

原 著

食物の物性がラット頭蓋底の成長に及ぼす影響

野 田 真

大阪歯科大学歯科矯正学講座

Makoto NODA

Department of Orthodontics, Osaka Dental University

キーワード：ラット，食物の物性，頭蓋底，成長

本研究の目的は、食物の物性の違いがラット頭蓋底の成長に及ぼす影響を調べることである。60匹の2週齢F344/DuCrj系雄性ラットを無作為に固形飼料飼育群と液状飼料飼育群とに均等に分けた。実験は離乳前の2週齢から開始し、3週齢にて離乳を行った。飼育期間中、蝶形骨底部の骨添加の動態を記録するために、42日齢にテトラサイクリン塩酸塩、54日齢にドータイトカルセインを背部皮下に注射した。観察時期は8週齢とし、頭部X線規格写真による頭蓋形態および組織学的骨形態計測による蝶形骨底部の骨添加について調べた。群間の比較は、Student t-testを用いて統計学的に行った。頭部X線規格写真分析の結果、液状飼料飼育群の上部内臓頭蓋は固形飼料飼育群と比較して前上方に変位していた。群間の蝶形骨底部と後頭骨の前後径に有意差はみられなかったが、それぞれのなす角度が異なっていた。頭蓋骨の前後径において、液状飼料飼育群の下顎窩は、固形飼料飼育群よりも前方に位置していた。組織学的骨形態計測の結果、液状飼料飼育群では、蝶形骨底部の内側板外面部の前方部および後方部ともに骨添加量は少なかった。以上の結果より、成長期ラットにおける食物物性の違いは、頭蓋底の前後的な成長変化よりも垂直的な成長変化と関係があることが示唆された。

(日矯歯誌 56(1) : 26~32, 1997)

Effect of dietary consistency on cranial base growth in rat

The aim of this study was to investigate the effect of dietary consistency on cranial base growth in rat. Sixty 2-week F344/Jcl rats were randomly divided into two groups: the hard diet group received the ordinary diet in a hard pellet form during the experimental period, while the soft diet group received the liquid diet.

Vital staining was performed at 42 days of age and 54 days of age by oxytetracycline (20 mg/kg) and calcein (8 mg/kg). At 8 weeks of age, cephalometric analysis and bone morphometric analysis were performed to evaluate the cranial base growth.

The results of cephalometric analysis were as follows: More upward anterior growth rotation of the upper viscerocranium was occurred in the liquid diet group ($p < 0.001$). Significant difference was found in the angle between basisphenoid bone and basioccipital bone ($p < 0.001$), however not in the antero-posterior length. The position of the genoid fossa in relation to the cranium was changed more anteriorly in the liquid diet group. The bone morphometric analysis was showed that the bone apposition rate decreased significantly in both anterior and posterior part of basisphenoid bone in liquid diet group ($p < 0.001$).

It was concluded that the difference of dietary consistency was more closely related to vertical growth change than antero-posterior growth change in cranial base of growing rat.

(J. Jpn. Orthod. Soc. 56(1) : 26~32, 1997)

結 言

頭蓋底の成長は、咬合および歯列を含む顎顔面部の形態形成に重要な役割を果たすと考えられている¹⁾。したがって、頭蓋底の成長様相およびそれに影響を与える要因を研究することは、歯科矯正学的にきわめて重要である。

一般に、頭蓋底は遺伝的要因によって成長がコントロールされていると考えられている²⁾が、最近、頭蓋底そのものも環境的要因から影響を受ける可能性が示唆され³⁾、口腔の機能が関係するとも考えられている。その1つに咀嚼があげられる。

物性の異なる食品を咀嚼すると、咀嚼時に生じる頭蓋のひずみ様相が変化することが分かっている。Iwasaki⁴⁾は、サルを用いた実験で、硬軟両食品の咬合時における成熟期頭蓋と幼年期頭蓋の各構成骨における力学的反応および咬合力緩衝能について研究し、これらには相違が認められることを明らかにし、橋本⁵⁾は、咬合物質の大きさも関係すると報告している。また、石田⁶⁾は、咬合および咀嚼運動によって、顎骨ばかりではなく頭蓋全体にも力学的な変化が生じており、その反応の中心点が蝶形骨にあると報告している。杉村ら⁷⁾は、硬軟両食品をサルに噛ませたとき、蝶形骨での変形する部位が異なることを報告している。

