。しかし、発育段階にある小児が対象であるため、非侵襲的で短時間に評価できる方法が必要とされる。

そこで本研究は、2歳から7歳までの小児を対象

に、腹部超音波法による腹壁皮下脂肪厚 (Smin) と腹膜前脂肪厚 (Pmax) の測定、および人体計測値と身体組成の測定を行い、小児のPmaxと身体組成の関係性を明らかにすること、小児の脂肪分布の傾向を明らかにするため、体型による脂肪蓄積の差異を検討することを目的とした。

### II 対象と方法

#### 1 被験者

被験者は2歳から7歳までの健康な小児365名 (男児178名、女児187名) であった。測定に際し、被験者の保護者および通園している保育園に対して十分な説明を行い、インフォームドコンセントを得たものについてのみ測定を実施した。

測定は、室温23±1℃の環境下で、朝食後2時間以上経過し排尿した後に、園指定のランニングパンツのみを着用させた状態で、熟練した同一被験者により測定を行った。

#### 2 人体計測、皮下脂肪厚および身体組成の測定

人体計測は一般的な方法によった。身長は0.1cm単位、体重は0.02kg単位で記録し、周径囲は腹囲 (臍直上部) および臀囲 (臀部最大突出部) をスチール製メジャーを用いて0.1cm単位で測定した。Body Mass Index (BMI) は体重/身長<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)、Waist Hip比 (WHR) は腹囲/臀囲として算出した。また、内臓脂肪型肥満を評価する人体計測値として、腹囲/身長比 (W/Ht)<sup>7,8)</sup>、体重/身長×WHR (Wt/Ht×WHR)<sup>9)</sup>を算出した。

皮下脂肪厚の測定は、キャリパーの接点に10g/mm<sup>2</sup>の一定圧がかかるようにキャリブレーションされたHarpender皮下脂肪厚計を用いて、0.2mm単位で身体14部位を測定し、Komiyaら

10)の方法により皮下脂肪量 (SFM, kg) を推定した。

身体組成の測定は、10Vp-p, 50kHz, 500  $\mu$ A の定電流を発生するインピーダンス測定器 (BIA; トーヨーフィジカル社製 TP-95K) を用いたインピーダンス法で実施した。被験者は通電しないベッド上に上肢を体幹から離し、素足で両足首の内果を 20cm 以上離れた状態で仰臥した。その被験者の右手背と右足背の第 1・第 2 の中手骨および中足骨間の 2 箇所にあース電極を、右手首の豆状骨突起間と右足首内果と外果の中間部の 2 箇所に検出電極を貼付した。本測定器は測定前に 400  $\Omega$  の標準抵抗によってキャリブレーションした。電極部分の抵抗値をできるだけ小さくするために、電極は貼付部分をアルコールを含ませた脱脂綿で拭き、自然乾燥させた後貼付した。電極は 3M 社の Red Dot™-2330 を使用し、あース電極と検出電極の距離は少なくとも 5cm 以上離れた。測定したインピーダンス値 ( $\Omega$ ) より Masuda ら 11) の推定式を用いて体水分量 (TBW,  $l$ ) を算出し、Fomon ら 12) による年齢別の水と定数を用いて除脂肪量 (FFM, kg) を算出した。総体脂肪量 (FM, kg) は、体重と FFM の差とし、FM から SFM を減じて体内深部脂肪量 (IFM, kg) を算出した。除脂肪量指数 (FFMI) は除脂肪量 (FFM) / 身長<sup>2</sup> ( $kg/m^2$ )、脂肪量指数 (FMI) は脂肪量 (FM) / 身長<sup>2</sup> ( $kg/m^2$ ) で算出した。

### 3 超音波による腹壁皮下脂肪厚と腹膜前脂肪厚の測定

超音波検査は、アロカ社製 SDD-500 を用い、Suzuki ら 3) の方法に従って測定を行った (図 1)。被験者を仰臥位で寝かせ、軽く呼吸を止めることで肝表面と皮膚表面とを平行な状態にさせ、リニア型プローブ (5MHz) を用いて胸骨剣状突起から臍に向かって縦方向にスキャンさせた。プローブは皮膚表面に対してできるだけ圧がかからないように軽くスキャンさせた。画像より、皮膚表面から白線部までの最も薄い部分を腹壁皮下脂肪厚 (Smin, mm)、白線から肝臓までの最も暑い部分を腹膜前脂肪厚 (Pmax, mm)、また腹膜前脂肪厚/皮下脂肪厚を Abdominal Wall Fat Index (Pmax/Smin) とした。

