

## 骨 成 長 に 与 え る 運 動 の 影 響

鈴木 覚\*・井川正治\*・北 博正\*

(昭和 58 年 1 月 17 日受理)

### Influence of Exercise on Bone Growth

By Satoru SUZUKI, Shoji IGAWA  
and Hiromasa KITA

This study was carried out to clarify the effect of exercise and sucrose administration on the growth and bone strength of rats. Following results were obtained:

- 1) The value of femur strength was larger in running group than that of less running group.
- 2) The value of femur strength was larger in the group of the low concentration of sucrose than that of the high concentration of sucrose.

#### 緒 言

児童の骨折件数は、昭和 41 年度で 40,140 件 (総負傷件数 186,780 件) であったのが、昭和 53 年度には 82,600 件 (総負傷件数 344,380 件) と 2 倍強の増加を示している<sup>1)</sup>。骨折を多く起こす年齢について武藤<sup>2)</sup>らの報告によると、昭和 45 年度から昭和 52 年度までの 7 年間に治療を受け骨折と診断された 18 才以下の症例から、11~12 才 (15.3%) が最も多く、また 4~6 才にも比較的高い頻度でみられたことを示している。しかし、佐野<sup>3)</sup>は成人に比べ、児童の骨折のみが増加しているとは考えにくく、全傷害に対する骨折の比率でみると従来の資料と変わっていないと述べている。

骨折の発生は、種々の因子が複合的に作用することが考えられる。その骨折を起こす一因子として、偏食や運動不足による体力の低下があげられる<sup>4)</sup>。骨折を起こした児童・生徒は、偏食傾向の者が多く<sup>5)</sup>、主となる食料 (肉、魚、野菜類) の摂取が少なく、間食 (糖分が多量に含まれている菓子類、嗜好飲料) の摂取が多いと考えられる。

運動が骨組織に及ぼす影響として、Vaughan は<sup>6)</sup>、骨格を生理的状态に保つためには大きな条件の一つとして、それらにかかる物理的な力の重要性をあげている。

Milos ら<sup>7)</sup>は、運動と骨成長に関して、Wistar 系、雄ラットを用い週間、トレッドミル 7 運動を負荷し、骨

の長さを計測した結果、対照群との間に 1% の有意差があり、運動群は対照群に比べて大腿骨の骨長が長かったと報告している。一方、運動は大腿骨の発育を阻害するという報告もなされている<sup>8,9)</sup>。

骨中に含まれるカルシウムとリンの測定において、佐々木<sup>10)</sup>は、骨の無機成分中の 11.5~25.0% はカルシウムで、5.6~14.0% はリンでできており、カルシウムとリンの重量比は 2.00~2.20 くらいであると報告している。

以上から明らかなのは、児童の骨折件数の増加、児童の骨折の一要因としては、体格 (身長、体重) の向上、運動不足による体力 (筋力面) の低下があげられ、さらに偏食傾向 (特に、砂糖分の多量摂取) が考えられる。

そこで、本研究は、実験動物を用い、大腿骨の発育と力学的強度および骨中の無機成分 (カルシウム、リン) に注目し、運動とシヨ糖投与がそれらに与える影響をみようとした。

#### 実験方法

実験動物は、Wistar 系、雄ラット、20 匹 (平均体重: 125 g, 5 週令) を用い、無作為に以下の 4 群に分け 5 週令から飲料水のシヨ糖濃度をかえて与えた。

A 群: 5 匹 (シヨ糖なし)、B 群: 5 匹 (10% シヨ糖溶液)、C 群: 5 匹 (20% シヨ糖溶液)、D 群: 5 匹 (30% シヨ糖溶液)

