咬合性外傷の治癒経過に関する実験的研究

寺 坂 章

大阪歯科大学歯周病学講座

(主任・指導：山岡 昭教授)

(昭和59年9月20日受付)

A Study on Healing Progress of Traumatic Lesion

Akira TERASAKA

Department of Periodontology, Osaka Dental University

(Chief and Director : Prof. Akira YAMAOKA)

The purpose of the present investigation in monkeys was to analyze the effect on periodontal lesion induced by a occlusal trauma, when the traumatic occlusion is eliminated. Trauma from occlusion was produced with cast gold high crown on each posterior tooth (M_2) of monkeys.

Initially, traumatic occlusion was given on the right posterior tooth (M_2). The traumatic occlusion was removed from the tooth by occlusal adjustment 12 weeks post-operating.

During experimental periods, monkeys were brushed the teeth and gingiva every 3 days. Oral examination was made every one week to check the taken to investigate bone and periodontal space changes. Radiographic examination was carried out

once a week during experimental periods (70 weeks). Standardized radiographs were analyzed with Photo-Pattern-Analyzer and X-Y Recorder.

The results obtained were as follows :

1. No inflammatory change of the gingiva around the experimental teeth was observed.
2. Bone resorption and widened periodontal ligament space were observed radiographically after cementing high crown. Bone resorption of experimental tooth was markedly increased and periodontal ligament space was widened 8 weeks post-operating.
3. Removal of the occlusal trauma from each experimental tooth resulted in a gradually decreased bone resorption and periodontal ligament space.

Key words : Trauma from occlusion, Standardized radiograph, Regeneration

要旨：日本ザルを用い、その下顎右側第2大臼歯に咬合高径を高めた鑄造冠を装着し、当該歯部に咬合性外傷を惹起せしめ、その後、咬合調整によって外傷性咬合を除いた後の回復状態を臨床的およびX線規格写真学的に観察するとともに歯槽骨のひずみ量の測定を行なった。

その結果、実験期間を通じて、臨床所見とくに歯肉炎症指数、ポケットの深さおよび歯肉溝浸出液量の測定結果などから歯肉に炎症症状は認められなかった。

一方、X線規格写真およびその写真を分析した結果より、鑄造冠装着後8週目までは、根分岐部歯槽骨、歯根膜腔および槽間中隔骨頂部のX線透過性が高くなっていくのが顕著に認められたが、8週目以降から12週目にかけてはそのX線透過性の増加率は少なかった。つぎに咬合調整後の回復経過については、調整後8週から12週目にかけて被験歯の上述したX線透過部の顕著な減少がみられたが、それ以後の減少率は緩慢であった。

本論文の要旨は、第20回秋季日本歯周病学会(1977年10月20日、東京)、第22回春季日本歯周病学会(1979年5月20日、千葉)と第322回大阪歯科学会例会(1984年1月21日、大阪)において発表した。

他方、歯冠部に荷重を加えたとき、根分岐部に最も大きなひずみが生じることが確認できた。

索引用語：咬合性外傷，X線規格写真，再生

緒 言

歯周疾患の原因は、古くから局所的原因と全身的原因とに大別されているが、現在では局所の因子がその主役であり、全身的因子は歯周疾患を増悪させる修飾因子にすぎないとされている。とくに、局所の因子のなかでも歯周組織に宿主反応としての炎症をもたらす口腔内微生物すなわち歯垢を中心とした炎症性因子と、歯周組織を器械的に傷害する力学的な因子すなわち外傷性因子との2つに大別できる。

さて、歯周疾患の発症因子としての外傷性因子について歴史的に展望してみると、まず20世紀の初期に Karolyi, M. (1901)¹⁾ が提起し、その後 Stillman, P.R. (1917)²⁾ によって外傷性咬合という言葉が提唱されて以来、咬合性外傷について各研究者により様々な検索がなされてきた³⁻⁹⁾。

しかし、咬合性外傷について研究を行う場合、多くの制約をうけることは周知の通りである。たとえば、第1に、ヒトにみられるのと同じような病変を実験動物に起こさせることは極めて困難であることがあげられる。第2に、他の因子を除外し、外傷性咬合が単独で歯周組織破壊にどのような影響を及ぼすかを解明することはさらに困難である。第3に、咬合性外傷を取り除いた時の歯周組織の変化を観察するためにはかなり長期間を要するなどのことが挙げられる。このようなことから、咬合性外傷の回復に関する研究としては、Lindhe, J. & Ericsson, I. (1982)¹⁰⁾、Polson, A.M., Meitner, S.W. & Zander, H.A. (1976)¹¹⁾、Kantor, M., Polson, A.M. & Zander, H.A. (1976)¹²⁾ の報告があるにすぎない。

