

外側に偏位させた下顎頭の肉眼的ならびに組織学的変化に関する実験的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9170

外側に偏位させた下顎頭の肉眼的ならびに 組織学的変化に関する実験的研究

金沢大学医学部歯科口腔外科学講座 (主任: 山本悦秀教授)

松 本 成 雄

下顎頭においては咬合力や機械的刺激によって軟骨細胞や軟骨の無機成分が変化しており、骨細胞に機械的伸張力が加わった際には骨形成や骨構造に変化が生じることが知られている。機械的負荷が骨組織の再構成に影響を及ぼしているが、下顎頭の吸収あるいは再構成の原因についてはいまだ明確ではない。そこで下顎頭に外力が加わった際の顎関節における影響を明らかにするために、下顎頭に位置変化を生じさせ顎関節における反応を検討した。実験動物として60匹のハムスターを用い、下顎頭を下顎骨体部とともに外側に偏位させるためにステンレススチールワイヤーを使用した。拡大3日目には明らかな下顎頭の外側への偏位が観察されたが、7日目以降は明らかな偏位は観察されなかった。しかし、下顎骨体部では全実験期間中、外側への偏位が維持されていた。下顎頭の形態変化について側面形態を肉眼的観察結果に基づきフーリエ解析を用いて数学的検討を行った。フーリエ解析の結果、関節部では第2周波数振幅までの累積寄与率において94%以上の高い収束性を示し、下顎枝部でも第4周波数振幅までの累積寄与率で92%以上の高い収束性を示していた。定数A0に関しては両群間で差は認められなかった。また、拡大2週目までは楕円形へと変化し、4週目以降は円形へと変化していったことが示された。下顎頭の上面形態については、対照群ではほとんどが肉眼的に楕円形ないしは長楕円形であったのに対して、拡大群では長楕円形から水滴型への変化が観察された。組織学的には拡大初期より下顎頭最表層の線維軟骨層の消失が観察され、以後は表層軟骨層の細胞数の減少および配列の乱れが観察されるようになった。また、4週目にはクラスター形成が観察され、8週目には軟骨細胞が完全に消失し、硝子軟骨様となっている所見が観察された。また、牽引側周囲組織および下顎窩については著明な変化は観察されなかった。以上の結果より、下顎頭軟骨細胞が下顎頭の再構成に関与していることが示唆された。

Key words mandible, temporomandibular joint, condyle, Fourier analysis, condylar cartilage

顎変形症で手術を希望する患者は近年増加してきている。これら変形症の種類をその頻度からみると、本邦では下顎前突起がその多数を占め、下顎非対称、開咬症がこれに次いでいる^{1)~3)}。これら症例に対する治療法としては応用範囲の広い下顎枝矢状分割骨切り術が最も頻用されており、また矢状分割後の両骨片の固定法としては従来より、ワイヤーによる囲繞結紮法などの柔軟性の高い固定法が採用されてきた。しかし4~6週という長期間の顎間固定を必要とする本固定法の欠点を解消する目的で、スクリューやネジ等による強固な固定法が用いられるようになり、本邦でも当科を含め既に大半の施設が強固な固定法を採用してきている⁴⁾⁵⁾。しかし本固定法では顎関節への影響が懸念されるとして下顎頭の位置決定が問題とされるようになってきた^{6)~9)}。事実、下顎枝矢状分割術後に術前にはみられなかった顎関節症状が低頻度ながら出現したという報告も少なくない¹⁰⁾¹¹⁾。また一方で下顎頭が手術前の位置に正確に復位されなかったとしても顎関節機能の生理的許容範囲内であれば、下顎頭の再構成によって正常な機能が獲得されたという報告もある¹²⁾。このように顎矯正手術の中で大半を占める下顎枝矢状分割法では分割骨片に対して強固な固定を行う際の下顎頭の位置決め可否で議論が多い一方、再構成発現の様相とその機序の解明は顎矯正外科学上、重要な問題でありながら臨床的には

X線所見での微妙な変化に頼らざるを得ない限界がある。したがって下顎頭の位置変化によって生じ得る下顎頭の形態的变化を実験動物を用いて基礎的に検索することは下顎枝矢状分割法ひいては顎矯正外科全体の臨床に、有用な知見を提供し得るものと期待される。

下顎頭に機械的刺激を与える実験的手法として従来行われてきたものとしては、下顎を前後的に偏位させたり、咬合に変化を与えることを目的として臼歯の削合や咬合挙上板を装着するなどの装置を用いて多くの実験がなされてきた^{13)~20)}。しかし、これらの実験系では顎変形症の治療時に問題となる外側骨片の内外の位置変化にもなう下顎頭の側方への偏位を惹起させることができない。また、これに類する実験系としては、下顎の側方偏位を起こさせることを目的として片側臼歯に斜面板を装着する装置がみられるのみである²¹⁾。しかし、この装置によってもたらされる下顎頭の機械的刺激は左右非対称なものである。このように下顎骨の側方偏位を起こさせる実験系は未だ確立されているとは言えない。そこで著者は下顎骨の外側への偏位が可能となる実験系を確立し、同時に下顎骨の外側への偏位およびこれにもなう下顎頭の側方偏位が下顎頭におよぼす影響を肉眼的ならびに組織学的に明らかにすることを目的

平成7年10月6日受付, 平成7年10月30日受理

Abbreviations: AM, amplitude; OA, osteoarthritis; TB, toluidin-blue

で本研究を行った。また、形態分析に関しては肉眼的観察に加え、より高い客観性を持たせることを目的としてフーリエ解析を応用した。

材料および方法

I. 実験動物

実験には10週齢・雄・体重約 100g のシリアン系ゴールデンハムスター(栗津実験動物, 摂津)を60匹使用した。飼料は実験動物用固形飼料MF(オリエンタル酵母, 東京)を、飲料水は水道水をそれぞれ自由摂取させた。

II. 実験方法

ネブタール(大日本製薬, 大阪) 50mg/kg の腹腔内麻酔下にオトガイ部より左右下顎骨を露出し下顎角前切痕より 2mm 後方に歯科用バーにて直径 1mm で下顎骨下縁を貫通する挿入孔を形成し、この位置での左右間距離を計測した。ついで、この計測値より 2.0mm 大きくなるように歯科矯正用 0.018 インチステンレススチールワイヤー(ロッキーマウンテンモリタ, 東京)を「コ」の字型に屈曲し左右の孔に挿入固定した(図 1)。拡大距離についてはあらかじめ予備実験において 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm の 3 群を設定し評価を行ったところ、1.0mm の群では術後のレントゲン観察において明らかな下顎頭の偏位が観察されず、3.0mm の群では拡大装置の装着時に下顎骨骨折を生じるものがあつたため、実験に至適な拡大距離を 2.0mm と判断し、設定した。下顎骨拡大装置は35匹に装着しこれを拡大群とし、下顎骨下縁を露出して縫合した25匹を各群の対照とした。この後実験終了まで、肉眼的に顎運動を観察するとともに体重測定を行った。実験動物は経時的(3日, 1週, 2週, 4週, 8週)にエーテル深麻酔下に屠殺し、断頭後 10% 中性ホルマリン液(武藤化学薬品, 東京)に浸漬固定を行った。

III. 頭部X線規格写真による検討

著者が独自に考案した頭部X線規格撮影装置(図 2)に下顎骨下縁がフィルム面に垂直になるように固定した。本装置の焦点・フィルム間距離は 250mm, 被写体・フィルム間距離は 25mm に設定してあり、X線装置には Venus(吉田精工, 茨

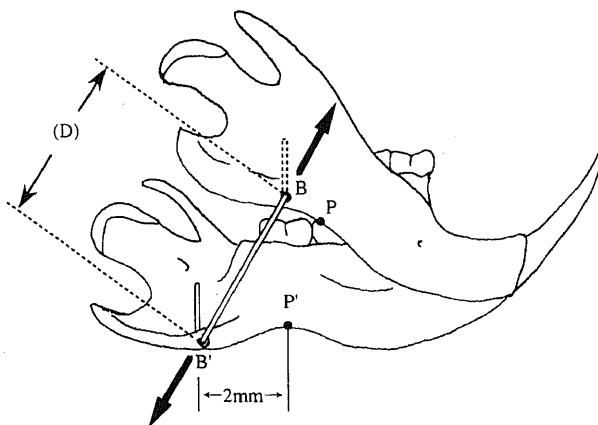


Fig. 1. Schema of the experimental model in setting the wire for expanding bilateral mandibular distance. P is pre angular notch of the right mandible. P' is pre angular notch of the left mandible. B is 2 mm near point of P. B' is 2 mm near point of P'. (D) is distance between B and B'. In experimental model, lateral expansion degree is 2 mm larger than original distance between B and B'.

城)を用い、撮影条件として 59.5kVp, 10mA, 3.0sec の照射時間を与え、フィルムは富士歯科用フィルム(富士写真フィルム, 神奈川)を用いた。さらに、得られたX線フィルムをスキャナー・HP Scanjet II cx(横河・ヒューレット・パッカード, 東京)を用い、コンピューター・マッキントッシュ・クワドラ 840AV(アップルコンピューター, 東京)に入力し各計測点についてそれぞれ計測を行った(図 3)。

III. フーリエ解析による下顎頭側方形態の検討

フーリエ解析とは原データ系列を線形変換することにより、その曲線に最もよく当てはまるような曲線

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^n (a_i \cos ix + b_i \sin ix)$$

.....A

の定数(A₀)および係数(a_n, b_n)を求めることである²⁰⁾。このた

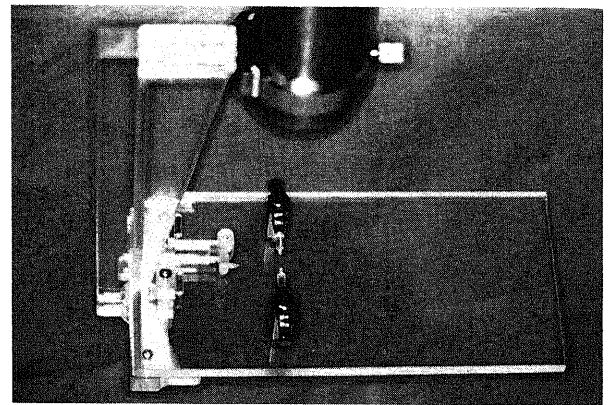


Fig. 2. Normalization device for cephalogram.