これらの実験から、物性の異なる食品を咀嚼した時に、頭蓋底の力学的環境が変化し、その成長も影響を受けることが考えられる。

近年、生活様式の進歩にともない、摂取食物は軟食化の傾向にあるといわれている^{8,9)}。そのため、咀嚼筋の活動量が減少し、顎骨が縮小傾向にあると指摘されている^{10,11)}。実験的にも、動物を軟性飼料で飼育すると、顎骨¹²⁻¹⁵⁾や咀嚼筋¹⁶⁻¹⁸⁾の発育が遅れること、顔面頭蓋の成長方向が変化すること¹⁹⁾、さらには頭蓋全体の成長にも影響が及ぶこと²⁰⁾が確認されているが、頭蓋底を検索した報告はみあたらない。

本研究では、食物の物性の違いが頭蓋底の成長に及ぼす影響を調べる目的で、成長期のラットを用いて検索した。

実験方法

I. 実験動物

実験動物には、遺伝的に純系を得られやすい近交系のF344/DuCrj系雄性ラットを60匹用いた。ラットは14日齢頃より母乳の他に保育用親ラットの飼料もとりはじめるので、実験は2週齢で保育用親ラットとともに飼育を開始し、無作為に30匹ずつ固形飼料飼育群と液状飼料飼育群とに分けた。離乳は3週齢で行った。飼料と給餌方法は、三谷²¹⁾、金²²⁾、黒江²³⁾の方法を参考とし、固形飼料飼育群には通常の固形飼料を、液状飼

料飼育群には同飼料を20 μ m以下に微粉碎して4倍量の水に溶かした液状飼料を与えた。飼育期間中、蝶形骨底部における骨添加の動態を記録するために、42日齢にテトラサイクリン塩酸塩(20 mg/kg：和光純薬工業、大阪)、54日齢にドータイトカルセイン(40 mg/kg：和光純薬工業、大阪)を背部皮下に注射した。56日齢にて、エーテルを過量に投与して安楽死させ、頭部を70%エタノール中で2週間浸漬固定した。

II. 観察方法

1. 体重測定

実験動物の全身成長を把握する目的で、全てのラットの体重をエーテル麻酔下で1週間毎に測定した。

2. 咀嚼筋乾燥重量の測定

70%エタノール中で2週間固定した頭部から、左右の咬筋および側頭筋を取り出し、60度に設定された恒温乾燥器中で1週間乾燥後、それらの乾燥重量を電子分析天秤(SARTORIUS GM-BH type 1872, Carl Zeiss, Co., Ltd., Göttingen, Germany)にて0.001 gの単位まで計測した。

3. 頭蓋骨の形態計測

1) 側面頭部X線規格写真の撮影

頭蓋底部に損傷を与えないように、頭蓋骨周囲の軟組織を除去した後、超軟X線撮影機(CMBW-2, Softex, 東京)および軟X線撮影用フィルム(FR, 富士フィルム, 東京)を用いて、焦点フィルム間距離600 mm・被写体フィルム間距離60 mmとし、撮影条件39 KVP, 3 mA, 60 sにて側面頭部X線規格写真を撮影した。

2) 計測項目および方法

計測項目(図1, 表1)は、有本が用いた方法²⁴⁾を参考として、9個の角度的項目と15個の距離的項目とした。なお、距離項目ではX線写真上における拡大率の補正は行わなかった。

撮影されたX線規格写真の計測にはパーソナルコンピュータ(Macintosh LC575, Apple Computer, Inc., Cupertino, CA, USA)を用いた。各X線規格写真を透過原稿読み取りユニット付きイメージスキャナー(JX-325, JX-32F6, シャープ, 大阪)にてコンピュータに取り込み、Hyper Cardを用いて、篠原ら²⁵⁾が開発したソフトウェア上で計測点の座標を抽出し、各計測項目を算出した。

3) 組織学的骨形態計測

頭蓋底の中央に位置する蝶形骨底部の骨添加率は、組織学的骨形態計測の手法²⁶⁻²⁸⁾を用いて定量的に評価した。

標本は、上顎咬合平面に垂直な前頭断切片とし、蝶形骨底部の前方部および後方部の2カ所とした(図2)。蝶形骨底部は、頭蓋底の内方に転位して成長していくこと^{29,30)}から、内側板の外面部を計測した(図3)。

