

飼料の形状，栄養量がラット咀嚼器官の成長や 発達におよぼす影響についての検討

瀧上 啓志

滋賀医科大学医学部歯科口腔外科学講座

The Influences of Different Feed Forms and Altered Feed Nutrition on the Growth and Development of the Masticatory Organs of Rats

Keishi TAKIGAMI

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Shiga University of Medical Science.

Abstract: It is known that the growth of the masticatory organs of human beings and animals are influenced by the environment. The purpose of this study was to confirm which environmental factors, namely feed forms and feed nutrition, have an influence on the masticatory organs of rats and to examine the relation between the influence of the feed forms and that of the feed nutrition.

The rats were divided into a normal nutrition hard feed group (A), a high nutrition hard feed group (B), a normal nutrition powder feed group (C) and a high nutrition powder feed group (D). Each group has 5 male rats of 7th generation. The weights of the masticatory muscles, the jaw sizes and the teeth sizes were measured. The statistical results of these measurements were obtained and the mean values of the 4 groups were compared.

The results were as follows : 1) The weights of the masticatory muscles were significantly lighter in Group D than in Group B for one item of the muscles, and significantly heavier in Group B than in Group A for all muscles. 2) The jaw sizes were significantly smaller in Group C than in Group A in two items and the mandibular angle was significantly bigger in Group C than in Group A. The jaw sizes were also significantly smaller in Group D than in group B in three items and significantly bigger in Group B than in group A in seven items and significantly bigger in Group D than Group C in the term of the malar width. 3) There were no significance in the teeth sizes between Group C and Group D.

In conclusion: 1) It was confirmed that the powder feed leads to a low development of masticatory muscles and a low growth of jaws. 2) The high nutrition feed leads to a high development of masticatory muscles and a high growth of jaws. 3) The influence of feed nutrition was stronger than that of the feed form in this experiment. 4) This study did not show that the feed nutrition had an influence on the molar sizes of rats.

Received September 30, 2001; Accepted after revision December 28, 2001

Correspondence : 滋賀医科大学医学部歯科口腔外科学講座 瀧上 啓志 〒520 2121 大津市瀬田月輪町

Key words: Environmental factor (環境要因), Feed form (飼料形状), Feed nutrition (飼料栄養), Masticatory organ (咀嚼器官), Growth and development (成長と発達)

緒 言

ヒトや動物の咀嚼器官である咀嚼筋や顎骨、歯の形態は、遺伝だけでなく環境の影響も受けることが今日まで述べられてきている^{1,4,5,10,12,13,16,18,20,22,26,29,30,33,35}。この環境要因の中には食べ物の形状や栄養量があげられ、動物実験において成長期に飼料の形状を変化させ、咀嚼筋の発達や顎骨の成長を検討した報告や^{1,4,5,12,16,17,20,23,26,29,34,35}、歯の大きさが決定される時期に栄養量を変化させ、歯冠の大きさを検討した報告^{10,22}が見られる。これらの時期における環境要因の咀嚼器官への影響は、歯列不正や顎変形症、顎関節症発生にも関与している可能性があり、どのような環境要因が、咀嚼器官の成長や発達に如何なる影響をおよぼすかを明らかにしていくことは重要と考えられる。本研究は、これまで諸家により報告されてきた実験結果をふまえ、環境要因である飼料形状ならびに飼料栄養量がラット咀嚼筋の発達と顎骨の成長におよぼす影響を、成長後のラットの咀嚼筋重量と顎骨径で確認した上で、飼料形状と飼料栄養量の影響の関係について検討すること、ならびに飼料栄養量が歯の大きさにおよぼす影響を、臼歯歯冠幅径で確認することを目的とした。

材 料

1. 実験動物

21週間飼育した21週齢(出生後147~154日)の雄性 Wistar 系ラット20匹を用いた。

2. 飼料と飼育条件

飼料は普通栄養固形飼料、高栄養固形飼料、普通栄養粉末飼料、高栄養粉末飼料の4種類とした。普通栄養固形飼料は、日本クレア社の CE-2 を用い、高栄養固形飼料は CE-2 と形と大きさが同一で、蛋白質、脂肪の含有率を約2倍にしたものを用いた。カロリー量に関しては、普通栄養が 341.2 cal/100 g であり、高栄養が 374.0 cal/100 g である(表1)。また粉末飼料は、それぞれの固

表1 飼料の成分含有率とカロリー量

	普通栄養飼料*	高栄養飼料**
蛋白質	25.2	51.8
脂肪	4.4	8.1
炭水化物	54.6	25.6
灰分	7.0	5.2
水分	8.8	9.3(%)
カロリー	341.2	374.0(cal/100g)

* : 固形飼料: CE-2

粉末飼料: CE-2を粉砕(1.0mmメッシュパス)

** : 固形飼料: 蛋白質, 脂肪の含有率が約2倍
粉末飼料: 固形を粉砕(1.0mmメッシュパス)

形飼料を粉砕したもので、粒度はともに1.0mmメッシュパスとした。

飼育条件は、飼育室の温度 23 ± 1 ℃、湿度 55 ± 5 %、明暗12時間周期とした。各飼育ケージは雄雌別に2~3匹とし、3~7日に1回ケージの交換を行った。給餌方法について、固形飼料はステンレス製網蓋のくぼみに入れ、また粉末飼料は粉末給餌器に入れケージ内に置き、ともに飽食状態とした。給水は自動給水とした。

3. 対象獲得方法

本研究は、環境要因が咀嚼器官形態におよぼす影響が、継代的蓄積を生じうるか否かについての一過程の検討でもあり、継代飼育したラットのうち第7世代を対象としている。継代飼育方法について、まず2匹の妊娠ラットを出産させ産仔ラットを獲得した。さらに産仔ラットの成長を待って、対象匹数獲得のため雄8匹と雌4匹を無作為に選び、雄2匹と雌1匹づつを交配させ47匹の産仔ラットを獲得した。このうち無作為に抽出した雄20匹と雌8匹を、生後3週経過後(22日)に離乳させ第1世代とし、雄5匹、雌2匹づつを飼料別に4群に分けて飼育した。さらに成長後、各群内で無作為に交配を行い第2世代を獲得、以降同様の方法で継代飼育を続け実験対象の第7世代を獲得した。

4. 実験対象

実験対象は飼料別に飼育した雄性ラットで、次の4群である。

- A群(第7世代5匹): 普通栄養固形飼料群
- B群(第7世代5匹): 高栄養固形飼料群
- C群(第7世代5匹): 普通栄養粉末飼料群
- D群(第7世代5匹): 高栄養粉末飼料群

