実験的下顎骨骨折離断が成長期の下顎頭に及ぼす 影響に関する病理組織学的研究

井上憲臣・田口 望・岡 達・亀山洋一郎*

A histopathological study of the effect of experimental mandibular fracture resection on the growing condyle

Noriomi INOUE・Nozomu TAGUCHI・Tôru OKA・Yoichiro KAMEYAMA*

Abstract: The purpose of the present study was to elucidate the effect of mandibular fracture, one of causes of retardation of the postnatal mandibular development, on the growing condyle. Three groups (Groups A,B and C) of young rats, five weeks old, were used. In Group A, the mandible received no treatment. In Group B, the right mandible was sectioned with a dental fissure bur, and then the wound was merely closed. In Group C, the right mandible was also sectioned, but an aluminium foil was placed between the two fragments. The animals of the above three groups were killed 1, 2, 4, 6, and 8 weeks after treatment, and the mandibular condyles were examined radiographically and histopathologically.

1. Radiographic observations

(1) The mandibular condyles in Groups B and C were similar in size to those in Group A at 1 and 2 weeks. However, the mandibular condyles in both groups were smaller than those in Group A at 4, 6, and 8 weeks.

(2) In Group B, a clear radiolucent line was observed in the fracture site at 1 week. However, the line became indistinct with weeks. The fracture line was not clearly identified at 8 weeks. In Group C, the fracture line was clearly distinguished throughout the entire experimental period.

2. Histopathological observations

(1) In Group B, all zones (the zones of articulation, proliferation, differentiation, and hypertrophy) in the mandibular condyle were similar in structure to those in Group A at 1 week. However, the zones of proliferation, differentiation, and hypertrophy in the condyle were less cellular and thinner than in Group A at 2, 4, and 6 weeks. The above three zones in the condyle became similar in structure to those in Group A at 8 weeks.

(2) In Group C, all zones in the mandibular condyle were similar in structure to those in Group A at 1 week. However, the zones of proliferation, differentiation, and hypertrophy in the condyle were less cellular and thinner than those in Group A at 2, 4, 6, and 8 weeks.

(3) In Group B, the two fragments in the fracture site were connected with each other by fibrous and cartilagenous tissues throughout the entire experimental period. The connection of these fragments became tighter with weeks.

名古屋大学医学部口腔外科学教室

(主任：岡 達教授)

* 愛知学院大学歯学部病理学教室

(主任：亀山洋一郎教授)

Department of Oral Surgery, School of Medicine,

Nagoya University (Chief: Prof. Tôru Oka)

* Department of Pathology, School of Dentistry,
Aichi-Gakuin University (Chief: Prof. Yoichiro
Kameyama)

受付日：昭和60年1月23日

(4) In Group C, because of insertion of an aluminium foil, the two fragments in the fracture site were not connected with each other throughout the entire experimental period.

Key words: experimental mandibular fracture, condyle histopathology

I. 緒 言

下顎骨の下顎頭は、側頭骨の下顎窩とともに顎関節を構成し、咀嚼、嚥下、発語、呼吸などに関与する顎運動においてきわめて重要な機能を営んでいる。また、下顎頭は、下顎骨の成長発育に主要な役割を果たしているといわれている一方、下顎頭の病的な発育は、顎顔面の機能ならびに形態に障害を引き起こすと考えられている¹⁾。下顎頭の病変の原因には、種々のものがあるが、そのなかの1つには骨折がある。下顎骨の骨折、とくに下顎頭部の骨折における下顎頭の変化やその下顎頭の治療法などについての臨床的な研究は多く、今までに、Thoma²⁾ (1954), Jarabak³⁾ (1954), Graham & Peltier⁴⁾ (1960), Eubanks⁵⁾ (1964), Thomson ら⁶⁾ (1964), Coccaro⁷⁾ (1969), Hoopes ら⁸⁾ (1970), Leake ら⁹⁾ (1971), Viro-lainen & Aitasalo¹⁰⁾ (1976), Lindahl & Hollender¹¹⁾ (1977) らの報告がみられる。一方、動物の下顎骨に実験的な骨折を起こし、その骨折が下顎骨の下顎頭に及ぼす影響を肉眼のおよび病理組織学的に検索した研究は少なく、これまでに、著者らの知る限りでは、アカゲザルを用いた Walker¹²⁾ (1960) と Boyne¹³⁾ (1967) らの実験があるにすぎない。しかも、それらの実験では、下顎頭の病理組織学的観察は非常に限られていて少ない。そこで著者らは、若い成長期ラットの顎骨下顎枝に実験的な骨折を起こし、骨折部の癒合状態が下顎骨の発育途上にある下顎頭の成長過程に及ぼす影響を軟X線のおよび病理組織学的に検索し、興味ある結果を得たので報告する。

II. 実験材料および研究方法

本研究の実験動物には、体重 130 g 前後のウィスター系雄性ラット 5 週齢のものを 90 匹使用し、それらを下記のような処置の違いによって A 群 (対照群), B 群 (骨折離断放置群), C 群 (骨折離断アルミ箔挿入群) の 3 つ (各群 30 匹) に分けた。

A 群の動物は無処置とし、対照群として用いた。B 群および C 群の動物はベントバルビタールの腹腔内注射による麻酔後、右側下顎部皮膚に切開を加えて咬筋を露出し、次に咬筋線維間から、図 1 の破線のごとく、下顎骨を第 3 臼歯後方の下顎下縁から下顎切痕にかけて幅 1 mm の歯牙切削用カーバイドバー (# 557) で 2 つに離断

図 1 ラット下顎骨の骨折離断部位 (破線)

表 1 実験動物 (ラット) 各群の実験期間と動物数

実験期間 実験群	1 週	2 週	4 週	6 週	8 週	合計
A 群	6	6	6	6	6	30
B 群	6	6	6	6	6	30
C 群	6	6	6	6	6	30
合 計	18	18	18	18	18	90