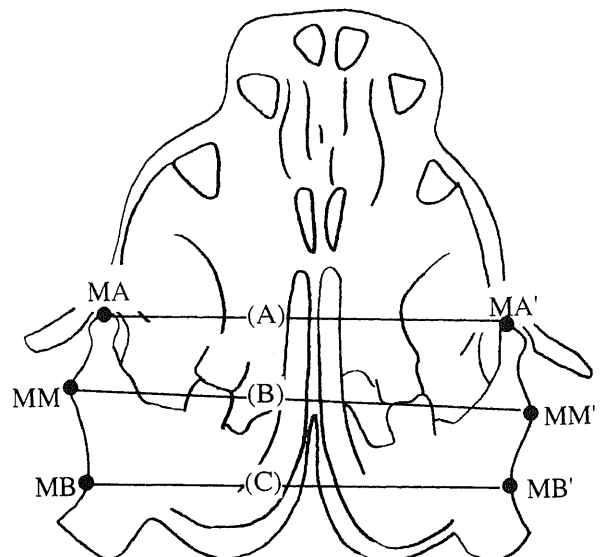


Fig. 3. Measurements made on frontal cephalometric radiograph. MB is right deepest point of the mandibular notch. MM is right outermost point of the mandibular ramus. MA is right uppermost point of the condyle. MB' is left deepest point of the mandibular notch. MM' is left outermost point of the mandibular ramus. MA' is left uppermost point of the condyle. (A) is distance between MA and MA'. (M) is distance between MM and MM'. (B) is distance between MB and MB'.

め左側下顎骨を摘出し、下顎骨内面を下にして10倍に拡大して写真撮影を行い、フーリエ解析の原データ系列を設定した(図4)。

直線 MP-MB に CD から垂線を引き、交わった点を CO とする。ついで CO を基準とし、CD-CO から時計方向に32等分となるように直線を引き、下顎頭外形線と交差する点と CO との距離を順に C (1), C (2), ..., C (32) とした。このようにして得られたデータ系列を関節部16点 [C (1)~C (16)], 下顎枝部16点 [C (17)~C (32)] にかけて、それぞれを区間 (0, 2π) に対応させてフーリエ展開を行った。つまり、A式は

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^8 \left(a_i \cos \frac{\pi}{8} ix + b_i \sin \frac{\pi}{8} ix \right) \quad (0 \leq x \leq 16) \dots B$$

となる。さらに、

$$a_i \cos i\theta + b_i \sin i\theta = c_i \sin (i\theta + \phi_i)$$

$$c_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}, \phi_i = \arctan \frac{a_i}{b_i}$$

とすることにより、B式は次に示すC式に表すことができる。

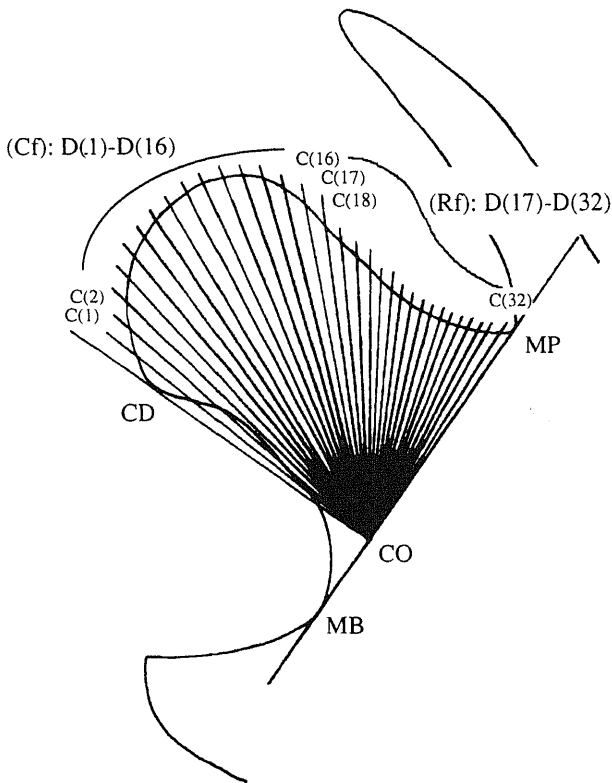


Fig. 4. Measurement points for Fourier analysis made on lateral mandibular photograph. MP is the deepest point of sigmoid notch. CD is the inferior point of condyle. MB is the deepest point of mandibular notch. CO is a crossing point of perpendicular line from CD to MB-MP. A right angle of CD-CO-MP is divided into 32 pieces for derrection of clockwise. C (1) to C (32) are divided points on a condylar figure. D (1) to (D) 32 are leughthes among point CO and C (1) to C (32). (Cf), D (1) to D (16) are Fourier data series for condylar position. (Rf), D (17) to D (32) are Fourier data series for ramus position.

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^8 c_i \sin \left(\frac{\pi}{8} ix + \phi_i \right)$$

$$(0 \leq x \leq 16) \dots C$$

B式において、A0 は直流成分で形態の大きさを表す要素で、ai, bi は各余弦波と正弦波の振幅を示している。B式をC式のように表せば、ci は各成分波の振幅を、φi は位相量を表す。また、形態を表す項目 ci からできるだけ大きさの要素を取り除くために次式に従い等尺化処理を行った²⁹⁾。

$$AM_i = \frac{c_i}{A_0} \times 100$$

$$(i=0, 1, 2, \dots, 8)$$

以上のようにしてこれらフーリエ級数の定数 A0, 振幅 (amplitude, AM) および各成分波の累積寄与率をそれぞれ計測

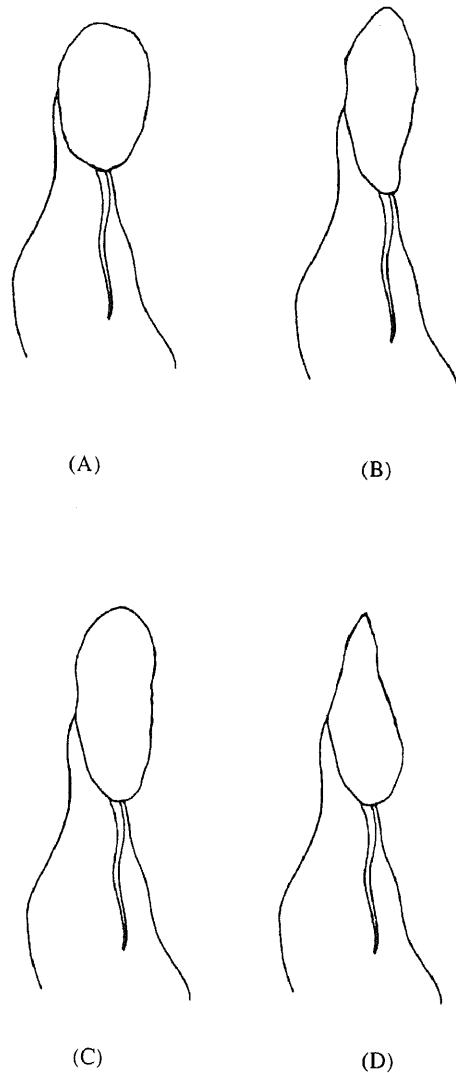


Fig. 5. Type of shape in upper view of condyle. (A) Mesiodistal and buccolingual diameter of condyle is equal. (B) Mesiodistal diameter of condyle is longer than buccolingual diameter. Buccolingual diameter of condyle is equal to type A. (C) Mesiodistal diameter of condyle is longer than type B. Buccolingual diameter of condyle is smaller than type A. (D) Buccolingual diameter in mesial condyle is larger than buccolingual diameter in distal condyle.

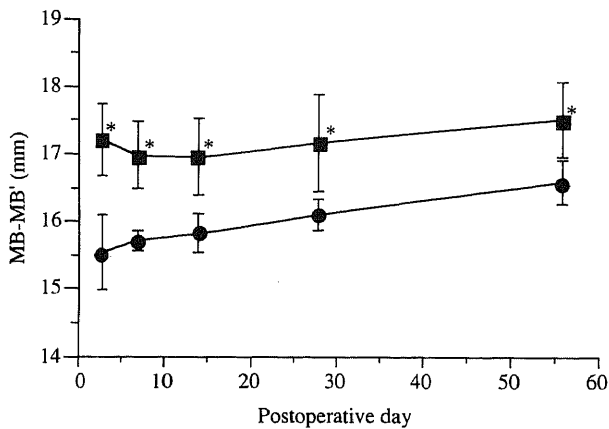


Fig. 6. Changes of distance (MB-MB') between right and left preangular notches after operation in cephalometric analysis. ●, control group; ■, expand group. Data are presented as $\bar{x} \pm SD$. * $p < 0.05$ compared with the control group by Mann-Whitney method.

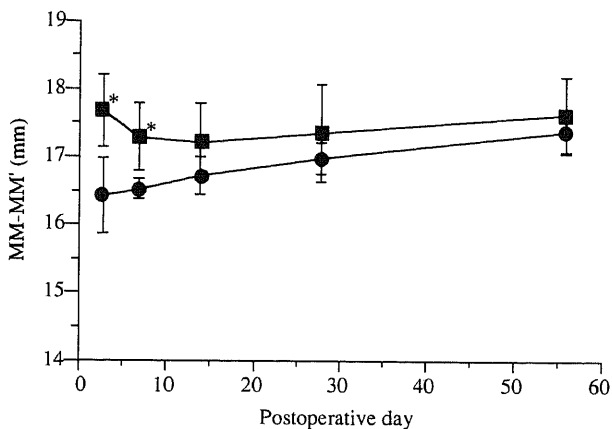


Fig. 7. Changes of distance (MM-MM') between right and left mandibular ramus after operation in cephalometric analysis. ●, control group; ■, expand group. Data are presented as $\bar{x} \pm SD$. * $p < 0.05$ compared with the control group by Mann-Whitney method.

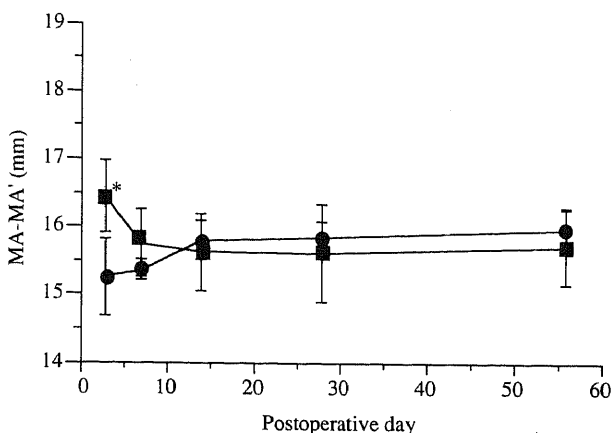


Fig. 8. Changes of distance (MA-MA') between right and left condyles after operation in cephalometric analysis. ●, control group; ■, expand group. Data are presented as $\bar{x} \pm SD$. * $p < 0.05$ compared with the control group by Mann-Whitney method.