方 法

1. 検討項目と検討方法

飼料別に4群に分け，21週齢まで飼育した第7世代ラットをエチレンエーテルで安楽死させ，以下の項目について処理ならびに計測を行った。

1) 体格ならびに肝臓重量

体格は，頭尾長を最少目盛り1mmの巻き尺で計測し，体重を最少目盛り1gの上皿天秤で計測した。さらに栄養状態の指標として，死亡確認直後に肝臓を摘出し，直ちに重量を最少秤量0.1mgの電子上皿天秤で計測した。

2) 咀嚼筋重量

咀嚼筋については，咬筋，側頭筋，顎二腹筋前腹を肝臓同様に死亡確認直後に筋膜を含め慎重に摘出した。直ちに最少秤量0.1mgの電子上皿天秤で計測後，各筋肉の左右の平均値を算出した。なお咬筋に関して，浅層と深層の確実な分離が困難であり一塊として取り扱った。

3) 顎骨径

断頭後，頭部の軟組織を剥離除去し，10%ホルマリン液中で固定した。その後自然乾燥し上

顎複合体および下顎骨について計測を行った。計測項目は，a：頬骨幅径（頬骨弓の左右間最大幅径），b：上顎歯列弓幅径（上顎第2臼歯の頬側面最大膨隆部の左右間距離），c：上顎長径（上顎切歯間歯槽突起の唇側最突出部から前頭鼻骨縫合最前方部間距離），d：下顎幅径（下顎角部最後方突出部の左右間距離），e：下顎歯列弓幅径（下顎第2臼歯の頬側面最大膨隆部の左右間距離），f：下顎長径（下顎切歯間歯槽突起の唇側最突出部から下顎頭軟骨中心部までの距離），g：下顎高径（下顎頭最上部から下顎下縁平面に垂線を下ろした長さ），h：下顎角（下顎角部最後方突出部と下顎頭最後方部を結ぶ線と下顎下縁平面との成す角）である（図1）。長さの計測は最小表示量0.01mmの電子デジタルノギスを用い，角度については最小目盛り1度の分度器とプラスチック板を用いて計測を行った。なお頬骨幅径，上下顎歯列弓幅径，上顎長径，下顎幅径は，同一部位を5回計測し，中央3つの計測値の平均をそれぞれの値とした。また下顎長径，下顎高径，下顎角については，同一部位を左右それぞれ5回計測し，中央3つの値，左右で合計6つの計測値の平均を算出し，それぞれの値とした。

4) 臼歯歯冠幅径

歯冠幅径はHollowayら¹⁰⁾の計測項目，計測部位に準じて，上下顎左右第1臼歯，第2臼歯，第3臼歯の近遠心幅径（各歯の近心最大膨隆部

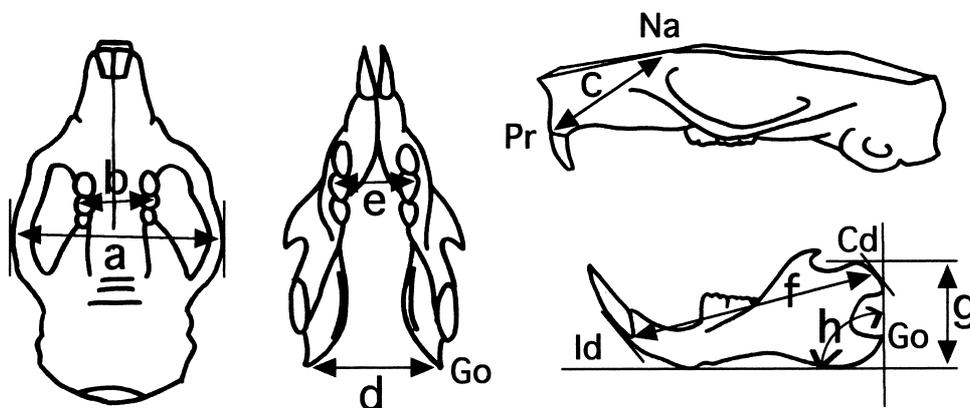


図1 顎骨径の計測項目・部位

a：頬骨幅径，b：上顎歯列弓幅径，c：上顎長径，d：下顎幅径，e：下顎歯列弓幅径，f：下顎長径，g：下顎高径，h：下顎角
 (Pr：上顎切歯間歯槽突起の唇側最突出部，Na：前頭鼻骨縫合最前方部，Go：下顎角部最後方突出部，ld：下顎切歯間歯槽突起の唇側最突出部，Cd：下顎頭)。

頰側

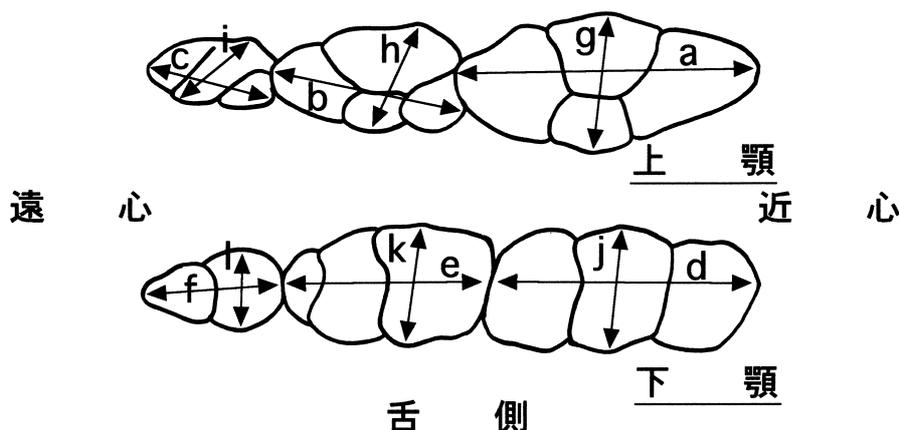


図2 歯冠幅径の計測項目・部位

a ~ f : 上下顎第1臼歯, 第2臼歯, 第3臼歯近遠心幅径,
g ~ l : 上下顎第1臼歯, 第2臼歯, 第3臼歯頰舌幅径.

と遠心最大膨隆部間の距離 : a ~ f), ならびに頰舌幅径 (各歯の頰側最大膨隆部と舌側最大膨隆部間の距離 : g ~ l) を最小表示量 0.01mm の電子デジタルノギスを用い, 1計測部位につき 5回計測を行い, 中央3つの値, 左右で合計6つの計測値の平均を算出し, それを各項目の値とした (図2).

なお1人の者が全ての計測を行った.

2. 統計処理

得られた計測値から, 各群各項目の平均値, 標準偏差を算出した後, 各群間の比較検討をマイクロソフト社エクセルを用い, 多項目については Scheffe の多重比較検定により, また2項目の比較検討は t 検定により行った.