組織は、頭部X線規格写真の撮影が終了した後、

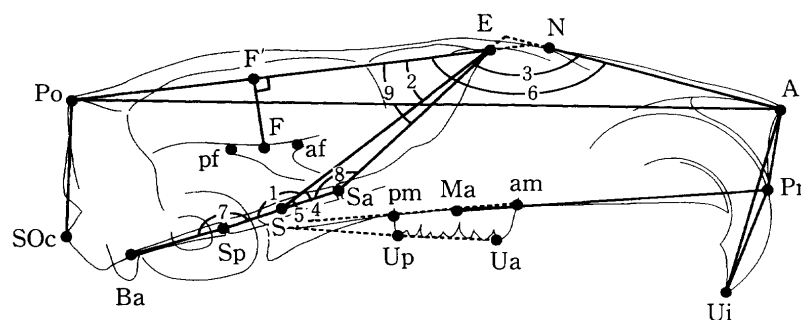


図1 頭部X線規格写真の計測点

1. ES/SaSp, 2. ES/EPo, 3. ES/EN, 4. ES/ampm,
5. ES/UaUp, 6. EPo/NA, 7. SpBa/SpSa, 8. SaSp/SaE, 9. EPo/ESa

表 1

Po	頭蓋冠の最後方点
SOc	大後頭孔前方点
Ba	大後頭孔後方点
Sp	蝶後頭軟骨結合部中点
S	蝶形骨中心点 (Sa と Sp の中点)
Sa	蝶形骨間軟骨結合部中点
E	前頭骨と篩骨後方境界の最上方前方点
N	前頭鼻骨縫合部の表面上の点
A	鼻骨最前方点
Pr	前上顎骨前歯槽突起舌側最深点
Ui	上顎前歯切縁最突出点の中点
am	上顎歯槽底部近心点
Ua	上顎歯列近心点
Up	上顎歯列遠心点
pm	上顎歯槽底部遠心点
af	下顎窩の前方点
pf	下顎窩の後方点
Ma	am と pm の中点
F	下顎窩 (pf と af の中点)
F'	F から E-Po におろした垂線との交点

Vellanuva bone stain³¹⁾にて染色を行い、上昇アルコール列にて脱水した後、methyle methacrylate に包埋した。標本が埋没されたブロックを硬組織カッティングマシン (Cutting unit, EXAKT Atparatebau, Norderstedt, Germany) を用いて約100 μ m の厚さに切り出した後、標本を2枚のすりガラスの間に挟み、厚さ40 μ m に研磨した。作成された非脱灰切片を蛍光顕微鏡にて写真撮影し(装置倍率 $\times$ 31.25, 写真倍率 $\times$ 4.58), そのプリント画像における骨外形線およびテトラサイクリンとドータイトカルセインによる2つの骨標識線をデジタイザー (SD-421, WACOM, 北埼玉) にてパーソナルコンピュータ (Macintosh LC575, Apple Computer, Inc., Cupertino, CA, USA) に入力し、画像解析ソフト (NIH-image 1.44, public domain software) を用いて以下に示す計測を行った。