した。ここでいう寄与率とは、各成分波の総計に対する各成分波が関与する割合を示し、累積寄与率とは寄与率の累計を示している。そして、この寄与率が高ければその成分波形が関与する割合が高いことを示しており、得られた成分波を合成することで入力波形に近似することが可能となる。座標入力にはデジタイザ・KD3320 (分解能 0.025mm・グラフテック, 横浜) を用い、フーリエ変換のプログラムは N88 日本語 BASIC (日本電気, 東京) を用いて自作し、PC9801RX (日本電気) を用いて解析処理を行った²⁰。

V. 下顎頭上面積の形態分類とその変化

下顎頭上面積を肉眼的に、頬舌側ともに膨らんだ「楕円型」、近心が膨らんだ「水滴型」、楕円型が近遠心的に延長した「長楕円型」および近遠心的に短縮した「円型」の4型に分類した(図5)。この分類に従って、各群の下顎頭上面積を4型に分類した。

VI. 組織標本の作製法

右側顎関節部をその周囲組織とともに摘出後 10% 中性ホルマリン液 (武藤化学薬品) に48時間浸漬固定を行った。固定後、EDTA (和光純薬工業, 大阪) 脱灰液にて14日間脱灰した。以後は通法に従いパラフィン包埋し、5 μ m のパラフィン切片を作製した後、HE 染色とトルイジンブルー (toluidin -blue, TB) 染色を行った。

VII. 統計学的解析法

各群の比較には Mann-Whitney 検定を用い、5% 未満の危険率をもって有意とした。



Fig. 9. Lateral views of condyle at 4 weeks after operation. Top is control group. Bottom is expanded group.

成績

I. 頭部X線規格写真による検討

1. 左右前下顎角切痕間距離 (MB-MB')

拡大群では術後3日目において対照群との差が約1.7mmであったが、この両群の差は経時的に減少する傾向にあり、術後8週では対照群との差が約0.9mmに減少していた。しかし、術後3日目よりすべての群で有意に拡大群の値が大きかった(図6)。

2. 左右下顎枝間距離 (MM-MM')

拡大群では術後1, 2週と減少傾向にあったが、その後は増加傾向にあった。対照群では経時的な増加傾向がみられた。対照群と拡大群の差は術後3日目で約1.3mmであったが、この差は経時的に減少しており、術後2週では0.5mmにまで減少し、2週目以降は両群間に有意差は認められなかった(図7)。

3. 左右下顎頭間距離 (MA-MA')

拡大群では術後1週目に減少した後、経時的な変化は認められなかった。対照群では経時的な増加傾向がみられた。術後3日目における両群間の差は約1.2mmであり、術後1週目には0.4mmにまで減少していた。統計的には術後3日目に両群間に有意差を認めた他は、他の群に有意差は認められなかった(図8)。

II. フーリエ解析による下顎頭側方形態の検討

術後2週目における下顎頭の肉眼所見において、拡大群では関節部が円形から角張った形態に変化した傾向が観察された

(図9)。

1. 各成分波の寄与率について

関節部では両群ともに1次成分波の寄与率が高く約88%であり、2次成分波までの累積寄与率で約94%であった。このように両群ともきわめて高い収束性を示す傾向にあった。これに対して下顎枝部では1次成分波の寄与率は約66%であり、2次成分波までの累積寄与率で約82%であった。累積寄与率が90%を越えたのは4次成分波までの累積寄与率で約92.3%であり、関節部に比べて収束性が低くなる傾向にあった。

2. A0 について

定数 A0 は一般に大きさを表す項目であるといわれているが、今回は全実験期間について A0 に両群間での有意差は認められなかった(表1, 2)。

3. AM について

関節部については、第1周波数振幅 (AMI) にのみ1週, 2週, 4週に有意に拡大群が小さくなっていた(表1, 2)。AMIの寄与率が平均88%であったことから、同部位の形態はこのAMIにてほぼ再現されていると考えることができる。そこで、AMIの経時的変化について検討したところ、対照群では経時的にAMが大きくなっていったのに対して、拡大群では1週目, 2週目とAMが小さくなっていき、4週目以降はAMが大きくなっていった。一般に、AMが大きくなれば形態が凸に、小さくなればその形態が平坦化していると考えられることから、拡大群では術後2週目までは平坦化していき、4週目以降はその形態が回復していったことが推察される。

Table 1. Postoperative changes of Fourier coefficients in Condyle position

Postoperative day	Group ^{a)}	Number of subjects	Fourier coefficients ($\bar{x} \pm SD$)								
			A0	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8
3	Cont.	5	1006.40±35.73	4.48±0.57	1.09±0.39	0.64±0.07	0.51±0.07	0.37±0.06	0.32±0.03	0.32±0.03	0.32±0.08
	Expand	7	1007.86±35.37	4.74±0.37	1.50±0.36	0.82±0.26	0.60±0.23	0.48±0.22	0.38±0.21	0.34±0.19	0.34±0.21
7	Cont.	5	1001.60±17.01	4.84±0.23	1.04±0.36	0.65±0.27	0.53±0.23	0.38±0.19	0.40±0.19	0.33±0.18	0.36±0.18
	Expand	7	1014.29±17.53	3.90±0.61*	0.93±0.35	0.62±0.16	0.50±0.14	0.40±0.21	0.35±0.16	0.29±0.19	0.29±0.21
14	Cont.	5	1035.20±26.57	4.72±0.23	1.04±0.19	0.61±0.25	0.57±0.17	0.48±0.14	0.38±0.12	0.36±0.12	0.27±0.18
	Expand	7	1033.83±47.94	3.35±0.69**	1.05±0.54	0.58±0.37	0.39±0.29	0.25±0.22	0.17±0.19	0.15±0.16	0.13±0.16
28	Cont.	5	1048.20±43.97	4.97±0.34	1.20±0.38	0.70±0.35	0.59±0.20	0.42±0.21	0.35±0.22	0.33±0.18	0.34±0.20
	Expand	7	1041.43±28.55	3.73±0.92*	1.06±0.35	0.82±0.26	0.61±0.19	0.51±0.17	0.39±0.16	0.37±0.17	0.33±0.18
56	Cont.	5	1042.00±28.95	5.82±0.67	1.02±0.37	0.68±0.35	0.37±0.25	0.33±0.13	0.27±0.09	0.24±0.11	0.22±0.12
	Expand	7	1039.17±58.57	4.89±1.09	1.29±0.63	0.81±0.39	0.47±0.27	0.40±0.25	0.31±0.21	0.33±0.20	0.31±0.23

a) Cont., control.

*p<0.05, **p<0.01 compared with the control group by Mann-Whitney method.

Table 2. Postoperative changes of Fourier coefficients in Ramus position

Postoperative day	Group ^{a)}	Number of subjects	Fourier coefficients ($\bar{x} \pm SD$)								
			A0	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8
3	Cont.	5	764.2±33.9	4.57±0.84	2.29±0.49	1.42±0.30	0.92±0.20	0.59±0.16	0.38±0.16	0.23±0.15	0.18±0.16
	Expand	7	759.0±21.9	3.78±0.41	1.71±0.40	1.17±0.31	0.82±0.32	0.62±0.29	0.52±0.30	0.44±0.34	0.43±0.38
7	Cont.	5	745.0±41.0	5.12±0.86	2.50±0.56	1.58±0.37	1.08±0.26	0.80±0.22	0.65±0.20	0.52±0.16	0.52±0.17
	Expand	7	765.0±14.6	4.90±0.89	2.39±0.47	1.47±0.18	0.99±0.19	0.79±0.19	0.69±0.21	0.56±0.25	0.51±0.28
14	Cont.	5	764.0±50.2	4.93±0.52	2.31±0.32	1.56±0.34	1.11±0.29	0.79±0.30	0.62±0.27	0.48±0.29	0.39±0.33
	Expand	7	764.3±40.2	5.02±0.48	2.64±0.27*	1.83±0.38	1.50±0.44	1.31±0.48*	1.16±0.49*	1.09±0.50*	1.04±0.53
28	Cont.	5	773.6±54.6	4.55±0.15	2.25±0.11	1.43±0.15	0.95±0.16	0.64±0.21	0.51±0.24	0.45±0.29	0.42±0.35
	Expand	7	773.6±54.6	4.96±1.14	2.66±1.07	1.85±0.94	1.47±0.80	1.29±0.77	1.23±0.76	1.23±0.78	1.21±0.82
56	Cont.	5	709.6±70.1	6.02±1.52	3.21±1.04	2.21±0.69	1.69±0.60	1.47±0.57	1.29±0.59	1.17±0.57	1.13±0.60
	Expand	7	741.5±64.4	5.95±1.26	3.11±0.71	2.10±0.59	1.61±0.63	1.40±0.69	1.25±0.71	1.17±0.77	1.12±0.84

a) Cont., control.

*p<0.05, compared with the control group by Mann-Whitney method.

