

〔原著〕 松本歯学 13 : 292~320, 1987

key words: 顎整形力 — 上顎骨後方移動 — corticotomy — procion red — strain gage

## 顎整形力による上顎骨後方移動時の Corticotomy の効果に関する研究

吉川仁育

松本歯科大学 歯科矯正学講座 (主任 出口敏雄 教授)

### Effect of Corticotomy on Maxillary Retraction Induced by Orthopedic Force

YOSHIYASU YOSHIKAWA

*Department of Orthodontics, Matsumoto Dental College*

*(Chief : Prof. T. Deguchi)*

#### Summary

The author performed corticotomy in combination with posterior transfer of the maxilla in 4 male Japanese monkeys and compared maxillary skeletal changes morphologically and histologically between the experimental group and 2 control animals. In addition, strain experiments were carried out on the dry skull using a strain gage.

1. Posterior transfer was negligible in the control group but marked in the experimental group.
2. At the site of suture, active remodelling of the bone was observed in the control group, but relatively slight changes were seen in the experimental group. This difference between the two groups was the most marked at the site of the tempozygomatic suture, followed in order by that of the zygomaticomaxillary suture and that of the frontozygomatic suture.
3. In the proper alveolar bone of the maxilla, resorption and addition of bone was marked in the control group, but no marked changes were observed in the experimental group.
4. Strain experiments on the dry skull using a strain gage confirmed that corticotomy decreased the load on each suture site.
5. Corticotomy combined with posterior transfer of the maxillar seemed to have exerted the following effects : in the control group, traction is diffused to the maxillofacial part via each suture site. However, in the experimental group, traction is difficult to diffuse since the compact bone is separated, resulting in favorable effects on posterior transfer of the alveolus between the maxilla and maxillary proper alveolar bone connected only by the

cancellous tissue.

These results show the usefulness of combing this procedure with posterior transfer of the maxilla.

## 緒 言

近年、わが国においても顎発育異常における外科的矯正治療が頻繁に行われるようになり、その治療効果も報告されるようになってきた<sup>1)</sup>。ことに骨格性下顎前突症における下顎骨後退術はもはや一般的な手術となった感がある<sup>2)</sup>。

一方、上顎の外科的矯正治療についてみると近年臨床報告を見受けるようになったものの、本邦では下顎骨のそれと比べるとまだまだ一般化されていないのが現状である。

さて、上顎骨への手術は Le Fort I 型に属する手術による上顎骨の上下方、前方、および回転等を目的とするものと、Wassmund-Wunderer 法による<sup>1,3,4)</sup>上顎前突症における上顎前方歯槽骨の後方移動を目的としたものが代表的である。

この上顎骨に対する Le Fort I 型骨切り術は Obwegeser<sup>5)</sup>が完成させ、安定した臨床成績を示すといわれている反面、種々の合併症も報告されている<sup>6,7)</sup>。骨切離を行う以上、Wassmund-Wunderer 法も当然同様の危険性を考慮しなければならない。しかし、山本<sup>8)</sup>がサルを用いた実験的研究でも証明しているように、日常の矯正臨床で、成長期において可能な上顎骨の成長抑制も、一定の年齢以上では困難であることや、成人症例における治療期間短縮の必要性を考えれば、敢えて危険を侵す必要性もでてくる。このような侵襲がより一層少ないと考えられる外科的矯正に corticotomy がある。本法は Köle<sup>9)</sup>により提唱され、外科的侵襲を可及的に軽減しつつ単独の歯ならびに一群の歯の矯正を容易にするために行われ、いくつかの実験的研究や臨床報告がある<sup>9-12)</sup>。

しかし、corticotomy と顎整形力とを併用して顎骨歯槽部全体を移動させた報告はほとんどみられず、教室の松田<sup>13)</sup>が corticotomy を併用した上顎骨の前方牽引について報告しているのみである。

そこで、著者は上顎骨の著明な過成長を伴う骨格性上顎前突症の成人症例に対する corticotomy の応用の有用性を確立するために、サルを用い、

1) 上顎骨の後方移動時の上顎骨の歯槽部における変化量とその期間、2) 上顎骨の移動様式と組織学的変化、3) 上顎骨に加わった加重と形態学的、組織学的変化との関係について検討したところ、臨床に適用するに足る知見を得たので報告する。

## 材料と方法

### 1. 材料

実験材料にはニホンザル (*Macaca fuscata*) のオス、6 頭を用いた。体重は 10~12 kg 程度で歯牙咬耗の程度は桐野、佐伯のいう +A のものばかりであった<sup>14)</sup>。

また、歯牙は上下顎の第 3 大臼歯が萌出しており、年齢は少なくとも 7.5 才以上と推定された。

動物は個別ケージで飼育し、検疫のため 1 か月以上飼育した後、実験に供した。

### 2. 実験方法の検討 (予備実験)

実験に先立って corticotomy の手術方法について dry skull を用いて検討した結果、次のよう

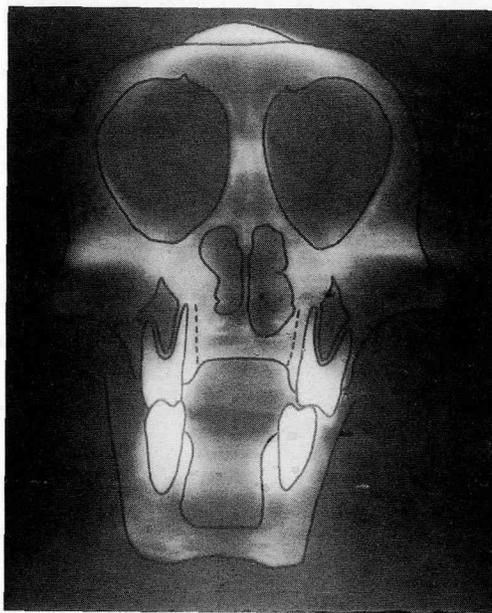


図 1 : ニホンザルの dry skull 断層撮影像 (前額断)

な方法を用いることにした。

1) ニホンザルの dry skull を用いて断層撮影を行い、上顎歯牙の歯根と頬舌側骨壁との関係を調べた(図1)。その結果、ニホンザルでは口蓋が非常に浅いため、前額断において口蓋根と口蓋との間に大きな距離があり、緻密骨の切断のみでは上顎骨の後退が行われにくいと考えられたので、口蓋側では緻密骨のみでなく約 8 mm 垂直にフィッシャー・バー(#561)にて溝を入れることにした。なお、頬側は約 2 mm の深さに溝を入れ、緻密骨のみの切断を行うことにした。

2) 口蓋が浅いため、上顎骨歯槽突起を後方移動する際、口蓋の前方部に接触すると、それ以上の後方移動が望めないため、口蓋の前方部の顎骨も一部除去することにした。また、歯槽部の後方移動に伴って、切歯孔が圧迫閉鎖されないように、

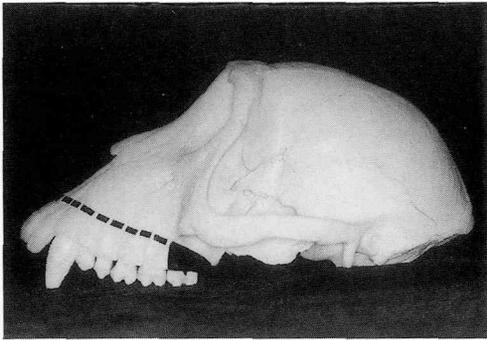


図2：Corticotomy 部位（頬側）

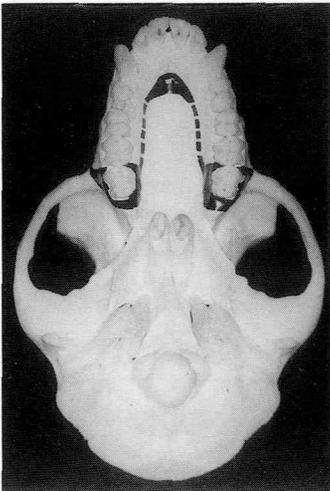


図3：Corticotomy 部位（口蓋側）

corticotomy 部位は切歯孔の後方に設定した(図2, 3)。

なお、図2, 3に示してあるように、上顎骨の後退量を確保するため、上顎左右第3大臼歯の抜去とともに、同部の歯槽骨は除去することにした。

### 3. 実験方法

実験群、対照群とも手術当日は絶食させ、5% Ketalar<sup>®</sup> 10 mg/kg の筋肉注射を行って入眠させた後、Somnopentyl<sup>®</sup> を 0.3 ml (ペントバルビタールナトリウム 19.4 mg)/kg の静脈注射による全身麻酔を行った。

手術は希オキンドールで術野を清拭した後、上顎左右第3大臼歯の抜去を行い、上顎唇頬側の歯頸部より約 3 mm の部位の歯肉上で一側の第2大臼歯から、反対側の同部位に骨膜に達する切開を行い、続いて舌側も同様に歯頸部より 3 mm のところで切開し、粘膜骨膜を剝離した。とくに、上顎唇側正中部では梨状孔下縁まで剝離を行った。次に、犬歯を除く各歯牙の根尖より最小 2 mm 上方の上顎骨外側骨壁に#6のラウンド・バーを用いて滅菌生理食塩液をかけながら 3~5 mm 間隔で多数の小孔を作った後、#261のフィッ

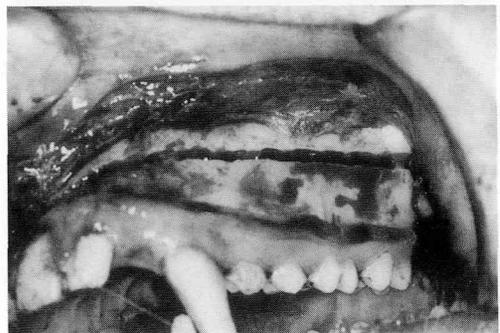
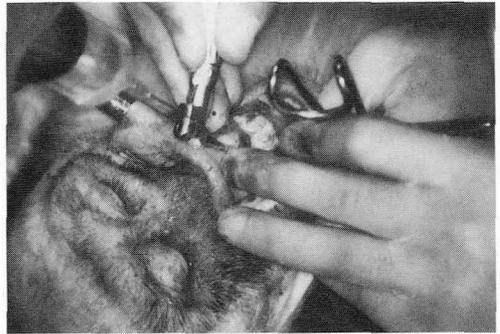


図4：Corticotomy 手術(上)と Corticotomy 終了時(下)

シャー・バーでこれらを連続させ、上顎骨前壁、側壁における corticotomy を行った。

先の実験方法の検討の項で述べたように舌側では、第1小臼歯から第2大臼歯の部位では corticotomy に加え約 8 mm の深さまでフィシャー・バーを入れ、海綿骨の一部も切り離した。なおニホンザルのオスの上顎犬歯は歯根があまりにも長大であるため、本実験では corticotomy 部位で頰側から切断した(図4上、下)。

なお、術中は生理食塩液の点滴静注を行い、その中に抗生物質のセポラン注射液<sup>®</sup>100 mg/kg と止血剤 Adona<sup>®</sup> 5 ml 1管を混入した。

実験群の4頭には corticotomy 手術を行ったあと、ただちに口腔内装置およびヘッドキャップを装着した。対照群のサルは上顎左右第3大臼歯の抜去のみを行って同様の装置を装着した。

口腔内装置は図5に示してあるように設計した。口腔模型上で wax up したあと、ルークアロイ<sup>®</sup>(G-C 製 Ni-Cr 合金)で鋳造製作し、既製のフェイス・ポー(トミー製 A45-0000)をろう着した。この口腔内装置をハイボンドリン酸セメント

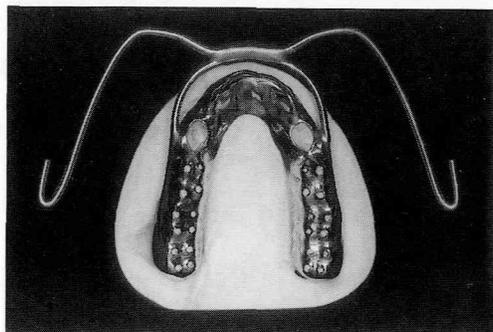


図5：口腔内装置

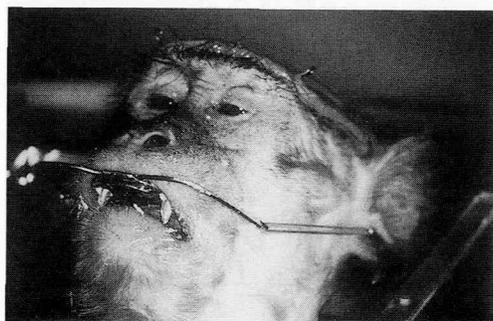


図6：実験中のサル

<sup>®</sup>(松風製)にて合着した(図5)。

ヘッドキャップの製作にあたって、頭部をバリカンで剃毛したあと、モデリングコンパウンド(G-C 製)とシュールフレックス<sup>®</sup>(G-C 製チオコールラバーベース印象材)を用いて頭の印象を採得した。この印象に普通石膏を流し模型を製作した。模型上でピンクオストロン<sup>®</sup>(G-C 製)を用いてヘッドキャップを製作し、1.0 mm の矯正線のフックを付加した。実験群、対照群ともヘッドキャップからフェイス・ポーへとエラスティック(トミー製 C-050)をかけ、その力が片側400 g となるようにした。エラスティックは24時間装着し、毎日新しいものと交換した。また、牽引方向は咬合平面とほぼ平行とした。