計測を行う際に、計測領域が群間および標本間で一

<側面観>

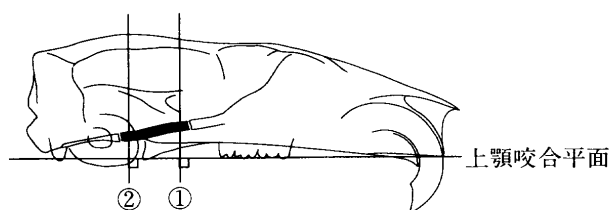


図2 組織採取部位

蝶形骨底部の①前方部と②後方部から上顎咬合平面に対して垂直な前頭断切片を採取した。

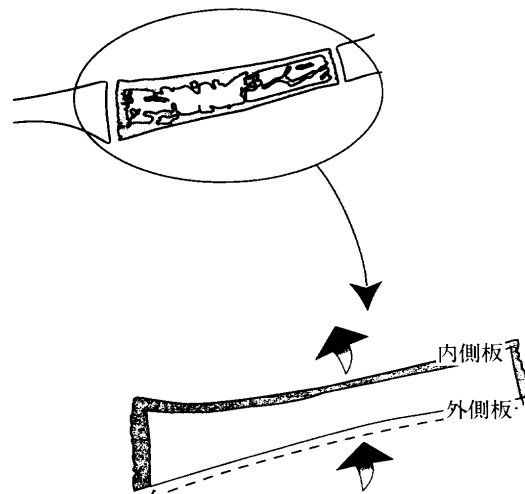


図3 ラット蝶形骨底部の転位様相

外側板に骨吸収、内側板に骨添加が起こり、脳頭蓋内側に向かって転位し、成長する。

定となるように、蝶形骨底部の内側面の最豊隆部間距離を100%とした時の中央部70%に、成長方向と平行な基準線aとbを設定した(図4)。計測変量は4項目とし、直接計測して得られる第一次変量と、第一次変量から計算で求める第二次変量とした。

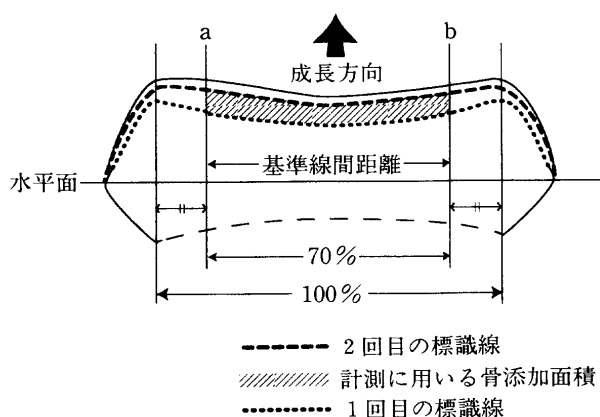


図4 蝶形骨底部前頭断切片における基準線と計測部位

表2 体重

週齢	固形飼料飼育群		液状飼料飼育群	
	平均	S.D.	平均	S.D.
2	21.2	0.7	21.2	0.9
3	31.1	0.9	31.4	1.0
4	55.6	3.9	54.7	3.5
5	83.9	6.1	83.7	2.7
6	119.4	4.8	117.0	3.9*
7	141.6	5.1	140.7	5.9
8	176.8	3.7	177.3	3.3

*: $p < 0.05$ 単位: (g)

第一次変量は、① 二重標識間の面積 (μm^2): 基準線 a と b および 1 回目と 2 回目の骨標識線によって囲まれた領域(図4の斜線部), ② 基準線間の距離 (μm): 基準線 a と b との間の距離, である。

第二次変量は、① 平均二重標識幅 (μm): 二重標識間の面積/基準線間の距離, ② 骨添加率 ($\mu\text{m}/\text{day}$): 平均二重標識間幅/(1/2)標識日数の合計+標識休止日数, である。

標識日数と標識休止日数については、今回 42 日齢に第 1 回目, 54 日齢に第 2 回目の骨標識を行っていることから、標識日数の合計は 2 日となり、標識休止日数は 43 日齢から 53 日齢までの 11 日となる。

4. 各計測項目の評価

各データについては、統計処理ソフトウェア (STATISTICA v.3.0bj, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) を用いて、Student t-test を行った。

結 果

I. 体重の変化

実験期間を通して、各群とも体重は徐々に増加した。液状飼料飼育群において、6 週齢で一時的な体重の減少が認められたが、その他の週齢では、両群間の体重増加に有意な差はみられなかった (表2)。

表3 咀嚼筋乾燥重量

	固形飼料飼育群		液状飼料飼育群	
	平均	S.D.	平均	S.D.
咬筋	0.139	0.012	0.101	0.008***
側頭筋	0.058	0.007	0.051	0.008***