A 群：無処置
B 群：右側下顎骨骨折離断後放置
C 群：右側下顎骨骨折離断後アルミ箔挿入

して実験的に骨折部を作成した。B 群の動物は右側下顎骨を離断後、離断部をそのままにして、咬筋および皮膚をカットグート糸で縫合した。また、C 群の動物は右側下顎骨の離断部にアルミ箔を挿入して組織癒合を阻止した後、咬筋および皮膚をカットグート糸で縫合した。両群の動物には、セファロスポリン系抗生剤を術後 3 日間筋注した。なお、A 群、B 群、C 群の動物の飼料には固型飼料 (オリエンタル酵母 K.K.) を荒く砕いたものを用い、飲料水には水道水を使用し、ともに十分に投与した。また、すべての動物の体重は毎日測定し、7 日目ごとにそれらの平均値を算出した。

B 群、C 群の動物は、処置後 1 週、2 週、4 週、6 週、8 週目に各群 6 匹ずつをエーテル麻酔下で断頭屠殺した (表 1)。また、無処置の A 群の動物は B 群、C 群の動物と同様な時期に屠殺した。屠殺後、すべての動物の右側下顎をただちに摘出し、10% 中性緩衝ホルマリン溶液で固定した。

次に、軟 X 線発生装置 (Sofron SRO-M 100) を用いて、一次電圧 100 V、二次電圧 60 KV、電流 3 mA、照

表 2 実験動物（ラット）各群の平均体重（g）

実験期間 実験群	0 週	1 週	2 週	4 週	6 週	8 週
A 群	133.1±11.5	189.2±13.2	221.7±20.7	297.9±17.9	317.6±41.5	390.2±65.8
B 群	134.8±11.0	163.3±19.9*	165.8±17.2**	289.7±50.5	302.8±61.6	361.9±31.8
C 群	130.0±10.0	154.2±13.9*	158.3±26.6**	207.8±70.4**	215.0±63.0**	283.6±61.0**

A群（対照群）と比較したB群，C群の有意差

* = P < 0.05 ** = P < 0.01

図 2 ラット下顎頭の模式図

- (1) A；表層の厚さ，P；増殖層の厚さ，C；軟骨層（分化層＋肥大層）の厚さ，E；侵蝕部，M：骨髓 CB；骨梁

$$(2) \text{骨密度} = \frac{\text{骨梁に重なった点の数}}{\text{格子の点の総数}} \times 100\%$$

- (3) 下顎頭の横径，縦径

射時間60秒の撮影条件で，摘出した下顎骨の軟X線写真撮影を行った。なお，上記の撮影のX線フィルムには，CS-100E (Fuji Photo Co. Ltd) を用いた。

軟X線撮影後の下顎骨は，蟻酸による脱灰後，下顎頭の部分と下顎骨の部分（下顎枝および下顎体）を切離し，おのおのパラフィンに分けて包埋した。下顎頭では6 μm の前頭方向の連続組織切片を，また，下顎骨では7 μm の矢状断方向の連続組織切片を作製し，ヘマトキシリン・エオジン染色を施して光学顕微鏡で観察した。下顎頭の組織学的観察は，下記のような部位，すなわち，表層，増殖層，分化層，肥大層，侵蝕部，骨梁形成部に分けて行った。

さらに，上記の組織学的検索に使用した下顎頭の組織切片を投影機（Leitz 製，Micro Promar）で画像処理装置（武藤製，デジグラマ Model G）のタブレット上に370倍の拡大で投影し，下顎頭の表層，増殖層，軟骨層

図 3 実験動物（ラット）各群の体重変動

（分化層および肥大層）の厚さを計測した。また同時に，下顎頭の骨密度は図2に示すごとく，格子中の全ポイント数100に対し，骨梁に重なったポイント数を数えて骨密度とした。下顎頭の大きさについては，下顎頭の水平な最大幅径（横径）および下顎頭頂点より最大幅径線までの垂直距離（縦径）を計測し，下顎頭の大きさとした。なお，上述したすべての計測には各動物あたり6枚の組織切片を用いた。

III. 実験結果

1. 体重の変化（表2，図3）

A群（対照群），B群（骨折離断放置群），C群（骨折離断

写真 1 A 群 1 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 2 A 群 6 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 3 B 群 1 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 4 B 群 2 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 5 B 群 6 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 6 C 群 1 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 7 C 群 2 週の軟X線写真所見 60 KV, 6 mA, 60秒

写真 8 C 群 6 週の軟X線写真所見 60 KV, 3 mA, 60秒

写真 9 A 群 1 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 10 A 群 2 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 11 A 群 4 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 12 A 群 6 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 13 A 群 8 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)

写真 14 B 群 1 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 15 B 群 2 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 16 B 群 4 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 17 B 群 6 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 18 B 群 8 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)

写真 19 C 群 1 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 20 C 群 2 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 21 C 群 4 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 22 C 群 6 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)
写真 23 C 群 8 週の下顎頭 (H-E, $\times 12.6$)

写真 24 A群（対照群）の1週の下顎頭
(H-E, $\times 50$)

関節腔側から表層, 増殖層, 分化層, 肥大層, 侵蝕部, 骨梁形成部が区別できる。

写真 26 A群（対照群）の4週の下顎頭
(H-E, $\times 50$)

2週のものより増殖層, 分化層, 肥大層の細胞数および厚さのわずかな減少と骨梁部の骨組織の増加がみられる

写真 25 A群（対照群）の2週の下顎頭
(H-E, $\times 50$)

1週のものより増殖層の細胞数と分化層の軟骨細胞のわずかな増加がみられる

写真 27 A群（対照群）の6週の下顎頭
(H-E, $\times 50$)

4週のものとはほとんど相違はない

写真 28 A群(対照群)の8週の下顎頭(H-E, ×50)

6週のものと比較して表層, 増殖層, 分化層および肥大層の細胞数は少くなり, 軟骨基質は減少し層の厚さが薄くなり, 骨梁形成部では多量の骨組織の形成をみる。

写真 30 B群の2週の下顎頭(H-E, ×50)

A群の2週のものと比較して各層の厚さは薄い。とくに分化層, 肥大層では細胞数と軟骨基質が著明に減少している。骨梁は大きくなっているが, その数が減少し, 骨髓腔の拡大がみられる。

写真 29 B群の1週の下顎頭(H-E, ×50)

A群の1週のものと比較して特に著しい変化はみられない。

写真 31 B群の4週の下顎頭(H-E, ×50)