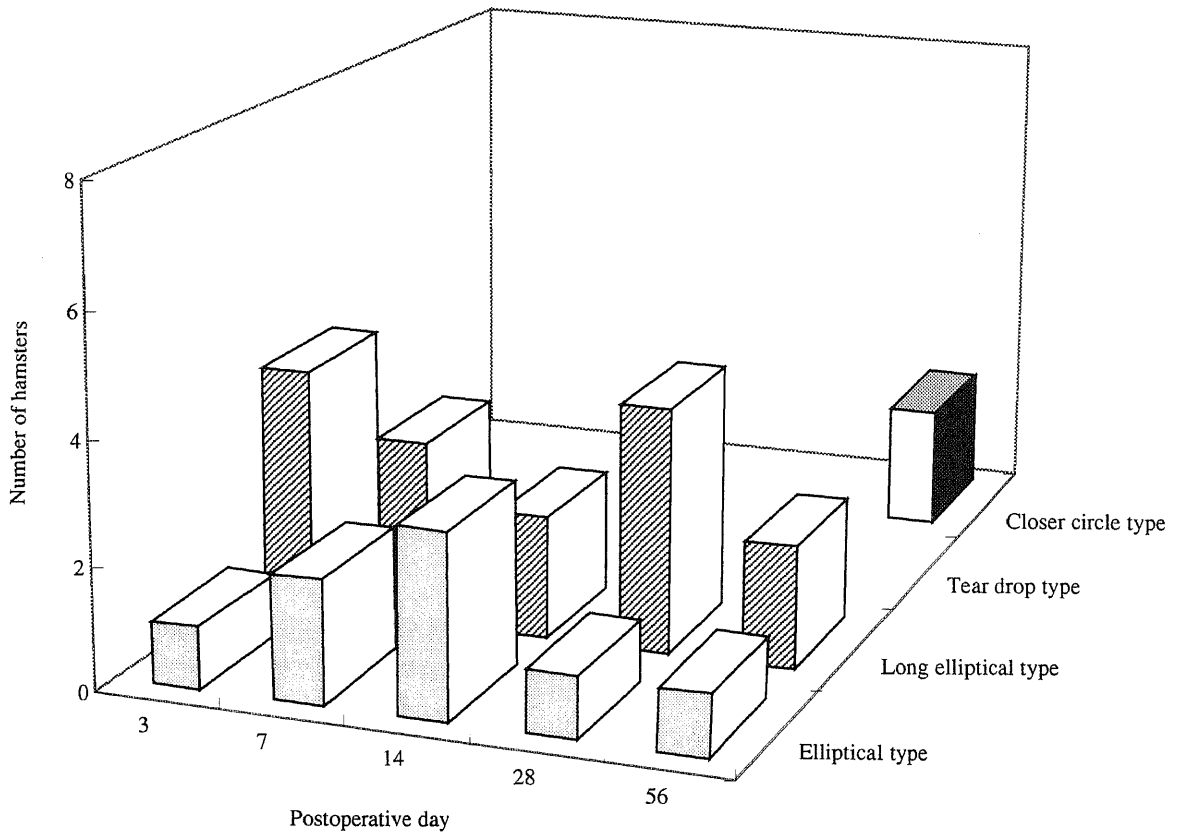


Fig. 10. Postoperative change of condylar types in control group.

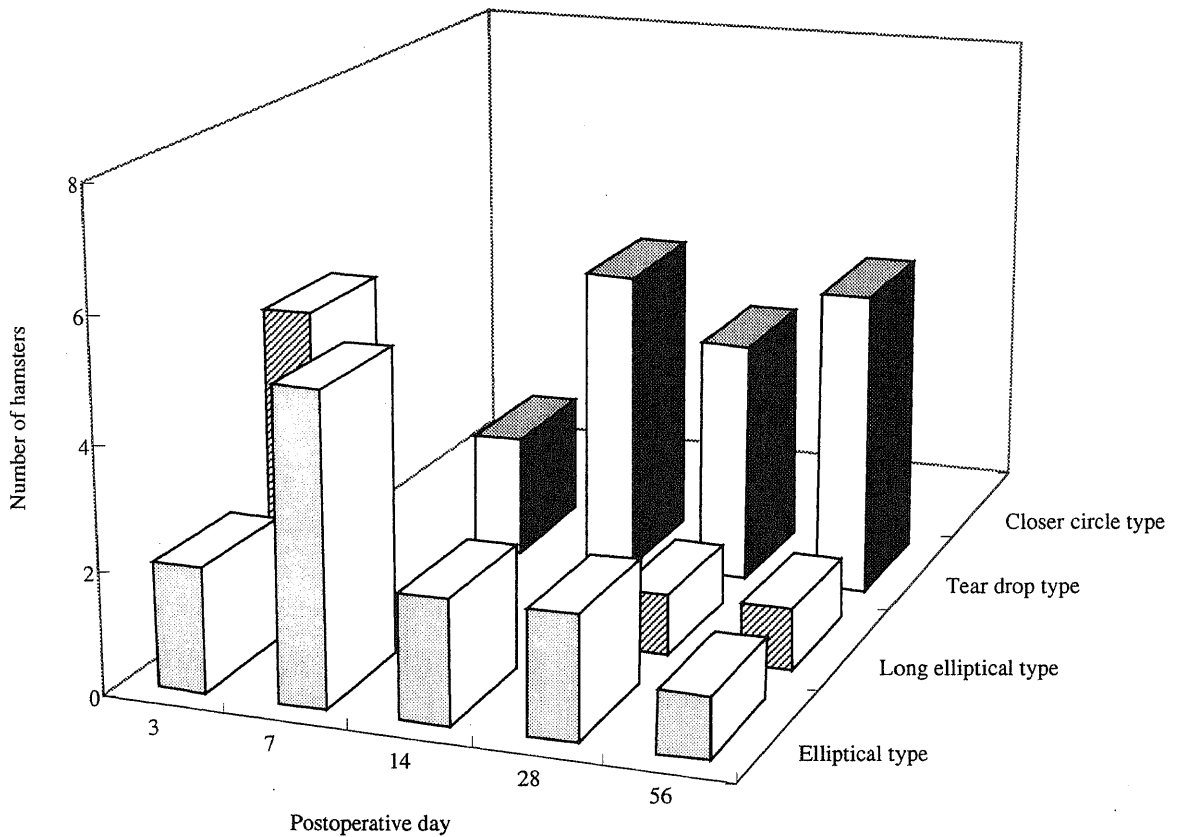


Fig. 11. Postoperative change of condylar types in expand group.

下顎枝部については、2週目の AM2 以降に有意差が認められたものの、寄与率は低く形態に与える影響は少ないと考えられる。他の週に関しては全実験期間を通じて両群に有意差は認められず、全周波数振幅において経時的に AM が大きくなる傾向が示された。

Ⅲ. 下顎頭上面観の肉眼的形態変化

術後3日目においては両群とも長楕円型が70~80%を占めており、残りは楕円型であった。この後、対照群においては術後4週目までは楕円型と長楕円型の比率に変化は生じたものの、これら2型で全てが占められていた。また、8週目では円

型が20%観察されたが、全観察期間において水滴型は観察されなかった(図10)。これに対し、拡大群では術後1週目より水滴型が観察されるようになり、2週目以降はほとんどが水滴型であった(図11)。

V. 下顎頭の組織学的所見

術後3日目の拡大群では対照群(図12)に比べて下顎頭軟骨層の表層軟骨細胞の圧排変性所見が認められた。また圧迫側に位置する下顎頭側方隅角部の筋組織に炎症性細胞浸潤が観察された(図13-A)。術後1週目にも表層軟骨層の圧排変性所見が認められ、圧迫側の筋組織は壊死していた。また、軟骨層表層の

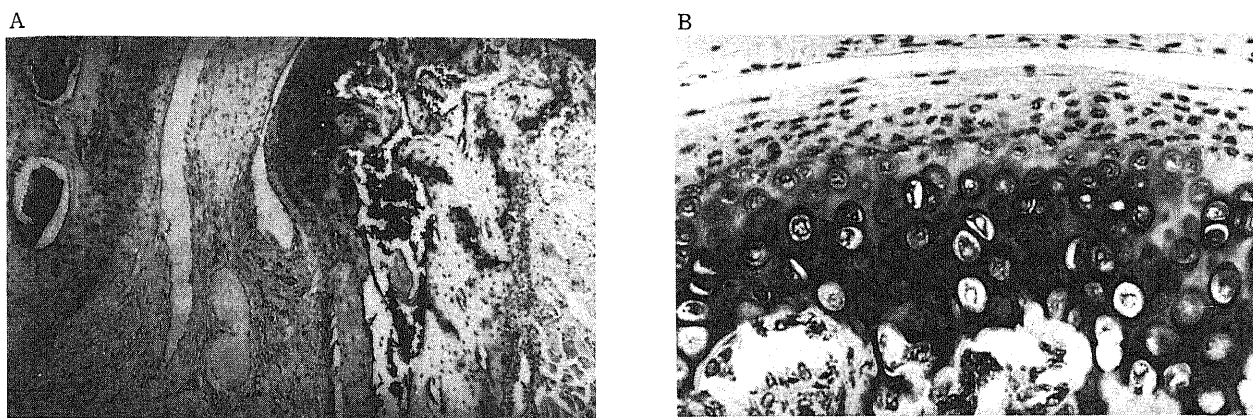


Fig. 12. Typical light microscopic findings of Temporomandibular joint. (A) The normal TMJ (TB stain, original magnification $\times 50$). (B) Detail of Fig. 8A (TB stain, original magnification $\times 260$).

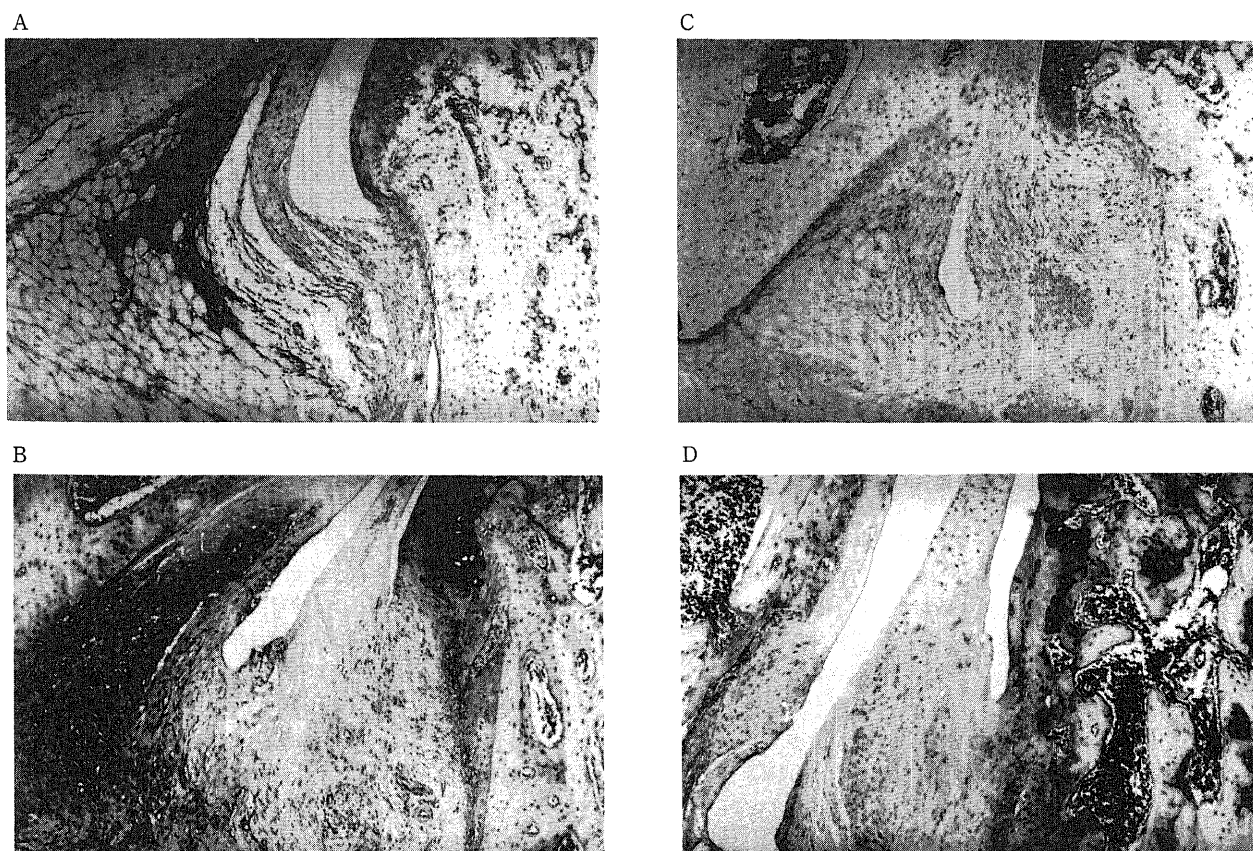


Fig. 13. Typical light microscopic findings of experimental model at the post operative 3 days (A), the post operative 7 days (B), the post operative 14 days (C) and the post operative 28 days (D). TB stain, original magnification $\times 50$.