\* 大学院体力学研究室

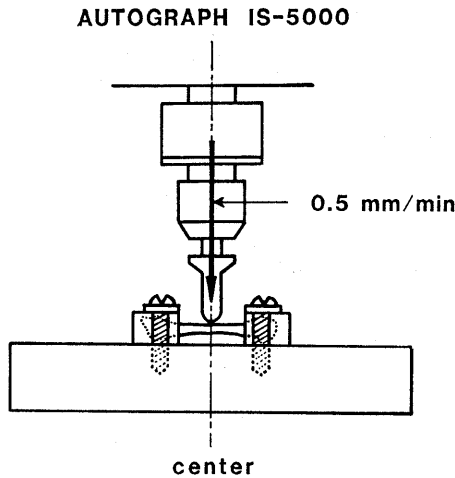


図1 曲げ強度試験法

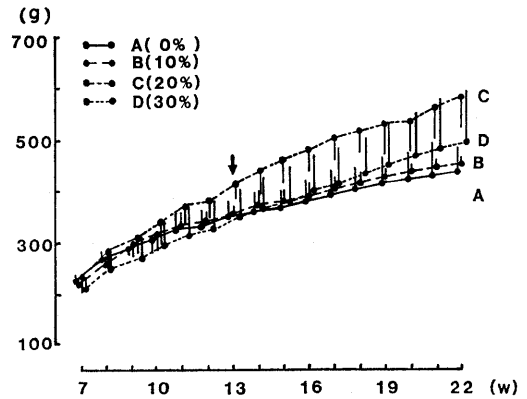


図2 各群別の体重の経時変化

表1 各群における各測定項目ごとの値

	体重 (g)	大腿骨長 (mm)	最大曲げモーメント (kg.mm)	総摂取カロリー (kcal)	飼料中からのカルシウム摂取量 (g)	飲料水中からのショ糖摂取量 (g)	骨中1g当りのカルシウム含量 (g)	骨中1g当りのリン含量 (g)	カルシウムとリンの重量比	
A群 (0%)	1	431	39.4	42.8	78.8	0.16	0	0.316	0.197	1.6
	2	532	39.8	48.5	92.8	0.19	0	0.358	0.229	1.6
	3	370	38.4	62.2	96.6	0.20	0	0.278	0.294	1.0
	4	448	37.7	52.9	79.8	0.16	0	0.576	0.170	2.2
	5	411	38.0	57.2	67.9	0.14	0	0.395	0.166	2.4
	$\bar{x}$	438.4	38.60	52.7	83.2	0.17	0	0.385	0.211	1.76
S.D	59.86	0.852	7.52	11.6	0.02	0	0.1157	0.0527	0.49	
B群 (10%)	1	439	37.8	66.2	94.9	0.09	13.3	0.375	0.144*	2.6
	2	441	37.8	64.0	101.9	0.11	11.9	0.524	0.172	3.1
	3	449	39.2	60.9	88.0	0.08	12.8	0.328	0.164	2.0
	4	466	38.7	52.5	94.1	0.10	11.4	0.266	0.155	1.7
	5	467	38.9	48.6	95.3	0.09	13.0	0.321	0.134	2.4
	$\bar{x}$	452.4	38.48	58.4	94.8	0.09	12.5	0.363	0.154	2.35
S.D	13.48	0.646	7.67	4.9	0.01	0.8	0.0981	0.0152	0.54	
C群 (20%)	1	508	38.7	52.3	109.4	0.08	17.6	0.328	0.221	1.5
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	554	38.5	56.4	98.5	0.05	18.2	0.498	0.143	3.5
	4	618	31.8	57.2	107.7	0.07	18.2	0.375	0.158	2.4
	5	639	38.2	56.4	104.0	0.08	16.6	0.296	0.172	1.7
	$\bar{x}$	579.8**	38.40	55.6	104.9*	0.07**	17.7**	0.374	0.174	2.28
S.D	59.96	0.275	2.22	4.8	0.01	0.8	0.0887	0.0338	0.74	
D群 (30%)	1	466	37.5	51.4	106.6	0.05	20.5	0.388	0.227	1.7
	2	496	37.5	57.4	109.8	0.06	19.9	0.456	0.200	2.3
	3	591	39.0	46.1	106.9	0.08	16.8	0.296	0.151	2.0
	4	351	35.9	64.8	77.7	0.03	15.9	0.350	0.211	1.7
	5	574	37.4	43.4	105.1	0.05	20.6	0.281	0.168	1.3
	$\bar{x}$	495.6	37.50	56.6	101.2	0.05	18.7	0.354	0.212	1.80
S.D	96.22	1.097	8.66	13.3	0.02	2.2	0.0172	0.0312	0.34	