結 果

本実験により得られた計測値をまとめて表2に示す.

以下体格と栄養状態, 筋の重量, 顎の大きさ, 歯の大きさに分けて結果を述べる.

1. 体格ならびに栄養状態

1) 頭尾長: 値が高い順から B群 (高栄養固形飼料群), A群 (普通栄養固形飼料群), D群 (高栄養粉末飼料群), C群 (普通栄養粉末飼料群) であった. 4群間で有意差は認められなかつ

た.

2) 体重: B群が最も高値を示し, 以下D, C, A群の順であった. 有意差をBとA間 (危険率: $p < 0.01\%$) ならびDとA間 ($p < 0.01$), さらにCとA群間 ($p < 0.05$) で認めた.

3) 肝臓重量: B, D, C, A群の順であり, BとA間ならびC群間において, ともにB群が有意に高値を示した ($p < 0.01, p < 0.01$) (表2).

2. 咀嚼筋重量

1) 咬筋: B群が最も重く, 続いてC, D, A群の順であった. B群が他の3群に比べ有意に重く (いずれも $p < 0.01$), 他の群間で有意差は認められなかった.

2) 側頭筋: B, D, C, A群の順であり, 有意差をBとC間 ($p < 0.01$) ならびにA群間 ($p < 0.01$) で認め, DとA群間 ($p < 0.01$) でも認めた.

3) 顎二腹筋前腹: B, D, C, A群の順で, BとC間 ($p < 0.01$), A群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた (表2).

3. 顎骨径

1) 頰骨幅径: 値が高い順から D, B, C, A群であり, DとA間 ($p < 0.01$), DとC間 ($p < 0.05$) ならびにBとA群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた

2) 上顎歯列弓幅径: A, B, D, C群の順で,

飼料形状，栄養量がラット咀嚼器官におよぼす影響

表2 計測結果

体格・肝臓重量(単位：長さはcm，重量はg)

	A群, N = 5 (普通栄養固形)	B群, N = 5 (高栄養固形)	C群, N = 5 (普通栄養粉末)	D群, N = 5 (高栄養粉末)	有意差					
	Mean(S.D.)				A vs B	A vs C	A vs D	B vs C	B vs D	C vs D
頭尾長	42.56(0.29)	42.62(0.45)	41.72(1.08)	42.36(1.03)						
体重	383.20(12.56)	460.80(6.61)	429.00(18.93)	445.40(32.28)	**	*	**			
肝臓重量	18.31(1.15)	23.32(0.66)	19.78(1.28)	20.80(1.90)	**			**		

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

咀嚼筋重量(単位：g)

	A群, N = 5 (普通栄養固形)	B群, N = 5 (高栄養固形)	C群, N = 5 (普通栄養粉末)	D群, N = 5 (高栄養粉末)	有意差					
	Mean(S.D.)				A vs B	A vs C	A vs D	B vs C	B vs D	C vs D
咬筋	1.522(0.095)	1.970(0.058)	1.672(0.104)	1.660(0.065)	**			**	**	
側頭筋	0.678(0.049)	0.859(0.046)	0.743(0.043)	0.791(0.029)	**		**	**		
顎二腹筋	0.133(0.004)	0.171(0.008)	0.141(0.009)	0.153(0.010)	**			**		

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

顎骨径(単位：長さはmm，角度は度)

	A群, N = 5 (普通栄養固形)	B群, N = 5 (高栄養固形)	C群, N = 5 (普通栄養粉末)	D群, N = 5 (高栄養粉末)	有意差					
	Mean(S.D.)				A vs B	A vs C	A vs D	B vs C	B vs D	C vs D
頬骨幅径	23.93(0.32)	25.03(0.25)	24.62(0.56)	25.53(0.37)	**		**			*
上顎歯列弓幅径	9.79(0.05)	9.76(0.05)	9.47(0.20)	9.71(0.14)		**		*		
上顎長径	20.09(0.46)	21.07(0.17)	20.66(0.30)	20.33(0.19)	**					*
下顎幅径	17.01(0.35)	18.08(0.49)	16.74(0.45)	17.10(0.44)	*			**		*
下顎歯列弓幅径	9.71(0.09)	9.96(0.16)	9.62(0.24)	9.82(0.19)	*			*		
下顎長径	26.64(0.52)	28.27(0.36)	27.81(0.38)	27.79(0.50)	**	**	**			
下顎高径	13.22(0.08)	13.71(0.22)	12.20(0.30)	12.16(0.14)	*	**	**	**	**	
下顎角	79.75(1.49)	82.04(0.45)	84.58(0.83)	83.23(1.12)	*	**	**	*		

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

歯冠幅径(単位：mm)

	A群, N = 5 (普通栄養固形)	B群, N = 5 (高栄養固形)	C群, N = 5 (普通栄養粉末)	D群, N = 5 (高栄養粉末)	有意差					
	Mean(S.D.)				A vs B	A vs C	A vs D	B vs C	B vs D	C vs D
近遠心幅径 (上顎)										
第1臼歯	3.368(0.024)	3.444(0.077)	3.494(0.059)	3.492(0.053)		*	*			
第2臼歯	2.518(0.028)	2.591(0.043)	2.594(0.022)	2.589(0.020)	*	**	*			
第3臼歯	1.960(0.036)	2.074(0.024)	2.076(0.052)	2.101(0.020)	**	**	**			
(下顎)										
第1臼歯	2.908(0.074)	2.979(0.076)	3.000(0.034)	2.940(0.041)						
第2臼歯	2.193(0.035)	2.316(0.035)	2.348(0.039)	2.308(0.054)	**	**	**			
第3臼歯	2.232(0.026)	2.336(0.081)	2.290(0.073)	2.256(0.034)						
頬舌幅径 (上顎)										
第1臼歯	2.178(0.028)	2.286(0.049)	2.320(0.023)	2.290(0.022)	**	**	**			
第2臼歯	2.124(0.017)	2.222(0.039)	2.259(0.020)	2.244(0.036)	**	**	**			
第3臼歯	1.670(0.015)	1.734(0.031)	1.721(0.028)	1.723(0.017)	**	*	**			
(下顎)										
第1臼歯	1.995(0.030)	2.080(0.052)	2.092(0.032)	2.083(0.032)	*	**	*			
第2臼歯	2.134(0.024)	2.219(0.047)	2.244(0.029)	2.222(0.015)	**	**	**			
第3臼歯	1.712(0.011)	1.755(0.044)	1.810(0.028)	1.812(0.018)		**	**			*

