咀嚼時の機能的負荷の違いが顎顔面骨格形態に与える影響

— 成長期ウサギにおける粉末飼料飼育による影響について —

森 田 匠 根 来 武 史 伊 藤 関 門*
藤 原 琢 也* 平 場 勝 成* 水 谷 誠**
大 野 紀 和** 後 藤 滋 巳

The Effect of an Altered Functional Mastication Load on Maxillofacial Morphology

— The Effect of a Fine-grained Diet on Growing Rabbits —

TAKUMI MORITA, TAKEFUMI NEGORO, KANMON ITO*,
TAKUYA FUJIWARA*, KATSUNARI HIRABA*, MAKOTO MIZUTANI**,
NORIKAZU OHNO** and SHIGEMI GOTO

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the effect of a fine-grained diet on the rabbit maxillofacial skeleton. Twelve male Japanese white rabbits, at age 5 weeks (juveniles), were used for the experiment. Six of these rabbits were fed a fine-grained diet, as the experimental group, and the other six were fed a normal hard diet (pellet form), as the control group. Both groups were raised until 18 weeks (adults, 3.0kg). Maxillofacial skeletons of the two groups were compared using standardized digital photographs.

The characteristics of the experimental group were as follows :

1) The zygomatic arch width and the area of the facial tuber that related to the attachment of the masseter muscle were smaller compared with the control group.

2) The mandibular ramus width was significantly

smaller, and the mandibular body-ramus angle was larger, in the experimental group than in the control group.

3) In the superimposition of the lateral view, the point of the lower incisor lingual cervical line was shifted forward. The apex of the angle process was shifted forward; however, there were no significant differences in the positions of the mandibular condyle and the mandibular fossa.

4) In the superimposition of the frontal view, the lowest points of the mandibular angle showed laterotrusion.

These findings suggested that the morphological features of the rabbit, raised on a fine-grained diet, especially the attachment of the masticatory muscle, were altered by decreasing the functional masticatory load.

Key words : fine-grained diet (粉末飼料), functional load (機能的負荷), craniofacial morphology (骨格形態)

[Received Mar. 14, 2001]

愛知学院大学歯学部歯科矯正学講座 (主任 : 後藤滋巳教授)

*愛知学院大学歯学部生理学講座 (主任 : 故佐藤豊彦教授)

**愛知学院大学歯学部解剖学第一講座 (主任 : 大野紀和教授)

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University (Chief : Prof. Shigemi GOTO)

*Department of Physiology, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University (Chief : Prof. The Late Toyohiko SATOH)

**Department of 1st Anatomy, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University (Chief : Prof. Norikazu OHNO)

緒 言

咀嚼機能は咀嚼に関与する歯の支持組織、咀嚼筋、顎関節など種々な組織が互いに協調してはじめて咀嚼の目的が達成され、さらに口腔内の感覚情報をもとに食物の性質や量などによって調整されている¹⁻³⁾。

また、咀嚼機能は顎顔面骨格の成長発育や咬合状態と密接な関係をもっており、成長発育の過程においては、摂取する食物の形状や性状などの環境的因子の変化によって、咀嚼機能の発達に及ぼす影響が異なるものと考えられる。

近年、調理された柔らかい食べ物を好むようになり、食生活の変化による生体への影響が指摘されている⁴⁻⁶⁾。このような影響について検討するために、食物性状の違いによる咀嚼筋活動に関する研究や顎、筋などの発達に及ぼす影響に関する研究がなされている⁷⁻²¹⁾。特に粉末飼料や液状飼料を用いた軟性飼料飼育による咀嚼器官への影響に関する動物実験はいくつかなされておき、顎骨や咀嚼筋の発育が遅れることが報告されている⁷⁻¹⁹⁾。さらに伊藤¹⁰⁾は顎骨の退化に関する実験において、軟食を与えることによって顎骨は小さくなり、それは一世代の変化として起こるのではなく、次世代にも伝達される可能性を言及している。これら実験の多くは個体差が少ないことからラットやマウスを用いているが、咬筋組織や咀嚼運動方式はヒトのそれとは大きく異なっている²²⁻³²⁾。

また、骨格形態の変化についての検討ではX線写真を用いたものが多いが^{5,7-9,12,14)}、X線写真ではトレースも難しく、局所的な骨格の形態を細部まで把握することは困難である。そこで今回、われわれは離乳直後より継続的に粉末飼料飼育を行ったウサギの骨標本を用いて、デジタル画像の規格撮影法を新たに考案し、粉末飼料飼育による形態学的影响について検討を行った。

実験資料および方法

1. 実験動物および飼育方法

実験動物として離乳直後の生後5週齢の日本白色家兎(体重約500g)12羽を用い、対照群6羽と実験群6羽に分けて飼育を行った。飼育方法として、対照群は固形飼料(CR-3ペレット状: ϕ 3.2mm, 日本クレア株式会社)を、実験群は固形飼料と同一成分の粉末飼料(CR-3粉末状: No.10メッシュパス, 日本クレア株式会社)を用い、それぞれ18週齢まで飼育した。実験期間中の飼料と水は自由摂取とした。なお、本実験は、愛知学院大学歯学部動物実験指針に従って行った。