A群の4週のものと比較して分化層ではあまり差異はないが, 増殖層, 肥大層では細胞数の減少がみられる。

写真 32 B群の6週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の6週のものとは比べて増殖層と肥大層の細胞数に著明な減少がみられた。分化層の軟骨細胞の数、大きさにもわずかな減少がみられる。太い骨梁間には拡大した骨髓腔がみられる。

写真 34 C群の1週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の1週のものとはほとんど変化はみられない。

写真 33 B群の8週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の8週のものとは比較して増殖層はやや薄い。分化層、肥大層では軟骨細胞の大きさはすこし小さく、厚さにはとくに相違はみられない。侵蝕部、骨梁形成部はA群のものに類似している。

写真 35 C群の2週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の2週のものとは比べて増殖層で細胞数の減少と分化層では軟骨細胞と基質がわずかに存在するのみで肥大層はほとんど認められない。

写真 36 C群の4週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の4週のものと比較して表層, 増殖層, 分化層では細胞数が減少し, 肥大層では軟骨細胞はごくわずかとなっている。骨髓腔の拡大も著明である。

写真 38 C群の8週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の8週のものに比べて表層, 増殖層の細胞数は減少し, 分化層では少数の細胞がみられるのみで, 肥大層の細胞はほとんど消失している。

写真 37 C群の6週の下顎頭 (H-E, ×50)

A群の6週のものと比較して分化層では細胞数と細胞の大きさの著しい減少がみられ, 肥大層では小さな軟骨細胞が少数みられるだけである。骨髓腔の拡大は顕著である。

断アルミ箔挿入群)の各動物の平均体重測定値(表2)を経過的にプロットすると, 図3の体重曲線となる。A群と比較して, B群の動物の体重の増加は, 1週から低値を示し, 2週では有意差をもって低かった。しかし, 2週以後の4, 6, 8週では増加がみられるようになり, A群とほぼ同じ増加を示した。これに対して, C群では, A群にくらべて術後1週から有意に増加が低く, 以後, 2週, 4週, 6週, 8週でも有意に低い体重増加率を示した。また, B群とC群との比較では, 1週, 2週では差はなく, B群がA群に近似しはじめた4週以降, 6週, 8週で有意差がみられた。

2. 下顎骨の軟X線写真所見(写真1~8)

(1) A群(対照群), B群(骨折離断放置群), C群(骨折離断アルミ箔挿入群)の下顎頭の大きさ

A群では, 下顎頭の大きさは, 経過的に1週から8週まで徐々に大きくなる所見を示した。これに対し, B群では, 下顎頭の大きさは, 1週, 2週ではA群と同様であったが, 4週, 6週, 8週では, A群と比較してかなり小さく, また, B群の反対側の下顎頭と比較しても小さかった。C群では, 下顎頭の大きさは, A群と比べて1週, 2週ではほぼ同様であったが, 4週, 6週, 8週では著しく小さくなり, また, C群の反対側と比べても小さくなっていた。

(2) B群(骨折離断放置群)の離断部

下顎骨離断後1週で, 下顎頭には離断部に一致した直

写真 39 B群2週の下顎骨離断後放置部の組織学的所見 (H-E, $\times 5$)

写真 40 B群6週の下顎骨離断後放置部の組織学的所見 (H-E, $\times 8$)

写真 41 C群2週の下顎骨離断後アルミ箔挿入部の組織学的所見 (H-E, $\times 5$)

写真 42 C群6週の下顎骨離断後アルミ箔挿入部の組織学的所見 (H-E, $\times 5$)

(a : 切歯側, b : 下顎頭側)

線的な透過像がみられた。2週になると、その直線的な透過像の幅はすこし拡大していた。しかし、4週と6週では直線的な透過像は不明瞭となり、部分的に不透過性となっていた。離断後8週では、離断線は不明瞭になり、はっきりとした透過像はみられなかった。なお、6週と8週では、B群の下顎切歯が離断部から側方にのびるという現象がみられた。

(3) C群(骨折離断アルミ箔挿入群)の離断部

下顎骨離断、アルミ箔挿入後1週で、下顎骨の離断部には直線的な透過像がみられた。2週、4週、6週、8週では、この透過像の幅はすこし拡大していた。

3. 下顎頭の組織学的所見(写真9~23)

(1) A群(対照群)

1週(写真24):下顎頭の表層は、表面に平行に配列した紡錘形の線維芽細胞と膠原線維からなる線維性結合組織から構成されていた。増殖層では、円形の核と非常に少ない細胞質を有する卵円形の細胞が密に配列していた。また、細胞間質は非常に少量であった。分化層は、外形が紡錘形あるいは楕円形で、楕円形の核と少ない細胞質を有する軟骨細胞と比較的多くの軟骨基質から構成されていた。肥大層では、不規則に配列した軟骨小腔が認められ、そのなかには大きな卵円形あるいは円形の肥大した軟骨細胞がみられた。また、軟骨細胞の核は円形であった。軟骨小腔間の軟骨基質は少なかった。肥大層の下部の石灰化した軟骨基質の侵蝕部では、基質周囲に破骨細胞や未分化な間葉細胞が多くみられ、骨髓に開いた軟骨小腔内には小血管の侵入も認められた。また、骨梁形成部では、比較的多くの骨梁がみられた。

2週(写真25):下顎頭の各層は、1週と比較して、著明な違いは示さなかった。しかし、増殖層の細胞数はすこし増加し、分化層の軟骨細胞はわずかに大きくなり、また、肥大層の厚さはすこし減少していた。

4週(写真26):2週と比較して、下顎頭の増殖層、分化層、肥大層には細胞数および厚さにわずかな減少が認められた。また、肥大層の石灰化した軟骨基質の侵蝕部はすこし上方に位置し、骨梁形成部の骨組織は増加していた。

6週(写真27):4週と比較して、下顎頭の各層にはほとんど相違はみられなかった。

8週(写真28):6週と比較して、下顎頭の表層の細胞数および厚さにはわずかな減少がみられた。また、増殖層にも細胞数と厚さに少し減少がみられた。さらに、分化層および肥大層でも細胞数は少なくなり、軟骨基質は減少し、層の厚さが薄くなっていた。侵蝕部は、すこし上方に位置していた。また、骨梁形成部では、多量の骨組織が形成されていた。

(2) B群(骨折離断放置群)