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

飼料は、固型飼料MF (オリエンタル酵母) を用いた。飼料と飲料水は、自由摂取とした。室温は、25°C に設定し、飼育室におけるラットの生活リズムは午前9時から午後9時までを電灯にて照明し、明期とする明暗周期を採用した。飼育は、各群1匹ずつ水車型自発運動器付き2連式ケージ (縦 27 cm, 横 34 cm, 高さ 34 cm) を使用した。

自発運動量は、ラットが水車型自発運動器 (直径 31.8 cm, 幅 10 cm, 1周 1 m) を1回転させるごとに運動器の水平軸に連結した5桁のカウンターにより毎日記録した。

飼育期間は、7週令から22週令までとし、その間、週4回、飼料・飲料水摂取量を容器重量差から求めた。体重は、週1回、同じ曜日に測定した。

飼育期間後、ラットをエーテル麻酔下で開腹し、腹部

大動脈より放血、屠殺し、右大腿骨を摘出した。大腿骨は、附着する筋肉組織等を除去し、骨重量および骨長 (遠位骨端部: 膝蓋面の顆間窩最底部と大腿骨頭わきの大転子頂点間を結ぶ長さ) を計測し、力学的曲げ強度 (図1) を測定した。

その後、大腿骨の一部を乾燥秤量し、マッフル炉 (ヤマト科学 K.K. 製: FM-25 型) を用い、600°C、20 時間で灰化し、2 N HCl にて溶解後、原子吸光分光分析装置 (日本電子 K.K. 製: JAA-7000 型) を用い骨中に含まれるカルシウムとリンを測定した。