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

有意差をAとC間 ($p < 0.01$) ならびにBとC群間 ($p < 0.05$) で認めた。

- 3) 上顎長径: B, C, D, A群の順で, BとD間 ($p < 0.05$), A群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 4) 下顎幅径: B, D, A, C群の順で, BとD間 ($p < 0.05$), A間 ($p < 0.05$), C群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 5) 下顎歯列弓幅径: B, D, A, C群の順で, BとA間 ($p < 0.05$) ならびにC群間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた。
- 6) 下顎長径: 値が高い順からB, C, D, A群で, BとA間 ($p < 0.01$), CとA間 ($p < 0.01$) ならびにDとA群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 7) 下顎高径: B, A, C, D群の順で, BとA間 ($p < 0.05$), C間 ($p < 0.01$), D群間 ($p < 0.01$) で有意差を認め, AとC間 ($p < 0.01$), D群間 ($p < 0.01$) でも認めた。
- 8) 下顎角: Cの値が最も高く, 以下D, B, A群の順であった。有意差をCとB間 ($p < 0.05$), A群間 ($p < 0.01$) で認め, また, DとA間 ($p < 0.01$), BとA群間 ($p < 0.05$) でも認めた(表2)。

4. 歯冠幅径

- 1) 近遠心・上顎第1臼歯: 値が高い順からC, D, B, A群であり, CとA間 ($p < 0.05$), DとA群間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた。
- 2) 近遠心・上顎第2臼歯: C, B, D, A群の順であり, CとA間 ($p < 0.01$), BとA間 ($p < 0.05$), DとA群間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた。
- 3) 近遠心・上顎第3臼歯: D, C, B, A群の順で, DとA間 ($p < 0.01$), CとA間 ($p < 0.01$), BとA群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 4) 近遠心・下顎第1臼歯: 値が高い順からC, B, D, A群であった。各群間で有意差は認められなかった。
- 5) 近遠心・下顎第2臼歯: C, B, D, A群の順で, 有意差をCとA間 ($p < 0.01$), BとA間 ($p < 0.01$), DとA群間 ($p < 0.01$) で認めた。
- 6) 近遠心・下顎第3臼歯: B, C, D, A群の

順であった。有意差は認められなかった。

- 7) 頬舌・上顎第1臼歯: C, D, B, A群の順で, CとA間 ($p < 0.01$), DとA間 ($p < 0.01$), BとA群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 8) 頬舌・上顎第2臼歯: 値が高い順にC, D, B, A群であり, 有意差についてはCとA間 ($p < 0.01$), DとA間 ($p < 0.01$), BとA群間 ($p < 0.01$) で認めた。
- 9) 頬舌・上顎第3臼歯: B, D, C, A群の順で, BとA間 ($p < 0.01$), DとA間 ($p < 0.01$), CとA群間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた。
- 10) 頬舌・下顎第1臼歯: 値が高い順にC, D, B, A群の順で, CとA間 ($p < 0.01$), DとA間 ($p < 0.05$), BとA群間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた。
- 11) 頬舌・下顎第2臼歯: C, D, B, A群の順で, CとA間 ($p < 0.01$), DとA間 ($p < 0.01$), BとA群間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた。
- 12) 頬舌・下顎第3臼歯: D, C, B, A群の順で, 有意差を, DとA間 ($p < 0.01$) ならびにB間 ($p < 0.05$), さらにCとA群間 ($p < 0.01$) で認めた(表2)。

考 察

1. 実験材料と方法について

1) 実験動物

動物実験において, 歯や顎顔面の成長を観察する研究では, 従来よりサル¹³⁾, イヌ³²⁾, 小型ブタ^{14, 31)}, ラット^{9, 10, 16, 17, 25)}, マウス^{12, 22)}などが用いられてきた。この中でサル, イヌ, 小型ブタは個体間の成長差が著しいこと²⁴⁾, 成熟までの期間が長いこと, 購入費用が高く多数匹の対象獲得が難しいなどの問題点がある。本研究では, 成熟するまでの期間が短く, 多数匹を同時に飼育可能なこと, さらにこれまでに顎顔面の正常な成長発育について詳細な報告がなされている^{9, 28)}という理由で, Wistar系ラットを用いた。次に対象齢について, ラットを繁殖する場合80日齢以降が望ましいとされる⁶⁾。本研究は継代飼育実験の一過程の検討でもあり, 後続世代が誕生し離乳時期を待つ必要があった。こ

のため21週齢まで飼育したラットを対象とした。

2) 実験飼料

飼料の形状については，本研究目的から固形飼料と粉末飼料とした。なおラットなどの齧歯類動物に対し粉末飼料や練状飼料を与えた場合，切歯挺出に関する問題が考えられた。しかしこれまでの研究で，ラットは軟性飼料摂取の切歯挺出に対して，歯をすり合わせたりケージを咬むことによる咬耗で対処していると報告されていること³³⁾，ラットを固形飼料と粉末飼料で飼育し2群間で切歯の挺出状態を比較した結果，明らかな差は認められなかったとの報告があること²⁹⁾，加えて切歯の割合は顔面頭蓋の成長発育に直接影響しないとの報告より¹⁶⁾，切歯挺出の問題は，本研究においても影響がないものと判断した。

固形飼料の硬度に関して，普通栄養飼料が $26.70 \pm 0.95 \text{ kg/cm}^2$ (日本クレア社・CE-2, 1997年平均値)であるのに対し，高栄養飼料は $24.45 \pm 2.16 \text{ kg/cm}^2$ で，普通栄養が少し上回った。これは含有栄養量の割合を変化させる必要上生じた差であった。

飼料栄養量について，本実験では飼料を普通栄養飼料と高栄養飼料の2種類とし，高栄養は普通栄養に対し，蛋白質，脂肪の含有率を2倍にし，炭水化物の含有率を下げたものを用いた。日本人の体格はここ数十年の間に目覚ましい発育の向上を示し^{15,19)}，この期間における3大栄養素である蛋白質，脂肪，炭水化物の1人1日当たりの平均摂取量は，蛋白質，脂肪摂取量が増加を示し，逆に炭水化物が減少している^{15,19)}(表3,4)。この変化が今日の日本人の体格向上に関連している可能性は高く，本研究ではそのことに従い飼料含有率を設定した。なお飼料の栄養含有率に極端な差をつけなかった理由は，炭水化物の含有率低下による異常な発育障害や栄養不良ならびに継代飼育期間中に死を生じさせないためであった。

固形飼料摂取は粉末飼料摂取にくらべ，咀嚼運動量が勝っているかどうかについては，ラットを固形飼料群と粉末飼料群に分けて飼育し飼料摂取時の咬筋筋電図を比較した実験で³⁴⁾，固

表3 日本人の体格の変化(20歳)