そこで、今回著者は、日本ザルの大白歯に咬合高径を高めた鑄造冠を装着して人工的外傷性咬合を生じさせて、咬合性外傷がどのような機序で起こるかを観察するとともに、装着した鑄造冠を咬合調整して、咬合性外傷を取り除いた場合、歯周組織にどのような修復反応が現われるかを、規格X線写真ならびに臨床的所見によって経過的に観察し、また、規格X線写真の変化をより客観的にとらえるために、Photo pattern analyzer によって等濃度分析を行い、さらに歯に垂直荷重を加えた場合の歯槽骨のひずみ量の大きさを観察して、ひずみ量とX線透過像との関連性を明らかにしたので、その結果につい

て報告する。

実験動物

全身的に異常がなく、両側の下顎第3大臼歯が萌出した、正常な永久歯歯列を有する日本ザル7頭を用いた。

飼料として、サル用固型飼料(オリエンタル社製)、りんご、かきおよびいも等の季節の果物や野菜と水道水とを与えた。

実験方法

実験開始に先立って、ブラッシングおよびスクレーピングを行い、できるだけ歯垢および歯石の除去につとめた。すなわち、Lõe, H. & Silness, J. (1967)¹³⁾ (1963)¹⁴⁾ の Gingival Index (GI) と Green, J.C. & Vermillion, J.R. (1960)¹⁵⁾ の Oral Hygiene Index (O.H.I.) および PERIOTRON® HAR-600 (HARCO ELECTRONICS LIMITED 製) を用いて¹⁶⁾ G.C.F. 値 (Gingival crevicular fluid 値) を一定値以下になるようにした。

右側下顎第2大臼歯を被験歯とし、左側下顎第2大臼歯は対照歯とした。すなわち被験歯に歯軸方向(歯冠-歯根方向)に外傷性咬合が加わるように鑄造冠を作製し、アイオノマーセメントで支台歯に合着した。

なお、鑄造冠の維持をよくするために、両隣接面のみ歯肉縁部まで支台形成し、また、冠縁による歯肉の刺激を避けるため、唇舌側部の冠縁を約1.5mm歯肉縁上に設定した。

また、鑄造冠の作製には、あらかじめ作っておいたレジン製各個トレーによって寒天・アルギン酸の連合印象を行い、硬石膏で作った作業用模型を Gysi の平均値咬合器に通法に従って装着し、ガイドピンを1.5mm高めてワックスパターンを作製し、金合金(三金工業社製タイプⅢ)で鑄造した。

鑄造冠装着日から12週間咬合性外傷の状態を観察し、ついで咬合調整を行ってさらに58週間咬合性外傷の回復の経過を観察した。

なお、咬合調整の際には、支台形成前の考究用模型を参考に、咬合紙を用いて調整すると同時に、エアーブラシを用いて機能的な咬合調整を行い、外傷性咬合が働かないようにした。

Fig. 1 Observation periods

また、全観察期間を通じて、口腔内全体を染色液 (John O. Butler 社製 Red-Cote) にて染色し、3日毎にブラッシングを行い、歯肉に炎症を生じさせないように配慮することにより、歯周組織、とくに歯肉を臨床的に正常な状態に保った。

観察方法

鑄造冠装着後1週間ごとに、観察期間中を通じて次の項目について診査した (Fig. 1)。

1. 体重の変化：体重計により計測した。
2. 口腔内の状態：Red-Cote による染色前・後の口腔内カラースライド写真の撮影を行い、記録した。
使用カメラはメディカルニッコールで、倍率を1倍にし撮影した。フィルムはフジクローム 100を用いた。
3. 歯垢の沈着状態：Green, J.C. & Vermillion, J.R. (1960)¹⁵⁾の O.H.I. にて評価をした。
4. 歯肉の状態：Löe, H. & Silness, J. (1967)¹³⁾ (1963)¹⁴⁾の Gingival Index を用いて評価した。
5. ポケットの深さ：被験歯および対照歯の近心・遠心・頬側および舌側の4点をポケットプローブ (山浦製作所製) によって計った。
6. 歯肉溝滲出液量：被験歯および対照歯の頬側歯肉溝からの滲出液^{17,18)}を通法に従って PERIOTRON® を用いて3回測定し、その平均値を求めた。
7. 規格X線写真：被験歯および対照歯の歯根膜腔や、周囲の歯槽骨の変化を観察するため、規格X線写真を撮影した。

規格X線撮影装置については、Irwin, J.P., Victor, E.B. & Alan, B.S. (1971)¹⁹⁾、川崎 (1967)²⁰⁾および民上 (1982)²¹⁾等の報告があるが、今回著者は民上 (1982)²¹⁾の考案したものを用いた。

なお、用いたX線発生装置は、ORAX (モリタ社製) で、これに 200 mm のロングコーンを装着して使用 (管電圧 70 kVp, 管電流 10 mA で 0.7 sec. 曝射) した。また、