超音波法による指標の性別、年齢別の平均値とその推移を検討するため、性別年齢別 BMI%ile を用いて標準的な小児 (25th%ile 以上 75th%ile 未満、男児 92 名、女児 95 名) を抽出し、2-4 歳群、5-7 歳群に群分けして検討を行った。また、これらの関係性に対する体型差の影響を検討するため、BMI25th%ile 以下の痩せ傾向と BMI75th%ile 以上の肥満傾向の小児との比較を行った。

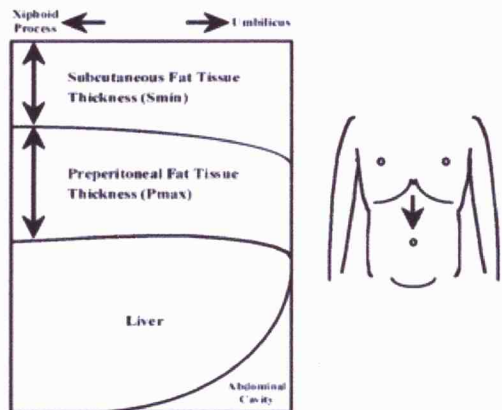
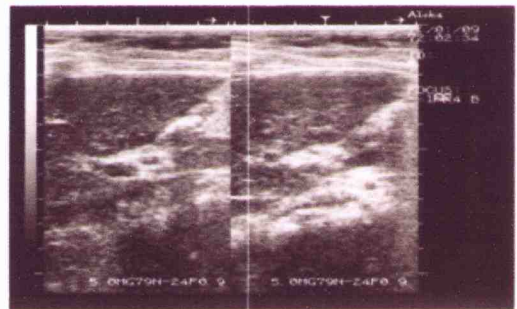


図 1 超音波法による腹部画像と図解

### 4 統計処理

統計処理は、Microsoft Excel 2007 および Statcel 2 を用いて行った。結果は、平均値  $\pm$  標準偏差で示した。測定変数の群間および性差の検討には Student の対応のない t 検定を、Pmax と身体組成の検討にはピアソンの相関係数を用いた。体格差は Scheffe の F 検定を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

### III 結果

#### 1 年齢群別の身体特性、身体組成および Pmax 値と Smin 値

表 1、表 2 は被験者の身体特性と身体組成を示し

ている。BMI については女兒で年齢差がなく、FFMI および FMI は男女ともに年齢差が認められなかった。IFM は男児では有意な年齢差が認められなかったが、女兒は有意差が認められた。性差は、身体組成項目は 5-7 歳群の臀囲で、身体組成項目は 2-4 歳群の IFM, BSA, 5-7 歳の BSA 以外で有意な差が認められた。

表 3 には、年齢群別の Pmax 値および Smin 値を示した。男児はすべての項目で年齢差が認められなかったが、女兒は Pmax と Smin でそれぞれ有意差が認められた。性差は、5-7 歳群の Pmax, 2-4 歳群, 5-7 歳群の Smin, 2-4 歳群の Pmax/Smin 比でそれぞれ有意差が認められた。

表 1 年齢群別の身体特性

Age Difference	Boys		Girls		Sex Difference	
	2-4yr	5-7yr	2-4yr	5-7yr	2-4yr	5-7yr
	p		p		p	p
n	44	48	49	46		
Age(yr)	3.2±0.8	5.5±0.7	3.2±0.7	5.6±0.8		
Ht(cm)	98.1±7.3 ***	112.2±6.0	96.3±6.6 ***	112.2±5.3	n.s.	n.s.
Wt(kg)	15.10±2.17 ***	19.15±2.19	14.42±2.05 ***	19.29±1.88	n.s.	n.s.
W(cm)	47.4±2.5 ***	49.6±0.5	47.5±3.1 ***	50.4±1.9	n.s.	n.s.
H(cm)	50.9±3.1 ***	56.2±2.6	51.2±3.0 ***	57.4±2.3	n.s.	*
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	15.60±0.44 ***	15.18±0.49	15.46±0.42 n.s.	15.29±0.41	n.s.	n.s.
WHR	0.93±0.05 ***	0.88±0.04	0.93±0.04 **	0.88±0.03	n.s.	n.s.
W/Ht	0.48±0.03 ***	0.44±0.02	0.49±0.02 ***	0.45±0.02	n.s.	n.s.
Wt/Ht×WHR	14.28±1.01 **	15.02±1.11	13.82±1.19 ***	15.09±0.89	n.s.	n.s.