***: $p < 0.001$ 単位: (g)

表4 頭部X線規格写真計測値

	固形飼料飼育群		液状飼料飼育群	
	平均	S.D.	平均	S.D.
角度計測値 (°)				
ES/SaSp	163.9	0.7	162.9	0.8***
ES/EPo	28.7	0.7	28.5	3.4
ES/NA	129.5	1.6	133.5	1.4***
ES/ampm	28.9	1.2	28.0	2.0*
ES/UaUp	33.5	1.6	33.3	1.3
EPo/NA	158.2	1.6	161.9	3.3***
SpBa/Sp	176.7	0.8	178.2	0.9***
SaSp/Sa	159.6	0.9	158.3	0.6***
EPo/ESa	33.0	0.8	33.1	0.3
距離計測値 (mm)				
Po-A	42.8	1.3	42.2	0.5*
E-Po	26.9	0.6	26.8	0.6
Po-SOc	9.4	0.2	9.0	1.7
Sp-Ba	7.1	0.3	7.0	0.1
Sp-Sa	7.6	0.3	7.6	0.1
Sa-E	14.2	0.4	13.7	0.2***
E-S	17.8	0.5	17.3	0.3***
N-A	14.8	0.6	14.8	0.3
A-Pr	7.8	0.4	7.3	0.3***
A-Ui	11.4	0.6	11.4	0.3
Pr-Ui	4.7	0.5	4.4	0.1**
Ma-Pr	15.7	0.4	15.4	0.5**
F-F'	4.7	1.1	4.7	1.0
F'-E	16.3	3.5	14.7	0.4*
F'-Po	11.2	0.6	12.0	0.5***

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

II. 咀嚼筋乾燥重量

咬筋・側頭筋ともに、固形飼料飼育群より液状飼料飼育群の方が有意に小さかった (表3)。

III. 頭部X線規格写真

実験終了時の各群の頭蓋骨における各計測項目の平均値と標準偏差を表4に示した。

上部内臓頭蓋の成長方向が両群間で異なっていた。すなわち、液状飼料飼育群では、上部内臓頭蓋は脳頭蓋に対して前上方に変位していた (EPo/NA, ES/NA)。また、上顎歯槽骨部も液状飼料飼育群では前上方に変位していた (ES/ampm)。

表 5 組織学的骨形態計測結果

	骨添加率			
	固形飼料飼育群		液状飼料飼育群	
	平均	S.D.	平均	S.D.
蝶形骨底部前方部	3.7	0.8	2.0	0.4***
蝶形骨底部後方部	1.8	0.3	1.2	0.2***
***: $p < 0.001 (\mu\text{m}/\text{day})$				
骨添加率の前後比 (前方/後方)				
	固形飼料飼育群		液状飼料飼育群	
	2.0		1.7	

頭蓋底では、両群とも蝶形骨と後頭骨の長さに違いはみられなかったが、篩骨は液状飼料飼育群の方が有意に小さかった (Sa-E). また、蝶形骨と篩骨および後頭骨とのなす角度が異なっていた (ES/SaSp, SaBa/SaSp, SaSp/SaE).

脳頭蓋の大きさに大きな違いはみられなかったが、液状飼料飼育群の下顎窩の位置は、脳頭蓋の前後径の中で前方に位置していた (F'-Po, F'-E).

IV. 組織学的骨形態計測

骨添加率は、蝶形骨前方部および後方部ともに、液状飼料飼育群の方が有意に小さかった。また、前方部と後方部の骨添加率の比(前方部/後方部)においても、液状飼料飼育群の方が小さかった (表5)。

考 察

I. 実験方法について

1. 実験動物

動物を用いて顎顔面頭蓋の成長を観察する実験では、個体間のばらつきが少なく成熟までの期間が短いこと、および同時に多数の飼育が可能であるため統計学的手法を用いた研究を行いやすいことなどの多くの利点をもつラットが広く用いられている。これらの理由から、今回の実験においてもラットを用いた。

脳頭蓋および頭蓋底は生後 60 日頃まで旺盛な成長が続くことから^{32,33)}、観察期間は 8 週とした。

食物の物性を変化させる実験で、ラットを用いる場合、齧歯類特有の切歯の挺出に関する問題が考えられるが、過去に行われた軟性飼料飼育実験で、切歯の削合の有無は頭蓋の形態的な変化に影響しないと報告されていること^{15,34)}や、その際の外科的侵襲を考え、今回の実験では切歯の削合は行わなかった。

2. 飼育飼料について

食物の物性に違いを与えて顎顔面頭蓋の成長発育を調べた研究はこれまで多く行われている。その際に、硬食群のモデルとして通常の固形食が与えられ、また軟食群のモデルとしてその固形食を粉末状にした粉末

飼料、水を混ぜ合わせた練り状・液状飼料が与えられている。

相星³⁵⁾によると、飼料の性状や物性によってその摂取時の顎運動様式が異なることが報告されている。たとえばマウスでは、固形飼料の場合、ある程度下顎切歯で切り取ってから臼歯で咀嚼し、練り状および粉末飼料は切歯で噛み取ってから臼歯で咀嚼しているが、液状飼料の場合、その摂取時にはほとんど咀嚼はみられず、また上下の歯も接触しない lapping を行う。つまり、食物の物性の違いが、飼料摂取時の咀嚼筋活動量、歯列および顎関節にかかる機能力に関係すると考えられる。今回の実験では、飼料の性状や物性の違いによる顔面頭蓋骨への影響について調べることを目的としているため、飼育飼料は、その差異が最も顕著と考えられる固形飼料と液状飼料とした。