2. 骨格標本の作製

ウサギをペントバルビタール系麻酔薬による深麻酔にて

屠殺し、八谷ら³³⁾の方法に従って頭部を30分煮沸した後、タンパク質分解酵素(タシナーゼN-11-100, 協和醗酵工業)溶液(0.5%)に50℃にて15時間浸漬し、軟組織を除去して乾燥させた。その後、4倍稀釈の過酸化水素水にて漂白を行い、再度乾燥させて作製した。

3. 骨標本のデジタル規格撮影

作製された骨標本は、上下顎咬合させた状態で固定し、撮影時の固定の基準点とするために、まず鼻骨最前方部、ラムダ縫合交点、左右の眼窩最前方部に直径2mmの金属球を取り付けた。プラスチック製の固定装置の中において、上面からは鼻骨最前方部とラムダ縫合を結んだ線が固定装置底面に引かれた中央線と一致し、さらに側面からもこの線が水平になるように固定した。正面からは左右の眼窩最前方部に取り付けた金属球の高さが同じになるように、位置付けて固定した(Fig.1)。

また、この固定装置は頭部に対する下顎骨の位置を維持したまま頭部と下顎骨を分離することが可能であり、撮影に際しては計測する部位により必要に応じて分離した状態で撮影を行った(Fig.2)。固定した骨格標本は15cmの距離から、デジタルカメラ(OLYMPUS CAMEDIA C-830 L, オリンパスおよび接写レンズKenko CLOSE-UP No.5, Kenko)を用いて規格撮影を行った。

4. 計測方法および計測点の設定と計測項目

撮影した画像はコンピュータ(Macintosh G3, Apple)に取り込み、画像計測ソフトNIH image Ver.1.62を用いて計測を行った。

頭部正面、頭部側面、頭部下面、下顎骨側面における計測点、計測項目をTable1およびFig.3~6に示す。また計測にあたり、個体差を除くため、頭長は計測した実測値(mm)で表し、それ以外の距離計測は頭長(na-la)を100とした時の割合(%)で表した。また、頬骨弓前方部で咬筋浅層の付着部位である顔結節の面積については、左右の頭骨側頭縫合と冠状縫合の交点を結んでできる三角形の面積を100とした時の割合(%)で表した(Fig.7)。

5. 側面規格写真および正面規格写真の重ね合わせ

重ね合わせにおける検討においても、各ウサギの大きさにおける個体差の影響を除くため、固形飼料飼育したウサギの中で頭長が最も平均に近い固体を基準に、全てのウサギをコンピュータ画面上でAdobe Photoshp 5.0を用い、縮小もしくは拡大を行い、大きさの正規化を行った。側面における検討では、全てのウサギにおいて視神経孔を原点とし、正面ではna(鼻骨最前方部)を原点として重ね合わせを行い、対照群(固形飼料飼育)と実験群(粉末飼料飼育)の各計測点における成長方向の相違について検討を行った。

Fig. 1 The fixation device of skull for standardized photograph
The na-la line (the most anterior point of nasal bone to the intersection point of bilambdoid suture) was coincided with the central bottom line of the fixation device, and the na-la line was coincided with the horizontal line of the fixation device. The left and right of the most anterior orbita were fixed on the same level.

Fig. 2 The fixation device of skull for standardized photograph
The picture showed the divided mandible and cranium individually.

6. 統計処理

各計測項目について、各群の平均値、標準偏差値を算出し、実験群と対照群の間で unpaired t-test (student t-test) を用いて有意差の検定を行った。

結 果

1. 実験動物の体重変化について

骨標本作製時 (18 週齢) のウサギの体重は、実験群 (粉末飼料飼育 : 2.5kg~3.5kg, 平均 3.11 ± 0.49 kg) と対照群 (固形飼料飼育 : 3.1kg~3.5kg, 平均 3.27 ± 0.19 kg)

の間に有意な差はみられなかった。

2. 骨形態における実験群と対照群との比較

骨標本のデジタル規格撮影における分析では、頭部の正面、側面、下面および下顎骨側面における検討を行った。Table 2 に本結果を示す。側面における比較では、すべての計測の基準となる na-la (頭長) では、実験群 (粉末飼料飼育 : 86.88 ± 5.15 mm) と対照群 (固形飼料飼育 : 86.69 ± 3.60 mm) との間で差は認められなかった。頬骨弓では、azy-pzy (頬骨弓長径) に差はみられなかったが、zy-zy' (頬骨弓幅径) において、実験群で $9.44 \pm 0.70\%$ 、対照群