表 2 年齢群別の身体組成

Age Difference	Boys		Girls		Sex Difference	
	2-4歳	5-7歳	2-4歳	5-7歳	2-4yr	5-7yr
	p		p		p	p
n	44	48				
FM(kg)	3.08±0.88 **	3.57±0.89	3.48±0.84 ***	4.45±0.71	*	***
FFM(kg)	12.01±1.65 ***	15.58±1.09	10.94±1.36 ***	14.84±1.57	***	*
TBW(l)	9.12±1.15 ***	11.82±1.24	8.44±1.05 ***	11.24±1.25	**	*
FFMI	12.44±0.70 n.s.	12.36±0.50	11.76±0.44 n.s.	11.76±0.55	***	***
FMI	3.24±0.72 n.s.	3.00±0.80	3.69±0.58 n.s.	3.80±0.60	***	***
SFM(kg)	1.15±0.34 **	1.48±0.56	1.37±0.51 ***	1.85±0.69	*	**
IFM(kg)	1.93±0.75 n.s.	2.09±0.80	2.11±0.67 ***	2.60±0.67	n.s.	**
BSA(cm <sup>2</sup> )	6198.99±696.98 ***	7528.86±641.28	6001.72±647.80 ***	7588.61±560.12	n.s.	n.s.

表 3 年齢群別の腹膜前脂肪厚と腹壁皮下脂肪厚

Age Difference	Boys		Girls		Sex Difference	
	2-4yr	5-7yr	2-4yr	5-7yr	2-4yr	5-7yr
	p		p		p	p
Pmax(mm)	3.61±1.01 n.s.	3.67±1.00	3.43±0.90 ***	4.30±1.12	n.s.	**
Smin(mm)	4.31±0.65 n.s.	4.28±0.67	4.80±1.28 *	5.37±1.48	*	***
Pmax/Smin	0.85±0.24 n.s.	0.87±0.28	0.74±0.22 n.s.	0.83±0.26	*	n.s.

## 2 Pmax と身体組成の相関関係

表 4 は、Pmax と身体組成項目の相関関係を示している。ほとんどの項目で Pmax と正の相関が認

められた。FM(男児 r=0.535, 女児 r=0.540), SFM(男児 r=0.523, 女児 r=0.571) などの脂肪量に関連する項目は相関係数が比較的高い結果となった。FFMI は男児で相関が見られず、女児では相関が認められたものの、他の項目より低い相関係数を示した (p<0.001, r=0.267)。

表 4 Pmax と身体組成項目の相関関係

	Boys		Girls	
	p	r	p	r
Ht	***	0.325	***	0.353
Wt	***	0.484	***	0.531
H	***	0.498	***	0.565
BMI	***	0.413	***	0.441
FM	***	0.535	***	0.54
FFM	***	0.379	***	0.455
TBW	***	0.36	***	0.454
FFMI	n.s.	0.119	***	0.267
FMI	***	0.465	***	0.423
SFM	***	0.523	***	0.571
BSA	***	0.425	***	0.463
Smin	***	0.429	***	0.343
P/S	***	0.777	***	0.679

## 3 Pmax と内臓脂肪指標の相関関係

表 5 は、Pmax と内臓脂肪指標の相関関係を示している。男女ともに W/Ht で相関がなく、女兒の WHR は負の相関を示した (p<0.05)。腹囲, Wt/Ht × WHR, IFM は Pmax と高い相関があり、Wt/Ht × WHR は中でも優れた相関関係を示した (男児 r=0.468, p<0.001, 女児 r=0.520, p<0.001)。