なお、サルが装置に手をふれて破損するのを防ぐために実験期間中は全てのサルをモンキーチェア上にセットした(図6)。

また、上顎骨歯槽部の後方移動に伴って、上顎犬歯と下顎第1小臼歯、および上顎側切歯部の口腔内装置と下顎犬歯が接触しないよう適時、下顎歯牙の削合を行った。

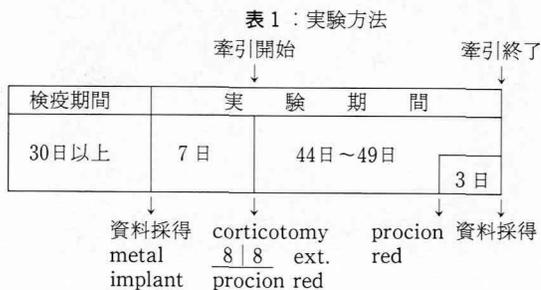
実験は表1に示してあるように行った。牽引期間は44~49日間であった(表1)。

飼育期間中の飼料は固形飼料(オリエンタル酵母KK製, AB袋)を与えた。また、ビタミンC末(三和化学製)をほぼ30 mg/日の割合となるよう給水ビンに1~2回/週で投与した。

#### 4. 模型製作

実験群、対照群とも実験開始時および終了時にアルジフィット<sup>®</sup>(サンキン工業製アルジネート印象材)を用いて口腔内の印象採得を行った。印象にはできるだけ模型の破損を防止する目的でシュールストーン<sup>®</sup>(G-C 製白色超硬石膏)を注ぎ、平行模型を製作した。

模型上では下顎骨に対する上顎骨の後方移動量



を計測し頭部X線規格写真分析所見とあわせて検討を行った。

5. metal implant と頭部X線規格写真

牽引開始前に全てのサルの左側に metal pin (0.5mm×1.5mm) を implant gun (オレディック社製) で打ち込んだ<sup>15)</sup>。

部位は側頭頬骨縫合, 頬骨上顎縫合, 前頭頬骨縫合と, 上顎中切歯, 第1大臼歯の corticotomy 部である。縫合部の剃毛をした後, 通法に従い皮膚の消毒を行い, 皮膚骨膜に切開を加えた。そのあとこれを剝離し, 縫合部を確認した上で, 縫合を挟むように直視下で両側に pin を打ち込んだ (図7)。pin の打ち込み終了後, 皮膚骨膜を絹糸で縫合した。

また, corticotomy 部位については, その手術時に corticotomy 部を挟むように2ヶ所ずつ metal

pin を打ち込んだ。

頭部X線規格写真は著者らが動物用に改造した cephalostat にサルを固定し, typeM II dental X線写真撮影装置<sup>®</sup> (モリタ製作所製) で, 正中矢状面の拡大率が1.1倍となるように撮影した。撮影は実験開始時と終了時に行った (図8)。

Land mark は石井<sup>16)</sup>, Janzen<sup>17)</sup>のものを参考にし, また, インジアナ大学で用いられている表現を一部使用した<sup>18)</sup> (図9, 10)。

- S……Sella (トルコ鞍中心点)
- A……Point A (前鼻棘の最先端点と Prosthion との間の正中矢状断面上の最深点)
- Me……Menton (Symphysis 最下点)
- Ocp……External occipital protuberance (後頭結節最突出点)



図7 : Implant Pin

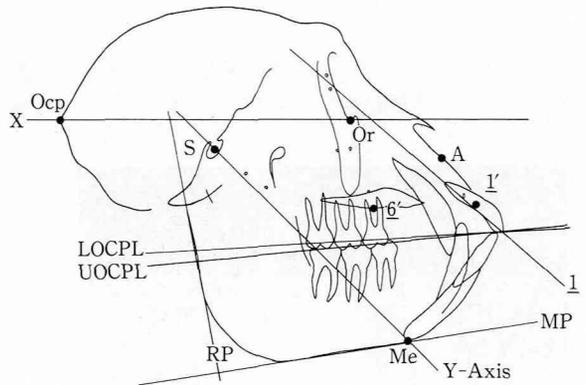


図9 : 本研究で用いる計測項目

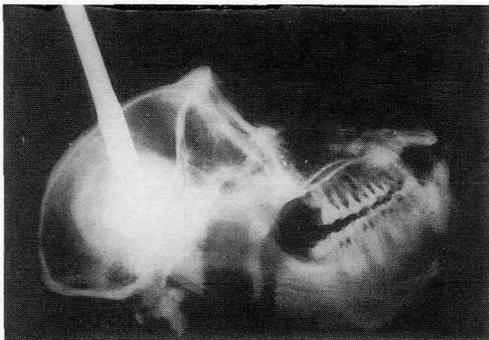


図8 : E 4 実験終了時のセファロ

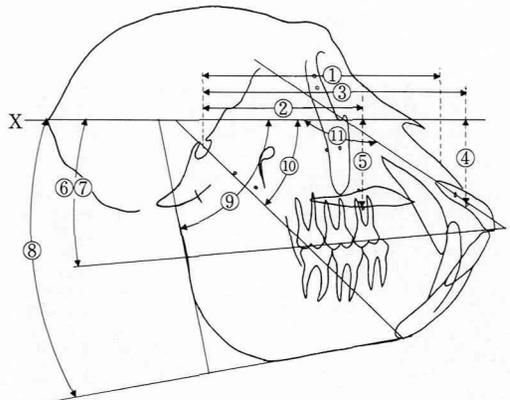


図10 : セファロ計測部位

Or……Orbitale (眼窩口下縁最低点)

X……Ocp と Or を結んだ基準線

UOCPL……上顎咬合平面,  $\underline{6}$  と  $\underline{1}$  の咬頭頂, 切縁を連ねた線

LOCPL……下顎咬合平面,  $\overline{6}$  と  $\overline{1}$  の咬頭頂, 切縁を連ねた線

MP……Mandibular Plane

RP……Ramus Plane

Y-Axis……Y-Axis

$\underline{1}'$ …… $\underline{1}$  の metal implant

$\underline{6}'$ …… $\underline{6}$  の metal implant

$\underline{1}$ …… $\underline{1}$  の歯軸

計測項目のうち距離計測は次の5つである。

① S-A ( $\perp$ X)

② S- $\underline{6}'$  ( $\perp$ X)

③ S- $\underline{1}'$  ( $\perp$ X)

④  $\underline{1}'$  to X

⑤  $\underline{6}'$  to X

また, 角度計測は次の6つである。

⑥ X : UOCPL

⑦ X : LOCPL

⑧ X : MP

⑨ X : RP

⑩ X : Y-Axis

⑪ X :  $\underline{1}$

S- $\underline{1}'$ ( $\perp$ X)は点S及び点 $\underline{6}'$ それぞれの点から平面Xに直交する平面に垂線を下しその交点間の距離を示している。

$\underline{1}'$  to X は平面Xから点 $\underline{1}'$ までの最短距離を表している。

X : UOCPI は X と UOCPI とのなす角を表している。

以上の計測項目について実験開始時と終了時の変化量を計測した。

また, 脳頭蓋底に対する上下顎骨の関係を調べるため, 術前術後のトレースを頭蓋全体およびSを基準として重ね合わせた。

## 6. 組織学的検索

組織切片上で骨の添加の方向, 量等の変化を明らかにするため石井<sup>19)</sup>の方法を参考にして procion red P-8B<sup>®</sup>(ICI製)を用いて生体染色を行った。

procion 系の生体染色剤はタンパク質と結合す

る性格を有しているため, 脱灰切片上でも観察することが可能である<sup>19,20)</sup>。

実験の開始に先立って高感度分光蛍光光度計(日立製作所製 650-10S)を用いて procion red P-8B の光学的性質を調べた。その結果, 530-540nm の光を当てると570-600nm の蛍光を発することが確認できた。

procion red P-8B はすべてのサルに牽引開始時と屠殺3日前に100mg/kgで腹腔内に投与した(表1)。

屠殺時には手術時と同様に全身麻酔を行ったあと, heparin1000ユニット/kgを腹腔内に投与し, 頸部正中に広く皮膚切開を加え, 鎖骨より上方約3cmのところ片側総頸動脈を露出させ, 19Gのベニユーラ<sup>®</sup>静脈留置針(トップ製)を挿入固定した。そして生理食塩液を1500ml用いて灌流した後, 10%中性ホルマリン500mlで灌流固定を行った。組織学的検索用の試料として側頭頰骨, 頰骨上顎, 前頭頰骨の各縫合部と上顎骨を切り出し, 再度10%中性ホルマリン中に浸漬固定し, 通常に従い, セロイジン包埋を行った。

各ブロックから10 $\mu$ と20 $\mu$ の2種類の薄切切片を作製した。10 $\mu$ の切片はMayerのヘマトキシリン, エオジン重染色(H-E)を施し, 光学顕微鏡で観察した。20 $\mu$ の切片は無染色のまま無蛍光スライドガラス(Matsunami製 No.3313 0.7-0.9mm)上に封入し, 落射型蛍光顕微鏡(Leitz製)下で観察した。なお, 先の procion red P-8B の性質からフィルターは Leitz filter system の中から N 2 ブロックを選んで用いた。

## 7. strain gage による骨表面のひずみの検討

実験には上下顎第3大臼歯まで含めて全ての永久歯が萌出完了している, オスニホンザルの乾燥頭蓋骨を2個用いた。1個はダミーゲージ用とし, 他の1個は本実験と同様に上顎左右第3大臼歯を抜去した状態にし周囲歯槽骨を削除した。

### 1) strain gage 貼付部位とその装着方法

顔面頭蓋に生じたひずみを測定するため, 2種類の単軸型ゲージ(KFC-2-C 1-11L100, 120.0 $\Omega$ , KFC-1-C 1-11L30, 120.0 $\Omega$ , 共和電業製)を使用した。ゲージ接着に際しては鴨頭<sup>21)</sup>らの方法を参考にして次のように行った。

骨表面はサンドペーパー(#100)で研磨し, アセトンで清掃した。接着にはシアノアクリレート

系接着剤(CC-15A, 共和電業製)を用い、接着後24時間デシケータ中で硬化させた。なおゲージは、ヘッドギアによる牽引方向に一致したひずみの測定が可能となるような方向に接着した(図11)。ゲージの貼布部位は縫合の上またはその近辺を含めて左右で18箇所である。

### 2) 実験方法

頭蓋骨の1個にはダミーゲージを貼布した。他の1個には本実験で用いたものと同様の口腔内外装置を製作し、口腔内装置はハイポンドリン酸セメント<sup>®</sup>(松風製)で合着した。口腔外装置は安定しているため、特に接着は行わなかった。そして、本実験の対照群と同様、片側400gの負荷をかけて、ひずみの測定を行った。その後、ひずみが十分に回復したのを確認し、今度は本実験の実験群と同様に corticotomy を行い、さらに十分な時間をおいたあと、計測した。

### 3) ひずみ測定法

ひずみの測定記録には小型万能デジタル測定器(Universal Digital Measuring System, UCAM-5B 共和電業製)と薄型軽量スキャナー(Universal Scanning Box, USB-50A 共和電業製)を使用した(図12)。

ダミーゲージはアクティブゲージと同じものを使用した。1ゲージ法を行い、温度補償のためにダミーゲージを別途用いて測定を行った。そして、ダミーゲージで得られた数値を各々のデータから差し引いてその値を求めた。

また、測定は各々3回づつ行い、その平均値を求めた。

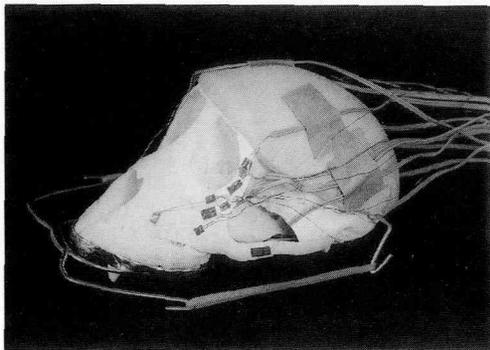


図11：ストレインゲージを用いたひずみ実験

## 結 果

### 1. 全身的観察

splint を装着したため、実験開始直後、ほとんどのサルは食餌が困難であった。このためビスケットは水に浸漬し、軟化してから与えた。個々のサルの嗜好の違いから、ビスケットを軟化すると食欲の減退するものもみられたが、おおむね外科的侵襲のより大きい実験群の方が、対照群よりも食欲の減退は激しかった。