Table 1 Landmarks of standardized photographs

Landmarks on lateral standardized photograph of cranium	
na :	The most anterior point of nasal bone
la :	The intersection point of bilambdoid suture
azy :	The most anterior point of zygomatic arch
pzy :	The most posterior point of zygomatic arch
zy, zy' :	The intersection points of the line perpendicular to the azy-pzy line from anterior point of orbita and optic foramen were defined, and the intersection points of the line perpendicular to the upper and lower of zygomatic arch from the midpoint between the above intersection points were defined as zy and zy'
pr :	The point of upper incisor lingual cervical line
fm :	Mandibular fossa
ba :	The most posterior point of occipitale bone
oc :	The lowest point of occipitale bone
Landmarks on superoinferior standardized photograph of cranium	
pr :	The point of upper incisor lingual cervical line
pns :	The intersection point of median palatine suture and left and right tuber maxillae
am :	The point of the most anterior molar mesial cervical line of maxilla
pm :	The point of the most posterior molar distal cervical line of maxilla
Landmarks of standardized photograph of mandible	
id :	The point of lower incisor cervical line
go :	The apex of angle process
cd :	The most anterior point of mandibular condyle
cp :	The apex of coronoid process
ag :	The lowest point of mandibular angle
co :	The point of the most anterior molar distal cervical line of mandible
co' :	The intersection point of the perpendicular on go-id line from point co and bottom of mandibular body.
ra, ra' :	The intersection points of the line perpendicular to the go-id line from point cp and point go were defined, and the intersection points of the line perpendicular to the anterior and posterior of mandibular branch from the midpoint between the above intersection points were defined as ra and ra'
lam :	The point of the most anterior molar mesial dental neck of mandible
lpm :	The point of the most posterior molar distal dental neck of mandible
cm :	The most posterior point of Mandibular condyle
Landmarks on frontal standardized photograph of cranium	
pa :	The highest point of frontal bone
me :	The lowest point of mandible
rza, lza :	The most exterior point of zygomatic arch (right and left)
rj, lj :	The most exterior point of maxilla (right and left)
rag, lag :	The lowest point of mandibular angle (right and left)
rum, lum :	The point of molar buccle cervical line of maxilla (right and left)

で $10.69 \pm 0.79\%$ と有意 (危険率 5%) に実験群が小さかった。

正面における比較では, pa-me (頭高), rza-lza (左右頬骨弓間幅径), r-j-l-j (上顎骨幅径) および rag-lag (下顎骨幅径) に差はなかったが, 実験群において, rza-lza (左右頬骨間幅径) の小さい傾向と, rag-lag (下顎骨幅径) の大きい傾向が認められた。また, 下面における比較では,

pr-pns (上顎骨長径) と am-pm (上顎臼歯部歯列長径) に差は認められなかったが, 頬骨弓前方部で咬筋浅層の付着部位である顔結節の面積は実験群で $9.51 \pm 0.36\%$, 対照群で $11.53 \pm 0.41\%$ と有意 (危険率 1%) に実験群の方が小さい面積であった。

下顎骨に関する比較においては, Id-go (骨体長), cd-ag (下顎枝長), co-co' (骨体幅) および Id-lpm (下顎歯列長径)

Fig. 3 The landmarks and measurements on the lateral standardized photograph of cranium.

1. Length of cranium (na-la)
2. Length of zygomatic arch (azy-pzy)
3. Zygomatic arch width (zy-zy')

Fig. 4 The landmarks and measurements on the superoinferior standardized photograph of cranium.

4. Length of maxilla (pr-pns)
5. Length of upper posterior dentition (am-pm)
6. Area of facial tuber

に差は認められなかったが、 $ra-ra'$ (下顎枝幅) は、実験群で $16.77 \pm 0.86\%$ 、対照群が $19.20 \pm 0.95\%$ と有意 (危険率 1%) に実験群で小さかった。また、 $lam-lpm$ (下顎臼歯部歯列長径) は実験群で $19.40 \pm 1.06\%$ 、対照群で $17.94 \pm 1.19\%$ と実験群 (粉末飼料飼育) で有意 (危険率 5%) に大きかった。下顎骨体-下顎枝角は実験群で $119.24 \pm 1.05^\circ$ 、対照群 (固形飼料飼育) で $114.36 \pm 1.01^\circ$ と実験群において有意 (危険率 1%) に大きかった。なお、本結果において特に顕著な違いが認められた頬骨弓、顔結節および下顎骨における実験群および対照群の代表的な個体の写真を Fig. 8 に示す。

3. デジタル規格画像における重ね合わせの検討

側面での重ね合わせによる各計測点の X 軸および Y 軸の座標値 (平均値) の結果を Table 3, 4 に示し、その結果をもとに図に表したものを Fig. 9 に示す。また、正面

Fig. 5 The landmarks and measurements for the mandibular standardized photograph.