	男性		女性	
	1958年度	1999年	1958年度	1999年
身長(cm)	162.3	171.2	151.8	157.1
体重(kg)	55.5	61.5	50.4	52.2

国民栄養の現状^{15,19)}による

表4 日本人の3大栄養素摂取量の変化

	1958年度	1999年
蛋白質	70.1	78.9
脂肪	23.7	57.9
炭水化物	406.2	269.0 (g/day)

国民栄養の現状^{15,19)}による

形群は，飼料を前歯でかじる時間が約2～3秒間で数回続き，引き続いて臼歯で数秒間咀嚼するパターンであったのに対し，粉末群では，臼歯で数秒間咀嚼するのみのパターンであり，さらに筋活動電位も固形群が粉末群にくらべ明らかに高かったことより，固形飼料摂取時の咀嚼運動量は粉末飼料摂取時にくらべ多いものと考えられた。

各群のラットが同等量の飼料摂取を行っていたかについては，10週齢時に飼料摂取量の測定を1週間行っており4群間でその比較を行った。その結果，有意差は認められず同等と判断できた。

3) 咀嚼筋の発達期，顎骨の成長期，臼歯の形態決定期における飼料について

(1) 咀嚼筋

ヒト骨格筋線維の分化は，胎生15～20週前後より始まり出生時にほぼ完了するが，ラットは出生直後より始まり，15～20日頃まで活発に続くとされる²⁵⁾。吉田はマウスを使った実験で，咀嚼筋機能の発達はこの離乳前の咀嚼が大きな意味を持つこと，それ以降も咀嚼を要しない飼料で育てると咀嚼筋の機能と形態の発達が遅れると指摘している³⁵⁾。本実験対象については，粉末飼料群は離乳前の出生後10日目頃より，飼育ケージ内に置いた母ラットと同じ給餌器から粉末飼料を母乳と共に自由に摂取しており，固形飼料群についても出生後10日過ぎ頃から，母親がケージ内に落

とした固形飼料を摂食していた。さらに離乳後から屠殺までの期間も飼料別に飼育を行っていたことより、各種飼料はラット咀嚼筋の発達に關与していたものと考えられる。

(2) 顎 骨

花田は、正常発育におけるラットの上顎唇側歯槽突起部は、雄で生後から80日齢までに前方への著明な成長を、下顎唇側歯槽突起部も高さ著しい増加を認めたとしている⁹⁾。酒井もラットの下顎骨は、長さ、高さともに生後84日目までに活発な発育を示す時期があったと述べている²⁶⁾。これらに対し本実験対象は21週齢（出生後147～154日）であり、諸家の述べたラットの顎骨に著しい成長が起こる期間に、各種飼料を摂取していたことになる。また、ラットの寿命は2～3年であることから、ヒトの場合に加齢によって見られる顎骨形態の変化は、本実験対象には生じていないと言えよう。

(3) 臼 歯

ヒトの歯の発生は、胎生6週に口腔上皮から歯堤が生じ、この歯堤から発生した歯蕾が乳歯、つづいて永久歯の原基となる。歯蕾細胞は増殖し、やがて組織分化ならびに形態分化を生じる。この形態分化の時期（乳歯：胎生約4か月、永久歯：出生時以降）に将来できる歯冠の形態的な原型または基本のおよび相対的な大きさが明白に決められるとされる³⁾。ラットの場合乳歯に関する記述はなく、永久歯の第1、第2臼歯はそれぞれ生後19、21日に萌出する⁹⁾。本実験対象は継代飼育で誕生したラットであることより、第3臼歯を含め、歯の形態分化の時期に母ラットを介して臍帯血あるいは母乳より本実験で用いた飼料栄養の供給をうけていたと考えられる。

4) 顎骨径、歯冠幅径の計測精度管理

顎骨径、歯冠幅径については、1対象について各項目の計測を日時を変えて同様の方法で行い、得られた値との間でt検定による比較を行った。その結果有意差は認められず、本計測方法により得られた値は再現性を有すると判断できた。

2. 計測結果について

1) 体格ならび栄養状態

高栄養飼料群が普通栄養飼料群にくらべ、体格ならび栄養状態が勝っていたかについて、高栄養群と普通栄養群間で頭尾長、体重、肝臓重量の比較を行った。その結果、頭尾長については有意な差は認められなかったが、体重、肝臓重量では高栄養群が普通栄養群にくらべて固形、粉末群とも高値を示し、このうち固形の比較において有意差が存在した。以上より高栄養群は、普通栄養群にくらべ体格ならびに栄養状態が勝っていたと判断できた。

2) 咀嚼筋の発達、顎骨の成長ならびに臼歯の大きさに對する環境要因の影響

(1) 飼料形状が咀嚼筋の発達と顎骨の成長におよぼす影響：動物実験において、成長期の咀嚼運動不足が咀嚼筋の発達や顎骨の成長に影響をおよぼすとした報告は多く^{1, 4, 5, 12, 16, 17, 20, 23, 26, 29, 34, 35)}、このことについての検証を本実験結果で行った。咀嚼筋重量について、普通栄養の固形群と粉末群間で有意な差は認められなかったが、高栄養の固形群と粉末群間の比較では、咬筋で粉末群が有意に低値を示し、側頭筋、顎二腹筋前腹でも有意差を認めないものの粉末群が低値であった。この結果は、軟らかい飼料で飼育したラットは、硬い飼料で飼育した場合にくらべ咀嚼筋の発達に差を生じ、その結果として筋重量に影響をおよぼすとの諸家の報告^{4, 16, 20)}と一致していた。

上顎複合体について、頬骨幅径では明らかな差が認められなかったが、普通栄養の上顎歯列弓幅径で粉末群が有意に低値を示し、高栄養の比較でも上顎長径で粉末群が有意に低値を示した。菊田¹⁶⁾は、上顎複合体の成長が、咀嚼筋の筋力を含めた局所的環境要因の影響を受ける可能性があるとし唆しているが、本研究において咀嚼筋重量が固形群にくらべ劣っていた粉末群が、上顎の数項目でも有意に小さく、この結果は菊田¹⁶⁾の見解を裏付けるものと考えられた。

下顎については幅径で、普通栄養、高栄養とも粉末群が固形群にくらべおおむね低値を示し、高径でも、普通栄養、高栄養とも粉末

群が固形群にくらべ有意に低値を示した。また下顎角については，普通栄養の比較で粉末群が有意に大きく開大を示した。菊田¹⁶は練飼料群は，固形飼料群にくらべ，顎角を含む下顎枝部の成長量が有意に小さかったと述べ，酒井も²⁶顎角部を含めた下顎骨の高さの成長は，飼料硬度の影響を強く受ける可能性を示している。さらに添野も²⁹オトガイ孔から関節突起，下顎切痕，筋突起それぞれへの水平距離において粉末群が固形群を，また垂直距離は固形群が粉末群をそれぞれ成長の早期に上回ったとし，これらは下顎枝高の低下，顎角の開大に伴った変化であろうと考察している。本研究結果からもこれら諸家の見解同様，環境要因である飼料形状の違いは下顎の成長に差を生じることが確認された。