1週(写真29):A群(対照群)の1週と比較して、下顎頭の各層とくに著しい変化はみられなかった。

2週(写真30):A群の2週と比較して、下顎頭の表層では、細胞数および線維成分の減少がみられ、層の厚さは薄くなっていた。また、増殖層でも細胞数が少なくなり、層の厚さの減少がみられた。分化層では、細胞数が著しく少なくなり、また、軟骨基質も減少して、層の厚さが薄くなっていた。肥大層では、軟骨細胞が小さくなり、細胞数も著しく減少し、軟骨基質が少なくなっていた。侵蝕部は上方に位置していた。骨梁形成部では、骨梁は太くなっていたが、その数は減少し、骨梁間の骨髓腔は拡大していた。

4週(写真31):A群の4週と比較して、下顎頭の表層は厚さが薄くなっていた。また、増殖層では、細胞数が減少していた。分化層では、あまり差異はなかったが、肥大層では、軟骨細胞の数と軟骨基質が少なくなり、層の厚さが減少していた。骨梁形成部では、骨髓腔の拡大がみられた。

6週(写真32):A群の6週と比べて、下顎頭の表層は薄く、増殖層では、細胞の数と厚さに著明な減少がみられた。分化層では、軟骨細胞の大きさおよびその数はすこし減少していた。肥大層では、軟骨細胞は著しく小さく、その数も非常に少なくなり、軟骨基質および層の厚さも著明に減少していた。骨梁形成部では、太い骨梁間に拡大した骨髓腔が著明であった。

8週(写真33):A群の8週と比較して、下顎頭の表層はやや薄かった。また、増殖層でも、細胞数と厚さが少し減少していた。分化層、肥大層では、軟骨細胞の大きさはすこし小さいが、層の厚さはほぼ同様であった。侵蝕部、骨梁形成部はA群に類似していた。

(3) C群(骨折離断アルミ箔挿入群)

1週(写真34):A群(対照群)の1週と比較して、下顎頭の各層にはほとんど変化が認められなかった。

2週(写真35):A群と比べて、下顎頭の表層では、線維性結合組織が比較的疎となり、増殖層では、細胞数が減少していた。また、分化層では、厚さが著しく薄くなり、楕円形の軟骨細胞と軟骨基質がわずかに存在するのみであった。またさらに、肥大層はすこし存在するか、あるいはほとんど認められなかった。侵蝕部は上方に位置し、骨梁形成部では、骨髓腔が著明に拡大していた。

4週(写真36):A群の4週と比較して、下顎頭の表層および増殖層では、細胞数が減少し、細胞の配列も乱れていた。分化層では、細胞の数や大きさは減少し、軟骨基質は少なかった。肥大層では、軽度で肥大した軟骨細胞がごくわずかみられるだけで、軟骨基質および厚さは著しく減少していた。侵蝕部は上方にみられた。また、骨梁形成部の骨髓腔の拡大は著明であった。

6週(写真37):A群の6週と比較して、下顎頭の表層は薄く、増殖層では細胞数が減少していた。また分化層では、細胞数は著しく少なくなり、細胞の大きさも減

図4 実験動物(ラット)各群の下顎頭の表層, 増殖層, 軟骨層(分化層と肥大層)の厚さ(μm)

少していた。肥大層では、軟骨基質は少なく、小さな軟骨細胞が少数みられるだけであった。侵蝕部は上方に位置し、骨梁形成部での骨髓腔の拡大は顕著であった。

8週(写真38): A群の8週と比べて、下顎頭の表層と増殖層では、細胞数と厚さが減少していた。分化層では、少数の細胞がみられるのみであった。また、肥大層は少し存在するか、あるいはほとんど消失していた。侵蝕部は上方にみられた。骨梁形成部では、骨髓腔が著しく拡大していた。

4. 下顎骨離断部の組織学的所見(写真39~42)

(1) B群(骨折離断放置群)

1週では、下顎骨の離断部の両断端は線維性組織と軟骨組織によって結合していた。また、2週、4週、6週、8週でも、両断端は線維性組織と軟骨組織によって結合していたが、経過的にその結合部の組織は密になっていた。

(2) C群(骨折離断アルミ箔挿入群)

1週では、離断した下顎骨の両断端はアルミ箔の挿入によって分離され、結合がさまたげられていた。この離断部の所見は、2週、4週、6週、8週でも同様であった。

5. 画像解析による下顎頭の計測結果

(1) 下顎頭各層の厚さ

図5 実験動物(ラット)各群の下顎頭の骨密度(%)

i) 表層(図4)

A群(対照群): 厚さは、1週では $48.2 \pm 12.9 \mu\text{m}$, 2週では $49.4 \pm 12.1 \mu\text{m}$, 4週では $50.3 \pm 4.7 \mu\text{m}$, 6週では $48.1 \pm 17.5 \mu\text{m}$, 8週では $42.2 \pm 9.0 \mu\text{m}$ と、経過的に減少していた。

B群(骨折離断放置群): 厚さは、A群に比べて、1週では $48.3 \pm 15.4 \mu\text{m}$ で、ほとんど差はなかったが、2週になると $31.2 \pm 6.8 \mu\text{m}$ となり、A群よりも著しく薄くなっていた。そして、その後は4週では $26.3 \pm 4.7 \mu\text{m}$, 6週では $28.7 \pm 2.9 \mu\text{m}$, 8週では $28.4 \pm 9.0 \mu\text{m}$ と、常にA群よりも低い値を示した。

C群(骨折離断アルミ箔挿入群): 厚さは、A群と比較して、1週では $45.7 \pm 10.2 \mu\text{m}$ で、差異はみられなかったが、2週では $38.9 \pm 11.6 \mu\text{m}$, 4週では $34.1 \pm 3.8 \mu\text{m}$ となって差がみられるようになり、6週および8週では、それぞれ $23.3 \pm 0.9 \mu\text{m}$, $24.7 \pm 4.1 \mu\text{m}$ と、特に著しい減少が認められた。

ii) 増殖層(図4)

A群(対照群): 厚さは、1週では $81.3 \pm 4.6 \mu\text{m}$, 2週では $73.6 \pm 8.1 \mu\text{m}$, 4週では $71.0 \pm 15.7 \mu\text{m}$, 6週では $72.6 \pm 16.8 \mu\text{m}$ と、経過的にごくわずかな減少を示したが、8週になると $52.8 \pm 12.7 \mu\text{m}$ となって大きな減少を示した。