7. Length of mandibular body (id-go)
8. Length of mandibular ramus (cd-ag)
9. Mandibular body width (co-co')
10. Mandibular ramus width (ra-ra')
11. Length of lower dentition (id-lpm)
12. Length of lower posterior dentition (lam-lpm)
13. Mandibular body-ramus angle

Fig. 6 The landmarks and measurements on the frontal standardized photograph of cranium.

14. Height of cranium (pa-me)
15. Bizygomatic width (rza-lza)
16. Maxilla width (rj-lj)
17. Mandibular width (rag-lag)

の重ね合わせにおける結果をそれぞれ Table 5, 6 および Fig. 10 に示す。

側面での比較では、pr (上顎切歯口蓋側歯頸部) の位置が、実験群 (粉末飼料飼育) において、対照群より危険率 1% で有意に前方に、危険率 5% で下方に位置していた。また、id (下顎切歯舌側歯頸部) および lam (下顎最前方臼歯の近心歯頸部) の位置は実験群において、有意 (それ

Fig. 7 Based length and area for standardization.

The measurements in the present study were calculated the percentage based on the length (a) of cranium was defined as 100 percent. The area of facial tuber was measured the percentage based on the area of triangle (b) was defined as 100 percent.

Table 2 Comparison of standardized photograph measurements in between control and experimental groups

Measurements	Control (Solid diet) Mean±S.D.	Experimental (Fine-grained diet) Mean±S.D.	Significant diff.
1. Length of cranium (na-la) (mm)	86.69±3.60	86.88±5.15	n.s.
2. Length of zygomatic arch (azy-pzy)	47.10±3.47	47.36±4.80	n.s.
3. Zygomatic arch width (zy-zy')	10.69±0.79	9.44±0.70	*
4. Length of maxilla (pr-pns)	59.76±4.02	63.46±2.06	n.s.
5. Length of upper posterior dentition (am-pm)	18.90±1.12	19.68±2.32	n.s.
6. Area of facial tuber	11.53±0.41	9.51±0.36	**
7. Length of mandibular body (id-go)	76.17±4.08	78.61±3.73	n.s.
8. Length of mandibular ramus (cd-ag)	51.11±3.07	52.20±2.74	n.s.
9. Mandibular body width (co-co')	17.35±1.14	17.84±0.92	n.s.
10. Mandibular ramus width (ra-ra')	19.20±0.95	16.77±0.86	**
11. Length of lower dentition (id-lpm)	42.27±2.07	43.69±1.92	n.s.
12. Length of lower posterior dentition (lam-lpm)	17.94±1.19	19.40±1.06	*
13. Mandibular body-ramus angle (°)	114.36±1.01	119.24±1.05	**
14. Height of cranium (pa-me)	78.51±9.07	79.16±6.57	n.s.
15. Bizygomatic width (rza-lza)	65.41±5.99	64.30±3.34	n.s.
16. Maxilla width (rj-lj)	48.72±4.89	50.51±2.48	n.s.
17. Mandibular width (rag-lag)	42.52±5.08	44.72±1.65	n.s.

(%, *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; n.s.: not significant)

ぞれ危険率5%および1%)に前方に位置していた。また, azy(頬骨弓最前方部)の位置は有意(危険率1%)に上方に位置していた。ag(下顎角の最下点)の位置は実験群において, 危険率1%有意で前方に, 危険率5%有意で下方にあり, go(角突起)の位置は有意(危険率5%)に前方に位置していた。cm(下顎頭), fm(下顎窩), ba(後頭骨の最後点), oc(後頭骨の最下点)の位置に差は認められなかった。

一方, 正面での重ね合わせにおける検討では, 各項目とも有意な位置の差は認められなかったが, 実験群において rag, lag(左右下顎角最下点)は外側に, rza, lza(左右

頬骨弓の最外側点)は内側に位置する傾向が認められた。

考 察

1. 実験資料および方法について

咀嚼時の機能的負荷の減少が骨格形態に与える影響を調べるために, 離乳直後(5週齢)のウサギに継続的な粉末飼料による飼育を行い, 検討を行った。

粉末飼料飼育による骨格形態の変化に関する報告では, 個体差の少ないことからラットやマウスが多く用いられてきている⁹⁻¹⁴⁾。しかし, ラットやマウスでは, ヒト咬筋筋組織組成において40~70%近くを占める Type I 線維が非

Fig. 8 Comparison of morphological changes between control (solid diet) and experimental (fine-grained diet) groups. In the experimental group, zygomatic arch width, area of facial tuber and mandibular ramus width were smaller than the control. The mandibular body-ramus angle was larger than the control.