- (2) 飼料栄養量が咀嚼筋の発達と顎骨の成長におよぼす影響：飼料形状の影響についての報告が多く見られるのに対し，飼料栄養量が咀嚼筋の発達や顎骨の成長におよぼす影響についての詳細な報告は，渉猟し得た限りでは認められなかった。しかし前述のように，ここ数十年の日本人の蛋白質，脂肪摂取量の増加と同様に，身長，体重も増大していることから，食べ物の栄養量がヒトや動物の体格向上に寄与している可能性がある。さらに身長と下顎骨の大きさには有意な相関関係が存在することや²⁷，体重増加の要因は骨格筋の重量増加にも関係していること¹¹を考え合わせると，体格同様に摂取した栄養量が，ヒトや動物の咀嚼器官形態に影響をおよぼすことが十分考えられる。この検討として，まず咀嚼筋重量について普通栄養と高栄養群で比較を行った。その結果固形飼料において3種類の筋肉で高栄養群が普通栄養群にくらべ有意に高値を示した。次に顎骨径について，幅径では固形飼料で全体的に高栄養群が大きく，粉末飼料でも比較的高栄養群が大きな傾向にあり，飼料形状別全8つの幅径比較のうち4つに有意差を認めた。長径は飼料形状別全4つの比較のうち，2つで高栄養群が有意に高値を示した。さらに下顎高径も，固形飼料の比較において高栄養群が有意に高値を示し

た。以上，本実験結果から，栄養摂取量は咀嚼筋の発達ならびに顎骨の成長に影響をおよぼすことが示された。なお飼料栄養量が咀嚼筋の発達におよぼす影響について筋重量を指標に行ったが，これは運動中の栄養摂取量増加により，腓腹筋や四頭筋重量が増大することを示した報告⁸があること，運動だけでなく栄養摂取でも変化する体重と筋断面積が比例関係にあること⁷，さらに筋重量に筋の発達が伴う¹¹ことにもとづいた。

- (3) 飼料形状と飼料栄養量，双方が咀嚼筋の発達と顎骨の成長におよぼす影響の関係：これまで述べてきたように，ヒトや動物の咀嚼器官の成長や発達に関与すると考えられてきた環境要因には，食べ物の形状，栄養量があげられる^{4, 10, 17, 20, 22, 26, 29, 30, 33, 35}。しかしこれまでの動物実験における報告は，形状のみ，あるいは栄養のみを変化させた検討であり，実際にはこれらが複雑に絡み合っている可能性がある。このため本研究では咀嚼筋，顎骨に対する飼料の形状硬度，栄養量双方の影響力の差，ならびにどのように相互に咀嚼器官の成長や発達に関与しているかの検討を行った。咀嚼筋重量について，形状と栄養量両方の因子を合わせ持つ高栄養固形と普通栄養粉末群を比較すると，今回計測した3つの筋種全てで高栄養固形群が有意に高値を示した(図3)。次にこの差に対する飼料形状，飼料栄養量双方の影響について，まず飼料栄養量別に形状を比較すると，普通栄養の固形と粉末群間では有意差は認められなかった。また高栄養の固形と粉末群間でも全体的に固形群が高値を示したものの，有意差は咬筋の1筋種のみであった。これに対し飼料形状別に栄養量を比較すると，粉末の普通栄養群と高栄養群間では有意な差は認められなかったが，固形の普通栄養群と高栄養群間では全ての筋種で高栄養群が有意に高値を示した。以上より本実験下では，飼料形状にくらべ飼料栄養量がより強く咀嚼筋に影響をおよぼしていたものと考えられた。また形状別の栄養量の比較において，粉末飼料の普通栄養群と高栄養群間で見られなかった有意差が，

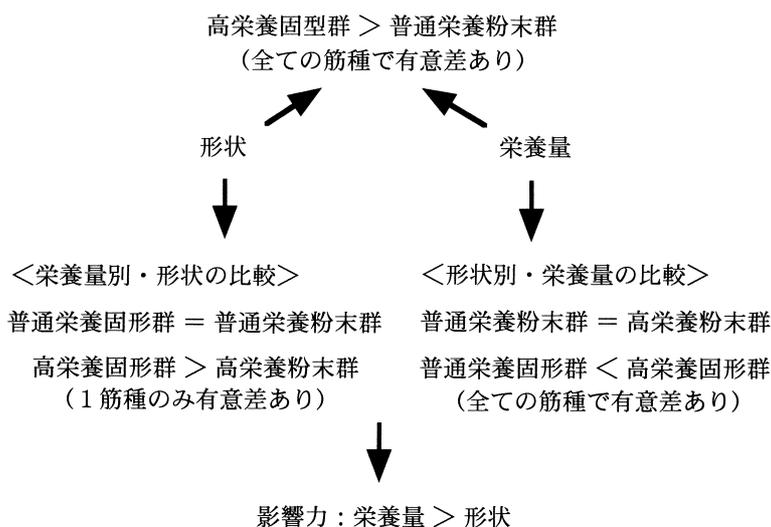


図3 咀嚼筋に対する飼料形状・栄養量の影響

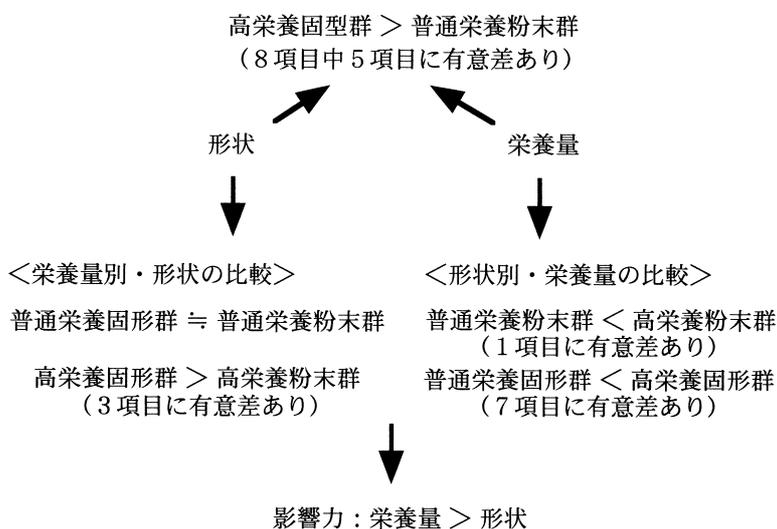


図4 顎骨に対する飼料形状・栄養量の影響

固形飼料の比較では多く認められたことより、栄養が咀嚼筋の発達に影響をおよぼすためには、十分な咀嚼運動が必要である可能性が考えられた。

次に顎骨径についても、形状と栄養量の因子をもつ高栄養固形と普通栄養粉末群を比較すると、8計測項目中、上顎歯列弓幅径、下顎幅径、下顎歯列弓幅径、下顎高径、下顎角の5項目において高栄養固形が有意に良く発育した値を示した(図4)。この結果についても筋肉同様、飼料形状、栄養量の影響を検討した。まず飼料形状について、普通栄養の固形と粉末群の比較では、固形群が3項目で