II. 計測結果について

体重は実験終了時に至るまで有意な差はほとんどみられなかったので、飼料の液状化は、ラットの全身健康状態に影響を与えていないと考えられる。咀嚼筋重量については、実験終了時における咬筋および側頭筋ともに液状飼料飼育群の方が有意に小さかった。筋重量と筋力とは比例する³⁶⁾ということから考えると、液状飼料飼育群の実験終了時における筋機能力は低下していたものと思われる。

一方、ヒトの頭蓋底の成長は、蝶形骨間軟骨結合、蝶形骨軟骨結合および蝶後頭軟骨結合における成長が主であると考えられている。これらの軟骨結合の成長とそれに続いて起こる軟骨性化骨は、内在的な遺伝要因によって支配されていると考えられてきた³⁷⁾。しかし、Koski³⁸⁾は、下顎頭軟骨、橈骨骨端軟骨、頭蓋底軟骨結合部の移植実験の結果、橈骨骨端軟骨は自律性の成長能を示し、下顎頭軟骨は急速にその構造が失われて成長せず、頭蓋底軟骨結合部はその中間型であったと報告した。また、山本³⁹⁾は、ウサギの鼻中隔、蝶後頭軟骨結合、下顎頭より分離した軟骨細胞の増殖および分化機能に対する静水圧の影響を検討した結果、鼻中隔では主として増殖能が促進され、下顎頭では主として分化機能が促進され、蝶後頭軟骨結合はその中間の反応を示したと報告している。これらの実験結果は、頭蓋底の成長が環境的な要因からも影響を受ける可能性を示しているものと思われる。

今回の骨形態計測の結果から、固形飼料飼育群および液状飼料飼育群ともに、蝶形骨底部の骨添加率は、前方部の方が後方部よりも大きかった。蝶形骨底部は前上がり回転成長をしたものと考えられる。このことは、Vilman⁴⁰⁾が頭部 X 線規格写真を用いて成長期ラットの頭蓋底を調べた研究と一致する。また、群間の骨添加率を比較すると、液状飼料飼育群は、蝶形骨底部の前方部と後方部において有意に小さく、また、その前後比も小さかったことから、液状飼料飼育

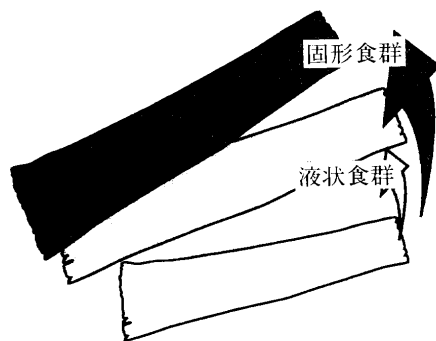


図5 各群における蝶形骨底部の転位様相の相違

群の蝶形骨底部は固形飼料飼育群と比べて、回転成長が小さかったものと考えられる(図5)。

次に、頭部X線規格写真の結果について考察する。頭蓋底の成長には、軟骨結合部の成長が重要な役割を果たしているが、固形飼料飼育群と液状飼料飼育群ともに、蝶形骨底部と後頭骨は前後径に関して有意な差がみられなかった(Sa-Sp, Sp-Ba)。したがって、蝶後頭軟骨結合部の成長は、食物の物性という環境的要因からは影響を受けにくいと考えられる。しかし、蝶形骨底部と後頭骨および蝶形骨底部と篩骨部はそれぞれなす角度が異なっていた(SpBa/SaSp, SaSp/SaE)。このことから、異なる物性の飼料を咀嚼することによって、頭蓋底は屈曲すると考えられる。