Fig. 2 Measuring area of bone absorption

フィルムは小児サイズ (24×30 mm) X線フィルム (阪神技術研究所社製ブラック BCW) を使用した。

フィルムの現像は民上 (1982)²¹⁾の行った方法に準じた。すなわち、自動現像器 (フジ社製) を使用するなど規格化をはかった。

さらに、現像したX線フィルムを、より客観的にとらえるために Photo pattern analyzer (Applied electric Lab. Co., LTD. 製 Model PPA-250 MFG No. 124) を用いて等濃度分析を行った。

その際の機器の設定条件として、根分岐部の変化がよく観察できるアルミ斜面の厚さ 4 mm 以下と同じ濃度幅で、また、歯根膜空隙の変化を明確にできるアルミ斜面の厚さ 4.5 mm 以下と同じ濃度幅の2種類を設定した。

8. 根分岐部のX線透過面積：規格X線写真を日本光学社製万能投影機 (Profile Projector Model 6C) を用いて10倍に拡大し、被験歯の根分岐部における経過的な歯槽骨のX線透過面積を計測した。

計測範囲は Fig. 2 に示すように、根分岐部の歯冠側に接線を引き、接点を中心に横 (近遠心方向) に 1.5 mm、縦 (歯軸方向) に 1.0 mm の範囲とした。

9. 歯の沈下：規格X線写真を利用して、前述の根分岐部のX線透過面積の測定と同様に万能投影機にて10倍に拡大し、測定した。すなわち、右側第1大臼歯と第3大臼歯との咬頭頂を結ぶ直線から被験歯の冠縁までの垂直距離を測定した (Fig. 3)。

Fig. 3 Measuring method of depressing tooth

Fig. 4 Measuring position of strain gauge and Adding force direction

Fig. 5 Body weight
(changes of experimental periods)

Fig. 6 Gingival index
(changes of experimental periods)

10. ひずみ量：被験歯の近心辺縁隆線、遠心辺縁隆線および中央窩に垂直荷重を加えた時の、被験歯の近心側および遠心側の槽間中隔部ならびに根分岐部の歯槽骨に生ずる歯軸方向のひずみ量を測定した。

すなわち、ケタラール（三共株式会社製動物用ケタラール 50）による全身麻酔（0.1～0.2 ml/体重 kg；筋肉内注射）下で頸動脈の切断によって失血死させて摘出した下顎骨を、そのオトガイ部において左右側の下顎骨体に切断、分離した。

ついで、歯科用トリマーを用いて下顎骨体を矢状断し、その断面骨表面にストレインゲージ（単軸ストレインゲージ；B-FAE-1S12-T11 W 03, 新興通信工業製）を貼布した（Fig. 4）。

なお、ひずみ量の測定は、杉村（1979）^{22）}の方法に準じて行った。

実験成績

1. 鑄造冠装着後や体重の減少傾向がみられたものの、その後は徐々に増加の傾向を示し（Fig. 5）、全観察期間を通じて顕著な変化はみられず、しかも、全身状態

も良好であった。

2. 口腔内とくに歯肉に関しても、肉眼的所見による異常はとくに認められなかった。

3. 歯垢の沈着量も軽微であり、Debris Index の値は 0.5～1.3 であった。Calculus Index の値は 0～0.2 であった。

しかしながら、実験に先立って行った前準備期間中に徹底したブラッシングおよびスクレーリングを行い、歯垢の沈着量を 0 にした状態で実験を開始したが、観察期間中とくに下顎前歯部舌側にわずかの歯石沈着がみられた。この場合、ハンドスクレーラーにて歯石除去を行った。

一方、歯垢の沈着は下顎臼歯部舌側にみられたが、3 日目毎のブラッシングにより除去した。全体的に歯垢の沈着量は軽微であり、観察期間中の O.H.I. は 0.7～1.5 で、大きな変化は示さなかった。

4. 歯肉炎症指数については、観察期間中を通じて、被験歯側および対照歯側ともに大きな差はなく、常に 1 以下を示した（Fig. 6）。

Fig. 7 Pocket depth
(changes of experimental periods)

5. ポケット測定の結果、実験開始前のポケットの深さは約 1 mm で、被験歯および対照歯ともに観察期間中ほとんど変動を示さなかった (Fig. 7)。

6. 歯肉溝浸出液量 (G.C.F. 値) については、観察期間中を通じて多少の変動がみられたが、被験歯および対照歯ともに 5 前後の値を示していた (Fig. 8)。

7. 規格 X 線写真の経時的な変化について、代表的なものを Fig. 9~21 に示した。この規格 X 線写真をより客観的に観察するために、Photo Pattern Analyzer にて分析したもの (以下 A 分析図と称す) が Fig. 22~34 であり、また、歯根膜空隙の変化をより明確にするために、観察方法の項ですでに記述したように、方向および濃度幅を変えて分析したもの (以下 B 分析図と称す) が Fig. 35~47 である。