有意に良く発育した値を示した。しかし逆に粉末群でも有意に高値を示した項目が認められた。また高栄養の固形と粉末群間では3項目で固形群が有意に高値を示した。これに対し飼料栄養量の比較として、粉末の普通栄養と高栄養群間では有意差は1項目のみであったが、固形の普通栄養と高栄養群間では7項目と、ほとんどで高栄養群が有意に高値を示した。以上より本実験条件下では咀嚼筋同様、顎骨についても飼料形状にくらべ飼料栄養量の影響が強いものと判断できた。さらに形状別の栄養量の比較において、咀嚼筋同様に粉末群間にくらべ固形群間で多く有意差を

認めたとより，栄養量が顎の成長に影響をおよぼす場合にも，十分な咀嚼運動を必要とする可能性が考えられた．

- (4) 飼料栄養量の違いが臼歯の大きさにおよぼす影響：現代日本人の歯冠幅径は，ここ数十年の間に大きくなる傾向にあるとした報告が散見される²⁾³⁰⁾．いずれも，日本人の栄養摂取量の増加が影響しているのであろうとの見解である．また動物実験では，Holloway ら¹⁰⁾が低蛋白の飼料で飼育したラットから生まれた産仔ラットの臼歯幅径は，高蛋白飼料ならびに普通蛋白飼料で育った群にくらべ明らかに小さかったと報告し，中野らも²²⁾，高蛋白高脂肪食群，普通栄養食群，低蛋白低脂肪食群の3群に分けて飼育したマウスより生まれた産仔マウスの歯の大きさを比較した実験で，高蛋白高脂肪食群が低蛋白低脂肪食群にくらべ大きかったと述べている．これらの研究から環境要因の1つである栄養摂取量が，ヒトや動物の歯の大きさに影響をおよぼす可能性は高いと考えられる．本実験結果では固形の比較で，高栄養飼料群が普通栄養飼料群にくらべ全ての項目で高値を示し，有意差も12計測項目中8項目に認められた．しかし粉末の比較では，有意差は1項目も認められなかった．この固形飼料と粉末飼料の間で不一致が生じた理由について，飼料摂取による歯の咬耗度の違いが固形の普通栄養飼料と高栄養飼料の間で存在し，それが影響した可能性が考えられた．つまり固形飼料の硬度は，比較的似かよった値であったものの有意差があり（普通栄養固形飼料の硬度： 26.70 ± 0.95 kg/cm²，高栄養固形飼料の硬度： 24.45 ± 2.16 kg/cm²， $p < 0.01$ ），硬度が低い高栄養固形飼料群の歯冠咬耗度が低く，普通栄養固形飼料群の値が小さく示されたのではないかと．これに対し，粉末飼料は普通栄養，高栄養ともに1.0mmメッシュパスの粒度であることより，咬耗の違いによる影響は存在しても極めてわずかなものと考えられる．よって栄養摂取量が歯冠幅径におよぼす影響については，粉末飼料による比較で判断すべきと考えられた．以上，粉末飼料の普通栄養群と高栄養群間で

有意差が1項目も存在しなかった本実験結果からは，栄養がラット臼歯歯冠の大きさにおよぼす影響は見いだせなかった．ここで先の諸家らの報告を再検討してみると，まず中野らの報告²²⁾では，飼料硬度や歯冠の咬耗度についての記述がなく，咬耗度の差で歯の大きさに違いを生じた可能性は否定できないと考えられた．また Holloway らの報告¹⁰⁾では，低蛋白の産仔ラットは高蛋白飼料ならびに普通蛋白飼料群にくらべ歯冠が小さかったものの，高蛋白群と普通蛋白群の比較では本研究同様に差は生じておらず，低栄養は歯の大きさに強く影響を及ぼすが，高栄養の場合はプラスの影響が存在しても低栄養ほど顕著には現れにくいのではないかと考えられた．よってこのことを確認するためには，本実験で用いた高栄養飼料を更に高い栄養価を持つ飼料にバランス良く調整し，追加検討する必要性が考えられた．

結 論

環境要因である飼料の形状，栄養量が，ラット咀嚼器官の成長や発達におよぼす影響を形態や重量の変化でとらえ，以下の見解を得た．

- 1．飼料形状の影響として，粉末飼料は固形飼料にくらべ咀嚼筋の発達低下を招くことが示された．また顎骨形態についても差を生じることが確認された．
- 2．飼料栄養量について，高栄養飼料は咀嚼筋の発達ならびに顎骨の成長に影響をおよぼすことが示された．
- 3．本実験条件下では，飼料形状にくらべ飼料栄養量がより強く咀嚼筋の発達，顎骨の成長に影響していたものと判断できた．また粉末飼料では栄養量による差が小さかったのに対し，固形飼料では，高栄養群が普通栄養群に比べて咀嚼筋重量，顎骨の多くの項目で有意に高値を示したことより，栄養量が両咀嚼器官に影響をおよぼすためには十分な咀嚼運動が必要と考えられた．
- 4．ラット臼歯の大きさに対する飼料栄養量の影

響は、本実験結果からは見出せなかった。

稿を終えるにあたり、ご指導とご校閲を賜りました主任、吉武一貞教授に心より謝意を表します。また、終始懇切なご指導をいただきました山口芳功助教授に深謝いたします。最後に、本研究に対しご指導、ご助力を下さいました山本 学講師、森 光伸助手、歯科口腔外科学講座の諸先生と職員、医学部附属動物実験施設の鳥居隆三助教授をはじめ職員の皆様、予防医学講座埜田和史助教授、医学部附属実験実習機器センター山元武文技術専門員、以上の方々に厚くお礼申し上げます。

本論文の要旨ならびに一連の研究成果は、第8回日本顎変形症学会総会（平成10年5月、佐賀県）、第43回日本口腔外科学会総会（平成10年10月、長野県）、第53回日本口腔科学会総会（平成11年4月、東京都）、第10回日本顎変形症学会総会（平成12年4月、滋賀県）において発表した。