## 結 果

図2に、各群別の平均体重の経時変化を示した。各群ともに5匹ずつの平均値であるが、C群のうち12週令で1匹死亡したため、13週令以降は、4匹の平均値と

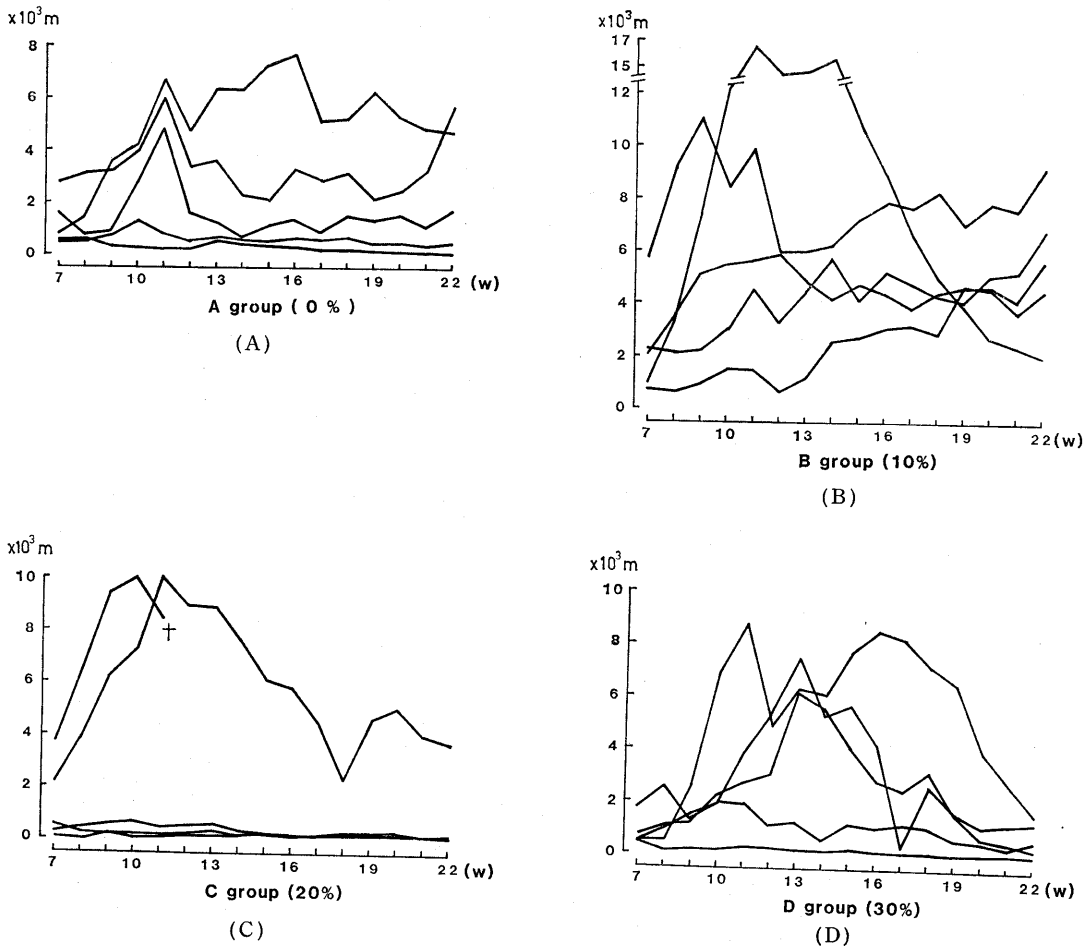


図3 各群1匹ごとの水車型自発運動走行距離

なっている。

体重は、13 週令まではどの群間にも有意差を認めなかったが 14 週令から 22 週令まで A 群と C 群にまた B 群と C 群間に有意差 ( $P < 0.05$ ) があつた。その他の群間には有意差がなかった。飼育期間終了時の各群の平均体重 (表 1) は、C 群 (579.8 g) が最も大きく、D 群 (495.6 g)、B 群 (452.4 g)、A 群 (438.4 g) の順であつた。

大腿骨の長さ (表 1) は、A 群は 38.6 mm、B 群は 38.5 mm、C 群は 38.4 mm、D 群は 37.5 mm であり各群間には有意差は認められなかった。

各群 1 匹ごとの走行距離 (図 3) は、全体的にかなりの個体差があつた。A 群の場合、走行距離の大きいラットは 5,683 m/day で、走行距離の小さいラットは 89 m/day であつた。

飼育期間終了 1 週間前の各群 1 匹 1 日ごとの走行距離の大きい順から、B 群 (5,639 m/day)、A 群 (2,531 m/day)、C 群 (1,023 m/day)、D 群 (837 m/day) であつた。

最大曲げモーメント値 (表 1) は、A 群 (52.7 kg·mm)、B 群 (58.4 kg·mm)、C 群 (55.6 kg·mm)、D 群 (52.6 kg·mm) であり、どの群間にも有意差は認められなかったが B 群が最も大きく次いで C 群、A 群、D 群の順であつた。

各群の断面係数については、A 群 (12.4)、B 群 (12.5)、C 群 (11.9)、D 群 (11.4) であり、どの群間にも有意差がなかった。

断面係数の最も大きい順から、B 群、A 群、C 群、D 群であつた。

飼料・飲料水中からの総摂取カロリー (表 1) は、A 群は 83.2 kcal/day、B 群は 94.8 kcal/day、C 群は 104.9 kcal/day、D 群は 101.2 kcal/day で、A 群と C 群間に有意差 ( $P < 0.01$ ) があつた。しかし、A 群と B 群および

A 群と D 群間には有意差がなかった。総摂取カロリーの大きいものから見ると C 群、D 群、B 群、A 群の順であつた。

骨 1 g 当りのカルシウム含量 (表 1) は A 群 (385 mg)、B 群 (363 mg)、C 群 (374 mg)、D 群 (354 mg) であり、どの群間にも有意差がなかった。カルシウム含量の最も多い群から見ると A 群、C 群、B 群、D 群の順であつた。

骨 1 g 当りのリン含量 (表 1) は A 群 (211 mg) と B 群 (154 mg) 間に有意差 ( $P < 0.05$ ) が、B 群と D 群 (212 mg) 間に有意差 ( $P < 0.01$ ) があつた。リン含量は D 群が最も多く、次いで A 群、C 群、B 群の順であつた。

カルシウムとリンの重量比 (表 1) は、A 群 1.8、B 群 2.4、C 群 2.3、D 群 1.8 であつた。

表 2 は、走行距離の多少により、1 日 1,000 m 以上 (以下: H と略す) のラットと 1 日 1,000 m 未満 (以下: L と略す) のラットを群別に分類し、各測定項目ごとの値を示したものである。