B群(骨折離断放置群): 厚さは、A群と比較して、1週では $69.9 \pm 10.5 \mu\text{m}$ で、ほぼ同じであったが、2週になると $45.9 \pm 12.7 \mu\text{m}$ となって急に菲薄化し、その後は4週では $50.9 \pm 15.4 \mu\text{m}$, 6週では $38.5 \pm 5.3 \mu\text{m}$, 8週では $44.9 \pm 13.9 \mu\text{m}$ と、常にA群よりも低値を示した。

C群(骨折離断アルミ箔挿入群): 厚さは、1週では $65.7 \pm 13.6 \mu\text{m}$ で、A群と著しい相違を示さなかったが、2週になると $44.5 \pm 10.7 \mu\text{m}$ となって急速に減少し、その後は、4週では $41.3 \pm 8.8 \mu\text{m}$, 6週では $31.9 \pm 4.0 \mu\text{m}$, 8週では $35.0 \pm 5.2 \mu\text{m}$ と、常にA群よりも

減少した状態を示した。

iii) 軟骨層(分化層および肥大層)(図4)

A群(対照群): 厚さは、1週では $352.3 \pm 16.9 \mu\text{m}$, 2週では $285.7 \pm 53.6 \mu\text{m}$, 4週では $235.5 \pm 27.6 \mu\text{m}$, 6週では $230.6 \pm 42.5 \mu\text{m}$, 8週では $148.5 \pm 18.5 \mu\text{m}$ と経過的に減少した。

B群(骨折離断放置群): 厚さは、1週では $321.9 \pm 49.9 \mu\text{m}$ で、A群とほとんど差はみられなかったが、2週になると $168.3 \pm 40.9 \mu\text{m}$ となって、差がみられるようになり、その後も4週は $141.1 \pm 33.8 \mu\text{m}$, 6週は $129.7 \pm 52.9 \mu\text{m}$ で、相違がみられた。しかしながら、8週になると $133.4 \pm 32.9 \mu\text{m}$ となり、A群とは差が認められなくなってきた。

C群(骨折離断アルミ箔挿入群): 厚さは、1週では $360.4 \pm 38.4 \mu\text{m}$ で、A群とは差がみられなかったが、2週では $191.7 \pm 73.9 \mu\text{m}$ となり、相違がみられるようになった。また、その後は4週では $129.8 \pm 17.9 \mu\text{m}$, 6週では $114.9 \pm 2.2 \mu\text{m}$, 8週では $100.1 \pm 24.8 \mu\text{m}$ と、常にA群よりも減少した値を示した。

(2) 下顎頭の骨密度(図5)

A群(対照群): 骨密度は、1週では $46.7 \pm 2.7\%$, 2週では $47.2 \pm 4.7\%$, 4週では $48.2 \pm 2.6\%$, 6週では $49.3 \pm 4.9\%$, 8週では $50.7 \pm 8.9\%$ と、経過的に徐々に増加していた。

B群(骨折離断放置群): 骨密度は、1週では $42.8 \pm 5.4\%$ で、A群と比較して大差はみられなかったが、2週になると $29.4 \pm 4.7\%$ となり、急速な減少を示した。その後、骨密度は4週では $34.5 \pm 6.5\%$, 6週では $33.2 \pm 13.5\%$, 8週では $38.7 \pm 5.7\%$ と、経過的にやや増加傾向を示したが、A群よりはやはり低値であった。

C群(骨折離断アルミ箔挿入群): 骨密度は、1週では $43.9 \pm 3.7\%$ で、A群と比較して、差はなかったが、B群と同様に2週では $29.7 \pm 6.3\%$ となり、大幅な減少を示した。その後、骨密度は4週では $29.3 \pm 3.7\%$, 6週では $36.3 \pm 3.2\%$, 8週では $37.0 \pm 1.6\%$ と、増加傾向を示したが、やはりA群よりも低値であった。

(3) 下顎頭の大きさ(図6)

A群(対照群): 大きさは、1週では横径 $1607.6 \pm 106.5 \mu\text{m}$, 縦径 $874.2 \pm 76.2 \mu\text{m}$, 2週では横径 $1686.2 \pm 88.8 \mu\text{m}$, 縦径 $804.8 \pm 74.6 \mu\text{m}$, 4週では横径 $1759.9 \pm 64.1 \mu\text{m}$, 縦径 $803.5 \pm 59.6 \mu\text{m}$, 6週では横径 $1779.0 \pm 109.1 \mu\text{m}$, 縦径 $783.9 \pm 90.8 \mu\text{m}$, 8週では横径 $1819.4 \pm 92.9 \mu\text{m}$, 縦径 $759.9 \pm 40.2 \mu\text{m}$ と、経過的に増大していた。

B群(骨折離断放置群): 大きさは、A群と比較して、1週では横径 $1454.9 \pm 55.9 \mu\text{m}$, 縦径 $813.5 \pm 63.3 \mu\text{m}$ で、特に差はみられなかったが、2週では横径 $1312.4 \pm 98.8 \mu\text{m}$, 縦径 $600.5 \pm 33.4 \mu\text{m}$ となり、A群よりも小さかった。また、その後の大きさは、4週で横径 1439.4

図6 実験動物(ラット)各群の下顎頭の大きさ(横径(μm), 縦径(μm))

$\pm 198.9 \mu\text{m}$, 縦径 $610.4 \pm 31.9 \mu\text{m}$, 6週で横径 $1540.1 \pm 153.5 \mu\text{m}$, 縦径 $528.1 \pm 76.8 \mu\text{m}$, 8週で横径 $1527.6 \pm 96.0 \mu\text{m}$, 縦径 $608.2 \pm 71.9 \mu\text{m}$ と、経過的にわずかな増大を示したが、やはりA群よりも小さかった。