Table 3 The coordinate value of landmarks on X axis in the superimposition of the lateral aspect

Landmarks	Control (Solid diet) Mean±S.D.	Experimental (Fine-grained diet) Mean±S.D.	Significant diff.
pr : The point of upper incisor lingual cervical line	57.95±2.60	61.41±2.89	**
id : The point of lower incisor lingual cervical line	51.91±2.57	54.83±2.92	*
lam : The point of the most anterior molar mesial cervical line of mandible	29.88±1.45	32.93±1.72	**
azy : The most anterior point of zygomatic arch	27.85±1.15	28.18±1.52	n.s.
ag : The lowest point of mandibular angle	12.32±1.55	15.20±0.75	**
go : The apex of angle process	-15.52±2.13	-13.26±2.42	*
cm : Mandibular condyle	-16.97±1.91	-15.96±3.04	n.s.
fm : Mandibular fossa	-19.56±2.48	-19.22±2.54	n.s.
ba : The most posterior point of occipitale bone	-22.26±3.24	-22.32±2.84	n.s.
oc : The lowest point of occipitale bone	-36.28±2.10	-36.29±2.13	n.s.

(Unit : mm, * : $p<0.05$; ** : $p<0.01$; n.s. : not significant)

常に少ないと言われており²⁵⁻²⁷⁾、咬筋の層構造も単純で、頬骨弓に対する筋繊維の方向もほぼ平行に走行し、著しくヒトのそれと異なっている。また、咀嚼運動においても上下運動を主体としたもので、側方へのグラインディングが

少ないと推察される。そこでわれわれは、咬筋筋組織組成において Type I 線維が比較的多く (30~55%) 占めており^{25,28,29)}、咀嚼運動も臼歯で粉碎する側方運動を伴ったグラインドタイプの運動が主体であるウサギ³⁰⁻³²⁾を実験動物

Table 4 The coordinate value of landmarks on Y axis in the superimposition of the lateral aspect

Landmarks	Control (Solid diet) Mean±S.D.	Experimental (Fine-grained diet) Mean±S.D.	Significant diff.
pr : The point of upper incisor lingual cervical line	-21.51±0.83	-22.73±1.41	*
id : The point of lower incisor lingual cervical line	-24.97±1.29	-25.70±1.65	n.s.
lam : The point of the most anterior molar mesial cervical line of mandible	-21.79±1.72	-23.14±1.75	n.s.
azy : The most anterior point of zygomatic arch	-13.07±1.60	-11.17±1.70	**
ag : The lowest point of mandibular angle	-43.88±3.18	-44.36±2.92	n.s.
go : The apex of angle process	-28.08±2.07	-27.61±1.83	n.s.
cm : Mandibular condyle	-5.73±1.19	-5.30±1.20	n.s.
fm : Mandibular fossa	-7.07±1.5	-6.69±1.40	n.s.
ba : The most posterior point of occipitale bone	-28.55±1.54	-27.95±1.46	n.s.
oc : The lowest point of occipitale bone	-9.31±1.47	-8.70±2.14	n.s.

(Unit : mm, * : p<0.05 ; ** : p<0.01 ; n.s. : not significant)

Table 5 The coordinate value of landmarks on X axis in the superimposition of the frontal aspect

Landmarks	Control (Solid diet) Mean±S.D.	Experimental (Fine-grained diet) Mean±S.D.	Significant diff.
pa : The highest point of frontal bone	1.15±1.21	0.76±0.65	n.s.
me : The lowest point of mandible	0.75±1.01	2.81±5.71	n.s.
rag : The lowest point of mandibular angle (right)	-15.61±2.23	-16.52±2.12	n.s.
lag : The lowest point of mandibular angle (left)	20.45±3.20	21.53±2.50	n.s.
rza : The most exterior point of right zygomatic arch	-26.34±1.94	-25.94±2.90	n.s.
lza : The most exterior point of left zygomatic arch	29.31±3.43	28.82±2.99	n.s.
rj : The most exterior point of maxilla (right)	-18.82±1.80	-19.93±2.53	n.s.
lj : The most exterior point of maxilla (left)	21.92±3.27	22.97±3.24	n.s.
rum : The point of molar buccle cervical line of maxilla (right)	-14.01±1.62	-14.38±2.20	n.s.
lum : The point of molar buccle cervical line of maxilla (left)	17.23±2.46	17.16±3.34	n.s.

(Unit : mm, * : p<0.05 ; ** : p<0.01 ; n.s. : not significant)

Table 6 The coordinate value of landmarks on Y axis in the superimposition of the frontal aspect

Landmarks	Control (Solid diet) Mean±S.D.	Experimental (Fine-grained diet) Mean±S.D.	Significant diff.
pa : The highest point of frontal bone	14.10±2.47	12.84±3.20	n.s.
me : The lowest point of mandible	-52.34±9.26	-53.76±5.68	n.s.
rag : The lowest point of mandibular angle (right)	-54.20±7.91	-52.96±5.62	n.s.
lag : The lowest point of mandibular angle (left)	-54.16±8.04	-52.77±5.53	n.s.
rza : The most exterior point of right zygomatic arch	-20.15±3.99	-18.91±2.78	n.s.
lza : The most exterior point of left zygomatic arch	-20.02±2.95	-18.00±2.63	n.s.
rj : The most exterior point of maxilla (right)	-20.01±3.62	-18.35±2.45	n.s.
lj : The most exterior point of maxilla (left)	-19.86±3.33	-19.26±3.87	n.s.
rum : The point of molar buccle cervical line of maxilla (right)	-24.36±5.23	-25.18±1.97	n.s.
lum : The point of molar buccle cervical line of maxilla (left)	-23.99±4.68	-24.69±2.54	n.s.