まず、対照歯について記述すると、観察開始日および最終観察日を比較した場合、規格 X 線写真 (Fig. 9, 10)、A 分析図 (Fig. 22, 23) および B 分析図 (Fig. 35, 36) とともに両者の間にはほとんど差異は認められなかった。

つぎに、被験歯を経時的に規格 X 線写真、A 分析図および B 分析図とを比較してみると、被験歯に鑄造冠を装着した直後の規格 X 線写真 (Fig. 11)、A 分析図 (Fig. 24)、B 分析図 (Fig. 37) と、被験歯に鑄造冠を装着して 1 週間を経過したものを比較すると、後者にやや歯根膜空隙部に拡大が認められたにすぎなかった。しかし、鑄造冠装着後 2 週目の規格 X 線写真 (Fig. 12) では、歯根膜空隙の拡大とともに根分岐部歯槽骨の X 線透過性も増加してきている。A 分析図 (Fig. 25) においても、根分岐部歯槽骨の X 線透過性の増加は明確であり、B 分析図 (Fig. 38) では槽間中隔部骨頂付近の歯根膜空隙の拡大がやや増加しているのが認められた。

Fig. 8 G.C.F. value
(changes of experimental periods)

3 週目では根分岐部歯槽骨の X 線透過性がさらに顕著となり、歯槽硬線がやや消失してきていた。

Fig. 13 は 6 週目の規格 X 線写真であるが、この時期より近心側と遠心側との槽間中隔部の歯槽骨の垂直的な X 線透過像がやや認められ、8 週目 (Fig. 14) でその傾向がさらに著明になるとともに根分岐部の歯槽骨の X 線透過性が増大し、11 週目 (Fig. 15)、12 週目では槽間中隔部の歯槽骨においても X 線透過性の増大が著明になってきている。

一方、A 分析図においても明らかなように、鑄造冠装着後 6 週目 (Fig. 26) で、それ以前に比較して根分岐部の歯槽骨の X 線透過性がさらに増加し、8 週目 (Fig. 27)、11 週目 (Fig. 28) に至っては根分岐部の歯槽骨の X 線透過性の顕著な増大のみならず、近心側と遠心側との槽間中隔部の歯槽骨の X 線透過性も増大してきているのが確認できた。

他方、B 分析図でも A 分析図の場合と同様に、鑄造冠装着後 6 週目 (Fig. 39) でそれ以前に比較して歯根膜空隙の X 線透過性が増し、8 週目 (Fig. 40) では X 線透過性の度合いがさらに著明になり、11 週目 (Fig. 41) では、それがより顕著に認められた。

以上が被験歯に咬合高径を高めた鑄造冠を装着し、咬合性外傷を惹き起こさせたときの規格 X 線写真および分析図であるが、つぎに、咬合調整を行うことによって、咬合性外傷を取り除き、その回復の経過を規格 X 線写真および分析図で観察した結果について記述することにする。

すなわち、咬合調整後 3 週目までは、咬合調整を行う前の状態と、規格 X 線写真、A 分析図および B 分析図ともにさしたる変化は認められなかった。しかし、咬合調

Fig. 48 Absorption area of bone
(changes of experimental periods)

Fig. 49 Strain of mandible with application
of vertical load to tooth on sagit-
tally-cut mandible
(adding force to mesial marginal ridge)

整後4週目 (Fig. 16, 29, 42) ごろから歯根膜腔と根分岐部の歯槽骨のX線透過性の減少が明らかになり、咬合調整後7週目の規格X線写真 (Fig. 17) では、根分岐部の歯槽骨のX線透過性の改善が顕著であり、しかも歯槽硬線もやや認められた。一方、同時期のA分析図 (Fig. 30) では、根分岐部および両隣接部の歯槽骨のX線透過性の減少が観察でき、他方、B分析図 (Fig. 43) では、遠心側歯根膜腔のX線透過性の減少が認められた。

12週目では、規格X線写真 (Fig. 18), A分析図 (Fig. 31) およびB分析図 (Fig. 44) とともに7週目のものと比較して、歯根膜空隙と根分岐部の歯槽骨のX線透過性がわずかに改善されてきていた。

その後、1週目毎の経過では著明な変化は認められなかったが、咬合調整後25週目の規格X線写真 (Fig. 19), A分析図 (Fig. 32) およびB分析図 (Fig. 45), さらに、咬合調整後42週目の規格X線写真 (Fig. 20), A分析図 (Fig. 33) およびB分析図 (Fig. 46) でも明らかに、週を追って確実に歯根膜空隙と根分岐部の歯槽骨とのX線透過性が改善され、最終観察日である咬合

Table 1 Score of depressing tooth mean value ($\bar{x}$), standard deviation (S.D.)