C群(骨折離断アルミ箔挿入群): 大きさは、1週では横径 $1455.4 \pm 80.5 \mu\text{m}$, 縦径 $800.9 \pm 134.9 \mu\text{m}$ で、A群と比較して、差はみられなかったが、2週になると横径 $1306.5 \pm 231.8 \mu\text{m}$, 縦径 $491.0 \pm 122.3 \mu\text{m}$ となり、大きさはA群よりも小さかった。また、それ以後の大きさは、4週で横径 $1334.2 \pm 155.2 \mu\text{m}$, 縦径 $547.6 \pm 45.5 \mu\text{m}$, 6週で横径 $1332.0 \pm 225.1 \mu\text{m}$, 縦径 $543.5 \pm 90.4 \mu\text{m}$, 8週で横径 $1224.9 \pm 164.6 \mu\text{m}$, 縦径 $540.7 \pm 66.8 \mu\text{m}$ と経過的に大きくなっていったが、やはりA群と比較して常に低い値であった。

IV. 考 察

動物の下顎骨に実験的骨折を起こしたWalker¹²⁾(1960)やBoyne¹³⁾(1967)の研究では、動物の体重変化についての報告はみられない。本研究では、実験動物に5週齢の若いラットを用いたので、無処置のA群(対照群)のラットには比較的著明な体重の増加がみられた。一方、下顎骨を骨折離断した後、離断部をそのままにしたB群(骨折離断放置群)のラットでは、1, 2週では体重の増加がみられなかったが、その後は動物の体重が増加して、4週以後ではA群の動物に近い体重の増加が認められた。また、下顎骨を離断した後、骨折離断部にアルミ箔を挿入したC群(骨折離断アルミ箔挿入群)のラットでは、1週から8週までA群の動物と比較して常に体重

の増加は低かった。上述したような、B群の動物でみられた実験前期の体重増加の減少は、動物に顎骨離断による食物摂取の障害とその手術による全身への影響があらわれたためであり、また、実験後期の体重増加の回復は、顎骨骨折離断部の組織学的結合が進んだために、動物から上述したような抑制因子がなくなってきたことによるものと考えられた。C群の動物でみられた、実験の全期間にわたる体重増加の抑制は、これらの動物では手術の全身的な影響に加えて、後述するように、アルミ箔の挿入によって顎骨骨折離断部が全く結合しなかったため、下顎骨が固定せず、食物摂取の障害が長く続いたことによるものと思われた。下顎頭に関連した実験的研究における動物の体重変化では、中田¹⁴⁾(1983)は、下顎頭軟骨に損傷を与えた6週齢のラットでは、損傷後10週で体重が対照群のものとはほぼ同様になっていたと報告している。しかし、Dasら¹⁵⁾(1965)は、両側の下顎頭を切除した5週齢のラットでは、体重の減少は非常にわずかであったと述べている。

軟X線的に本実験のB群の下顎骨では、1週で離断部に一致した直線的な透過像が認められた。また、病理組織学的に離断部では、両断端が線維性組織と軟骨組織によって結合していた。8週では、離断部は不明瞭となり、はっきりとした透過像はみられなかった。しかし、病理組織学的にその両断端は、骨性には癒合しておらず、線維性組織と軟骨組織によって密に結合しているだけであった。Walker¹²⁾(1960)やBoyne¹³⁾(1967)の実験では、手術後の処置のいかんにかかわらず、下顎骨の離断部は骨性に癒合していたという。本実験のB群の動物では、離断した下顎骨の両断端が互いに接していなかったために、下顎骨の離断部には線維性組織や軟骨組織による結合が起こったのであろう。一方、C群の下顎頭では、軟X線的に1週から8週まで直線的な透過像が認められた。また、病理組織学的に離断部にはアルミ箔のために全く結合がみられなかった。

一般に、下顎頭は、組織学的に表面から表層、増殖層、分化層、肥大層、侵蝕部、骨梁形成部に分けることができる。A群の動物では、経過的に下顎頭の増殖層、分化層、肥大層などの細胞数や厚さは減少し、一方、骨梁形成部の骨密度は増加していた。また、下顎頭の組織学的な縦径の大きさは増大していた。したがって、A群の動物の下顎頭は、組織学的にも分化しながら発育成長していたことは明らかである。三木¹⁶⁾(1972)は、7週齢のラットでは下顎頭の形はほぼ整い、下顎頭内の軟骨内骨化は進行して骨髓腔はやや小さくなり、軟骨層は薄くなっていたと述べている。また、10週齢や13週齢のラットになると、下顎頭内の軟骨内骨化はさらに進んで軟骨層は薄くなり、一方、骨梁は肥大して骨髓腔はますます狭窄してきたという。Durkinら¹⁷⁾(1973)は、出生後12週ごろまでのラットでは、下顎頭の各層の細胞成分は多

く、また、軟骨層も厚かったが、12週から21週のラットでは、下顎頭の各層の細胞数の減少と軟骨層の非薄化が著明に認められたと報告している。したがって、上記の報告からも分るように、本実験で用いたラットの下顎頭は、組織学的には未熟な型から成熟な型に移行する時期の下顎頭であったと考えられる。

動物の下顎骨に実験的な骨折を起こして、その骨折が下顎頭にどのような影響を及ぼすのかを検索した研究は、前述したように、非常に少ない。Walker¹²⁾(1960)は、若いアカゲザルの下顎頭を実験的に骨折させた後、下顎頭を偏位させたまま放置するか、あるいは外科的な整復を行って、骨折部を16か月半から24か月の期間で観察したところ、どちらの処置の場合でも、下顎頭は肉眼的およびX線的に非常によく修復されていたと報告している。その後、またアカゲザルで同様に下顎頭を骨折して偏位させたまま放置する実験を行って、1, 2, 3か月後の骨折部の下顎頭を病理組織学的に検索した結果、骨折部では軟骨と骨の増生が起こり、同時にもとの偏位した下顎頭の組織は吸収されて、やがて骨折部には内部に軟骨を有する全く新しい下顎頭が形成されるようになったと述べている。Boyne¹³⁾(1967)は、若いアカゲザルの下顎頭に実験的な骨折を作った後、下顎頭を偏位させたまま放置するか、あるいは外科的な整復を行ってから、骨折部を8週から16週で肉眼的および病理組織学的に観察したところ、どのような処置の場合でも、離断した内部に軟骨を有する下顎頭は、増生した骨によって下顎骨と結合し、改造されて治癒するというような同じ結果を示したと述べている。また、この実験では、Walker¹²⁾(1960)が観察した古い下顎頭が吸収されて消失し、新しい下顎頭が形成されたというような所見は認められなかったという。