また、下顎窩については、液状飼料飼育群の方が固形飼料飼育群に比べて、より前方に位置していた(F'-E, F'-Po)。溝口⁴¹⁾が行った蝶後頭軟骨結合を破壊して下顎頭部の成長現象を調べた研究から、蝶後頭軟骨結合の成長と下顎窩の位置とは密接に関係していることが示されている。しかし、今回の実験では、蝶形骨と後頭骨の前後径に有意差はみられず、2つの骨のなす角度が異なっていた。このことは、物性の異なる飼料を咀嚼した時に、顎関節部に加わる負荷の影響と関係があるのかもしれない²⁴⁾。ラットの顎関節は、切歯で飼料を咬みきるときに咀嚼力を受ける部位である⁴²⁾といわれているが、液状飼料摂取時には切歯で飼料を咬みきる動作を行わないことから、顎関節部に対する負荷はほとんど生じないと思われる。つまり、顎関節に対する機能力が少ないため、脳の成長による神経頭蓋の成長拡大の影響を相対的に強く受けたと思われる。したがって、蝶後頭軟骨結合の成長量は、咀嚼による影響をほとんど受けず、その時に生じた頭蓋の力学的環境の変化によって、頭蓋底が屈曲したと考えられた。

以上の結果より、成長期ラットにおける食物物性の違いは、頭蓋底の前後的な成長変化よりも垂直的な成長変化と関係があることが示唆された。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導を賜りました大阪歯科大学歯科矯正学講座木下善之介名誉教授に深甚

なる敬意を表します。また、研究を進めるにあたり数々の有益なご助言、ご指導をいただきました大阪歯科大学歯科矯正学講座川本達雄教授に心から感謝の意を表すとともに、本研究の遂行に多大なるご協力をいただいた教室員の方々に厚くお礼申し上げます。本研究に際し、大阪歯科大学共同利用研究施設(実験動物施設)を利用した。本研究の一部は、平成7年度大阪歯科大学学術奨励助成金(課題番号A 95-10)によって行った。

本研究の要旨の一部は、第54回日本矯正歯科学会学術大会(1995年10月5日、札幌)において発表し、要旨は第74回国際歯科研究学会総会(1996年3月14日、サンフランシスコ)において発表した。

文 献

- 1) Enlow, D.H. and Hunter WS: The growth of the face in relation to the cranial base, Trans Europe Orthodont Soc 321-335, 1968.
- 2) Van Limbough, J.: A New view on the control of the morphogenesis of the skull, Acta Morphol Neerl-Scand 8: 143-160, 1970.
- 3) Hooper, H. Cranio-gnathic implication. In: Hockel JLaC, W (ed), ed. Orthopedic gnathology, Quintessence Publishing Co., 1983, 331.
- 4) Iwasaki, K.: Dynamic responses in adult and infant monkey craniums during occlusion and mastication, J Osaka Dentl Univ 23: 77-97, 1989.
- 5) 橋本和典, 杉村忠敬: サル頭蓋の咬合力緩衝機構における咬合物質の大きさの影響について, 歯科医学 54: 301-314, 1991.
- 6) 石田 晃: 咬合力・咀嚼力および矯正力に対する頭蓋の力学的反応機構に関する実験的研究, 歯基礎誌 14: 323-341, 1972.
- 7) 杉村忠敬, 稲田條治, 松本俊郎: 咬合物質の厚さに対する蝶形骨大翼の力学的応答, 顎顔面バイオメカニクス学会誌 1: 22-29, 1995.
- 8) 井上直彦: 食生活の変化と顎の退化, バイオメカニズム学会誌 14: 194-199, 1990.
- 9) Varrela, J.: Occurrence of malocclusion in attritive environment: a study of a skull sample from Southwest Finland, Scand J Dent Res 98: 242-247, 1990.
- 10) 井上直彦: 人類における歯と顎骨の不調和, 人類誌 88: 69-82, 1980.
- 11) 伊藤学而, 黒江和斗, 安田秀雄, 他: 顎骨の退化に関する実験的研究, 日矯歯誌 41: 708-715, 1982.
- 12) Watt, D.G. and Williams, C.H.: 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.