(mm)		
weeks	$\bar{x}$	S.D.
0	4.739	0.018
2	4.743	0.032
6	4.759	0.026
8	4.754	0.012
11	4.755	0.031
occlusal adjustment		
4	4.758	0.013
8	4.756	0.023
11	4.755	0.032
25	4.760	0.014
42	4.758	0.038
58	4.753	0.018

調整後約1年目、すなわち、58週目の規格X線写真 (Fig. 21), A分析図 (Fig. 34) およびB分析図 (Fig. 47) では、鑄造冠装着直後とほぼ同様に来て歯根膜空隙と根分岐部の歯槽骨とのX線透過性が改善されていた。

8. 根分岐部の歯槽骨のX線透過部を万能投影機にて10倍に拡大し、その面積を計算した結果、Fig. 48に示すように、冠装着直後から咬合調整を行う12週目にかけて著しくX線透過面積が増加し、咬合調整後も12週目にかけて透過面積の著明な減少が認められた。それ以降、すなわち咬合調整後13週目から58週目にかけて、徐々にではあるが透過面積の減少傾向が認められた。

9. 被験歯の沈下に関して、咬合調整を行うまでの沈下はほとんど認められなかった (Table 1)。

10. 近心辺縁隆線、遠心辺縁隆線および中央窩のそれぞれに垂直荷重を加えた時の被験歯の近心側の槽間隔部、遠心側の槽間隔部および根分岐部の歯槽骨に生ずるひずみ量を測定したところ、どの部位に荷重を加えても、根分岐部において最も大きなひずみが、そして遠心側の槽間隔部では最も小さなひずみが現われた (Fig. 49~51)。

考 察

1. 実験方法について

実験動物の歯周組織に対して外傷性的変化を惹き起こさせる研究はこれまで数多くなされ、その中、外傷性咬合を惹き起こさせる方法についてもいろいろの手段が用いられてきた。たとえば、その一つに歯に咬合を高めた

Fig. 50 Strain of mandible with application of vertical load to tooth on sagittally-cut mandible

(adding force to distal marginal ridge)

歯冠修復物を装着する方法^{3,6,7,22~25)}があり、その修復物としてはアマルガム、インレーおよびクラウンなどを利用したものが多い。また、その他の方法として矯正装置を応用したもの^{9,26,27)}、あるいは歯間部にフロスを結紮したり楔を挿入する方法^{4,5,29)}などがある。

今回著者は、鑄造冠を装着する方法を用いたが、この方法には経時的に被験歯が沈下しやすく、結果的に咬合力が外傷的に働かなくなりやすいという欠点があると言われている^{25,26)}。しかしながら、矯正装置を応用したものや結紮したり楔を挿入したりする方法では、被験歯の沈下という欠点は少ないが、装置の調整が複雑であったり、加わる力の方向や強さをコントロールするのが難しいとされている。その点、鑄造冠による方法は、咬合の高さや力の方向を比較的容易に把握することができるという利点があり、今回、著者が用いた理由もここにある。

ところで、鑄造冠を装着して咬合性外傷を惹き起こさせるという方法については、過去において多くの場合、鑄造冠の高さを高めるとともに近心隣接歯の歯冠を切断して鑄造冠を近心方向へテラス状に延長し、被験歯に外傷性の咬合力を働かせる方法が多くとられてきた。しかし、この方法によると被験歯が近心に傾斜し、被験歯の動揺および沈下の程度が大きくなり、咬合力が外傷的に働かなくなる傾向がみられる。この欠点を防ぐため、著者は被験歯の両隣接歯の接点度を回復させるような鑄造冠を装着し、外傷性に働く咬合力をできるだけ歯軸方向に限定し、被験歯の傾斜という状態をなくするようにした。その結果、被験歯の沈下実験で記述したように、鑄造冠装着時と咬合調整を行った時点での被験歯の沈下はほとんど認められなかった。しかも鑄造冠装着時から経

Fig. 51 Strain of mandible with application of vertical load to tooth on sagittally-cut mandible

(adding force to central fossa)

過的に撮影した規格X線写真において、被験歯の根分岐部等の透過性が増加していることから、咬合調整を行うまでの間常に咬合性外傷が働き続けていたと考えられる。

さて、近年になって、咬合性外傷に炎症が加わった場合、放置すれば不可逆的な歯周障害をもたらすということが次第に定着してきている。そこで、実験動物の口腔内状態を良好に保つため、3日目毎に麻酔下でブラッシングを行った。これよりさらに頻回ブラッシングを行えば良いと思われるが、実験動物が頻回の麻酔によって全身的な衰弱をきたすことからこの間隔が限度と考え、3日目毎の口腔内清掃にとどめた。しかしながら、O.H.I., GI, ポケットの深さおよび G.C.F. 値が実験期間を通じてあまり変化を示さなかったことより、この間隔での口腔清掃でも十分に良好な口腔内清潔状態が維持できたと考えられる。