文 献

- 1) Andres V, Cusso R, and Carreras J: Effect of denervation on the distribution and developmental transition of phosphoglycerate mutase and creatine phosphokinase isozymes in rat muscles of different fiber-type composition. *Differentiation* 43: 98-103, 1990.
- 2) 天野有希, 太田佳代子, 長谷川誠子, 香川国和, 石田真奈美, 井藤一江, 山口和憲, 丹根一夫: 歯科矯正患者における世代差と歯冠幅径との関連性について. *広大歯誌* 26: 304-309, 1994.
- 3) Bhussry B R: 歯の発生と成長, Bhasker S N 編, 尾持昌次訳 (Orban 口腔組織・発生学), 第2版, pp23-43, 東京, 医歯薬出版, 1982.
- 4) Beecher R M and Corruccini R S: Effects of Dietary Consistency on Craniofacial and Occlusal Development in the rat. *Angle Orthod*, 51: 61-69, 1981.
- 5) Engstrom C, Kiliaridis S and Thilander B: The relationship between masticatory function and craniofacial morphology. II; A histological study in the growing rat fed a soft diet. *Eur J Orthod*, 4: 271-279, 1986.
- 6) 江崎考三郎: マウスとラット, 田嶋嘉雄編集 (実験動物学 各論), 第4版, p16, 東京, 朝倉書店, 1984.
- 7) 福永哲夫: ヒトの絶対筋力 超音波による体肢組成・筋力の分析, 初版, p145, 東京, 杏林書院, 1978.
- 8) 伏木 亨, 松元圭太郎, 魚橋良平, 井上和生: 運動トレーニング中の大豆ペプチドの摂取が筋肉たん白質の遺伝子発現に及ぼす影響. *大豆たん白質研究会会誌* 15: 51-56, 1994.
- 9) 花田晃治: 頭部X線規格写真によるラットの顎顔面頭蓋の成長発育に関する研究. *口病誌* 43: 18-74, 1967.
- 10) Holloway P J, Shaw J H and Sweeney E A: Effects of various sucrose: casein rations in purified diets on the teeth and supporting structures of rats. *Arch Oral Biol* 3: 185-200, 1961.
- 11) 市川三太, 室 増男: 運動生理学, 第1版, pp 166-167, 東京, 理工学社, 1989.
- 12) 伊藤学而, 黒江和斗, 安田秀雄, 井上直彦, 亀谷哲也: 顎骨の退化に関する実験的検討. *日矯歯誌* 41: 708-715, 1982.
- 13) Janzen EK, Bluher JA: The cephalometric, anatomic and histologic changes in macaca mulatta after application of a continuous-acting retraction force on the mandible. *Am J Orthod* 51: 823-855, 1965.
- 14) 葛西一貴: 顎顔面頭蓋の成長発育に関する四次元的研究 ミニプタの下顎骨に対する成長抑制について. *日矯歯誌* 43: 157-184, 1984.
- 15) 健康・栄養情報研究会編: 国民栄養の現状 (平成11年国民栄養調査結果), p103・p129, 東京, 第一出版, 2001.
- 16) 菊田 徹: ラットの脳頭蓋および顔面頭蓋の成長発育に及ぼす食物の硬度の影響. *鶴見歯学* 11: 141-170, 1985.
- 17) Kiliaridis S, Engstrom C and Thilander B: The relationship between masticatory function and craniofacial morphology. I; A cephalometric longitudinal analysis in the growing rat fed. *Eur J Orthod*, 7: 273-283, 1985.
- 18) Kiliaridis S: Muscle function as a determinant

- of mandibular growth in normal and hypocalcemic rat. Eur J Orthod, 11: 298-308, 1989.
- 19) 厚生省公衆衛生局栄養課編：国民栄養の現状（昭和33年度国民栄養調査成績），p68・p103，東京，第一出版，1960．
- 20) Moore W J: Masticatory function and skull growth. J Zool 146: 123 131, 1965.
- 21) 牟田龍生：顎間距離増大後の成猿および若猿における組織順応性に関する実験的研究．九州歯会誌 28：559 581，1975．
- 22) 中野廣一，鈴木尚英，添野一樹，亀谷哲也：高蛋白，高脂肪食の摂取が歯の大きさに及ぼす影響について(抄)．日矯歯誌51：251，1992．
- 23) Nakata S: Relationship between the development and growth of cranial bones and masticatory muscles in postnatal mice. J Dent Res 60: 1440 1450, 1981.
- 24) 野口規久男，黒田敬之，中邨隆子：歯学とくに歯科矯正学における動物実験としての小型ブタ（miniature pig）の使用．口病誌 43：87 91，1976．
- 25) 埜中征哉：形態学的側面，富田忠彦，杉 春夫編，筋肉の生理学（新生理科学大系第4巻），第1版，pp369 372，東京，医学書院，1986．
- 26) 酒井秀彰：成長期ラットにおける各種硬度の飼料摂取による咀嚼筋の組織学的変化および下顎骨の形態計測学的変化．日矯歯誌 51(2)：126 141，1992．
- 27) 佐藤亨至：思春期性成長期における身体各部の成長タイミングに関する研究 - 下顎骨，身長，手骨，頸椎を対象として - ．日矯歯誌 46：517 533，1987．
- 28) 関本恒夫，大竹章夫，鈴木啓之，柏木朗男，宮尾真知子，河野寿一，原 秀一，河内慶子，服部吉秀，渋井尚武：ラットの顎・顔面頭蓋の成長発育に関する研究．歯学 65：647 667，1977．
- 29) 添野一樹：固形飼料ならびに粉末飼料ラットの咀嚼筋機能および下顎枝の成長発育に関する研究．岩医大歯誌 17：1 15，1992．
- 30) Suzuki N: Generation differences in size and morphorogy of tooth crown in the young modern Japanese. Anthropol Sci 101(4): 405 429, 1993.
- 31) 富永庸平：ミニブタを用いた後方牽引装置の下顎骨に対する影響についての組織学的研究．日矯歯誌 44：419 434，1985．
- 32) 対木桂次：犬における下顎骨発育の実験的研究．倉敷中病年報21：44 60，1950．
- 33) Watt DG, Williams CHM: The effects of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and the maxilla of the rat. Am J Orthod 37: 895 928, 1951.
- 34) 山田 元：粉末飼料飼育が発育途上ラット咬筋並びに下顎骨形態に与える影響．岐歯学誌 19(2)：284 301，1992．
- 35) 吉田礼子：液状飼料飼育マウスの咀嚼筋筋繊維の分化と発達に関する研究．日矯歯誌 54(1)：52 63，1995．