表 5 Pmax と内臓脂肪指標の相関関係

	Boys		Girls	
	p	r	p	r
W	***	0.455	***	0.518
WHR	n.s.	-0.13	*	-0.16
W/Ht	n.s.	0.078	n.s.	0.08
Wt/Ht × WHR	***	0.468	***	0.52
IFM	***	0.35	**	0.227

## 4 体格別の腹膜前脂肪厚と腹壁皮下脂肪厚

表 6 は BMI%ile で分類した体格別の Pmax 値と Smin 値で、図 2, 図 3 はそれらを図示したものである。男児において Pmax は 2-4 歳群では体格差が認められないが、5-7 歳群では肥満傾向の値が著しく高くなる結果となった。Smin は、全ての群で痩せ傾向、標準体格、肥満傾向の順に数値が高くなる傾向があり、有意な体格差が得られた。

表 6 体格別の腹膜前脂肪厚と腹壁皮下脂肪厚

	Pmax, mm			Smin, mm		
	<25th%ile	25th%ile-75th%ile	75th%ile<	<25th%ile	25th%ile-75th%ile	75th%ile<
<b>Boys</b>						
2-4yr	n 21	44	21	21	44	21
	3.28±1.00 n.s.	3.61±1.01 n.s.	3.60±0.92	3.83±0.53 *	4.31±0.65 **	4.84±0.66
5-7yr	n 22	48	22	22	48	22
	3.45±0.79 n.s.	3.67±1.00 **	5.11±1.93	3.72±0.46 *	4.28±0.67 ***	5.51±1.19
<b>Girls</b>						
2-4yr	n 24	49	24	24	49	24
	3.61±0.75 n.s.	3.43±0.90 *	4.92±1.12	4.26±0.64 n.s.	4.80±1.28 **	5.76±0.79
5-7yr	n 22	46	22	22	46	22
	3.72±1.09 *	4.30±1.12 **	5.32±1.83	4.16±0.64 ***	5.37±1.48 n.s.	6.04±1.70

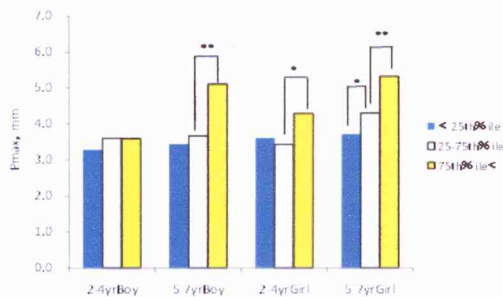


図2 体格別のPmax値

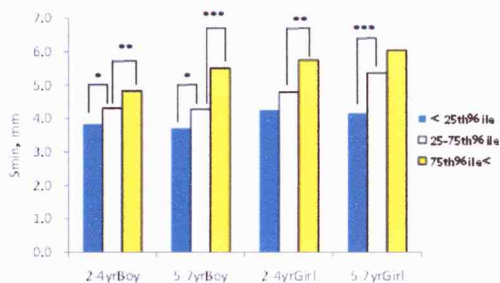


図3 体格別のSmin値

#### IV 考察

本研究は、腹部内臓脂肪蓄積の測定法として、簡便で非侵襲的な方法であり、成人を対象に広く行われている腹部超音波法を用いた腹膜前脂肪厚 (Pmax) および腹壁皮下脂肪厚 (Smin) について、ほとんど明らかにされていない小児を対象に測定を実施した。

本研究と同様に腹部超音波法で内臓脂肪蓄積を検討した齋藤ら<sup>9)</sup>は、幼児群 (4-6歳) の Smin 値の平均値を、男児 5.7mm、女児 4.4mm、小学生低学年群 (7-9歳) で、男児 6.1mm、女児 5.5mm であったと報告しており、本研究の結果 (2-4歳群男児 4.31mm、女児 4.80mm、5-7歳群男児 4.28mm、女児 5.37mm) もほぼ同値を示した。Pmax 値は、齋藤ら<sup>9)</sup>の結果 (幼児群男児 1.2mm、女児 1.2mm、小学生低学年群男児 1.9mm、女児 1.5mm) より本研究 (2-4歳群男児 3.61mm、女児 3.43mm、5-7歳群男児 3.67mm、女児 4.30mm) はやや高い数値を示した。一方、原ら<sup>13)</sup>は、Pmax 値に関して、4-6歳群では男児 2.6mm、女児 2.4mm、7-9歳群では男児 2.9mm、女児 3.2mm という値を報告している。本研究の Pmax 値は、それらの研究に比べて若干高い数値を示したが、本研究の被験者は BMI