つぎに、咬合調整についてであるが、加藤 (1978)³⁰⁾が述べているように、咬合調整とは、歯質（とくに早期接触部）を選択的に削合し、歯に加わる外傷を取り除き、歯周組織に生じた咬合性外傷を改善するとともに、咀嚼筋や顎関節の異常の原因を除いて、咀嚼系全体が調和のとれた円滑な機能を営めるようにすることであり、その基本として早期接触部を削除することである。しかし、これとともに側方圧をできるだけ取り除き、安定した咬頭嵌合位を確立させなければならない。その上、このような調整だけではなく、削合後の歯冠形態の調整をも必要となってくる^{31,32)}。このような理論に基づいて、咬合調整を行った後、さらに動的な経過を診査し、より細部にわたった咬合調整を行うために、エアブラシを用いて鑄造冠を曇らせ、咬合後光沢を生じた面についての調

整を行った³³⁾。

以上のような咬合調整を行うことにより鑄造冠装着前と同様な咬合関係がもたらされ、そのことが規格X線写真における歯根膜空隙、根分岐部歯槽骨および槽間中隔部歯槽骨の透過性の改善となって現われてきたと考えられる。

一方、規格X線撮影装置については、民上(1982)²¹⁾の方法を用いたが、この装置を用いた理由は、製作が容易であるとともに規格精度が極めて高く、強固であり、実験期間中を通じて破損することなく使用可能なためである。このようにX線写真の規格化をはかるとともに、さらに規格X線写真をより客観的に観察するために Photo Pattern Analyzer で分析を行った。しかも、主に根分岐部の透過性を観察する分析図 A および歯根膜空隙の透過性を観察する分析図 B の二方向より分析した。

他方、実験動物の局所的、全身的变化を調べ、異常がないかを確認する目的で、体重の測定、口腔内カラー写真、ポケット測定、歯肉溝浸出液量の測定などを行った。歯肉に炎症が生じている場合、その歯肉炎症指数が増加するに伴い歯肉溝浸出液量も増加する²⁵⁾という報告があり、それらを総合して今回の実験動物に全身的な異常が生じなかったか、また歯肉に炎症が生じていないかを確認した。

さらに、歯周ポケットの測定を行い、咬合性外傷それのみでは歯肉炎や歯周ポケットなどの炎症性変化を生じないという先人達の報告^{3,7,27,34)}と一致するかどうかを検索した。

また、ひずみ測定については、ストレインゲージを用いて歯および顎骨表面の変形状態を研究した報告^{22,35-37)}は多いが、下顎骨体の矢状断表面のひずみ量を測定した実験²²⁾は少ない。

著者は、歯に垂直荷重を加えたとき、歯槽骨のどの部位に著しく大きなひずみが現われるかを明らかにするために、サルの下顎骨体の矢状断表面にストレインゲージを貼布して測定したが、この方法は歯根周辺の力学的メカニズムを解明するためには非常に有効な方法であると考えられる。

2. 実験成績について

観察期間を通じて、実験動物の口腔内状態および全身状態はともに異常はなく、良好な経過をたどった。

Glickman, I. & Smulow, J.B. (1962)³⁸⁾ (1965)³⁹⁾ (1967)⁴⁰⁾によるアカゲザルを用いた動物実験とヒトの剖検結果とから、通常は歯周組織に炎症が存在し、さらに咬合性外傷が合併するとその影響により直接歯根膜へ炎

症が波及し、その結果深い骨縁下ポケットや垂直性骨吸収が生ずると述べているが、本実験では3日目毎のブラッシングおよび歯石沈着の状態に応じたスクレーリングによって発炎症因子を可及的に除去することにつとめた。その結果、O.H.I. および GI 値も実験開始日から実験終了日までさしたる変化は認められず、さらに炎症状態を生じていないことを確認するために、近年、客観的な評価方法とされている歯肉溝浸出液量を測定した。その測定結果も観察開始日から観察終了日までさしたる変化はなく、歯肉の安定した状態が維持できたといえる。このことは、本間(1977)²⁵⁾が報告しているように、歯肉に炎症が生じた場合、歯肉炎症指数は経日的に増加し、同様に歯肉溝浸出液量も増加するという報告と逆説的に一致するものである。

また、ポケットプローブによるポケットの測定結果より、その深さは観察期間を通じて約 1mm 程度を維持し、ほとんど変化はなかった。よって、本実験ではポケットの形成も生じなかったといえる。このことは、咬合性外傷のみによっては歯周ポケットの形成などの炎症性変化が生じないという過去の報告^{3,7,27,34)}とよく一致し、この実験期間を通じて実験動物の口腔内清掃状態は良好であり、歯肉の炎症を伴わず、被験歯に対しては咬合高径を高めた鑄造冠による咬合性外傷のみが生じていたと考えられる。