(Unit : mm, * : p<0.05 ; ** : p<0.01 ; n.s. : not significant)

Fig. 9 Superimposition in the lateral standardized photograph of cranium.
 ● : Mean coordinate in solid diet groupe
 □ : Mean coordinate in fine-grained diet groupe
 ± : Bars indicate ± 1 S.D.

Fig. 10 Superimposition in the frontal standardized photograph of cranium.
 ● : Mean coordinate in solid diet groupe
 □ : Mean coordinate in fine-grained diet groupe
 ± : Bars indicate ± 1 S.D.

として用いた。

粉末飼料や液状飼料を用いた軟性飼料飼育による影響を検討した動物実験では、体重の減少が起こるという報告もあるが¹¹⁾、今回の実験では、伊藤らなど^{10, 12-14, 18, 19, 21)}の報告にあるように体重変化に大きな違いはなく、成獣時(18週齢)における体重においても両群で違いはなかった。さらに、成分的にも固形飼料飼育を行った対照群と同一であることより、栄養面、全身の成長発育には影響を与えなかったと考えられる。

2. デジタル規格写真撮影について

骨格形態の変化に関する過去の報告では、X線撮影によるものがほとんどである^{7-9, 12, 14)}。このX線写真による検討の問題点としては、左右の判別が困難なこと、複数の骨の構造物が重なって写るため部位によっては計測できない場合があるなどが挙げられる。そこでこのような問題を解決するとともに、咀嚼筋の付着部位などの局所的な骨格の形態においても検討する目的で、われわれはデジタルカメラによる規格写真撮影を行う方法を考案した。実験方法で述べたように、専用の固定装置に頭部骨標本を固定し、一定距離からデジタルカメラにて規格写真撮影を行うものであり、この固定装置は頭部に対する下顎骨の位置を維持したまま頭部と下顎骨を分離することができる。そのため多方向からの計測が可能であり、頭部を規準とする重ねあわせも容易に行えるようになったと考える。

3. 粉末飼料飼育による顎顔面骨格形態への影響について

咀嚼時の機能的負荷を変化させることによる顎骨の大きさの変化を調べた研究としては、飼料の硬度差をはじめ^{7, 8, 10, 12)}、臼歯の除去⁹⁾、下顎神経の切断³⁴⁾など種々の方法が用いられているが、脳頭蓋部には大きな影響を及ぼさないと報告されているものが多い。今回のわれわれの実験においても、実験群(粉末飼料飼育)と対照群(固形飼料飼育)との間に頭長に関して差は認められなかったことから、粉末飼料飼育による咀嚼時の機能的負荷の減少は、ウサギの頭蓋部への影響は少ないものと考えられた。そこで、今回の骨形態の計測は、各動物の個体差を除くため、頭長を正規化の基準としたものである。

従来の粉末飼料や液状飼料を用いた軟性飼料飼育による顎顔面骨格の成長発育への影響としては、頬骨弓の脆弱化、頬骨弓の幅径の減少、下顎骨長径の減少などが報告されている^{7, 10-14)}。

本実験結果においては、頬骨弓の長径に差は認められなかったが、頬骨弓の幅径は多くの報告にあるように粉末飼料飼育群で小さかった。さらに頬骨弓前方部で咬筋浅層の付着部位である顔結節の面積も有意に減少していた。

一方、下顎骨の形態に関しては、下顎枝の幅径が粉末飼料飼育群で小さくなっており、さらに下顎枝角の開大も認められた。ウサギの咬筋は、頬骨および顔結節と下顎角部に付着する^{35, 36)}。また、閉口筋の1つである頬骨下顎筋は頬骨と下顎枝に付着している。これらのことより、成長期における継続的な粉末飼料飼育によって、咀嚼筋の機能力が減退し、その直接応力をうける咀嚼筋の付着部位に骨形成の減少という顕著な影響を及ぼすと考えられた。

従来の粉末飼料飼育実験では、下顎角の開大と下顎枝の長さの減少を報告しているもの^{7, 10, 11, 13, 14)}が多い。しかし、本実験では下顎枝の長さに関して、減少は認められなかった。これは実験動物の種の違いによる可能性も考えられるが、下顎枝の計測方法の違いによる影響も考えられる。過去の報告では下顎骨下縁から垂直に関節頭あるいは筋突起までの距離を計測しているもの^{10, 11, 13, 14)}がほとんどである。このような計測方法では、形態的に下顎角の開大が生じた場合、見かけ上の下顎枝の長さは減少することが考えられる。そのような影響を少なくするために、本実験は下顎枝のほぼ中央を通り骨体に対する下顎枝にほぼ平行な線上で計測を行った。