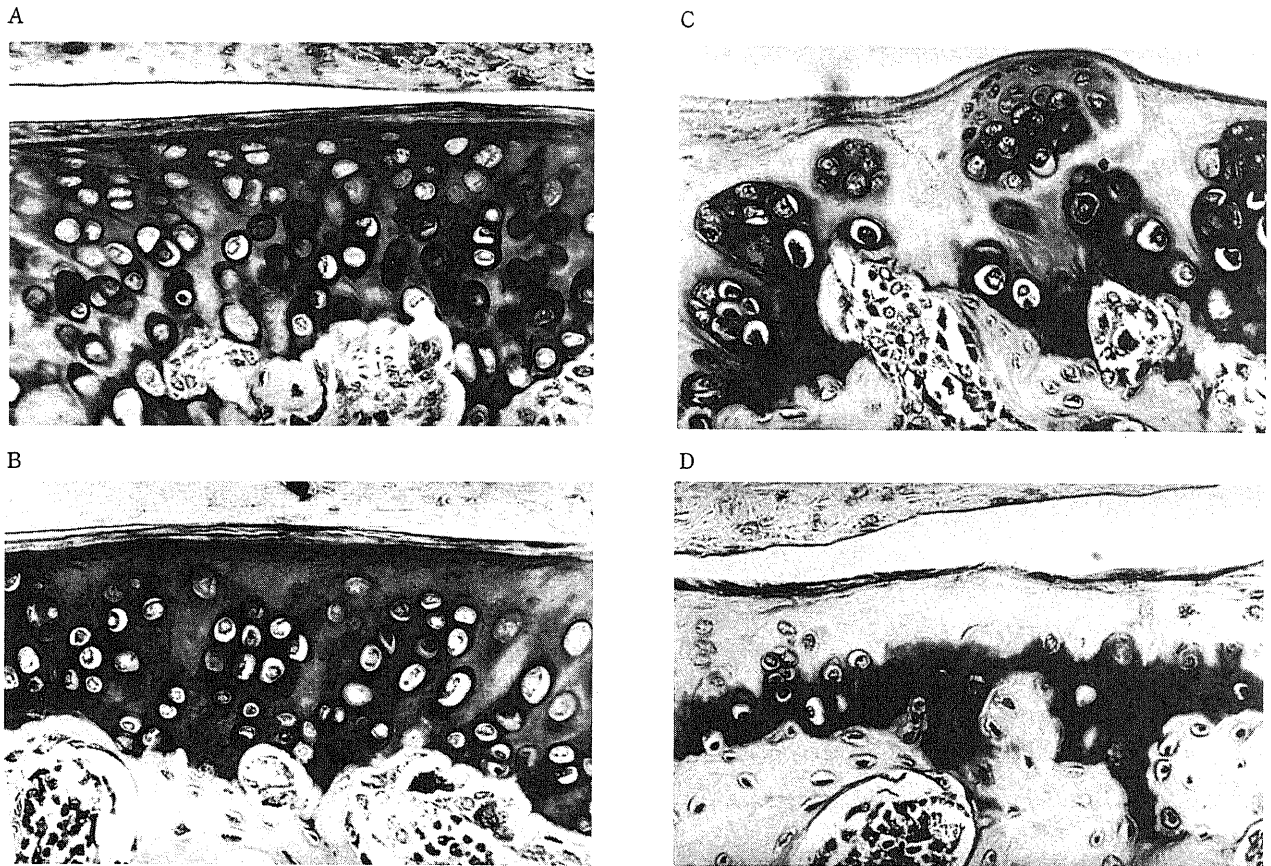


Fig. 14. Typical light microscopic findings of experimental model at the post operative 7 days (A), the post operative 14 days (B), the post operative 28 days (C) and the post operative 56 days (D). TB stain, original magnification $\times 260$.

Table 3. Postoperative histological changes of experimental model

Postoperative day	Condylar cartilage			Oppressive area of condyle and muscle	
	Fibrocartilage	Alignment	Number of cartilage cell	Muscle reaction	Condyle neck
3	No change		±	Infiltration of inflammation cell	
7	No change	Disarrangement	±	Necrotic change	Osteoclast
14	Thinning	Disarrangement	↓	Fibrotic change	Osteoclast
28	Disappear	Cluster formation	↓↓	Fibrosis	Chondroidmetaplasia
56	Disappear		↓↓	Fibrosis	Chondroidmetaplasia

±, no change of cartilage cell; ↓, moderate decrease of cartilage cell; ↓↓, severe decrease of cartilage cell.

線維軟骨層が消失していた(図13-B, 14-A)。術後2週目には線維軟骨層および軟骨層浅層の軟骨細胞の消失が観察され、中間層の軟骨細胞の配列に乱れが生じていた。側方隅角部の細胞性分は乏しくなっており、線維成分の多い所見を呈していた(図13-C, 14-B)。また、術後4週においても線維軟骨層は消失しており、外側軟骨層にクラスター形成が認められた。また、下顎頭の側方隅角部には骨膜反応が観察され軟骨化性の所見を呈していた(図13-D, 14-C)。術後8週目には関節軟骨の非薄化、軟骨基質の消失および軟骨細胞の消失が観察され、基底軟骨のみが観察された(図14-D, 表3)。全実験期間において、牽引側周囲組織および下顎窩における著明な組織変化は観察されなかった。

考 察

近年、患者自身の歯列不正や顎変形に対する意識が高まってきたり、顎矯正治療が次第に社会的に認知されるようになってきた。当科においても、顎矯正手術は年々増加傾向にあり、口腔外科手術のなかでも重要な位置を占めるようになってきており、1988年10月に下顎前突症症例に初めて下顎前方歯槽骨切り術を行ってから、1993年12月までの約5年間に顎変形症104例に対して手術を行っている¹⁾。このうち下顎枝矢状分割骨切り術は全症例の約7割に用いられていた。男女比は、高橋ら²⁾ 1:1.8、久保ら³⁾ 1:2で諸施設とも女性に多い傾向にあるが、これは審美的、機能的障害を改善するという本手術の特色

によるものと思われる。手術時年齢は、顎骨の成長が止まるのを待って行われる手術のため、平均19.7~22.8歳と20歳代前半の報告が多くみられる¹¹⁻³⁾。顎変形症の臨床診断における特徴として、本邦では下顎前突症が多数を占めている⁹⁾が、これは東洋人の人種骨格の特徴によるものである。このため、選択されている手術術式はそのほとんどが下顎枝矢状分割骨切り術である。下顎枝矢状分割術とは、1957年に Trauner ら³¹⁾が Obwegeser's osteotomy として報告し、1961年に Dal Pont³²⁾が、1964年 Obwegeser³³⁾がその改良法を報告している顎変形症に対する骨切り術の一法であり、口腔内よりのアプローチにより、下顎枝を矢状面において内外側の2骨片に分割し、下顎骨を前後あるいは回転して移動し、固定するものである。下顎枝矢状分割骨切り術の問題点としては、術後にオトガイ部の知覚麻痺が生じやすい、骨片の固定がスクリューやミニプレートなど比較的強固なものが用いられるようになり術後の顎間固定が必要とされなくなった反面、顎関節に対して負担を強いる可能性があるなどが考えられる¹⁾。事実、下顎枝矢状分割骨切り術の術後に顎関節症状の出現がみられたという報告¹¹¹²⁾がされているが、手術後の顎関節症状との関係は未だ意見の一致が見られていない。しかし、下顎枝矢状分割術では顎関節部と下顎歯列部が一旦離断され再接合されるという手術操作によって顎関節への力学的ストレスは明らかに変化しており、この原因としては手術による咬合の変化および骨格型の変化が関与していることが考えられる。Isaacson ら³⁴⁾や Nicerson³⁵⁾は骨片固定時には顎関節に対して、ある程度の自由性を与えるべきであると報告しているように、外側骨片をどの位置に整復固定するかが重要な問題となってきている。厳密に術前の位置へ復位させることが重要と考えるものは、外側骨片位置復元装置を考案し臨床応用している³⁷⁻³⁹⁾。しかし、外側骨片位置復元装置を用いても、術後の軸方向レントゲン検査において内外側方向での形態変化が生じているという報告³⁶⁾³⁷⁾があることから、装置の使用に関わらず術後に顎関節部の形態変化が生じている可能性は少なくはない。また、術前の外側骨片の正確な位置にこだわらなくても術後の顎関節部に生じる再構成によって正常な治癒が行われるとされる説¹⁰⁾もあり、Pettersson ら³⁸⁾は顎関節エックス線写真による術後長期観察を行い、前方移動した下顎頭後方に骨添加が認められ、顎関節の再構成も下顎頭位の正常化に関与すると報告している。ところで、外側骨片に関して Epker ら³⁹⁾は手術後の後戻りを防止し骨格の安定をはかるには外側骨片の位置が重要であると述べており、Komori ら⁴⁰⁾は手術後の骨格の安定は筋の再適応と骨の初期治癒が生じる初期の数週間に決定されると述べている。このように、手術時あるいは手術後の外側骨片および下顎頭の位置変化が予後にどのような影響を与えるかについては臨床的になお不明な点が多く、下顎頭に生じる形態変化が正常な治癒を示す下顎頭の再構成を起すのか、あるいは破壊性の変化をきたすかで術後の顎関節症状の出現および骨格の安定と関連する可能性があるといえる。このように顎矯正手術においては、骨格の改善を行うという性質上、顎関節部の構造・機能や周囲組織との関連性および適応性などを明らかにする必要があると考えられる。しかしながら、従来からの報告はいずれも臨床例に対するものであり、実験的に下顎頭の位置変化を生じさせ、その後の変化を検討したものは未だ報告されていない。