一方、実験的外傷性咬合における歯周組織とくに歯槽骨の変化について、X線学的に研究したものは少なく、わずかに谷口(1965)²³⁾浦井(1973)⁴¹⁾の報告はあるものの、咬合調整を行って後の回復までを観察しているものは皆無に等しい現況である。そこで、本実験のX線規格写真の観察結果について考察してみると、まず、鑄造冠を被験歯に装着した時点での対照歯の規格X線写真と、実験の経過観察終了時の対照歯の規格X線写真との比較では、両者の間にはほとんど相違はなく、Photo Pattern Analyzer で分析した結果についても両者の間には差異はなかった。これは被験歯に鑄造冠を装着し咬合挙上を行ったために、対照歯が咬合していなかったものの、その期間が12週間と短く、その後正常な咬合関係に回復したことによって廃用萎縮等の変化に陥らなかったと思われる。

つぎに、被験歯については、鑄造冠を装着したのち、規格X線写真では、経過的に根分岐部の透過性が増加し、8週目までは根分岐部の透過性が高くなっていくのが顕著に認められたが、8週目以降から12週目にかけての透過性の増加は少なく、これは咬合性外傷に対する歯

周組織の防禦反応として歯槽骨が緻密になりつつあるのか、また鑄造冠の咬合面に facet が生じたため、咬合高径を高めた鑄造冠の外傷性としての働きが弱まったことに由来するなどが考えられる。しかし、この時点での被験歯の動揺や沈下が認められていないことから、本間ら(1977)²⁵⁾の報告のように、被験歯が沈下することによって外傷性咬合としての働きが無くなったとは考えられない。事実、被験歯の近心・遠心の歯根膜腔も、根分岐部の透過性の増加と同様に、規格X線写真での透過性が増加し、歯根膜腔の幅が増加してきている。さらには、槽間中隔の骨頂部の透過性も増加してきており、これらのことを総合して、明らかに鑄造冠装着後12週目までは、その鑄造冠は外傷性の因子として働いていたと考えられる。

一方、本実験における被験歯周囲の強度の歯槽骨破壊、あるいはそれに伴う被験歯の動揺など重篤な臨床症状は、今回観察できなかったが、より長期の外傷性咬合を加えることにより、さらに広範囲の歯槽骨の透過像と、ひいては、被験歯の動揺も観察できるのではないかと考えられる。

さて、つぎに咬合調整後の歯周組織の回復経過について記述してみると、被験歯に咬合高径の高い鑄造冠を装着し12週目で咬合調整を行ったが、この咬合調整後8週から12週目にかけて被験歯の根分岐部歯槽骨および近・遠心部の歯根膜腔の透過性の顕著な減少がみられた。それ以降、すなわち咬合調整を行って15週目くらいから観察終了の58週目にかけては、ごくわずかずつではあるが被験歯の根分岐部歯槽骨および近・遠心部の歯根膜腔の透過性が次第に減少してきている。この結果より、一旦、咬合性外傷に陥った場合、たとえ咬合調整によってその症状が改善されるとしても、咬合調整後早期に顕著な改善が認められるが、その後改善は緩慢となり、元に復するにはかなり長期を要するのではないかと示唆している。

また、歯が動揺し、その歯根膜腔が拡大している場合でも、歯周組織に炎症が伴っていない場合、咬合調整を行うことによって歯根膜腔が正常の状態に回復するというLindhe, J. & Ericsson, I. (1982)¹⁰⁾の報告、あるいはGöteborgs大学におけるPost-Graduate Courseでの研究報告(1982)⁴²⁾で述べられているのと同様な結果が本実験でも確認することができた。すなわち、咬合性外傷に陥った歯であっても、その歯周組織に炎症が伴っていない、しかも骨破壊の程度が軽度であり、歯根膜腔の拡大等による歯の動揺が生じている場合、咬合調整を

行うことにより、その歯の動揺が減少し、また歯根膜腔の幅も改善される一可逆的である—と考えられる。

以上、今回の実験では咬合性外傷がどのような機序で起こり、また、咬合性外傷を取り除いた場合、歯周組織にどのような修復反応が起こるのかについて、主に規格X線写真撮影とその分析図による観察を行ったが、病理組織学的検索を加えるのが今後の課題であるといえる。