A 群の場合、H のラットは L のラットに比べて最大曲げモーメント値が大きく、骨中カルシウム含量も多い。しかし、体重、大腿骨長が劣る傾向にあつた。また、総摂取カロリー、飼料中からのカルシウム摂取量および骨中リン含量も少なかった。

B 群の場合、L のラットは H のラットに比べて、体重が大きく、総摂取カロリー、飲料水中からのショ糖摂取量も多かつた。しかし、最大曲げモーメント値は小さく、飼料中からのカルシウムおよび骨中カルシウム、リン含量も少なかった。大腿骨長は H、L のラットとも等しい長さであつた。

C 群の場合、H のラットは L のラットに比べて、大腿骨長が長く、総摂取カロリー、飼料中からのカルシウム摂取量および骨中リン含量も多かつた。しかし、体重、最大曲げモーメント値は小さく、飲料水中からのショ糖

表 2 各群の走行距離の多少分類による各測定項目ごとの比較 (数字は平均値)

		体重 (g)		大腿骨長 (mm)		最大曲げモーメント (kg·mm)		飼料中からのカルシウム摂取量 (g)		飲料水中からのショ糖摂取量 (g)		骨中 1g 当りのカルシウム含量 (mg)		骨中 1g 当りのリン含量 (mg)		カルシウムとリンの重量比	
		H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
A	群	409.7	481.5	38.0	39.5	57.4	45.7	0.17	0.18	—	—	450	337	210	213	2.5	1.6
B	群	452.0	453.0	38.4	38.4	49.1	57.4	0.10	0.09	12.0	13.2	373	321	164	139	2.3	2.5
C	群	508.0	603.5	38.7	38.3	52.3	56.7	0.08	0.07	17.6	17.7	328	390	221	158	1.5	2.5
D	群	423.5	453.7	36.7	38.0	61.1	47.0	0.05	0.06	17.9	19.3	403	322	206	182	2.0	1.7

H: 走行距離が 1000 m 以上のラット

L: 走行距離が 1000 m 未満のラット

摂取量および骨中カルシウム含量も少なかった。

D群の場合、HのラットはLのラットに比べて、最大曲げモーメント値は大きく、骨中カルシウム、リン含量も多かった。しかし、体重と大腿骨長は小さく、総摂取カロリー、飼料中からのカルシウム摂取量および飲料水中からのショ糖摂取量も少なかった。

カルシウムとリンの重量比は、A群(Hのラット:2.5, Lのラット:1.6)、B群(Hのラット:2.3, Lのラット:2.5)、C群(Hのラット:1.5, Lのラット:2.5)、D群(Hのラット:2.0, Lのラット:1.7)であった。

## 考 察

1. 運動量と体重との関係について、本実験では4群にそれぞれショ糖含量0, 10, 20, 30% 溶液を飲料水として与え全群に水車型自発運動器による自発運動をさせ、群ごとに1日平均走行距離が1,000 m以上のラットと1,000 m未満のラットを分類し、体重を比較すると走行距離が1,000 m以上のラットの方が小さかった。

鈴木ら<sup>13)</sup>は、Wistar系、雄ラット、5週令から3ヶ月間、高糖食を与え、その間ラットを2群に分け、1群は水車型自発運動器付きケージに、もう1群は運動器の付かないケージに飼育した実験で、体重は水車型運動器による運動群(平均体重250 g)の方が運動器の付かない対照群(平均体重264 g)に比べて小さかったと報告している。

本実験においても、例えば、D群の場合、走行距離が1,000 m以上のラットの平均体重は423.5 gであり、走行距離が1,000 m未満の平均体重は453.7 gであったという結果から、鈴木らの報告と同様な傾向が得られた。このことはラットの発育過程において運動量による消耗率は、飼料・飲料水摂取量のそれを上回っているからであると考えられる。

2. 運動量と大腿骨の発育の関係について、本実験では、16週間、水車型自発運動器による自発運動をさせ、群別に走行距離の多少により分類してみると、骨の長さは走行距離が1,000 m以上のラットの方が1,000 m未満のラットのそれに比べ短い傾向にあった。