顎関節に外的刺激を加える方法として従来より選択されてき

た手法は、咬合を挙上したり下顎を前後的に偏位させる装置であり、この刺激に対する顎関節の反応を検討することを目的として多くの実験がされてきた¹³⁻²⁸⁾。

これらの実験は下顎の前方変位、後方変位、咬合の変化に大別することができる。すなわち下顎を前方変位させるものとして、Baume ら¹³⁾はサルを用いて金属性前歯部斜面板により下顎の前方変位を惹起することによって、下顎頭後方部の成長促進を認めている。Easton ら¹⁶⁾はラットを用いて下顎の前方偏位をおこさせることにより骨格筋や骨の反応を観察し、2週目には咬筋と外側翼突筋の筋線維タイプの構成比率に変化が生じ、筋の速度も遅くなることを報告した。同様にラットを用いて下顎を前方に偏位させたものとして、大田¹⁴⁾、Breitner¹⁷⁾は鑄造した前歯斜面板を装着することによって、下顎頭の成長促進をもたらしたと述べて、同様に Charlier ら¹⁸⁾はワイヤーネットを装着することにより、下顎頭の成長促進がもたらされたと述べている。また Ghafari ら¹⁹⁾は矯正用バンドによる斜面板を用いた結果、この装置による下顎頭の環境変化が肥大細胞の骨化を促進させたと報告している。一方、下顎を後方変位させるものとして、Spitzer ら²⁰⁾はサルの下顎骨を5mmあるいは10mm後方に変化させたところ、顎関節が狭小化していたが関節軟骨と関節円板には変化がなかったとしている。ラットを用いて下顎を後方に偏位させるものとして野口¹⁵⁾は、オトガイ帽によってもたらされる下顎頭への影響を検討する目的で矯正用ゴムリングを用いたところ、下顎頭の軟骨細胞が外力に対して適応形質として反応することを指摘し、また今村²¹⁾は下顎前歯唇側に斜面板を装着させて、幼若個体と成熟個体における反応性の相違を報告している。また Easton ら²¹⁾はラットに下顎骨前方牽引装置を装着したところ、外側翼突筋と咬筋の活動が増加したとしているが、この結果は手術後の骨格型の安定に筋活動が緊密に関与することを示唆するものである。また葛西²²⁾はミニプタを用いて持続的下顎牽引装置による下顎成長抑制効果を検討したところ、下顎に作用した成長抑制力が下顎骨自体の形態変化にとどまらず、顔面頭蓋および上下歯列弓に対しても影響を及ぼしたことを指摘している。一方、咬合に変化を与えるものとして、Curtis ら²³⁾は咬合高径を増加させるために両側臼歯に金属性スプリントを装着し、下顎骨の骨密度を測定しているが変化はなかったと述べ、Gazit ら²⁷⁾は片側にスプリントを応用し咬合の変化が顎関節に与える影響を検討したところ、骨の吸収は実験期間の経過とともに増加し造骨細胞、破骨細胞の活性は装置装着後5、9日目が高かったとしている。松山²⁵⁾は成長期ラットを用いて片側性抜歯による下顎頭軟骨層の厚径への影響を検索したところ、抜歯側では下顎頭軟骨層の厚径の非薄化を示したのに対し、非抜歯側では対照群と同程度の厚径を呈したとし、喜久田²⁴⁾はサルを用いて片側抜歯を行ったところ、抜歯側より非抜歯側の方が著明な組織変化を呈し、下顎頭前方部では軟骨層厚径の非薄化、後方部では拡大を示したと報告している。

このように、従来から下顎の前後的偏位あるいは咬合に変化を与えるという実験が多数おこなわれてきており、いずれの実験においても外的刺激に対する生体側の適応が示されているが、顎関節に与えられた外力による機械的負荷が下顎頭に及ぼす影響についてのメカニズムはいまだ完全に確立されているとは言い難い。また、下顎骨の側方拡大およびそれによる下顎頭の反応について検討を行った報告は著者の渉猟した限りにおい

て認められていない。そこで、今回われわれは臨床的に問題となる下顎骨の側方への位置変化が下顎頭に与える影響について検討することを目的として、下顎骨側方拡大装置を新たに考案した。そして本装置をハムスター下顎骨に装着することによって生じる下顎骨の外側偏位が顎関節に与える影響について検討を行った。実験動物として使用したハムスターは下顎結合部が線維性の結合であるために、左右下顎骨の間隔を自由に变化させることができる。この結果、下顎骨側方拡大装置の装着と同時に任意の下顎骨の左右間距離の拡大を得ることができることからハムスターを今回の実験のモデルとした。今回著者が想定した実験系においては、下顎骨が確実に外側へ偏位していることが必須条件となる。この点に関しては、全実験期間を通じて下顎骨骨体部における左右下顎骨間距離が拡大群では有意に大きかったことから、今回の実験装置は目的の効果をj得るに充分であったことが確認された。

臨床的に報告されている下顎枝矢状分割術後の外側骨片の位置変化については、道脇¹⁰は、下顎枝斜矢状切離咬合改善術に屈曲結紮を行った症例について検討し、術直後、下顎前突症単独群では2.5mm、開咬を合併した群では1.4mmの外方移動があり、これは内側骨片の後方移動により外側骨片が外方に押し出される結果だと述べている。その後、顎間固定中より両群ともに術前の位置に復するような変化がみられたが術後1年経過時においても、特に下顎前突症単独群では術前と比べ2.0mm程度の外側移動が存在していたことを報告している。

また、石井¹¹によれば、外側骨片は術直後内側に移動し、術後1年には術直後に比較してともに外側に移動したと述べられている。このように、下顎枝矢状分割術を行った後の外側骨片の偏位方向には定説はないが、いずれの報告においても手術後の外側骨片の内外方向への偏位は生じており、経時的にそれが是正される方向への変化が生じているという共通の臨床所見がある。今回の実験においても下顎頭は装置装着後早期には外側へ偏位しているが、比較的早期に内側へと復位する所見が観察されており、今回観察された経時的な復位の方向は臨床所見と一致するものであった。臨床的に外側骨片の偏位を予防する術式としては、Epker¹²は、遠位骨片の後縁の外方変位により、近位骨片が外方へ大きくはね上げられる場合、矢状分割後、最後臼歯後方で表面の皮質骨を切離し、同部で若木骨折を起こすことで近位骨片の外方偏位を修正するとしている。

下顎骨側方拡大装置が実験動物に与えた全身的影響としては、実験群の体重の増加がきわめて少なかったことから、今回の装置を装着することにより正常な顎運動が強く障害された可能性が考えられた。そこで、今回の実験で観察された組織学的所見が単なる栄養障害によるものなのか、あるいは下顎骨の位置変化に起因するものなのか検討する必要性があらう。この点に関して大倉¹³は栄養障害による下顎頭への影響を検索する目的で、ラットを用いて骨組織の代謝を調節する因子であるカルシウム、ビタミンD欠乏飼料を与えたところ、カルシウム欠乏食群において軟骨層の厚径の拡大、軟骨細胞が緻密に配列、さらに増殖骨の軟骨細胞の減少と肥大層の軟骨細胞の増加が認められたと報告している。食物の硬軟が下顎頭に与える影響として中園¹⁴は固型飼料、練和飼料、粉末飼料を与えた結果、食物の硬さの減少とともに増殖帯軟骨細胞、肥大帯軟骨細胞の増加、肥大型軟骨細胞を囲む石灰化基質および軟骨下骨形成の減少がみられたとしている。本実験の組織学的所見は上記の栄養

障害に起因する骨の代謝に関係する因子による所見とは明らかに異なることから、本実験において観察された下顎頭軟骨層の組織変化は栄養障害ではなく、下顎骨の側方拡大にともなう下顎頭への機械的刺激により起こったものであることが示唆された。

下顎頭の形態を分析する際に観察者の主観を排除し、より客観的に形態を分析する目的で、形態分析にフーリエ解析を応用した。フーリエ解析を用いることによってスムーズな曲線形態を数値化し、その関数の係数値を用いて原形が再現され、かつ簡素化された係数により統計処理が可能^{29)30)42)~49)}となった。フーリエ解析は波形を解析するという性質上理工学などの分野で広く用いられている手法である³⁰⁾⁴⁴⁾。また、歯科領域においても、形態を一つの波形としてとらえることにより、歯牙²⁹⁾、歯列弓形態⁴⁵⁾、下顎骨形態⁴⁵⁾⁴⁶⁾、頭蓋⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁵⁰⁾など形態分析にj用されるようになってきた。フーリエ解析を形態分析にj用した際には、大きさと形状を別に評価することができる。この結果、従来形態を評価する際の「丸み・凹凸・平坦さ」など、従来の距離および角度的計測ではとらえられなかった比較的曖昧な部分が統計的に評価することが可能となった。また、フーリエ解析の特徴としては、1)情報の集約化、2)多数の連続した曲線を統計的に処理すること、3)独立に分かれた主要な係数値を用いることによりパターン分類へのj用がそれぞれ可能であることなどが考えられる。このように形態分析にフーリエ解析をj用することで目的の形態を純数学的に処理することが可能となる。ところで、フーリエ変換は離散値をもとにj解析されるために、サンプリング数が問題となってくる。原データの再現性を高めようとするれば、サンプリング密度を高くする必要がある²⁹⁾。今回のわれわれが行ったj解析では計算速度を考慮し、フーリエ変換には高速フーリエ変換をj適したが、プログラム上の制約により高速フーリエ変換の原データ数は2ⁿに制限される²⁹⁾ことから、j用性の点を考えデータ数は32とした。この原データ数のj妥当性については今後さらにj検討する必要があると思われる。また累積寄与率をみると、AMが関節部では早く収束しているのに対して、下顎枝部では減衰度が遅れていることが観察できる。これは、関数f(x)の変動がなめらかなほどフーリエ係数は早く減衰するといわれている⁴⁴⁾ことから、関節部の原データ系列の値にはばらつきが少なかったのに対して、下顎枝部では下顎枝中央部から下顎枝基部にかけての原データ系列の値の大きな変動が係数値の収束度の低下をもたらしたことがj推察される。また、フーリエ級数は不連続点付近において収束性が少ないのに対して、一般に区分的に滑らかな周期関数f(x)が連続な場合にはフーリエ級数はj一様収束することがj判明している⁴⁴⁾ので、焦点(focus)についてもフーリエ級数の欠点がj発現しないよう今後j検討する必要があると思われる。今回のj解析結果において、大きさを表すA0の値に有意差は認められず、形状を表す項目である振幅のみ有意差が認められたが、このことは今回の下顎骨の側方拡大という実験系が、下顎頭の高さにはさほど影響を与えず、その表面形態に变化を与えたことがj示唆される。また、フーリエj解析の結果から、下顎頭側面の変化は拡大群において術後2週目までは平坦化し、4週目以降はその形態がj回復していったとj説明することができる。