病理組織学的に本実験のB群では、1週の下顎頭の表層、増殖層、分化層、肥大層は、A群とはほぼ同様であったが、2週から6週の下顎頭では、A群と比較して、各層の細胞数や厚さに減少がみられた。しかし、8週の下顎頭になると、増殖層、分化層、肥大層の細胞数や厚さは、A群と同じか、あるいはA群に近いものになっていた。上記のような2週から6週までの下顎頭の変化は、下顎骨の離断およびその周囲の軟組織の損傷によって、動物に下顎頭への血行障害、下顎頭への顎運動障害による機能的刺激の欠如、食物摂取障害による栄養不足、手術による全身への影響などが引き起こされた結果、発生したものと推測された。しかし、8週の下顎骨では、軟X線のおよび病理組織学的に明らかなように、離断部での両断端の結合は密になり、また、その周囲の軟組織の損傷もよく修復されたために、血行障害はなくなり、顎運動による機能的刺激も下顎頭に伝わるようになり、さらに、食物摂取の障害による栄養不足もなくなって、下顎頭の各層はA群のものに近い状態にまで回復したものと

であろうと思われた。C群では、1週の下顎頭の各層の細胞数や厚さはA群とはほぼ同様であったが、2週から7週までの下顎頭では、各層の細胞数や厚さは、A群と比べて常に減少していた。このようなC群の下顎頭での変化は、B群の場合と同様な原因によって生じたものであろうと推察された。また、8週の下顎頭でも、B群と違って、下顎頭の各層には著明な変化が存続していた。これは、軟X線のおよび病理組織学的な所見から明らかに、8週でも、まだ離断部での両断端の結合は、アルミ箔の挿入によってさまたげられていたことによるものと思われた。

B群とC群の動物では、下顎骨を離断するときの離断線は下顎枝のほぼ中央の下顎孔の部分を通していた。したがって、両群の離断部では比較的大きな血管が損傷されたと考えられた。しかしながら、両群の下顎頭では、処置後1、2週でも病理組織学的に壊死組織は全く認められなかった。このことは、C群の動物のように、下顎骨の離断部にアルミ箔を挿入した場合でも、下顎頭への血液の供給は、Huelke & Castelli¹⁸⁾(1966)が述べているように骨膜や関節囊の血管を通して行われていたことを示し、下顎頭への血行障害は骨膜の一部にかざられていたのではないかとと思われる。

本研究のように、動物を用いて骨折が下顎頭に及ぼす影響を病理組織学的に検索したものは非常に少ないが、動物の下顎頭を切除して、その切除部を病理組織学的に観察した研究は多く、それらには次のようなものがみられる。Jarabak⁹⁾(1954)は、若いラットで片側の下顎頭を切除した後、その動物を十分に成長させてから、切除部を観察した結果、切除部が下顎窩と骨性癒合をしていたもの、切除部に骨の形成はみられたものの、切除部は下顎窩とは線維性に結合していたもの、また、切除部には外見的には正常に近いが、組織学的には不規則な軟骨を有する新しい下顎頭が再生されていたものなどの3つの型がみられたと報告している。また、Jolly¹⁹⁾(1961)は、若いラットや成熟したラットの下顎頭を両側性に切除して、6日から42日までの期間で切除部を観察したところ、切断部には内部に軟骨を有する新しい下顎頭の形成がみられたと報告している。Peskin & Laskin²⁰⁾(1965)は、小犬の片側の下顎頭を部分的に切除したところ、16週から20週で切除部に内部に軟骨を有する正常に近い下顎頭が形成されたと述べている。Skubler²¹⁾(1970)は、若いアカゲザルと成長したアカゲザルの下顎頭を片側性あるいは両側性に切除して2週半から18か月まで観察した結果、若いアカゲザルでは切除部に対照群の動物と同じような内部に軟骨を有する新しい下顎頭が形成されたが、成長したアカゲザルではそのような下顎頭は形成されなかったという。また、Sarnat & Muchnic²²⁾(1971)は、若いアカゲザルと成長したアカゲザルの片側の下顎頭を切除したところ、30か月後の若いアカゲザルでは、

切除部に内部に軟骨のない偽性の下顎頭の形成がしばしば認められたが、成長したアカゲザルでは、そのような所見はあまりみられなかったという。しかし、Poswillo²³⁾(1972)は、成長したアカゲザルの下顎頭を片側性あるいは両側性に切除して、その切除部を約3年後に観察した結果、内部に少量の線維軟骨を有する下顎頭が形成されたと述べている。以上の報告から、一般に下顎頭を切除した場合、若い動物では新しい下顎頭の形成能は高いが、成長した動物では低いことが明らかであると思われる。また、このことは、若い動物では、新しく形成された下顎頭内に軟骨の出現による軟骨内骨化が起こることと関連しているものと思われる。本実験のB群やC群の動物では、離断した下顎頭内に軟骨内骨化と関係のある増殖層や軟骨層は、全実験期間を通して完全に消失することはなかった。したがって、本実験では、観察期間をさらに長く延期すれば、B群の動物では、下顎頭の組織像は完全に修復される可能性があり、また、C群の動物でも下顎頭の組織像はある程度修復される可能性のあることが推測された。

Walker¹²⁾(1960)やBoyne¹³⁾(1967)の実験では、動物の下顎骨に偏位は認められなかったという。本実験では、下顎頭の観察は病理組織学的検索を主としたために、動物の乾燥頭蓋は作成しなかった。したがって、下顎骨の偏位は肉眼的には観察できなかった。しかしながら、軟X線的には、B群とC群の離断した下顎頭は、A群と比較して小さく、また、B群とC群のそれぞれの反対側の下顎頭と比べても小さかった。さらに、B群とC群の離断した下顎頭は、組織学的にもA群と比べて小さかった。したがって、本実験のB群とC群の下顎骨は明らかに離断側に偏位していたものと考えられた。

本研究では、A群、B群、C群の下顎頭の病理組織学的観察に加えて、下顎頭の組織学的な各層や大きさ(横径、縦径)を定量的に計測した。その結果、本実験では、各群における下顎頭の病理組織学的変化や、また、各群間における病理組織学的変化の相違を、病理組織学的な所見とあわせてより正確に把握することができたと考えている。したがって、実験的な下顎頭の研究では、この組織定量的な方法は非常に有用な研究方法の一つであると思われた。