しかし、サルは1週間後にはモンキーチェアや装置全体によく慣れ、給餌者より直接手渡して食餌をとることが可能となった。

実験期間を通じて著しい体重の減少はみられなかったが、モンキーチェアに固定されたことにより、精神的に落ち込んだ様子をみせるサルもいた。

### 2. 模型所見

実験群に共通した変化として上顎歯列弓は下顎歯列弓に対して著明に後方移動した。これに対して対照群では歯牙模型上においての変化はほとんどみられなかった(図13~18)。

実験開始時と終了時の歯牙模型上で1/10 mmまで計測可能なノギスを用いて計測を行った。その変化量は表2に示してある通りである。測定部位は上下顎中切歯部における over jet, over bite, 左右の第1大臼歯部の4項目である。

実験群での平均値は、over jet-2.8 mm, over bite-1.2 mmであったが、対照群では over jet-0.5 mm, over bite-0.7 mmであった。また、実験群では臼歯部での後方への変化量はわずかな左右差を示し、平均値は右側-3.0 mm, 左側-3.1 mmであった。また、対照群では左右とも-0.1 mmであった(表2)。

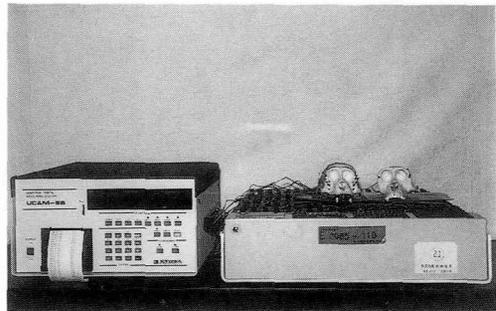


図12：実験方法とひずみ測定器

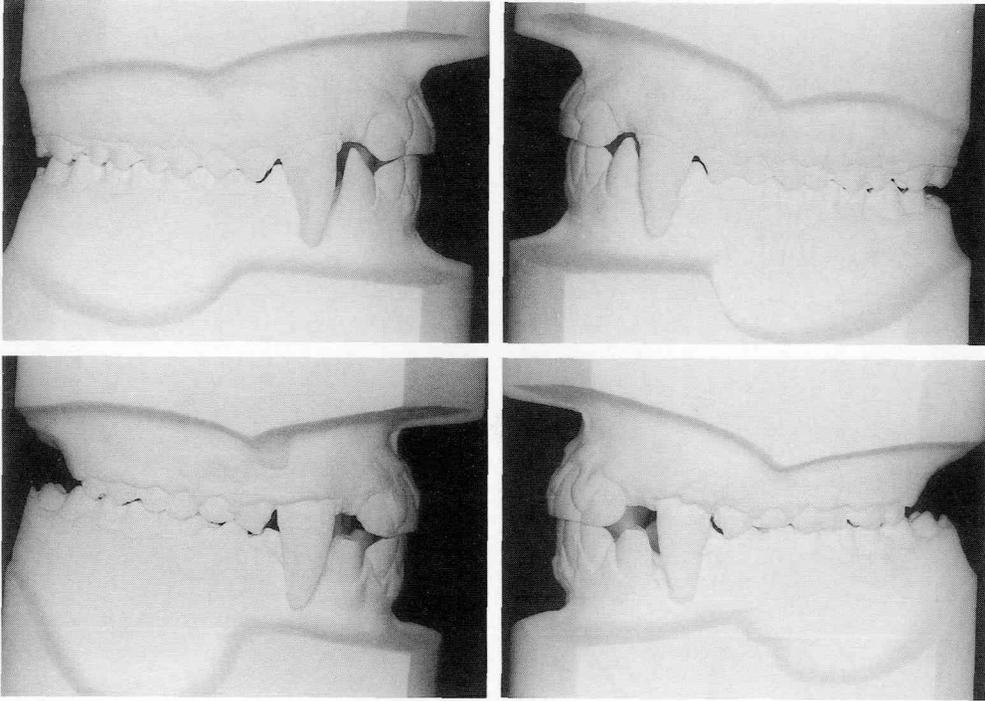


図13：C 1 実験開始時（上）と終了時（下）

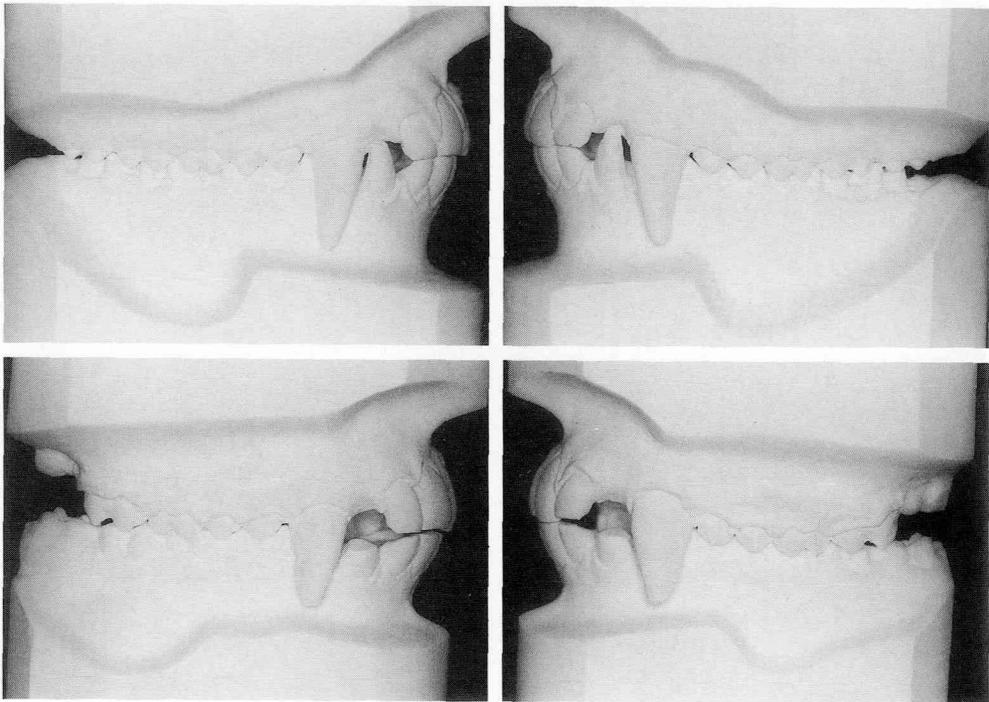


図14：C 2 実験開始時（上）と終了時（下）

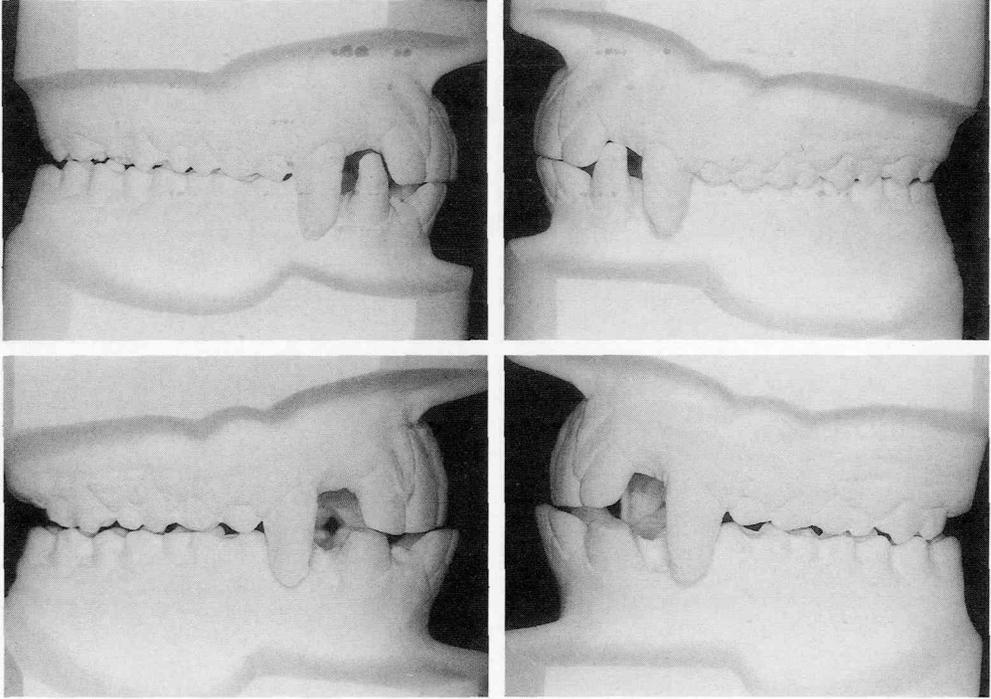


図15：E 1 実験開始時（上）と終了時（下）

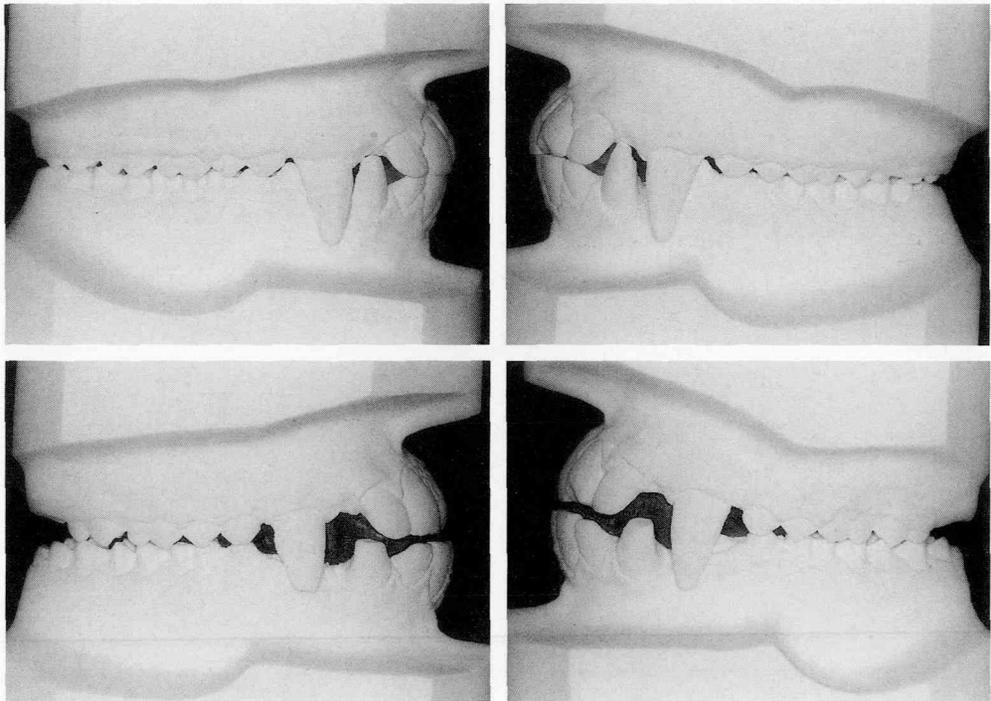


図16：E 2 実験開始時（上）と終了時（下）

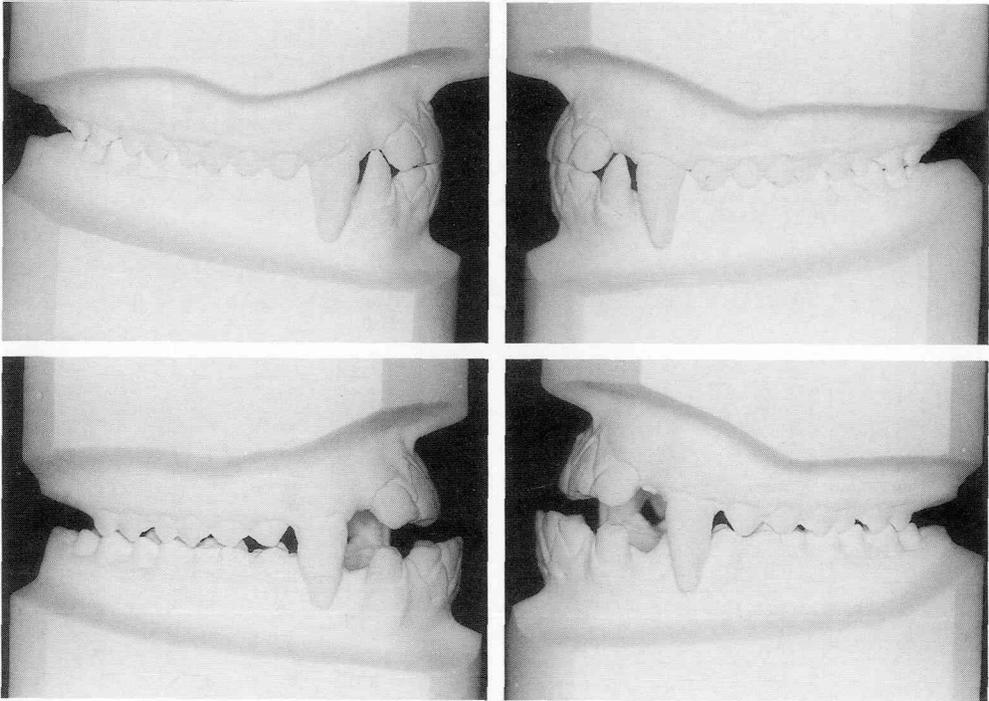


図17：E 3 実験開始時（上）と終了時（下）

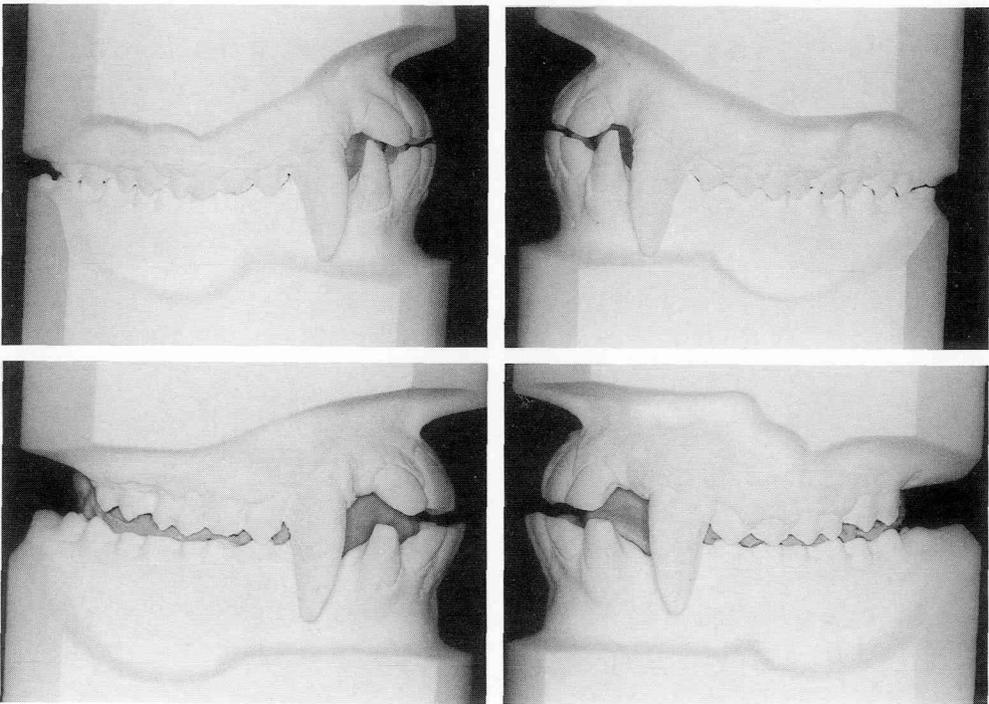


図18：E 4 実験開始時（上）と終了時（下）

表 2：模型分析

|           | E 1  | E 2  | E 3  | E 4  | Mean | C 1  | C 2  | Mean |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| over jet  | -3.0 | -2.8 | -3.4 | -2.0 | -2.8 | -0.5 | -0.5 | -0.5 |
| over bite | -0.5 | -1.4 | -2.0 | -0.7 | -1.2 | 0    | -1.4 | -0.7 |
| 臼歯部右側     | -4.0 | -2.8 | -2.9 | -2.2 | -3.0 | -0.2 | 0    | -0.1 |
| 臼歯部左側     | -3.4 | -2.0 | -4.2 | -2.8 | -3.1 | -0.2 | 0    | -0.1 |

(E 1 ~ E 4 : 実験群, C 1 · C 2 : 対照群, Mean : 平均)

(mm)

表 3：頭部 X 線規格写真分析

|                   | E 1  | E 2  | E 3  | E 4  | C 1  | C 2  |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| S-A ( $\perp$ X)  | -2.0 | -1.5 | -3.0 | -2.0 | 0    | 0    |
| S-6' ( $\perp$ X) | -3.0 | -1.5 | -3.5 | -3.0 | -0.5 | -0.5 |
| S-1' ( $\perp$ X) | -2.5 | -1.5 | -3.0 | -3.0 | -0.5 | -0.5 |
| 1'to X            | 0    | 0    | -2.0 | 0    | 0    | 0    |
| 6'to X            | 0    | 0    | 0    | -2.0 | 0    | 0    |

(mm)

|                     |      |      |      |      |   |   |
|---------------------|------|------|------|------|---|---|
| X : UOCP            | 0    | 0    | 0    | -2.0 | 0 | 0 |
| X : LOCP            | 0    | +2.5 | +3.0 | 0    | 0 | 0 |