下顎頭の経年的変化について、ヒトの下顎頭の成長は21歳前後に停止段階に至るといわれている⁵¹⁾が、それ以降については大きさにj明らかな変化がないとする報告や、下顎頭の長さと同幅

は20歳代から40歳代の間に増大するという報告⁵²⁾,あるいは無歯顎者の下顎頭幅径は有歯顎者に比べて小さいとする報告⁵³⁾がある。マウスの下顎頭の形態や大きさは、成長期以降も成熟期に向けて緩やかに変化し続けるとの報告⁵⁴⁾がある。その変化は楕円型から長楕円型への変化であり、20週齢では両型で80%を越えるようになることとされており、今回の実験の対照群において観察された下顎頭上面観の楕円型あるいは長楕円型へと変化するという所見はこれと一致するものである。これに対して、拡大群の術後1週目から観察された長楕円型・楕円型・水滴型へと続く一連の変化は、下顎頭の成熟とは明らかに異なる変化である。これは下顎頭後方部において関節幅が狭小化していったと考えられる。すなわち今回観察された下顎頭上面および側面の変化は下顎骨側方拡大およびそれに伴う下顎頭の位置変化という環境の変化に対する形態面における下顎頭の再構成により生じたものであると示唆された。

下顎頭の表面は軟骨で覆われているが、軟骨は一般的に他の結合組織とは対照的に張力よりもむしろ圧力に対してすぐれた抵抗力を有している。下顎頭においても大きな咬合力のような機械的外力に対して軟骨が外力を緩和していると考えられているが、今回の実験においては前述のごとく拡大装置装着後に表層軟骨細胞の圧排変性所見が観察された。肥大層の非薄化所見について今村²⁹⁾は肥大層の細胞は極端に肥大化しているため、わずかの細胞数の変動も大きな厚径の変動となってあらわれるとしており、新名⁵⁵⁾は細胞のみならず、力学的負荷の緩衝、吸収は細胞間質成分であるコラーゲン、プロテオグリカン、水分の特性により規定されており、細胞間質は軟骨細胞を保護すると同時に軟骨特有の物性の発現にも関与し、荷重に対し軟骨細胞を障害することなく、最大30%にも達する厚さの減少を起しうることを指摘し、軟骨組織の厚径の非薄化には細胞間質の荷重による力学的な反応も原因の一つであると述べている。

軟骨細胞が荷重緩衝機構として働くことができるのは次のように説明されている。すなわち軟骨プロテオグリカンは生体内では分子量150~200万のプロテオグリカンモノマー約100本がヒアルロン酸に結合し、結合蛋白により安定化された巨大分子でプロテオグリカン重合と呼ばれる。プロテオグリカン重合は陰性に荷電しており、高い水分保有能力を有している。軟骨の力学的特性とされる粘弾性は主としてプロテオグリカン重合の圧縮抵抗と抱水能力により規定される。コラーゲンは主に剛性や伸張抵抗を規定するが、網目構造を形成し、その中にプロテオグリカン重合を封じ込めることにより、粘弾性にも一部関与する⁵⁶⁾。軟骨に鈍力が加えられた場合、25Nの力で細胞は破壊されるという。しかし、軟骨の厚さが30%減少した状態でも軟骨細胞は十分生存し得るとされている⁵⁶⁾。また、軟骨に1日約40分間の割合で鈍力を加えると、約1週間で軟骨下骨の剛性は約20%増加し、軟骨表層のプロテオグリカンも20%減少し、細胞分裂やプロテオグリカン合成の亢進といった変形性関節症(osteoarthritis, OA)の初期変化が出現してくる⁵⁷⁾。今回の実験では拡大群において実験開始4週目にクラスター形成が観察され、8週目には表層軟骨細胞が消失していた所見が観察された。この一連の変化は関節軟骨損傷の修復において観察される所見⁵⁸⁾と一致するものであり、今回の実験においてOAが発症していた可能性がある。このことは、レントゲンの正常位置に復位しており新たな環境に適応するべく再構成が生じて下顎頭部に形態変化が起こったと考えていたものが、組織学的には

関節軟骨において病態が進行していることを示唆するものである。

結 論

下顎骨の外側への位置変化が、下顎頭周囲組織に与える影響を検討する目的で、下顎骨側方拡大装置を考案しハムスター下顎骨に装着した結果、以下の結論が得られた。

1. 本装置を装着することにより、下顎骨骨体部では全実験期間において、対照群に比べて有意に外側に位置していたことから、本実験モデルが下顎骨の外側偏位に対する下顎頭の反応を検討する点で有用であることが示唆された。

2. 拡大装置装着部を中心とした下顎頭の内側への回転がみられたが、術後1週目にはほぼ正常位に復位していた。

3. フーリエ解析を用いることにより、下顎頭側面形態の変化を解析したところ、再現性は良好で、大きさならびに形状の変化を同時に把握することができ、係数値を比較することにより、形態変化を統計的に処理することができた。

4. 曲線の特徴として、大きさには両群間での有意差は認められなかった。

5. 下顎頭の形状については関節部のみ両群間での有意差が認められ、その形状変化は拡大群では術後2週目までは平坦化していき、4週目以降はその形態が回復していくことが示された。また、対照群では経時的に凸状に変化していくことが示された。

6. 下顎頭上面観の肉眼的観察において、術後3日目においては両群とも長楕円型が70~80%を占めており、他は楕円型であった。拡大群では術後1週目より水滴型が観察されるようになり、2週目以降はほとんどが水滴型であった。

7. 組織学的所見において、下顎骨外側偏位早期には下顎頭軟骨層の非薄化が観察された。その後、線維軟骨層の消失および表層軟骨層の細胞数の減少および配列の乱れが観察され、術後4週目にはクラスター形成が観察され、術後8週目には軟骨基質の消失および軟骨細胞の消失が観察され、基底軟骨のみが観察されるようになった。

8. 周囲組織における所見として、圧迫側の筋組織が壊死に陥り、術後4週目には同部位に骨膜反応が観察された。これに対して牽引側および下顎窩については著明な組織変化は観察されなかった。

以上の結果より、下顎骨外側偏位後には早期に下顎頭の位置が復位され、外力に対しては下顎頭軟骨細胞が下顎頭の再構成に重要な役割を果たしていることが示唆された。

謝 辞

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました恩師、金沢大学医学部歯科口腔外科学講座山本悦秀教授に深甚なる謝意を表します。また直接御指導頂きました金沢大学医学部歯科口腔外科学講座中川清昌助教授に深く感謝し、本研究の遂行に際し多大な協力を頂きました金沢大学医学部歯科口腔外科学講座顎変形症グループの上木耕一郎先生ならびに諸先生方に感謝いたします。また、フーリエ解析プログラム作成および解析について御指導を賜りました金沢大学医学部保健学科高山輝彦助教授に深甚なる感謝の意を表します。なお、動物用頭部レントゲン規格撮影装置の開発に御協力いただいた金沢大学医学部工作係田畑繁之技官に感謝いたします。