V. 結 語

本研究では、若い成長期ラット(5週齢)の下顎骨下顎枝に実験的な骨折、すなわち離断を作成し、その離断が下顎骨の下顎頭におよぼす影響を軟X線のおよび病理組織学的に検索し、次の結果を得た。

1. 軟X線の所見

(1) B群(骨折離断放置群)とC群(骨折離断アルミ箔挿入群)の下顎頭の大きさは1、2週ではA群(対照群)

と同様であった。しかし、両群の下顎頭は4, 6, 8週ではA群と比較して小さかった。

(2) 軟X線のB群の下顎骨の離断部は、1週では直線的な透過像としてみられたが、離断部は経過的に不明瞭となり、8週では離断部に明瞭な透過像はみられなかった。しかし、C群では、1週から8週まで直線的な透過像がみられた。

2. 病理組織学的所見

(1) B群の下顎頭では、1週で表層、増殖層、分化層、肥大層、および骨梁形成部はA群とほぼ同様であったが、2週から6週では各層の細胞数や厚さ、および骨梁形成部の骨密度には減少がみられた。しかし、8週になると、増殖層、分化層、肥大層の細胞数や厚さはA群と同じか、あるいはA群に近いものになっていた。また、2週から8週では、骨梁形成部の骨密度はA群よりも少なかったが、経過的にかなりの増加がみられた。

(2) C群の下顎頭では、1週で表層、増殖層、分化層、肥大層、および骨梁形成部はA群とほぼ同じであったが、2週から8週では、それらの各層の細胞数と厚さは、A群と比べて常に少なかった。また、2週から8週では、骨梁形成部の骨密度はA群よりも小さかったが、経過的にはかなり増加していた。

(3) B群の下顎骨の離断部は、1週では線維性組織と軟骨組織によって結合していた。また、2週から8週でも両断端は線維性組織と軟骨組織によって結合していたが、その結合は経過的に密になっていた。

(4) C群の下顎骨の離断部では、両断端はアルミ箔のために1週から8週まで結合していなかった。

以上より、成長期ラットの下顎頭は実験の下顎骨下顎枝骨折により種々なる程度の形成障害を発現するが、その病像や回復像は骨折断端の組織癒合の状態によって大いに影響を受けることが明らかになった。

稿を終えるにあたり、本研究の遂行に終始ご協力をいただいた名古屋大学医学部口腔外科学教室ならびに愛知学院大学歯学部病理学教室の各位に衷心より謝意を表します。

本論文の要旨は、第38回日本口腔科学会総会(1984年5月、東京)、第5回顎関節研究会(1984年7月、京都)、第29回日本口腔外科学会総会(1984年9月、札幌)において発表した。

引用文献

- 1) Sarnat, B.G. and Laskin, D.M.: The Temporomandibular Joint; A Biological Basis for Clinical Practice. 3rd Ed, Thomas Co, Springfield, 1979, p 422-470.
- 2) Thoma, K.H.: Treatment of condylar fractures. J Oral Surg 25: 112-120 1954.
- 3) Jarabak, J.R.: Subcondylar fractures of the mandible; Research and Treatment. Am J Orthod 40: 729-755 1954.
- 4) Graham, G.G. and Peltier, J.R.: The management of mandibular fractures in children. J Oral Surg 18: 416-423 1960.
- 5) Eubanks, R.J.: Fractures of the neck of the condyloid process. J Oral Surg 22: 285-291 1964.
- 6) Thomson H.G., Farmer, A.W., et al.: Condylar neck fractures of the mandible in children. Plast Reconstr Surg 34: 452-463 1964.
- 7) Coccato, P.J.: Restitution of mandibular fossa after condylar injury in infancy (A 7-year study of a child). Am J Orthod 55: 32-49 1969.
- 8) Hoopes, J.E., Wolford, F.G., et al.: Operative treatment of fractures of the mandibular condyle in children. Plast Reconstr Surg 46: 357-362 1970.
- 9) Leake, D., Doykos, J., et al.: Long-term follow up of fractures of the mandibular condyle in children. Plast Reconstr Surg 47: 127-131 1971.
- 10) Virolainen, E. and Aitasalo, K.: Surgical and conservative treatment of mandibular fractures. Int J Oral Surg 5: 265-269 1976.
- 11) Lindahl, L. and Hollender, L.: Condylar fractures of the mandible. Int J Oral Surg 6: 153-165 1977.
- 12) Walker, R.V.: Traumatic mandibular condylar fracture dislocations. Am J Surg 100: 850-863 1960.
- 13) Boyne, P.J.: Osseous repair and mandibular growth after subcondylar fractures. J Oral Surg 25: 300-309 1967.
- 14) 中田茂樹: 下顎頭関節軟骨損傷の修復に関する実験的研究. 日口外誌 29: 55-68 1983.
- 15) Das, A., Meyer, J., et al.: X-ray and alizarin studies on the effect of bilateral condylectomy in the rat. Angle Orthod 35: 138-148 1965.
- 16) 三木 毅: ラット顎関節の発育に関する研究. 京大科紀要 12: 1-30 1972.
- 17) Durkin, J., Heeley, J., et al.: The cartilage of the mandibular condyle. Oral Science Reviews 2: 29-99 1973.
- 18) Huelke, D.F. and Castelli, W.A.: The blood supply of the rat mandible. Anat Rec 143: 335-341 1966.
- 19) Jolly, M.: Condylectomy in the rat; An investigation of the ensuing repair processes in the region of the temporomandibular articulation. Aust. Dent J 6: 243-256 1961.
- 20) Peskin, S. and Laskin, D.M.: Contribution of autogenous condylar grafts to mandibular

- growth. Oral Surg 20: 517-534 1965.
- 21) Skuble, D.F., Choukas, N.C., et al.: Cranio-mandibular bone changes in rhesus monkeys induced by condylectomy. J Oral Surg 28: 273-279 1970.
- 22) Sarnat, B.G. and Muchnic, H.: Facial skeletal changes after mandibular condylectomy in growing and adult monkeys. Am J Orthod 60: 33-45 1971.
- 23) Poswillo, D.E.: The late effects of mandibular condylectomy. Oral Surg 33: 500-512 1972.
- 22) Sarnat, B.G. and Muchnic, H.: Facial skeletal