そこで、本研究ではこの下顎骨体-下顎枝角の開大がどのような機序で起こっているのかを詳細に検討するためと顎骨の成長方向の違いについて、視神経孔を中心にして、側面の重ね合わせによる検討を行った。その結果、粉末飼料群で下顎角の最下点と角突起が前方に位置し、さらに下顎前歯の位置と下顎最前方臼歯の歯頸部の位置が前方に位置していた。しかし、下顎頭および下顎窩の位置には対照群と違いがなく、下顎骨の骨体長と下顎枝長にも差がなかったことから、下顎骨体-下顎枝角の開大は下顎頭の後方への移動ではなく下顎頭を支点とした、下顎骨体部分の前方方向への形態的变化が要因と考えられた。これらの変化は咀嚼時の機能的負荷が減少し、咀嚼筋機能の減退による下顎骨全体に対する力学的応力が変化したことによるものと推察される。また、上顎に関しては、頬骨弓最前方部は上方に移動し、上顎切歯部は前下方に移動した。頬骨弓最前方部の上方への移動は、咬筋への機能的負荷の減少により、下方へ引き下げられる力が減少したためと考えられ、上顎前歯部の前下方への変化は下顎前歯部の前方への変化に適応したものと考えられる。

一方、正面からの重ね合わせにおいて、左右頬骨弓最外側点の内側位の傾向と、左右下顎角最下点の外側への広がり傾向がみられた。下顎角部に付着している筋には、外側に付着する咬筋と内側に付着する内側翼突筋が存在する。この下顎角部での外側への広がりに関しては、咀嚼時の機能的負荷の減少により咬筋の筋活動が増加したとは考えら

れない。従って、咬筋よりも内側翼突筋において、より筋機能の減退による影響が及んだためと推察される。この点に関しては咬筋および内側翼突筋の筋活動、筋組織組成の変化について、今後検討を加える必要がある。

近年、食生活様式の変化によって、摂取食品は軟食化の傾向にあるといわれており⁴⁻⁶⁾、咀嚼筋機能の低下による顎骨の脆弱化、縮小、咀嚼筋組織の質的および量的変化が生じることが指摘されている⁷⁻¹⁹⁾。しかし、本実験においては、頭長や下顎骨全体の大きさへの影響は少なく、特に咀嚼筋の付着部位に骨形成の減少が生じている。つまり、粉末飼料飼育による機能的負荷の減少は、咀嚼時の応力が直接作用する付着部位に影響を与え、さらに顎骨の成長方向にも影響を与えることが示唆された。

ま と め

飼育飼料硬度の違いによる咀嚼時の機能的負荷が、顎顔面形態に対して与える影響を調べるため、粉末飼料飼育ならびに固形飼料飼育を行ったウサギの骨格形態を、新たに考案したデジタル画像の規格撮影法を用いて比較、検討し以下の結果を得た。

1) デジタル処理手法を用いることにより、咬筋付着部面積の計測や重ね合わせといった従来の手法では不可能だった比較が簡便に行えるようになった。

2) 離乳直後からの継続的な粉末飼料飼育を行っても成獣時の体重に変化は見られなかった。

3) 粉末飼料飼育による咀嚼時の機能的負荷の減少は、頬骨弓幅径の減少、咬筋浅層付着部面積の減少、下顎枝幅の減少を引き起こし、咀嚼筋付着部の成長に対し大きな影響を与えることが明らかとなった。さらに機能的負荷の減少による影響は顎骨の成長方向に対しても影響を与えることが示唆された。