なお、本論文の要旨は、第49回日本口腔科学会総会(1995年4月、岐阜)および第5回日本顎変形症学会総会(1995年6月、浜松)において発表された。

文 献

- 1) 中川清昌, 松本成雄, 上木耕一郎, 山本悦秀: 下顎枝矢状分割術の術式および術中・術後管理の改良による術後継発症の検討. 日顎変形誌, 4, 108-114 (1994).
- 2) 高橋 克, 陳 亮宏, 宮木克明, 西田光男, 村上賢一郎, 兵 行忠, 飯塚忠彦: 当科における過去13年間の顎変形症に対する外科的矯正術570例の臨床的検討. 日顎変形誌, 1, 92-98 (1991).
- 3) 久保諒修, 金 建三, 寺野敏之, 鈴木伸二郎, 覚道健治, 虫本浩三, 白数力也, 土井純子, 高橋一郎, 木下善之介: 大阪歯科大学第一口腔外科における顎矯正手術の臨床統計的観察. 日口診誌, 2, 128-137 (1989).
- 4) 山本悦秀, 石川信廣, 鈴木純一, 平塚博義, 永井 格, 小浜源都: 小臼歯部まで延長する下顎枝矢状分割・ミニプレート固定法に関する検討. 日口外誌, 35, 1554-1563 (1989).
- 5) 福田廣志, 橋本賢二, 式守道夫, 上田吉生, 松下文彦, 山口万枝: 日本における下顎に対する顎変形症手術の実態調査, 1. 手術術式, 骨片固定法および顎間固定について. 日顎変形誌, 5, 76-83 (1995).
- 6) Raveh, J., Vuillemin, T., Lădrac, K. & Suffer, F.: New techniques for reproduction of the condyle relation and reduction of complications after sagittal ramus split osteotomy of the mandible. J. Oral Maxillofac. Surg., 46, 751-757 (1988).
- 7) Leonard, M.: Preventing rotation of the proximal fragment in the sagittal ramus split operation. J. Oral Surg., 34, 942 (1976).
- 8) Hiatt, W. R., Schelkun, M. & Moore, D. L.: Condylar positioning in orthognathic surgery. J. Oral Maxillofac. Surg., 46, 1110-1112 (1988).
- 9) Lindqvist, C. & Săderholm, A. L.: A simple method for establishing the position of the condylar segment in sagittal split osteotomy of the mandible. Plast. Reconstr. Surg., 82, 707-709 (1988).
- 10) 道脇幸博: 下顎前突症に対する外科的矯正術(下顎枝斜矢状切離咬合改善術)後の下顎骨の経時的位置変化と後戻りに関する研究. 口科誌, 38, 131-159 (1989).
- 11) Rotskoff, K. S., Herbosa, E. G. & Villa, P.: Maintenance of condyleproximal segment position in orthognathic surgery. J. Oral Maxillofac. Surg., 49, 2-7 (1991).
- 12) Will, L. A., Joondeph, D. R., Hohl, T. H. & West, R. A.: Condylar position following mandibular advancement: Its relationship to relapse. J. Oral Maxillofac. Surg., 42, 578-588 (1984).
- 13) Baume, L. J. & Derichsweiler, H.: Response of condylar growth cartilage to induced stresses. Science., 134, 53-54 (1961).
- 14) 太田 実: 顎間固定法を応用して上下顎近遠心的関係を改変した際におこる顎関節及一二組織変化に関する研究. 日矯歯誌, 6, 1-11 (1936).
- 15) 野口規久男: 外力を与えた際の幼弱ラット下顎頭の研究—³H-thymidine オートラジオグラフィによる観察—. 口病誌, 37, 222-241 (1970).
- 16) Easton, J. W. & Carlson, D. S.: Adaptation of the lateral pterygoid and superficial masseter muscles to mandibular protrusion in the rat. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 97, 149-158 (1990).
- 17) Breitner, C.: Further investigations of bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. Am. J. Orthod., 27, 605-632 (1941).
- 18) Charlier, J. P., Petrovic, A. & Herrmann, S. J.: Effects of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of young rat condyle. Am. J. Orthod., 55, 71-74 (1969).
- 19) Ghafari, J. & Degroote, C.: Condylar cartilage response to continuous mandibular displacement in the rat. Angle Orthod., 95, 49-57 (1986).
- 20) Spitzer, W. J. & Pesch, H. J.: Animal studies of the effects of distal occlusion on the TMJ. Dtsch. Zahnarztl. Z., 46, 585-588 (1991).
- 21) Easton, J. W. & Carlson, D. S.: Adaptation of the lateral pterygoid and superficial masseter muscles to mandibular protrusion in the rat. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 97, 149-58 (1990).
- 22) 葛西一貴: 顎・顔面頭蓋の成長発育に関する四次元的研究—ミニプタの下顎骨に対する成長抑制について—. 日矯歯誌, 43, 157-184 (1984).
- 23) 今村正史: 下顎を偏位させた際のラット下顎頭軟骨の反応. 口病誌, 40, 457-475 (1973).
- 24) 喜久田利弘: 片側歯牙欠損によるサル顎関節の病理組織学的研究. 九州歯会誌, 34, 254-274 (1980).
- 25) 松山達郎: 抜歯による実験的咬合変化が顎関節におよぼす影響に関する病理組織学的研究. 口病誌, 35, 58-72 (1968).
- 26) Curtis, D. A., Kapila, S., Curtis, T. & Miller, A.: Vertical dimension increases in the adult rhesus monkey: a pilot study. J. Prosthet. Dent., 67, 701-707 (1992).
- 27) Gazit, D., Ehrlich, J., Kohen, Y. & Bab, I.: Effect of occlusal (mechanical) stimulus on bone remodelling in rat mandibular condyle. J. Oral Pathol., 16, 395-398 (1987).
- 28) 上保 基: 下顎の側方偏位がラット下顎頭の細胞動態に及ぼす影響に関する研究. 歯学, 79, 1521-1546 (1992).
- 29) 水野 修: フーリエ変換による上顎犬歯の性別判定. 日大歯学, 64, 874-883 (1990).
- 30) 刀根 薫: BASIC [改訂版], 第2版, 91-100頁, 培風館, 東京, 1991.
- 31) Trauner, R., Austria, G. & Obwegeser, H.: The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 10, 677-689 (1957).
- 32) Dal Pont, G.: Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. J. Oral Surg., 19, 42-47 (1961).
- 33) Obwegeser, H.: The indications for surgical correction of mandibular deformity by sagittal splitting technique. Brit. J. Oral Surg., 1, 157-171 (1964).
- 34) Isaacson, R. J., Kopytov, O. S., Bevis, R. R. & Waite, D. E.: Movement of the proximal and distal

- segments after mandibular ramus osteotomies. *J. Oral Surg.*, 36, 263-279 (1978).
- 35) Nicerson, J. W.: Stabilization of the proximal segment in sagittal splitosteotomy. A new technique. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 41, 683-685 (1983).
- 36) 長坂 浩: 骨格型下顎前突症の顎矯正手術前後の下顎頭位に関する研究. *日口外誌*, 39, 623-638 (1993).
- 37) 石井浩之, 平野裕士, 竹之下康治, 嶋田 誠, 岡増一郎: 下顎枝矢状分割を施した下顎前突症症例の術前術後における顎関節の検討—軸方向X線規格写真を中心に—. *日口外誌*, 34, 1316-1324 (1988).
- 38) Petersson, A. & Hogeman, K. W.: Radiographic changes of the temporomandibular joint after oblique sliding osteotomy of the mandibular rami. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.*, 18, 27-31 (1989).
- 39) Epker, B. N. & Wessberg, G. A.: Mechanisms of early skeletal release following surgical advancement of the mandible. *Br. J. Oral Surg.*, 20, 175-182 (1982).
- 40) Komori, E., Sagara, N. & Aigase, K.: A method for evaluating skeletal relapsing force during maxillomandibular fixation after orthognathic surgery: a preliminary report. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100, 38-46 (1991).
- 41) 石井宏昭: 外側骨片位置復元法を応用した下顎枝矢状分割ネジ止め固定術の術後変化に関する研究. *日顎変形誌*, 2, 97-116 (1992).
- 42) 大倉秀一郎: ビタミンDの成長期下顎頭に及ぼす影響に関する実験的研究. *九州歯会誌*, 40, 1245-1268 (1986).
- 43) 中園志保: 顎骨の成長に関するX線的, 光頭的ならびに走査電顕的研究—食物の硬軟による下顎頭の変化—. *九州歯会誌*, 45, 1-23 (1991).
- 44) 垣田高夫: フーリエ解析と超関数, 第1版, 8-31頁, 日本評論社, 東京, 1994.
- 45) Halazonetis, D. J., Shapiro, E., Gheewalla, R. K. & Clark, R. E.: Quantitative description of the shape of the mandible. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 99, 49-56 (1991).
- 46) Pete, E. L., Krishan, K. K. & Howard, H. C.: A cephalometric study of mandibular cortical bone thickness in dentulous persons and denture wearers. *J. Prosthet. Dent.*, 43, 89-94 (1980).
- 47) Lestrel, P. E., Bodt, A. & Swindler, D. R.: Longitudinal Study of Cranial Base Shape Changes in *Macaca nemestrina*. *Am. Phys. Anthropol.*, 91, 117-129 (1993).
- 48) Kasai, K., Richards, L. C., Iwasawa, T. & Townsend, G.: Fourier analysis of dental Arch Morphology in Australian Twins. *J. Dent. Res.*, 72, 669 (1993).
- 49) Lestrel, P. E. & Brown, H. D.: Fourier analysis of adolescent growth of the cranial vault: A longitudinal study. *Human Biol.*, 48, 517-528 (1976).
- 50) Lestrel, P. E. & Moore, R. N.: The cranial base in fetal *Macaca nemestrina*: A quantitative analysis of size and shape. *J. Dent. Res.*, 57, 395-401 (1978).
- 51) Öberg, T., Carlson, G. E. & Fajers, C. M.: The temporomandibular joint, A morphologic study on a human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 29, 349-384, 1971.
- 52) 森沢佐歳: 北陸日本人下顎骨の男女差について. *新潟医学会雑誌*, 95, 669-675 (1971).
- 53) 杉崎正志, 鈴木公仁子, 伊介昭弘, 田辺晴康, 加藤 征: 日本人晒浄頭蓋骨における顎関節の観察, 第2報, 顎関節硬組織の変化について. *口科誌*, 39, 287-301 (1990).
- 54) Watt, D. G. & Williams, H. M.: The effects of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and maxilla of the rat. *Amer. J. Orthod.*, 73, 895-928 (1951).
- 55) 新名正由: 軟骨代謝—研究の進歩とその臨床的意義—. *日整会誌*, 61, 975-989 (1987).
- 56) Donohue, J. M., Buss, D., Oegema, T. R. & Thompson, R. C.: The effect of indirect blunt trauma on adult canine articular cartilage. *J. Bone Joint Surg.*, 65-A, 948-957 (1983).
- 57) Radin, E. L., Martin, R. B., Burr, D. B., Caterson, B., Boyd, R. D. & Goodwin, C.: Effects of mechanical loading on the tissues of the rabbit knee. *J. Orthop. Res.*, 2, 221-234 (1984).
- 58) 久保俊一: ラット関節軟骨損傷後の修復過程における電子顕微鏡学的研究. *日整会誌*, 57, 167-185 (1983).

An Experimental Study of Condylar Changes After Expansive Loading on Temporomandibular Joint Nario Matsumoto, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Juzen Med Soc., **104**, 689—702 (1995)

Key words mandible, temporomandibular joint, condyle, Fourier analysis, condylar cartilage

Abstract

Alterations of load on a mandibular condyle are thought to be a major cause of changes in articular cartilage layer of the temporomandibular joint (TMJ). Some organ culture studies have been demonstrating bone formation in osteogenic tissue under prompt tension stresses. Although optimal load influence the remodelling ability of skeletal joints, pathogenesis of the condylar resorption or remodelling mechanism is still unknown. The purpose of this study was to elucidate the biological mechanism of remodelling in condyle on hamster mandibles. Experimental animals comprised 60 hamsters. The animals were divided into control group (25) and expand group (35). Stainless steel wire was applied to the expand group. lateral load, 2mm expansion width between bilateral mandibular body, was given to hamsters. Postoperative assessment was achieved at 3-day, 1 week, 2 week, 4 week, 8 week, respectively. Sacrificing specimens were 5 hamsters from control group and 7 hamsters from expand group. Gross morphological changes on mandibular condyle was evaluated by frontal X-ray pictures and Fourier analysis to lateral condylar figure. Changes of cartilage layer were also evaluated histologically. Lateral condylar dislocations were observed only on 3-day specimens. The condylar figure of expand group became closer semicircle at the 2-week specimen. Four weeks postoperatively, the condylar figure switched over closer circle. In the control group, the upper views of the condyle were almost all of a long elliptical shape or an elliptical shape. In the expand group, the upper views of the condyles have changed from a long elliptical shape to a tear drop shape. Histology of expand group, disappearance of fibrocartilage on its external aspect was observed at an early phase. One week postoperatively, recovery of condylar cartilage thickness was observed. Four weeks postoperatively, a cluster formation of the condylar cartilage was observed from external aspect. Eight weeks postoperatively, disappearance of cartilage cells were observed from its external aspect. From these results, it was suggested that adaption of the condylar cartilage might be taking major role on remodelling ability of the condyle.