| X : MP              | +0.5 | +1.5 | +2.0 | 0    | 0 | 0 |
| X : RP              | 0    | +2.0 | +1.0 | 0    | 0 | 0 |
| X : Y-Axis          | +1.0 | +1.5 | +2.0 | 0    | 0 | 0 |
| X : $\underline{1}$ | 0    | -2.5 | -1.5 | -4.0 | 0 | 0 |

(E 1 ~ E 4 : 実験群, C 1 · C 2 : 対照群)

(degree)

## 3. 頭部 X 線規格写真分析所見

## 1) 距離変化

## ① A 点の変化

対照群では S-A ( $\perp$ X) での変化は 0 であった。これに対して、実験群では -1.5 mm ~ -3.0 mm と後方移動を示した。

## ② 上顎歯牙の移動量

上顎第 1 大臼歯部に打ち込んだ metal implant の位置的变化 S-6' ( $\perp$ X) は対照群では -0.5 mm とほとんど変化はみられなかった。これに対して、実験群では -1.5 mm ~ -3.5 mm と後方への移動を示した。

また、上顎中切歯部の metal implant S-1' ( $\perp$ X) は対照群では -0.5 mm とほとんど変化はみられなかったが、実験群では -1.5 mm ~ -3.0 mm と後方移動を示していた。なお、上顎中切歯部、上顎第 1 大臼歯部での上下の変化 1'to X, 6'to X は E 3 が上顎中切歯部で -2.0 mm, E 4 が上顎第 1 大臼歯部で -2.0 mm と圧下していた。

## 2) 角度変化

① 上顎咬合平面 X : UOCP は E 4 が -2.0° と前方回転した以外は実験群、対照群とも変化はみられなかった。

② 下顎咬合平面 X : LOCP は E 2, E 3 がそれぞれ +2.5°, +3.0° と後方回転を起こした以外は変化はみられなかった。

③ 下顎下縁平面傾斜角 X : MP, 下顎枝後縁傾斜角 X : RP, Y-Axis は上顎咬合平面が前方回転を起こした E 4 を除いて、変化がみられたが、それらは全て下顎骨の後方回転を示していた。

④ 上顎中切歯歯軸の変化 (X :  $\underline{1}$ )

E 1 以外の実験群で -1.5° ~ -4.0° と歯軸の直立化傾向がみられた。

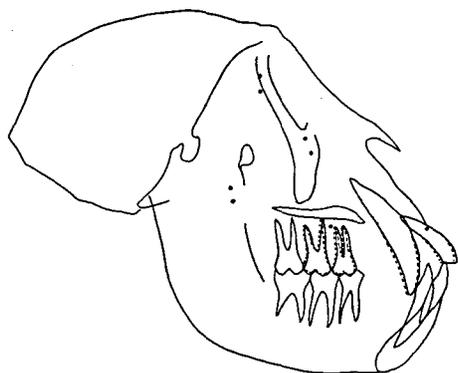
なお、対照群では角度変化は見出せなかった。頭部 X 線規格写真上においてその他の部位に著明な変化はなかった (図 19, 表 3)。

## 4. 組織学的所見

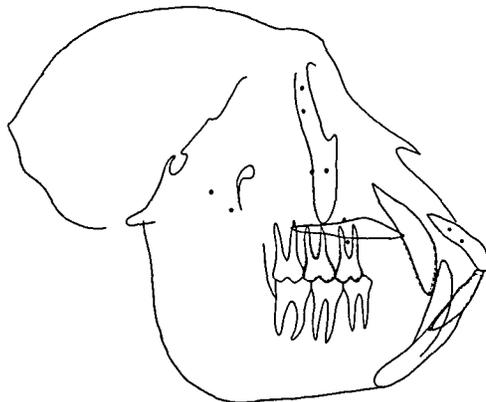
## 1) 縫合部の H-E 所見

## ① 側頭頬骨縫合

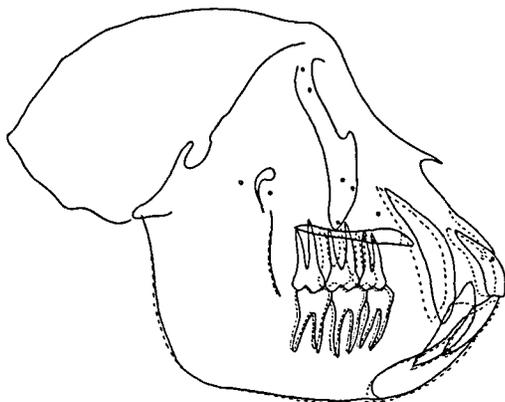
対照群においては縫合部の間隙が不規則で、同



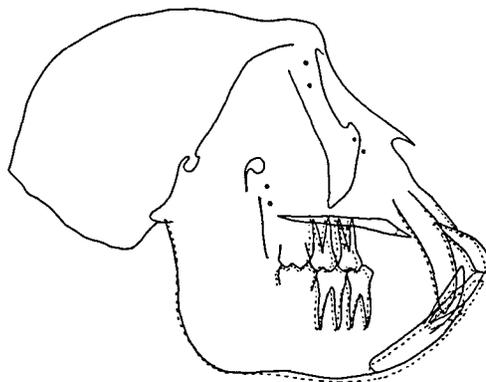
C1



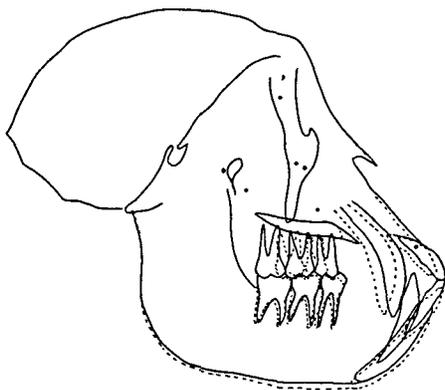
C2



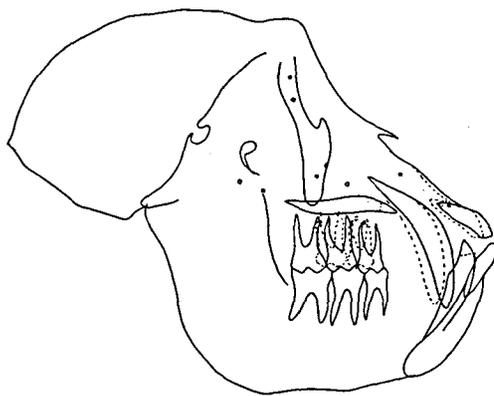
E1



E2



E3



E4

図19: 実験前後のセファロトレースの重ね合わせ

部に線維細胞の豊富な線維性結合組織が介在するものの、線維成分の走行は不規則であった(図20A)。この細胞成分が密在する部に一致して、骨面には紡錘形や立方形の骨芽細胞が分化し、類骨の添加を認め、逆に、一部にみられる細胞成分の乏しい部を挟む骨面は骨芽細胞の分化がないか、あっても極めてわずかであった(図20B)。

また、所々に破骨細胞が散在し、Hawshipの吸収窩を形成しているが、このことは骨の改造現象が著しいことを示しており、その名残りとして reversal line の形成や mosaic pattern も認めた。

これに対して、実験群では縫合部は狭く(図21A)、ここを埋める結合組織は骨面に対して垂直にあるいは平行に規則正しく配列し、しかも線維細胞は骨間の中央部に分布する傾向を示していた(図21B)。また骨芽細胞や破骨細胞の分化は一部を除いてほとんどなく、新生骨部は比較的緻密化しており、このことから、corticotomy を行った実

験群では骨の縫合部は安定状態にあることを示していた。

## ② 頬骨上顎縫合

対照群において縫合部は蛇行と凹凸を認めるものの狭く(図22A)、これを埋める結合組織は、線維成分が骨間をほぼ垂直に走り(図22B)、線維細胞もこの走行に一致した配列をなしていた。また、骨芽細胞、破骨細胞とも極く一部に限って認められるのみで、骨面全体に resting line が認められた。この所見は一時期かなり強い骨変化が生じたものの安定した時期に入っていることを示していた。