稿を終えるにあたり、本実験に関して終始、ご指導、ご協力を頂きました故本学歯学部生理学講座 佐藤豊彦教授に深謝いたします。

また、本研究に際して、ご援助、ご協力を頂きました本学歯学部歯科矯正学講座の諸先生、ならびに動物実験センターの各位に感謝いたします。

文 献

- 1) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に— (1) 歯界展望, 63 : 123-137, 1984.
- 2) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に— (2) 顎運動の反射性ならびに大脳皮質性コントロール, 歯界展望, 63 : 297-316, 1984.
- 3) 中村嘉男：咀嚼運動の神経・筋メカニズム—顎運動を中心に— (3) 咀嚼運動のリズム形成とコントロール, 歯界展望, 63 : 477-492, 1984.
- 4) 伊藤学而：食品の硬さと顎の変化, 日本歯科医師会雑誌, 39 : 17-24, 1986.
- 5) 井上直彦：歴史時代における咬合の退化, 歯界展望, 56 : 435-444, 1980.
- 6) 柳沢幸江, 他：食品の物性と摂食機能に関する研究 第1報 食品物性の機器的測定並びに食品分類について, 小児歯誌, 23 : 962-983, 1985.
- 7) Ito, G., et al.: Effect of Soft Diets on Craniofacial Growth in Mice, *Anat. Anz.*, Jena 165 : 151-166, 1988.
- 8) Kiliaridis Stavros: The relationship between masticatory function and craniofacial morphology. III. The eruption pattern of the incisors in the growing rat fed a soft diet: *European Journal of Orthodontics* 8 : 71-79, 1986.
- 9) 池田和博：咬合支持と飼育飼料形態が下顎骨咬筋付着部に及ぼす影響, 補綴誌, 39 : 649-661, 1995.
- 10) 伊藤学而：顎骨の退化に関する実験的研究, 日矯歯誌, 41 : 708-715, 1982.
- 11) 玉井良尚, 他：モルモットの離乳方法, 摂取飼料の硬さが顎、筋の発達に及ぼす影響, 小児歯誌, 36 : 527-540, 1998.
- 12) 野田 真：食物の物性がラット頭蓋底の成長に及ぼす影響, 日矯歯誌, 56 : 26-32, 1997.
- 13) 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 : 284-301, 1992.
- 14) 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.
- 15) Maeda, N., et al.: Effects of Long-Term Intake of a Fine-Grained Diet on the Mouse Masseter Muscle. *Acta anat.* 128 : 326-333, 1987.
- 16) Maeda, N., et al.: Postnatal Development of the Mouse Temporal Muscle and Effects of Fine-Grained Diet on the Muscle Spindle, *Anat. Anz.*, Jena 165 : 177-192, 1988.
- 17) 伊藤久嗣, 他：発育途上マウスにおける食性の変化が咬筋筋線維に及ぼす影響, 明海学誌, 23 : 172-182, 1994.
- 18) 吉田礼子：液状飼料飼育マウスの咀嚼筋筋線維の分化と発達に関する研究, 日矯歯誌, 54 : 52-63, 1995.
- 19) 太田 勲, 他：幼若ラットの咬筋に対する粉末飼料の影響. 東日本歯学雑誌, 17 : 183-190, 1998.
- 20) 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.
- 21) 山根美子, 他：幼若ラットの顎下腺に対する粉末飼料の影響. 東日本歯学雑誌, 17 : 191-198, 1998.
- 22) Vigon C., et al.: Further histochemical studies on masticatory muscles, *J. Neurol.* 45 : 157-176, 1980.
- 23) Eriksson, P. O., et al.: Histochemical and morphological muscle-fiber characteristics of the human masseter, the medial pterygoid and the temporal muscles, *Archs oral Biol.* 28 : 781-795, 1983.

- 24) Sciote, J. J., et al.: Fiber type classification of human masseter muscle, Brain and oral functions: 439-447, Elsevier, Amsterdam, 1995.
- 25) Tuxen, Anette., et al.: An Animal Model for Human Masseter Muscle: Histochemical Characterization of Mouse, Rat, Rabbit, Cat, Dog, Pig, and Cow Masseter Muscle, J Oral Maxillofac Surg 48: 1063-1067, 1990.
- 26) Suzuki Atsushi: A Comparative Histochemical Study of the Masseter Muscle of the Cattle, Sheep, Dog, Guinea Pig, and Rat, Histochemistry 51: 121-131, 1977.
- 27) 水谷 誠, 他: 成長発育過程におけるラット咀嚼筋, 筋線維タイプの生後変化に関する組織化学的研究—咬筋の垂直筋について—, 成長, 35: 103-123, 1996.
- 28) Bredman J. J.: Histochemical and functional fibre typing of the rabbit masseter muscle, J. Ant. 168: 31-47, 1990.
- 29) Peter James B., et al.: Metabolic Profiles of Three Fibers Types of Skeletal Muscle in Guinea pigs and Rabbits, Biochemistry 11: 2627-2633, 1972.
- 30) Weijs, W. A., et al.: The rabbit masseter: organization and function of a heterogeneous muscle, Brain and oral functions: 11-18, Elsevier, Amsterdam, 1995.
- 31) Weijs, W. A., et al.: Jaw movements and muscle activity during mastication in growing rabbits, The anatomical record 224: 407-416, 1989.
- 32) Morimoto. T., et al.: Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities, Exp Brain Res, 76: 424-440, 1989.
- 33) 八谷 昇, 他: 骨格標本作製法, 第1刷, 札幌, 1994, 北海道大学図書刊行会, 2-14.
- 34) 佐藤康守: 咬筋機能の左右不均衡が下顎頭部の成長発育に及ぼす影響, 阪大歯学誌, 31: 137-164, 1986.
- 35) Barone R., et al.: 兎の解剖図譜 (望月公子訳), 第1刷, 東京, 1977, 学窓社, 17-53.
- 36) Popesko P., et al.: ANATOMY OF SMALL LABORATORY ANIMALS VOLUME ONE: RABBIT · GUINEA PIG, London, 1992, Wolfe Publishing Ltd, 11-37.