- 13) 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.
- 14) 黒江和斗, 伊藤学而 : 食物の軟化による咀嚼器官の退化, *西日矯歯誌* 27 : 19-24, 1983.
- 15) 菊田 徹 : ラット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
- 16) 添野一樹 : 固形飼料ならびに粉末飼料飼育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, *岩医大誌* 17 : 1-15, 1992.
- 17) 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 : 126-141, 1992.
- 18) 吉田礼子 : 液状飼料飼育マウスの咀嚼筋線維の分化と発達に関する研究, *日矯歯誌* 54 : 52-63, 1995.
- 19) Kiliaridis, S., Engström C. and Thilander, B. : The relationship between masticatory function and craniofacial morphology, I. A cephalometric longitudinal analysis in the growing rat fed a soft diet, *Eur J Orthod* 7 : 273-283, 1985.
- 20) Ito, G., Mitani, S. and Kim, J.H. : Effect of Soft Diets on Craniofacial Growth in Mice, *Anat Anz* 165 : 151-166, 1988.
- 21) 三谷誠一 : 飼料の粉碎化と液状化がマウスの咀嚼器官と全身の発育に及ぼす影響, (会) *日矯歯誌* 1987.
- 22) 金 俊熙 : 液状飼料がマウス顎下腺の発達と老化に及ぼす影響, *日矯歯誌* 49 : 73-86, 1990.
- 23) 黒江和斗 : 下顎頭と下顎窩の加齢変化に及ぼす咀嚼の影響, *日矯歯誌* 50 : 196-209, 1991.
- 24) 有本博英 : 咬合力発現部位の位置的な違いがラット顎顔面の成長発育に及ぼす影響について, *歯科医学* 58 : 17-30, 1995.
- 25) 篠原範行, 有本博英, 木下善之介 : イメージスキャナーを用いたラット頭部エックス線規格写真分析の有効性について(会), *日矯歯誌* 53 : 293, 1994.
- 26) 高橋栄明 : 骨形態計測, 新潟, 1983, 西村書店, 9-27.
- 27) Yamada, K. and Kimmel, D.B. : The effect of dietary consistency on bone mass and turnover in the growing rat mandible, *Archs oral Biol* 36 : 129-138, 1991.
- 28) Yamamoto, S. : The effects of food consistency on maxillary growth in rats, *Eur J Orthod* in press, 1996.
- 29) Cleall, J.F., Wilson, G.W. and Garnet, D.S. : Normal craniofacial skeletal growth of the rat, *Am J Phys Anthropol* 29 : 225-242, 1968.
- 30) Vilmann, H. : The growth of the cranial base in the wistar albino rat studied by vital staining with alizarin red S, *Acta Odont Scand* 29, Suppl 59 : 1-44, 1971.
- 31) Villanueva, A.R. : A bone stain for osteoid seams in fresh, unembedded, mineralized bone *Stein Tech* 49 : 1-8, 1974.
- 32) 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* 34 : 18-74, 1967.
- 33) Roberts, G.J. and Blackwood, H.J.J. : Growth of the cartilages of the mid-line cranial base : a radiographic and histological study, *J Anat* 136 : 307-320, 1983.
- 34) Kiliaridis, S. : The relationship between masticatory function and craniofacial morphology III. The eruption pattern of the incisor in growing rat fed a soft diet, *Eur J Orthod* 8 : 71-79, 1986.
- 35) 相星順子 : 性状の異なる飼料で飼育したマウスの臼歯咬耗の形態, *日矯歯誌* 53 : 429-442, 1994.
- 36) 市河三太, 室 益男 : 運動生理学, 東京, 1989, 理工学社, 48-52.
- 37) Graber, T.M. : *Orthodontics, Principles and practice*, 3rd ed. Philadelphia・London, 1972W. B. Saunders Co., 44.
- 38) Koski, K. and Ronning, O. : Growth potential of subcutaneously transplanted cranial base synchondroses of the rat, *Acta Odont Scand* 27 : 343-357, 1969.
- 39) 山本照子 : メカニカルストレスと軟骨細胞—ウサギ頭蓋より分離した軟骨培養細胞に対する静水圧の影響—, *日骨代謝誌* 8 : 155-162, 1990.
- 40) Vilmann, H. : The growth of the cranial base in the albino rat revealed by roentgenoccephalometry, *J Zool* 159 : 283-291, 1969.
- 41) 溝口 到 : 成長期ラット蝶後頭軟骨結合部破壊が下顎頭の成長発育に及ぼす影響に関する研究, *日矯歯誌* 46 : 316-333, 1987.
- 42) Weijs, W.A. : Mandibular movements of the albino rat during feeding., *J Morphol* 145 : 107-124, 1975.

主 任 : 川 本 達 雄 教授 1996 年 9 月 10 日 受付

連絡先 : 野 田 真
大阪歯科大学歯科矯正学講座
〒540 大阪市中央区大手前 1-5-31