実験群の縫合部の線維成分は密に走行し、末梢循環も確立されていた。また、改造現象もほとんどなく安定状態にあることがうかがえた(図23)。

## ③ 前頭頬骨縫合

対照群において、縫合部の間隙はやや不規則であるが、これを埋める結合組織は大部分が骨間を

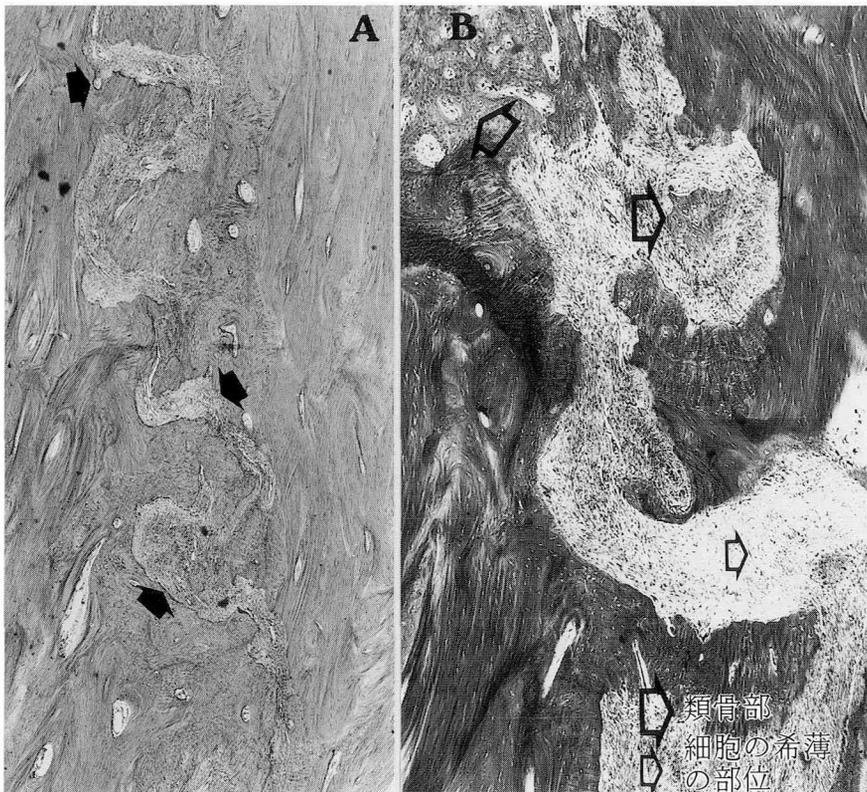


図20：C 1 側頭頬骨縫合 H-E (orig. mag. A : ×35, B : ×70)

垂直に走り、規則正しい走行をしていた(図24A)。しかし一部に不規則な走行がみられ、同部に一致して骨芽細胞の分化と類骨の形成あるいは破骨細胞による骨吸収が認められた。このことは改造機転がなお進行中であることを示していた(図24B)。

これに対して実験群においては、縫合部の間隙は対照群より狭く、しかも一定しており、これを埋める結合組織は線維成分が密で、いずれも骨間を垂直に走り、その骨表面には骨芽細胞、破骨細胞の分化はなく、明確な resting line を形成していた(図25)。

2) 縫合部の procion red による時刻描記所見

#### ①側頭頰骨縫合

実験群、対照群ともに明瞭な2本の取り込み線が観察された。対照群では不規則な骨の改造現象と一致して、取り込み線の幅は非常に広がった。実験群では、比較的規則的に骨の吸収・添加部が

相対して存在し、改造機転が活発に行われたことを示しているが、対照群と比較して、その量は少なかった(図26, 27)。

#### ②頰骨上顎縫合

対照群では2本の取り込み線が比較的狭いながらも観察され、骨の添加部と吸収部が交互に出現していた。一方実験群では一部に2本の取り込み線を見ることはできるが、その幅は極めて狭かった(図28, 29)。

#### ③前頭頰骨縫合

対照群、実験群ともに、明瞭な2本の取り込み線を認めた。

いずれの群でも骨の添加部と吸収部が規則的に交互に出現していた。2本の取り込み線の幅径は、対照群が実験群に比べて著明に広がった(図30, 31)。

#### 3) 上顎骨固有歯槽骨

対照群では近心側の骨添加と遠心側の著明な骨

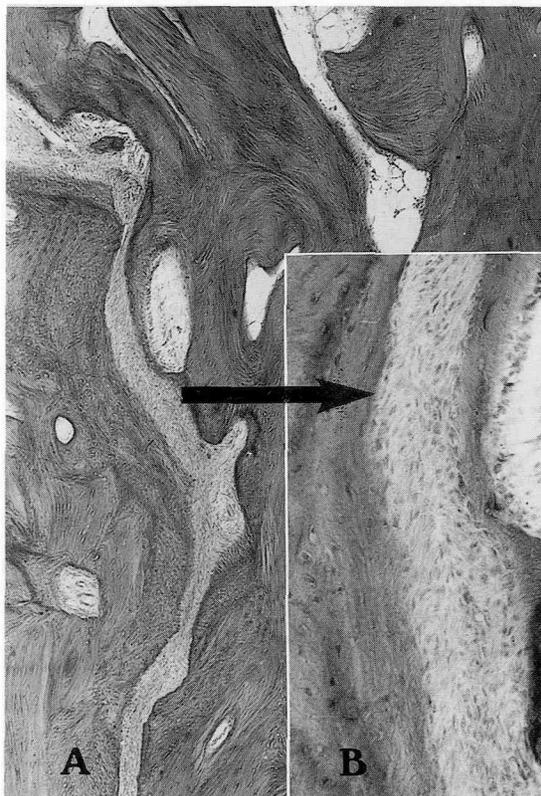


図21: E 1 側頭頰骨縫合 H-E (orig. mag. A:  $\times 35$ , B:  $\times 200$ )

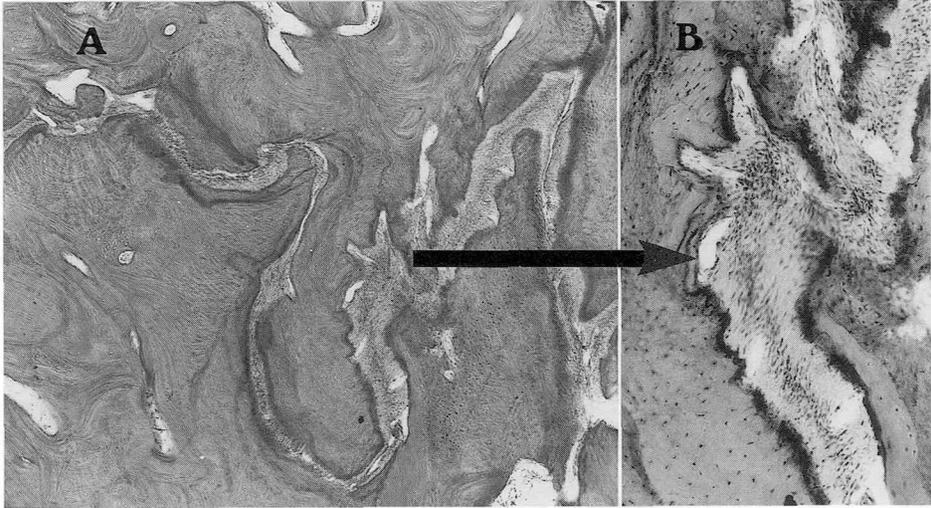


図22：C 1 頬骨上顎縫合 H-E (orig. mag. A :  $\times 35$ , B :  $\times 100$ )



図23：E 1 頬骨上顎縫合 H-E (orig. mag.  $\times 35$ )

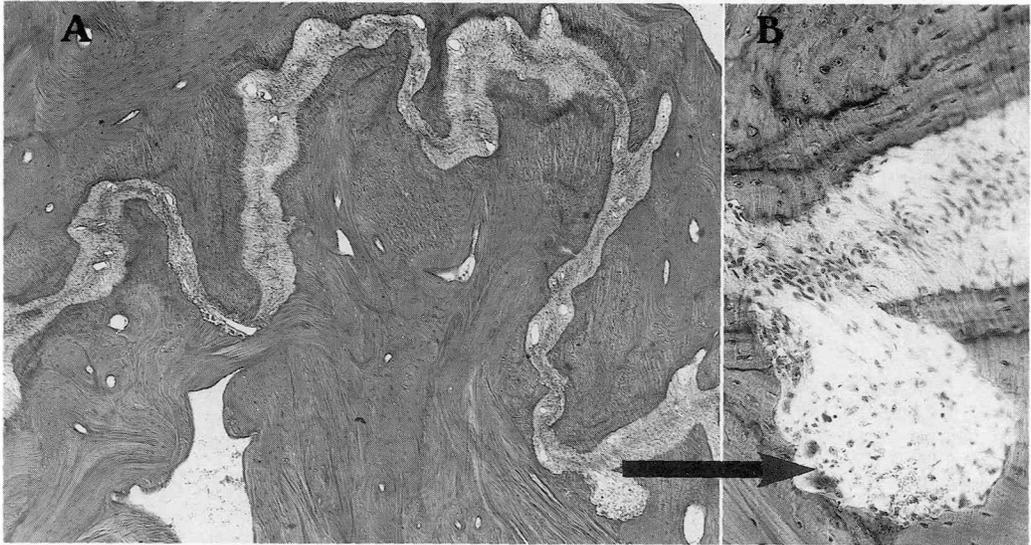


図24：C 1 前頭頰骨縫合 H-E (orig. mag. A：×35, B：×200)



図25：E 1 前頭頰骨縫合 H-E (orig. mag. ×35)



図26：C 1 側頭頬骨縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )

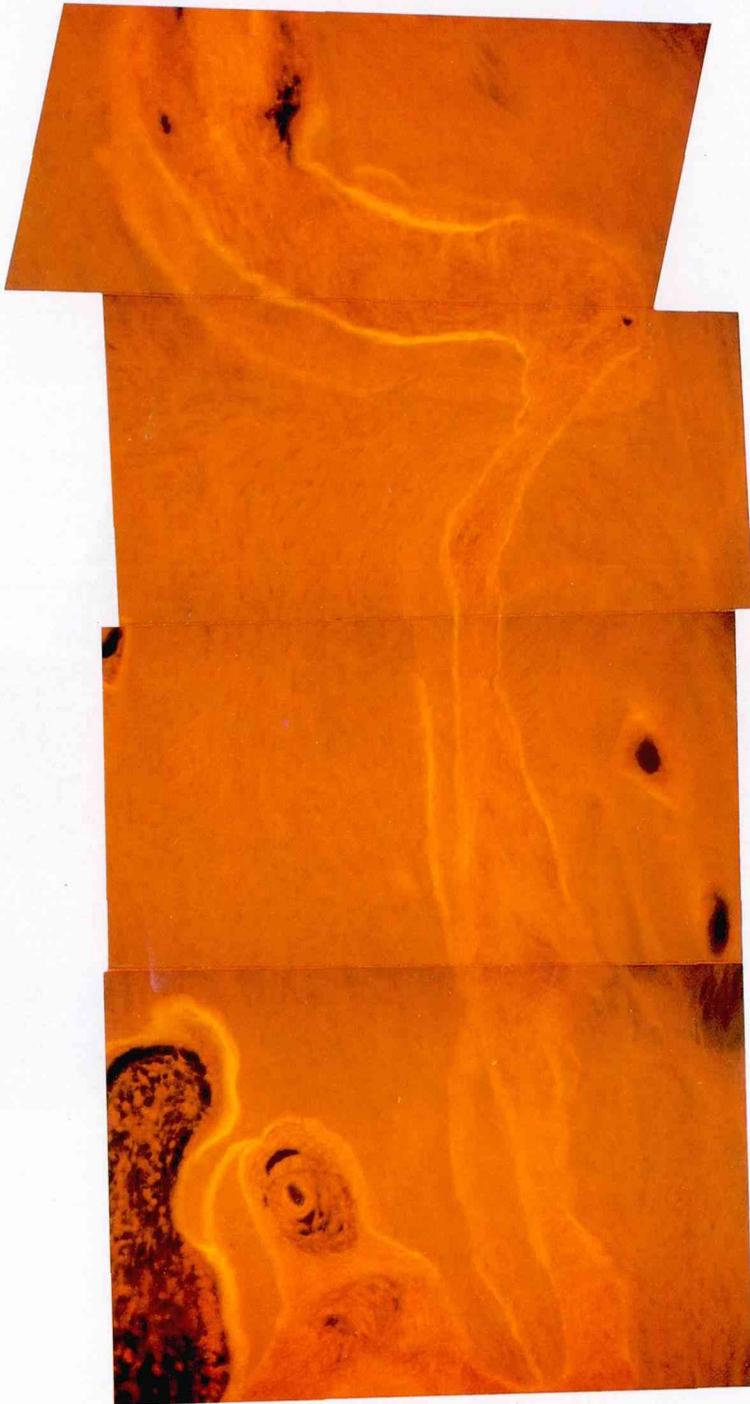


図27 : E 1 側頭頰骨縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )

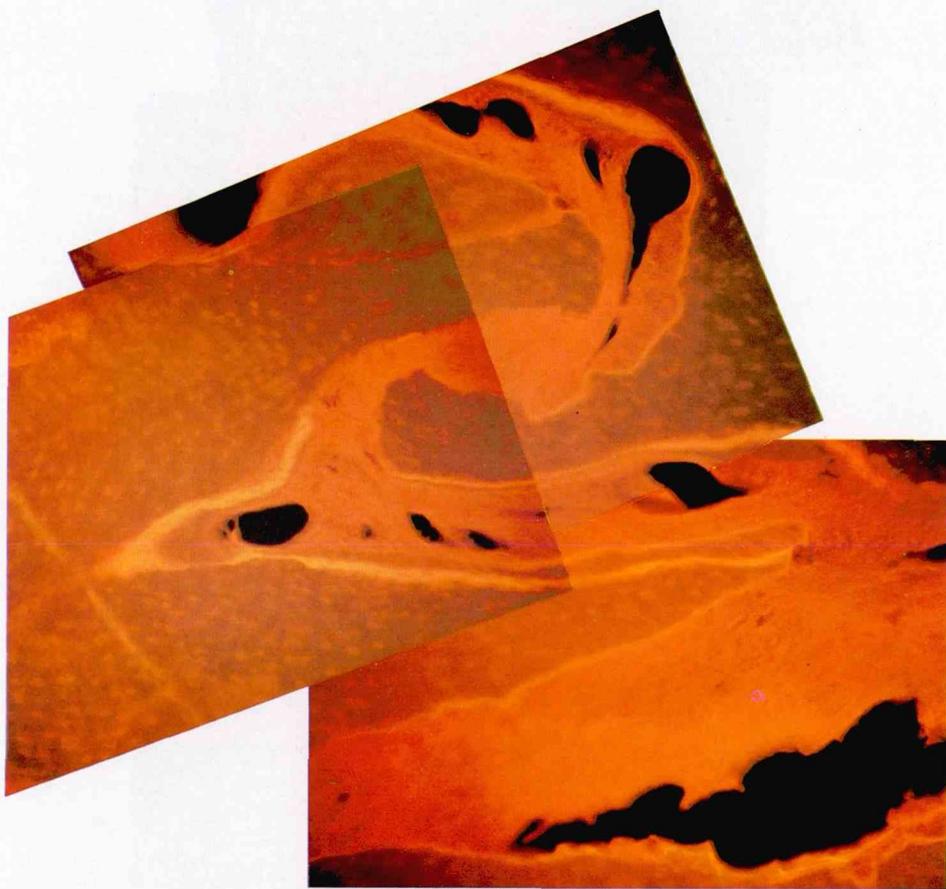


図28：C 1 頬骨上顎縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )

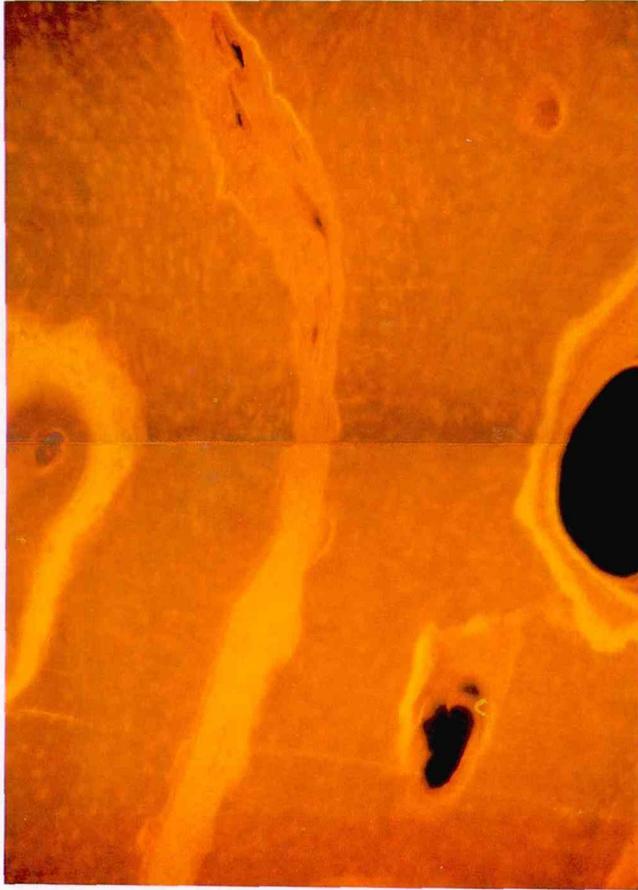


図29 : E 1 頬骨上顎縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )

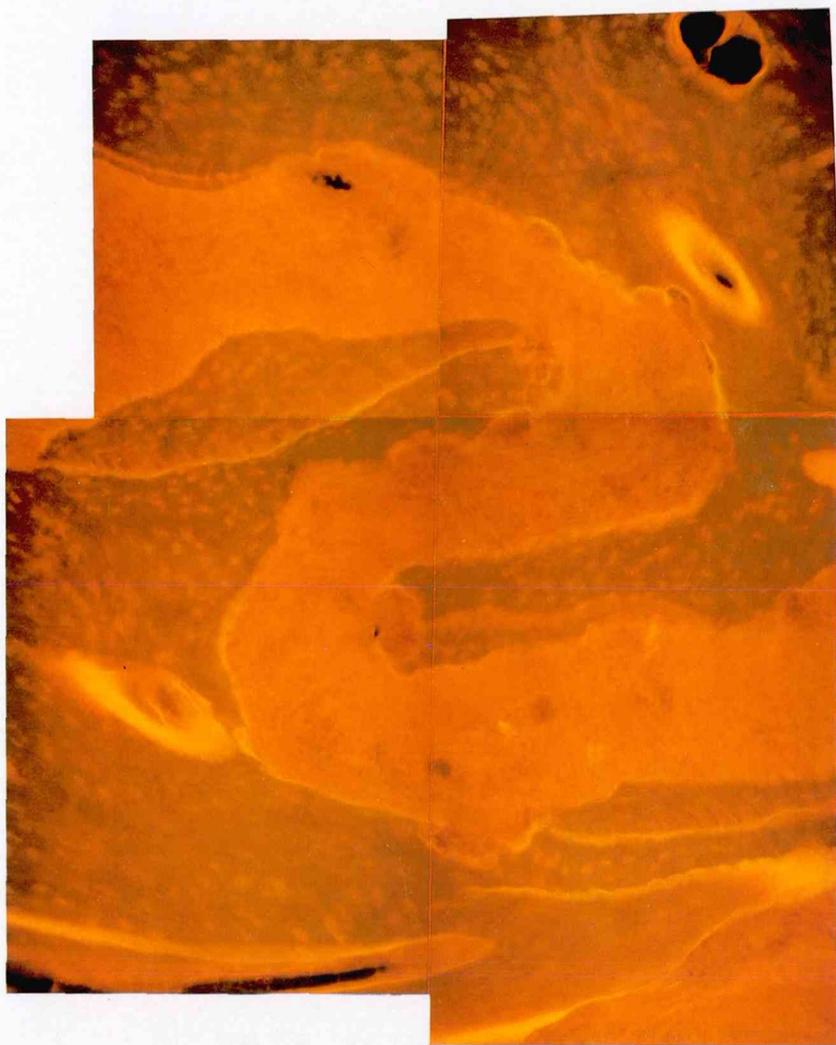


図30：C 1 前頭頬骨縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )

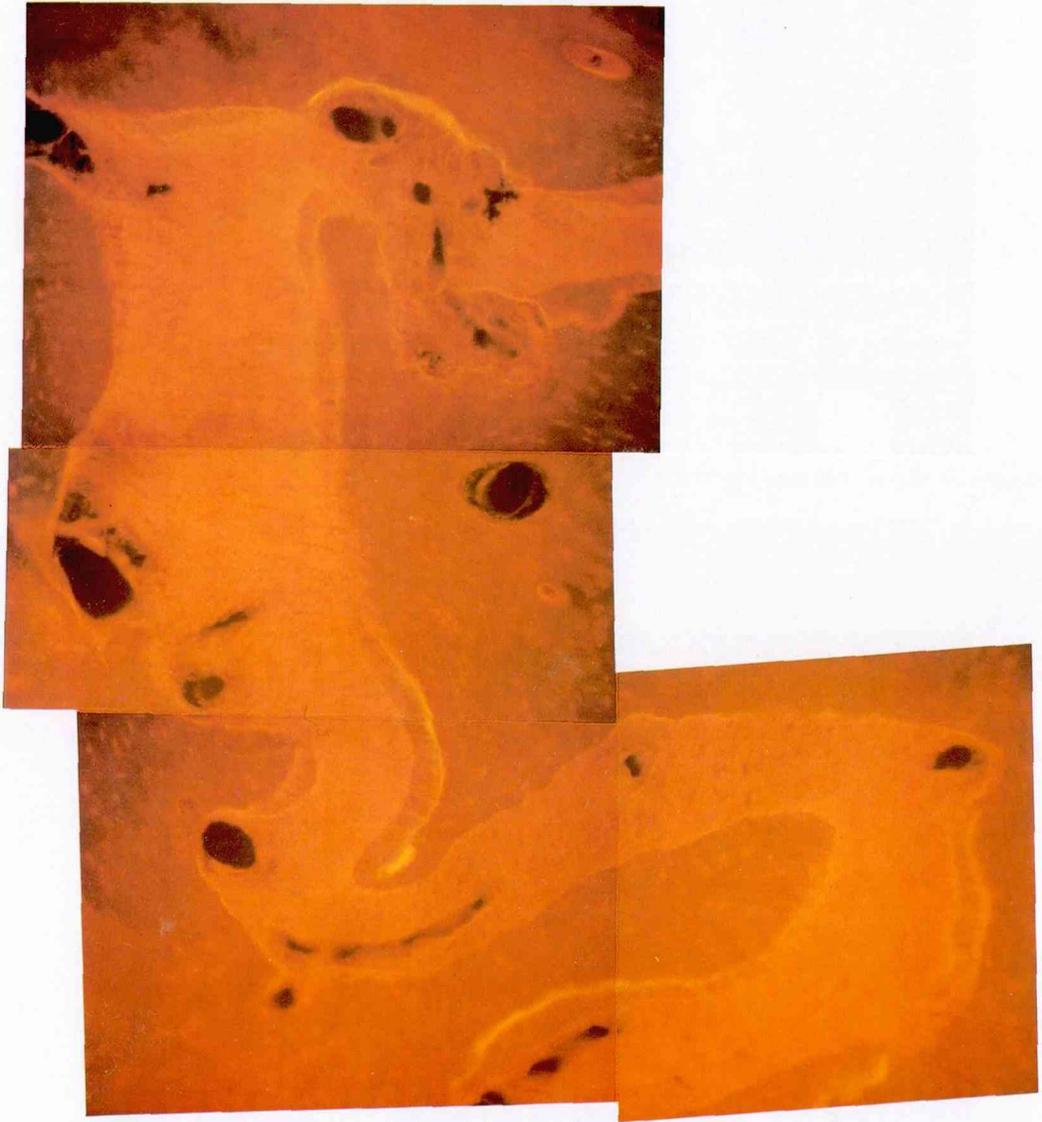
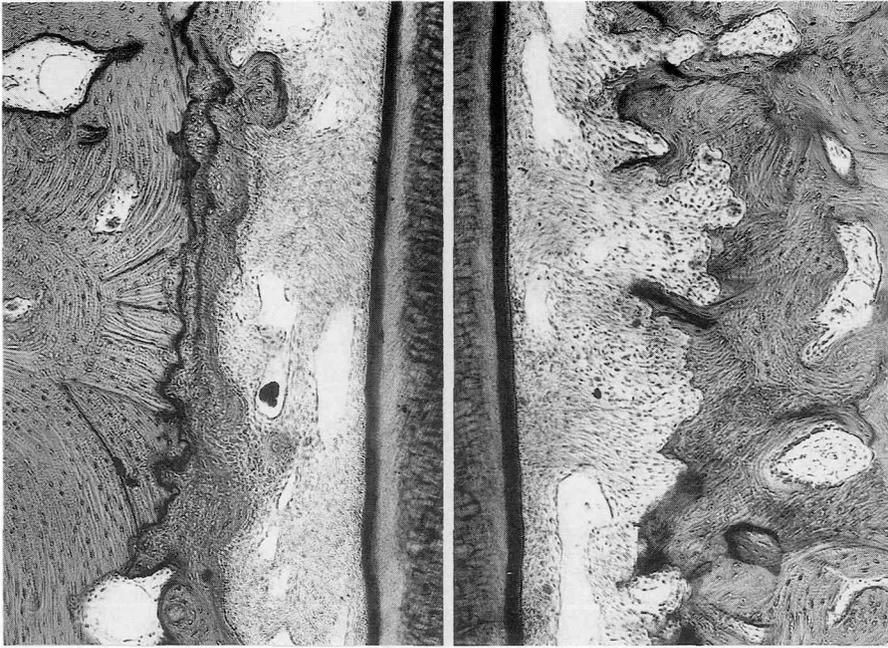