分布の標準的な体格の小児 (BMI25th%ile 以上 75th%ile 未満) を評価した結果であるため信頼できる値である。この Pmax 値の差は、被験者の抽出する方法の差の影響があったと考えられる。加藤ら<sup>14)</sup>は、BMI%ile を用いて標準的な体格の小児の Pmax 値と Smin 値を検討しており、その Pmax 値は 2-3歳群男児 3.4±1.1、女児 3.5±1.0、4-5歳群男児 3.5±0.8、女児 4.1±1.1、6-7歳群男児 4.0±1.2、女児 4.6±1.2 と報告しており、本研究は近い数値を示す結果となった。

また、本研究は、BMI25th%ile 以下の痩せ傾向小児と 75th%ile 以上の肥満傾向小児の Pmax 値と Smin 値の比較も行っている。2-4歳男児では Pmax 値の体格差はなかったが、その他の群では肥満傾向小児の Pmax 値、Smin 値ともに痩せ傾向小児や標準的な体格小児より高い値を示し、その傾向は Smin 値で明らかであった。これは小児の肥満度の増大には皮下脂肪の過剰蓄積が影響しているとする Goran ら<sup>15)</sup>の結果を裏付けるものであった。また、5-7歳群で男女ともに肥満傾向小児の Pmax 値が高い数値を示したことより、この年齢頃から肥満小児の内臓脂肪蓄積が顕著になりはじめることが示唆された。

Pmax と身体組成は、ほとんどの項目で相関があり、小児の発育とともに Pmax が増加することが明らかとなった。Pmax と内臓脂肪指標の相関関係は、5項目中 (腹囲、WHR、W/Ht 比、Wt/Ht×WHR、IFM) 3項目 (腹囲、Wt/Ht×WHR、IFM) で正の相関が認められ、Wt/Ht×WHR が Pmax と最も相関が高いことが明らかとなった。Pmax と WHR に相関がないことについては、小児期には年齢や身長によって正常値が変化するため相関がないと考えられる。このことより、WHR は小児の内臓脂肪指標としては適さないことが示唆された。W/Ht 比は、小児期メタボリックシンドロームの診断に含まれており、0.5以上が診断基準となっている。しかし、本研究は男女ともに相関関係が認められず、内臓脂肪蓄積のスクリーニングとして W/Ht を単独で使用すると、診断されない可能性が示唆された。

現在、小児肥満は、この 20 年間にその割合が 2

倍から3倍に増加し、児童期の子どもの約10%が肥満小児であることや<sup>16)</sup>、小児期肥満が成人期肥満へ持続すること<sup>17,18)</sup>、また合併症の発症が低年齢化していることなども報告されている<sup>19)</sup>。小児期における肥満度の増大は、皮下脂肪の蓄積だけでなく、内臓脂肪の蓄積にも起因することが考えられ、本研究における標準体格小児の腹部超音波法による腹膜前脂肪厚(Pmax)は、今後この年齢期のリファレンス・データとなりうる。また、Pmaxと内臓脂肪指標(腹囲、Wt/Ht×WHR、IFM)との関係も高く、内臓脂肪蓄積のスクリーニングにこれらの指標が活かすことができるものであると示唆された。腹囲やWt/Ht×WHRは人体計測値のみで算出することができるので簡便であり、CT法やMRI法などのように長時間の静止状態を維持する必要もないため、小児の内臓脂肪評価には有効な方法である。しかしこれらの内臓脂肪指標だけでは、体脂肪の分布までは評価ができず、やはり直接的な画像法による内臓脂肪評価が必要である。このことをふまえて、幼稚園や学校現場などでの超音波法を導入した腹部体脂肪分布の診断が理想的ではあるが、CT法やMRI法などより超音波法は比較的安価ではあるものの、機械が高価であることや、超音波測定には熟練した験者が必要であることなどから導入は困難であるように思われる。今後は超音波法による小児のデータ数を増やし、内臓脂肪量や皮下脂肪量を算出できる式を考案していくことが重要課題である。