岩崎<sup>9)</sup>は、JCL-SD系、雄ラットを1群5匹ずつ6群に分け1(軽)~6(激)段階の水泳負荷を4週令から13週令までの19週間行なった結果、運動量が多くなればなるほど骨の長さが短かったと報告している。本実験で得られた結果は、岩崎のそれと同様な傾向であった。

小野<sup>9)</sup>は、運動量が多くなると血液中のアルカリホスファターゼを増量させることにより骨の石灰化を阻害す

るピロリン酸を分解し、結果的に運動が骨の石灰化を促進すると報告している。上記の理由により、本実験においては走行距離が1,000 m未満のラットに比べて走行距離が1,000 m以上のラットにおいて骨の発育が阻害されたものと考えられる。

3. ショ糖投与と大腿骨の発育との関係について、本実験ではショ糖溶液濃度が高くなるにつれて骨の発育が阻害される傾向にあった。

井川ら<sup>12)</sup>は、Wistar系、雄ラット、5週令から14週令までの10週間、ショ糖溶液(ショ糖含量0, 10, 20, 30%)を飲料水として与え、骨の発育を調べた結果、ショ糖濃度が高くなるにつれて骨の長さが短いことを認めている。

また、鈴木<sup>13)</sup>は、幼稚園児、5~6才200名を対照とした調査で砂糖摂取量の少ない順に身長が大きくなっていったという結果を報告している。このことから、本実験の結果は井川、鈴木の報告を支持しているものと考えられる。

一般的に、砂糖(含水炭素)の多量摂取は、体内体液を酸性化させ、それを中和しようとする生理作用は体液の恒常性に影響を与えカルシウムの過剰消費がおこる<sup>14)</sup>。この報告は本実験におけるものと同じ傾向である。

4. 運動量と大腿骨の最大曲げモーメント値の関係について、本実験では群別にラットの走行距離が1,000 m以上と1,000 m未満で分類し、大腿骨の最大曲げモーメント値を検討した結果、走行距離が1,000 m以上のラット(A群の場合:57.4 kg·mm)は走行距離が1,000 m未満のラット(A群の場合:45.7 kg·mm)に比べて最大曲げモーメント値は大であった。

岩崎<sup>9)</sup>が報告した、JCL-SD系、雄ラット、4週令から13週令までの10週間、その間1群5匹ずつ6群に分け、1(軽)~6(激)段階の水泳負荷を行なわせた実験で、本実験と同じ方法である曲げ強度試験において、最大曲げモーメント値は5, 6段階の運動群が小さいという結果から発育期には軽い運動を適当とし、その理由として、非運動(運動不足)と比較して軽運動が長育を抑制する効果があるとしても、その効果はそれほど強力なものでなく運動不足によって逆に促進されるであろう。そして、骨の異常な伸びは抑えられる作用があると報告している。

本実験で、ラットに行なわせた水車型運動器による自発運動は、岩崎の軽運動と同様である。自発的な運動は骨組織へのカルシウムの沈着をよくし、大腿骨の骨幹部を厚くし、強化する。しかし、過激な運動になるにつれ

て前掲の如く組織内に乳酸が発生し、一時的に体液の濃度は酸性に傾く。この体液のバランスを回復させるためには多量のカルシウムが遊離し、乳酸と結合して尿中に老廃物として排出される<sup>14)</sup>。以上のことから発育期には激しい運動は避けるべきであると考えられる。

5. 運動量と大腿骨の最大曲げモーメント値および骨中カルシウム含量との関係について、本実験では16週間、水車型自発運動器による自発運動をさせ、群別に走行距離が1,000 m以上のラットと1,000 m未満のラットに分類した結果、走行距離が1,000 m以上のラットの方が走行距離が1,000 m未満のラットに比べて最大曲げモーメント値は大きく、骨中カルシウム含量も多い傾向にあった。

本実験においてラットに負荷した運動は、水車型運動器による自発的な運動であるため、運動強度は軽度である。このことから、運動量と大腿骨の最大曲げモーメント値の関係で述べたように、自発的な運動は骨組織へのカルシウムの沈着をよくし、大腿骨の骨幹部を厚くし、強化する。ゆえに、骨中カルシウム含量を増し、最大曲げモーメント値を大きくしたものと推察される。