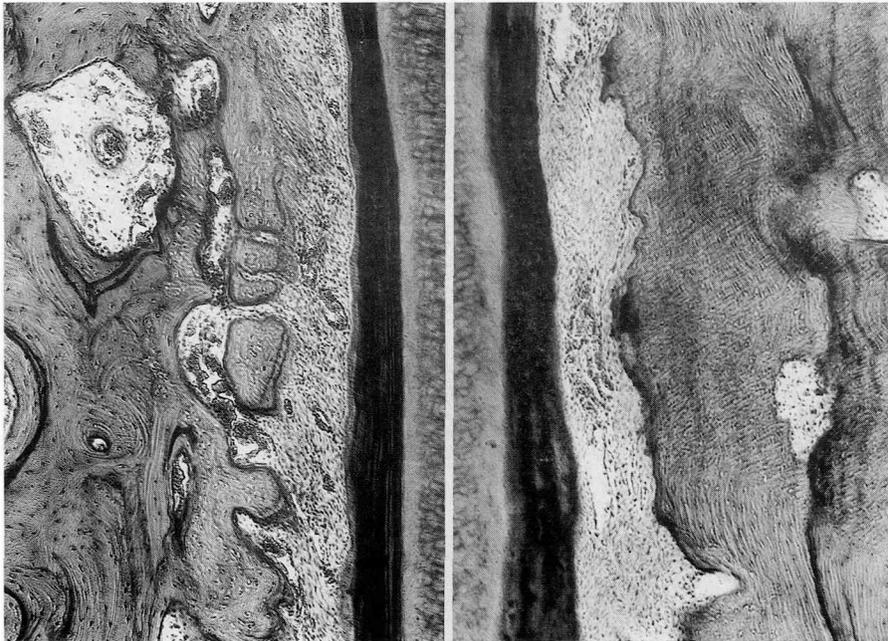
図31 : E 1 前頭頰骨縫合 Procion stain (orig. mag.  $\times 130$ )



近心側

遠心側

図32：C 1 固有齒槽骨の変化（上顎右側第1大臼齒近心根）H. E. (orig. mag. ×130)



近心側

遠心側

図33：E 1 固有齒槽骨の変化（上顎右側第1大臼齒近心根）H. E. (orig. mag. ×130)

吸収像を認め、とくに遠心側、すなわち圧迫側の固有歯槽骨は鋸歯状を呈し、非常に激しい変化がうかがえた(図32)。

これに対して実験群では対照群と同様な変化は認められるものの、圧迫側の遠心部にみられるように、その変化は対照群に比べて穏やかであった(図33)。

5. strain gage によるひずみ実験について

図34は strain gage の貼付部位を表している。これによって得られたデータの平均値を表4に示す(図34, 表4)。

前頭頬骨縫合(ゲージ No. 1)は24.0から34.0へと引っ張りひずみの量が増加した。頬骨上顎縫合(ゲージ No. 5)は-48.3から20.3へと変化した。これは対照群では圧縮ひずみを示したものが、実験に際して引っ張りひずみへと変化したことを示している。また、側頭頬骨縫合の外側(ゲージ No. 8)が引っ張りひずみで82.3から64.7へと変化したのに対して、その内側(ゲージ No. 9)は-23.3から-15.0へと圧縮ひずみの変化を示した。

No. 2 は No. 1 の近くで縫合上をはずれた場所に設置したが、No. 1 と同様の傾向を示した。No.

3は数値は異なるものの、No.5と同じく頬骨上顎縫合の上に接着したためNo.5と同様に圧縮ひずみから引っ張りひずみへと変化する傾向を示した。頬骨上顎縫合をはさんだ2点、No.4, No.6は圧縮ひずみから引っ張りひずみへと変化はしなかったが圧縮ひずみが減少し、同様の傾向を示した。また、No.7はNo.8の側頭頬骨縫合の外側と同様の傾向を示した。

これらの縫合部での変化の代表例を図35, 36に示してある(図35, 36)。

考 察

今回の研究においては adult のニホンザルを用いた。これは山本<sup>9)</sup>も述べているように、adult と juvenile では顎外力の効果に明確な差があり、juvenile に比べて adult では顔面骨格の改造が起りにくいことから、成人の骨格性上顎前突症を想定するうえで理に適っていると考えたためである。また、ニホンザルは上顎犬歯の歯根形態が雌

表4：骨表面のひずみ (ave.)

| ゲージ No. | C     | E     |
|---------|-------|-------|
| 1       | 24.0  | 34.0  |
| 2       | 13.0  | 17.3  |
| 3       | - 1.3 | 9.7   |
| 4       | -21.0 | -12.3 |
| 5       | -48.3 | 20.3  |
| 6       | - 7.7 | - 2.0 |
| 7       | 24.3  | 14.0  |
| 8       | 82.3  | 64.7  |
| 9       | -23.3 | -15.0 |

( $\times \mu$ -strain)

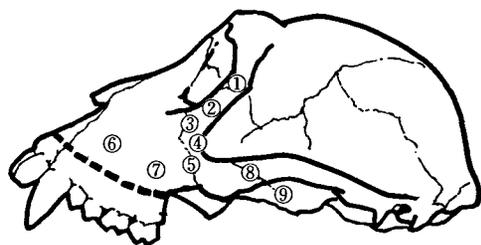


図34：ストレンゲージ貼付部位

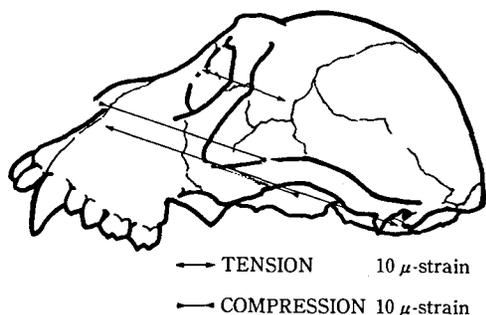


図35：Corticotomy 前のひずみ分布

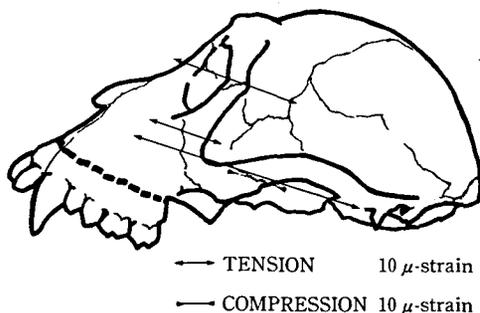


図36：Corticotomy 後のひずみ分布

雄で異なっている<sup>22)</sup>。従って条件を統一するために、全てオスを用いた。

今回の術式はニホンザルの dry skull を用いた予備実験によって決定した。その結果、上顎歯列弓の後方移動は容易に行いえたが、口蓋側は緻密骨のみならず上顎歯牙の根尖相当部付近まで骨切離を入れ、また、その解剖学的な形態から、口蓋の前方部の顎骨の一部を除去する必要があった(図3)。

この口蓋側の一部を除去する際に、この量を正確に決定することにより後退量をコントロールすることができるかもしれない。しかし、今回の実験においては後退量と、骨の削除量との関係については明確にすることは行わなかった。

牽引力と体重については従来多くの報告があるが<sup>8,23,24)</sup>、ニホンザルについての記述は著者の知るかぎり見当たらないようである。ニホンザルはこれらのサルに比べて体重が、10~12 kg と大きいことから片側400 g の力を用いることにした。この力はヒトにおいては1.5~1.8 kg に相当し、orthopedic force としては十分と考えられるものである。

また、中西<sup>25)</sup>は自らの corticotomy の研究結果から、その移動効果は力の大きさに関係すると仮定し、Converse<sup>26)</sup>も歯牙と歯槽骨を一塊にして移動させるため強い力を用いると述べている。しかし、谷<sup>27)</sup>のチンキップの頰部軟組織に与える研究からも、これ以上の力は頭部の軟組織が耐えられない可能性が高いと思われる。

牽引方向については、本来不正咬合のII級関係の改善という観点からは後上方に牽引することが適切であると考えられる。しかし、今回の実験では上方への圧下力が上顎骨の後方移動に際しブレーキとなることが予想されたため、corticotomy を行った部位に平行に後方移動を行うことにした。なお、この corticotomy のラインは咬合平面ともほぼ平行であった。しかし、実験群のうちE 4 は結果的にこの方向を正しく維持することができなかった。これについてはあとで考察を加える。

実験期間については、短期間に上顎歯槽部の大きな移動量を得ることが本法の目的の一つでもあるため、1カ月前後を目標とした。松田<sup>13)</sup>の報告では同様の実験で前方への牽引は30日で3~5

mm の over jet の増加をみたと報告している。これに対して後方への牽引を行った著者の研究では44~49日間の移動で平均2.8 mm の over jet の減少を示した。松田<sup>13)</sup>の研究結果と同様、本研究においても、下顎骨の後方回転傾向が確められているが、このことが、over jet の減少を目的とした本実験に不利に働き、逆に over jet の増大を目的とした松田の研究には有利であるため、実験期間と over jet の数値に差をみたものと考えられる。

上顎後方牽引の実験に際して口腔内装置として従来から鋳造した splint を用いるのが一般的である<sup>23,24,28)</sup>。

そこで本研究でも各々のサルの口腔内模型を用い、wax up をして、鋳造製作を行った。本装置は堅固で、実験期間を通じて装置が破壊されることはなかった。また、本装置は実験終了時に撤去することが困難なぐらいよく適合していた。なお、頭部に用いたヘッドキャップもよく適合していたため実験期間を通じて不都合はなかった。

#### 1. 模型所見について

上顎には堅固な splint が装着されているため、上顎骨の固有歯槽骨内においては個々の歯牙が移動することは考えにくい。従って、減少した前歯部の over jet 量と、臼歯部の後退量とは一致をみると考えるのが普通である。

しかし、表2に示したように、これらの数値にはややばらつきが認められた。これは後方牽引を行った際に個々の下顎歯牙にわずかな歯牙移動を生じたためと考えられた。

#### 2. 頭部 X 線規格写真分析所見について

実験群においては上顎歯牙は上顎骨固有歯槽骨とともに、後方へ大きく移動した。これに対して対照群では大きな変化を示すことはなかったため、この差は corticotomy によって緻密骨が完全に離断され、これにより、この部分が容易に移動することが可能になったためと考えられる。

このことは頭部 X 線規格写真で、上顎歯牙のみならず、A 点や上顎第1大臼歯部の metal implant も後方へ移動していることから推察される。

また、実験群では E 1~E 3 で下顎骨の後方回転が認められたが、これは咬合平面に平行な後方牽引力を加えたため、結果的に下顎骨の後方回転を示したものと考えられる。

Brandt<sup>29)</sup>も adult のカニタイザルを用いた研究でヘッドギアのアウター・ポーを上方へ10°傾けた長期間の実験を行い、上顎骨の後上方への転位とともに下顎骨の後方回転が起こることを報告している。

また、実験群のうち E 4 では上顎咬合平面が後方への移動とともに前方回転を起こしてしまっただ。これは E 4 ではヘッドキャップとフェイス・ポーの位置関係が悪かったため咬合平面に平行な加力が行われず、そのためにおこった変化であると考えられる。

しかし、E 4 におけるこの加力方向の誤りは、結果として corticotomy を併用した上顎骨の後方牽引の際にも咬合平面に平行に牽引するよりも、やや後上方に牽引する方が下顎骨の後方回転という好ましくない事態を避けることができるということを示している。

ただこの E 4 においては意図的に後上方への牽引を行ったわけではないので、角度の変化と下顎骨の後方回転との関係について明らかにすることはできなかった。しかし、従来の研究<sup>30-33)</sup>から判断すると、結果として咬合平面に30~50°後上方へのベクトルが生じていたものと考えられよう。

また、咬合平面に平行に牽引したにもかかわらず、E 1 以外の実験群で、上顎中切歯の直立化を示した。

### 3. 組織学的所見について

#### 1) H-E 所見

corticotomy 後の組織変化による骨の改造現象は実験群、対照群ともに側頭頬骨縫合で最も著明に観察され、次いで頬骨上顎縫合、前頭頬骨縫合の順に強く認められたが、いずれも実験群の方が対照群よりも弱い傾向を示した。このような所見から実験群では対照群に比べて各縫合部に加わる力は概して少ないこと、そしてこのことは歯根膜部における改造現象が縫合同様、対照群で著明に出現したことからもわかるように、corticotomy の施術により、実験群においては当該部歯槽骨が容易に後方へ移動したため、上記各部位への stress が小さくなることがうかがえた。

#### 2) procion red による時刻描記について

①組織学的変化は力の方向に対する縫合の位置的關係が3次元的であり、圧縮力および牽引力の關係は必ずしも単純には解決しない。従って、そ

の力による変化は骨の吸収と添加が交互にどの縫合でも観察される。しかも、吸収量を測定することは不可能なため、各縫合部の標準的变化部位を任意に選択し、骨の吸収、添加などの組織学的変化と時刻描記によって示された骨添加量を比較することにより、ある程度の変化量を推察することは可能と思われた。