## V 参考文献

- 1) Seidell JC, Bakker CJ, van der Kooy K : Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution a comparison between computed resonance. *Am J Clin Nutr*, 1990, 51 : 953-957.
- 2) Ross R, Leger L, Guardo R, et al. : Adipose tissue volume measured by magnetic resonance imaging and computerized tomography in rats. *J Appl Physiol*, 1991, 70 : 2164-2172.
- 3) Suzuki R, Watanabe S, Hirai Y, et al. : Abdominal wall fat index, estimated by ultrasonography, for assessment of the ratio of visceral fat to subcutaneous fat in the abdomen. *Am J Med*, 1993, 95 : 309-314.
- 4) 田所直子, 村野俊一, 稲寺秀邦ほか : 超音波法による内臓脂肪蓄積の指標と冠動脈狭窄との関連—腹膜前脂肪厚(P-fat)の臨床的意義. *動脈硬化*, 1995, 22 : 653.
- 5) Tadokoro N, Murano S, Nishida T, et al. : Preperitoneal fat thickness determined by ultrasonography is correlated with coronary stenosis and lipid disorder in non-obese male subjects. *Ins J Obes*, 2000, 24 : 502-507.
- 6) 斎藤恵美子, 原光彦, 田村幸子ほか : 正常体格児における腹壁皮下脂肪厚および腹膜前脂肪厚の性差年齢差について—腹部超音波法を用いて. *肥満研究*, 2004, 10 : 292-296.
- 7) 坂本静夫, 中嶋佳子, 飯島俊彦 : 肥満指標としてのウエストあるいはウエスト/身長比の有用性—内臓脂肪面積との関連性. *肥満研究*, 2004, 10 : 37-40.
- 8) Hseih SD, Yoshinaga H, Muto T : Waist-to-height ratio, a simple and practical index for assessing central fat distribution and metabolic risk in Japanese men and women. *Int J Obes Relat Disord*, 2003, 27 : 610-616.
- 9) 大蔵倫博, 重松良祐, 田中喜代次ほか : 簡便な身体計測値を組み合わせた内臓脂肪面積の新たな評価指標の提案. *肥満研究*, 1999, 5 : 23-28.
- 10) Komiya S, Muraoka Y, Zhang F-S, et al. : Age-related changes in body fat distribution in middle-aged and elderly Japanese. *J Anthro Soc Nippon*, 100 : 161-169.
- 11) Masuda T, Komiya S : A prediction equation for total body water from bioelectrical impedance in Japanese children. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 2004, 23 : 35-39.
- 12) Fomon SJ, Haschke F, Ziegler EE, et al. : Body composition of reference children from

birth to age 10 years. *Am J Clin Nutr*, 1982, 35 : 1169-1175.

- 13) 原光彦, 斎藤恵美子, 黒森由紀ほか: 腹部超音波法を用いた小児内臓脂肪蓄積の評価. *肥満研究*, 2006, 12 : 164.
- 14) 加藤玲香, 寺本圭輔: 小児期における超音波法を用いた腹部体脂肪分布の評価. 第35回東海学校保健学会大会, 2007.
- 15) Goran MI, Driscoll P, Johnson R et al. Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children. *Am J Clin Nutr*, 1996, 63 : 299-305
- 16) 中村泰三: 子どもの生活習慣病. *子どもと発育発達*, 2003, 1 : 94-99.
- 17) Kotani K, Nishida M, Yamashita S, et al. : Two decade of annual examinations in Japanese obese children : Do obese children grow into obese adult? *Int J Obes*, 1997, 21 : 912-921.
- 18) Power C, Lake JK, Cole TJ : Measurement and longterm health risk of child and adolescent fatness. *Int J Obes*, 1997, 21 : 507-526.
- 19) 大関武彦: 小児の肥満症. 日本肥満学会編集委員会編: 肥満・肥満症の指導マニュアル. 東京, 医歯薬出版, 2001 : 160-173.