6. ショ糖投与と大腿骨1 g当りのカルシウムとリンの重量比の関係について、本実験では、4群にそれぞれショ糖含量0, 10, 20, 30% 溶液を飲料水として与え、実験終了後、大腿骨1 g当りのカルシウムとリンの重量比を検討した結果、ショ糖溶液を与えた群の方がカルシウムとリンの重量比は大きくなる傾向にあった。このことは、ショ糖投与と大腿骨の発育との関係で述べたように、多量の砂糖摂取は体内の体液を酸性化させ、それを中和しようとする生理作用が体液の恒常性に影響を与え、カルシウムの過剰消費がおこりリンの比率が大きくなったものと考えられる。

## まとめ

児童の骨折が多発しているという現状から骨成長と骨強度および骨中の無機成分に注目し、実験動物を7週令から16週間、水車型自発運動器付きケージに飼育し、運動とショ糖投与がそれらに与える影響をみようとし、実験的研究を行ない以下のことがわかった。

- 1) 運動と骨成長の関係について、よく走るラットの骨長は、そうでないラットより短い傾向にあった。
- 2) 運動と大腿骨の骨強度の関係について、よく走るラットの骨強度は、そうでないラットより大きい値を示す傾向にあった。
- 3) ショ糖濃度と大腿骨の骨強度の関係について、高

ショ糖濃度溶液投与ラット群の骨強度は小さい値を示す傾向にあった。

- 4) 運動と骨中カルシウムとリン含量の関係について、骨中カルシウム含量は、よく走るラットの方がそうでないラットより多い傾向がみられ、骨中リン含量についても同様な傾向にあった。しかし、骨中カルシウムとリンの重量比については明らかな傾向はみられなかった。

本研究は一部、精糖工業会より昭和55年度から昭和57年度にわたって交付された研究費によった。ここに厚くお礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 日本学校安全会：学校管理下の災害—9, 9, 33, 1981.
- 2) 武藤芳照, 鈴木善朗, 杉浦保夫：小児骨折の統計的観察, 災害医学, 21 (12), 1301-1305, 1978.
- 3) 佐野精司：整形外科, (小児骨折の最近の動向について), 日本医事新報, 3002, 141-142, 1981.
- 4) 日本学校保健会：骨傷害とその防止, 28-44, 1978.
- 5) 小野三嗣, 宮崎義憲：骨折した小児の骨形成状態, 小児の骨折, 医歯薬出版 (株), 1 (2), 34, 55-57, 1980.
- 6) 小野啓郎, 水島哲也：骨格の恒常性, 骨の生理学, 医歯薬出版 (株), 17-18, 1973.
- 7) Milos, C., Dagman, B. and Frantisek, B.: Effect of Long-Term Physical Stress on Collagen Growth in the Lung, Heart, and Femur of Young and Adult Rats, *Gerontologia*, 19, 263-270, 1973.
- 8) Suzuki, S., Ohta, F., Tsuji, K., Oshima, S., Tsuji, E., Ohta, H. and Suzuki, H.: Experimental Studies on the Interrelationships of Nutrition, Physical Exercise and Health, Report II Influence on Bone Development, *Ann. Rep. Nat. Inst. Nutr.*, 3, 3-8, 1968.
- 9) 岩崎義正：ラットの成長期における運動量と大腿骨の発育について, 体力科学, 29 (4), 293, 1980.
- 10) 佐々木 哲：硬組織の無機質に関する実験, 生化学実習書, 医歯薬出版, 111-116, 1978.
- 11) Suzuki, S., et al.: Experimental Studies on the Interrelationships of Nutrition, Physical Exercise and Health Component, Report III Amount of Voluntary Exercise, Dietary Composition, Growth and Survival Rate, *Ann. Rep. Nat. Inst. Nutr.*, 13, 3-10, 1969.
- 12) 井川正治, 北 博正, 鈴木 覚：蔗糖投与ラットの骨におよぼす影響について, 体力科学, 30 (6), 380, 1981.
- 13) 鈴木雅子：砂糖摂取量と健康との関連性, 小児保健研究, 40 (2), 179-183, 1981.
- 14) 大森薫雄：激しい運動はカルシウムを消費する, カルシウムのすべて, 千曲秀版社, 19, 35-36, 1981.