② procion red の取り込み線は、添加部に2本観察できた。よって、H-E 所見上で見られた組織変化が、本実験中に生じたものであることが裏付けられた。

③各縫合部の取り込み線の幅径を比較すると、いずれの縫合部においても実験群が対照群よりも変化量が小さい結果がうかがえた。

④変化量は実験群、対照群ともに側頭頬骨縫合が最も大きく、前頭頬骨縫合で最も小さい傾向を示した。

⑤組織学的には H-E 所見と、時刻描記による観察結果はほぼ一致していたが、strain gage によるひずみの測定とは必ずしも一致する結果とはいえない。これについては次項で述べる。

### 4. strain gage によるひずみ実験について

鴨頭<sup>21)</sup>江俣<sup>30)</sup>も述べているように、従来から不定形物体である動物の乾燥頭蓋骨においても、荷重とひずみの間には比例關係が成立つため、骨は一種の弾性体として考えてよい。従って、本研究のように1個の dry skull を用いて、まず対照としてひずみを測定し、ひずみの回復を待って、corticotomy を施し、次に実験として、計測を行った場合でも、一定の時間、間隔を開けることによって、反復測定を行い、その平均値を求めて値とすることは可能である。もちろん、実験時には corticotomy を行うため、そのあとでは対照としての測定はできない。本研究ではこのように同一個体で対照と実験を行ったため、個体間格差について考慮する必要はなかった。

本実験では縫合部でのひずみの動態を知るために縫合部の中心にゲージを接着した。また、本研究ではフェイス・ポーによる加力の方向が一定しており、この方向についての骨表面のひずみについて確認するのを目的としたため、単軸ゲージを用いて加力方向の延長線上での変化のみをとらえることにした。

なお、骨は熱の放散性が悪いので、corticotomy

後は十分に時間をとり、また、従来2ゲージ法を用いて温度補償を行うのが一般的であるが、本研究ではダミーゲージの値が安定しなかったため、実験方法のところでも述べたように、ダミーゲージ法のうち、1ゲージ法を用い温度補償のためにダミーゲージは別途用いて計測を行った。

従来、この種の研究では縫合部に接着剤を充填して顔面頭蓋を一体構造とみなす方法<sup>32)</sup>と処理を施さず構成骨のそれぞれの変化を考慮する方法<sup>21)</sup>の2通りの報告がみられる。本実験では縫合部における変化を目的としているため後者の方法によった。

頭蓋の固定は荷重による変化に対する影響が少ないといわれる後頭骨部をモデリングコンパウンドやレジンで固定することが多いようである<sup>21,30)</sup>。しかし、本研究では図11に示してあるように、生体サルに用いたものと同様の装置を作製し、日常の臨床と同様の状態で計測を行った。

前頭頬骨縫合(ゲージ No.1)および、その付近(ゲージ No.2)においては対照から実験にあたって引っ張りひずみ量が増加したことは corticotomy 前に他にかかっていた負荷が corticotomy 後はこの部分に及ぶことを示した。しかし、この結果は先にも述べたように切片標本上のこの部位の所見とは一致をみない。これには次のことが考えられる。第1に、strain gage は骨表面のみであるが、切片標本はむしろ深部の状態をとらえている。第2に今回の strain gage は加力方向という一方向への変化しかとらえていない。第3に縫合の形態が複雑である。第4に corticotomy 直後の状態をとらえた strain gage と40日以上たってからの切片標本の相違などがあげられる。

頬骨上顎縫合(ゲージ No.3, No.5)においては圧縮ひずみから引っ張りひずみへと逆転する現象がみられた。これは、口腔内外の装置による加力によって圧縮されていた縫合部が corticotomy により解放され、一転して縫合部が離開する傾向を顕著に示している。

側頭頬骨縫合では、対照において外面(ゲージ No.8)は引っ張りひずみ、内面(ゲージ No.9)が圧縮ひずみを示した。このことは江俣<sup>30)</sup>も述べているが、本研究でも同様の結果となった。

前後方向にかかった力を頬骨弓がはりとして支

えるときに、アーチを構成している頬骨弓と側頭頬骨縫合が、最も大きな力を受けている。そしてアーチが折り曲げられるような形で力を吸収しているものと考えられる。したがって、corticotomy によって顎外力が他に分散するとその値も減少した。その他の部位として、ゲージ No.4, No.6 は頬骨上顎縫合の付近に接着してあったため、ゲージ No.3, 5 のように逆転現象までは起らなかったが、同様の傾向を認めたものと考えられる。これに対して、ゲージ No.7 は他のゲージと異なり、頬骨弓外面のゲージ No.8 と同様に引っ張りひずみの減少をみたが、これについての十分な理由づけは困難であった。

## 結 論

ニホンザルのオス6頭(実験群4頭 対照群2頭)を用い、上顎骨の後方移動時に corticotomy を併用することにより、上顎骨の骨格的变化における効果について形態学的、組織学的に検索し、また strain gage による dry skull 上でひずみ実験を行い、あわせて比較検討を行った。

1. 対照群ではほとんど変化は認められなかったが、これと比較して実験群で上顎骨歯槽部の後方移動が著明に認められた。

2. 縫合部の変化は対照群で骨の活発な改造現象が観察されたのに対して、実験群では比較的变化が少なかった。この対照群と実験群との差は側頭頬骨縫合で最も著明で、次いで頬骨上顎縫合、前頭頬骨縫合の順であった。

3. 上顎骨の固有歯槽骨においても縫合部と同様、対照群では骨の吸収や添加が著明であったが、実験群では著明な変化は認められなかった。

4. strain gage と dry skull を用いたひずみ実験の結果から corticotomy を行うことにより各縫合部への負荷は減少することが確かめられた。

5. 上顎骨後方移動時における corticotomy の効果は次のように考えられた。すなわち、対照群においては牽引力が各々の縫合部を介して伝達することによって顎顔面に拡散しているのに対して、実験群では緻密骨が切断されているために、対照群と比較して、この牽引力が拡散しにくくなり、海綿骨のみでつながっている上顎骨と上顎骨の固有歯槽骨との間において歯槽部を後方移動させる力として有効に作用したと思われる。

以上のことから、本法が上顎骨の後方移動を行う際に有効な一手段であると考えられた。

### 謝 辞

稿を終わるに臨み、終始ご懇篤なるご指導とご鞭撻を戴いた松本歯科大学歯科矯正学講座主任 出口敏雄教授に対し感謝の意を表するとともに、ご指導とご校閲を賜った朝日大学歯学部歯科矯正学講座主任 岸本正教授に満腔の感謝の意を捧げる次第である。さらに常にご懇篤なるご助力を戴いた松本歯科大学歯科矯正学講座の各位並びに口腔病理学講座主任 枝重夫教授および長谷川博雅講師に対し謝意を表する。

なお、本研究に用いた材料の入手は日本モンキーセンター、寒霞溪自然動物園、岩田山自然動物園、下高井郡山の内町等のご厚意によった。

本論文は、学位請求論文として、1987年12月23日の朝日大学歯学部大学院研究科会議において通過したものであることを付記する。

### 文 献

- 飯塚忠彦 (1983) 顎変形症の外科的治療に関する研究. 口科誌, 32: 696—722.
- 野畑貞夫, 興津正豊, 武内 豊, 中村進治(1986) 下顎枝矢状分割術後長期経過観察を行った13症例についての矯正学的検討. 日矯歯誌, 45: 260—273.
- 高橋庄二郎, 黄 国和, 齊藤 力, 本田富彦, 大関久通, 松井 隆, 柴田孝典(1981) Wassmund-Wunderer 法による上顎前突症手術. 日口外誌, 27: 1019—1026.
- 飯塚忠彦 (1984) 齒槽部の外科矯正. 歯科ジャーナル, 19: 303—314.
- 鶴木 隆 (1979) Le Fort I型 骨切り術の治療機転に関する実験的研究. 歯科学報, 79: 905—930.
- Bell, W. H. (1975) Le Fort I osteotomy for correction of maxillary deformities. J. Oral Surg. 33: 412—426.
- Westwood, R. M. and Tilson, H. B. (1975) Complications associated with maxillary osteotomies. J. Oral Surg. 33: 104—115.
- 山本次郎 (1975) 顎外力が猿の顔面頭蓋に及ぼす影響に関する実験的研究. 日矯歯誌, 34: 173—197.
- Köle, H. (1959) Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 12: 515—529.
- Bell, W. H. and Levy, B. M. (1972) Revascularization and bone healing after maxillary corticotomies. J. Oral Surg. 30: 640—648.
- Fitzpatrick, B. N. (1980) Corticotomy. Aust. Dent. J. 25: 255—258.
- 東郷幹夫, 吉田恭彦, 山口敏雄, 大野朝也, 足立深 (1979) Corticotomy 併用による矯正治療症例について. 東北歯大誌, 6: 186—201.
- 松田泰明(1982)Corticotomy と Protraction chin cap 併用による上顎骨前方牽引に関する実験的研究. 日矯誌, 41: 805 (抄).
- 桐野忠大, 佐伯政友 (1964) 高崎山野生ニホンザルの口腔内諸形態——歯の加齢的变化(萌出, 咬耗)——高崎山の野生ニホンザル(伊谷純一郎, 池田次郎, 田中利男編), 124—135. 勤草書房, 東京.
- 黒田敬之, 大山 肇, 相馬邦道(1979)Björk のメタルインプラント法の経験. 日矯歯誌, 38: 283—292.
- 石井英司 (1979) 上顎劣成長を伴う skeletal class III症例に用いられる Orthopedic appliance の効果の実験的検討. 日矯歯誌, 38: 187—209.
- Janzen, E. K. and Bluher, J. A. (1965) The cephalometric, anatomic, and histologic changes in *Macaca mulatta* after application of a continuous-acting retraction force on the mandible. Am. J. Orthodont. 51: 823—855.
- 丹羽敏勝, 水本恭史, 吉川仁育, 小沢正道, 寺町好平, 松田泰明, 戸刈惇毅, 出口敏雄 (1983) Indiana Cephalometric Analysis の紹介. 松本歯学, 9: 59—64.
- Langeland, K., Eda, S., Langeland, L. K. and Tobon, G. (1971) Procion Navy Blue in pulp and periapical studies. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 32: 100—110.
- Goland, P. P. and Grand, N. G. (1968) Chloro-s-Triazines as Markers and Fixatives for the Study of Growth in Teeth and Bones. Reprinted from Am. J. Phys. Anthrop. 29: 201—217.
- 鴨頭和利, 秦俊二, 市川和弘, 廣瀬武尚, 久保田敦志, 松本光生 (1983) Quad Helix 装置による顔面頭蓋の変形様相—ストレンゲージ法による検討一. 日矯歯誌, 42: 442—453.
- 吉川仁育 (1987) *Macaca fuscata* (ニホンザル) における上顎犬歯歯根について. 歯基礎誌, 29: 684—691.
- Droschl, H. (1973) The effect of heavy orthopedic forces on the maxilla in the growing *Saimiri sciureus* (squirrel monkey). Am. J. Orthodont. 63: 449—461.
- Elder, J. R. (1974) Cephalometric and histologic changes produced by extraoral high-pull traction to the maxilla in *Macaca mulatta*. Am. J. Orthodont. 66: 599—617.
- 中西秀男 (1982) Osteotomy 及び Corticotomy を併用した実験的歯牙移動の研究. 歯科学報, 82:

- 219—252.
- 26) Converse, J. M. and Horowitz, S. L. (1969) The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *Am. J. Orthodont.* **55**: 217—243.
- 27) 谷 世志昭 (1984) Chin cap による牽引力がサルの頤部に及ぼす影響に関する実験的研究. *岐歯学誌*, **11**: 441—471.
- 28) Meldrum, R. J. (1975) Alterations in the upper facial growth of *Macaca mulatta* resulting from high-pull headgear. *Am. J. Orthodont.* **67**: 393—411.
- 29) Brandt, H. C., Shapiro, P. A. and Kokich, V. G. (1979) Experimental and postexperimental effects of posteriorly directed extraoral traction in adult *Macaca fascicularis*. *Am. J. Orthodont.* **75**: 301—317.
- 30) 江俣得志 (1976) カニクイザル乾燥頭蓋骨における Kloechn 型顎外固定装置の作用に関する力学的検討. *日矯歯誌*, **35**: 130—149.
- 31) Nakanishi, Y. (1973) Effects of Headgear Traction on the Human Facial Skeleton: A Study with Strain Gauges. *J. Osaka Dental University*, **7**: 7—30.
- 32) 鈴木敏正 (1982) 顎整形力加重時の上顎複合体の変形様相に関する研究. *歯科学報*, **82**: 469—502.
- 33) 川本達雄, 福井隆彦, 大嶋 脩, 中西洋介, 山本次郎, 酒匂清和, 棕本清一 (1973) Kloechn Headgear による上顎第一大臼歯の動態に関する実験的研究. *日矯歯誌*, **32**: 128—135.