最後に、咬合高径の高い鑄造冠を装着したとき、被験歯周囲の歯槽骨にどのようなひずみが生じているかを調べるために、矢状断した下顎骨体について、右側下顎第2大臼歯の近心辺縁隆線、遠心辺縁隆線および中央窩のそれぞれに垂直荷重を加えたときの、被験歯の近心側および遠心側の槽間中隔部と、根分岐部の歯槽骨とにおける歯軸方向のひずみ量を、杉村(1979)²²⁾の方法によって測定したところ、どの部位に垂直荷重を加えても、被験歯の根分岐部の歯槽骨に最も大きなひずみが現われた。

この結果は、イヌの下顎骨を用いて実験した杉村(1979)²²⁾の成績と全く同じであった。ヒトとサルおよびイヌとでは、歯の形態および歯冠・歯根長比が異なるが、ヒトについても、著者および杉村(1979)²²⁾が行ったサルやイヌについての実験結果と同じ成績が得られるであろうと思われる。

したがって、咬合高径の高い鑄造冠を装着した場合、早期接触によって咬合性外傷が惹き起こされるときには、その歯の根分岐部の歯槽骨に最も大きなひずみが生じ、その結果根分岐部に相当する歯槽骨に最も大きな障害が現われることは容易に考えられる。

このことは、咬合高径の高い鑄造冠を装着した被験歯の規格X線写真による観察結果、すなわち、X線の透過性の増加が根分岐部の歯槽骨に最も早期に現われ、しかもその程度も他の部位と比較して大きいという事実と一致するものである。

結 論

日本ザルを用い、その下顎右側第2大臼歯に咬合高径を高めた鑄造冠を装着し、当該歯部に咬合性外傷を惹起せしめ、その後、咬合調整によって外傷性咬合を取り除いた後の回復状態を、臨床的およびX線規格写真学的に観察するとともに、歯槽骨のひずみの測定を行った。

その結果、次のような結論を得た。

1. 本実験期間中、サルの全身状態は良好であった。
2. 被験歯について GI, O.H.I., G.C.F. 値、ポケッ

ト測定を行った結果、被験歯歯周組織に歯肉炎などの炎症症状は認められず、被験歯に対して咬合性外傷のみを与えることができた。

3. 咬合性外傷が惹き起こされた12週の間、被験歯の沈下による咬合性外傷の消失は認められなかった。

4. X線規格写真および分析図より、対照側は実験期間を通じて変化は観察できなかった。実験側においては、鑄造冠装着後2週目で、X線的には早くも歯根膜腔の拡大および根分岐部の透過性が認められ、6週を経過すると分岐部の歯槽骨のX線透過性が高度になり、しかも、槽間中隔部の歯槽骨にまでX線透過性が波及していた。

5. 咬合調整後の回復経過についてみると、調整後4週目で歯根膜腔および根分岐部の歯槽骨のX線透過部の改善が認められ、7週目でより明確な改善が認められた。なお、その後は徐々に歯根膜腔および根分岐部のX線透過性が改善される傾向にあった。

6. 被験歯の近心辺縁隆線、遠心辺縁隆線および中央窩に垂直荷重を加えたとき、最も大きなひずみ量を示したのは被験歯の根分岐部に相当する槽内中隔部の歯槽骨であった。

稿を終るにあたり、ご指導とご校閲を賜った山岡 昭教授に深甚の謝意を表します。

また、種々御助言をいただいた生理学教室覚道幸男教授ならびに杉村忠敬講師に感謝し、終始一方ならぬご助言とご鞭撻をいただいた上田雅俊講師はじめ教職員各位に併せて厚く感謝いたします。

引用文献

- 1) Karolyi, M. : Beobachtungen uber Pyorrhoea Alveolaris. Ost. Ung. Vjschr. Zhk., 17 : 279-283, 1901.
- 2) Stillman, P.R. : The Management of Pyorrhea. Dent. Cosmos, 59 : 405-414, 1917.
- 3) Glickman, I. & Leon, A.W. : Role of Trauma from Occlusion in Initiation of Periodontal Pocket Formation in Experimental Animals. J. Periodont., 26 : 14-20, 1955.
- 4) Polson, A.M. : Trauma and Progression of Marginal Periodontitis in Squirrel Monkeys. J. Periodont. Res., 9 : 108-113, 1973.
- 5) Polson, A.M. : Trauma and Progression of Marginal Periodontitis in Squirrel Monkeys. J. Periodont. Res., 11 : 279-289, 1976.
- 6) Waerhaug, J. : Pathogenesis of Pocket Formation in Traumatic Occlusion. J. Periodont., 26 : 107-118, 1955.
- 7) Bhaskar, S.N. & Orban, B. : Experimental Occlusal Trauma. J. Periodont., 26 : 270-284, 1955.
- 8) Coolidge, E.D. : Traumatic and Functional Injuries occurring in the Supporting Tissues of Human Teeth. J. Amer. Dent. Ass., 25 : 343-357, 1938.
- 9) Lindhe, J. & Svanberg, G. : Influence of Trauma from Occlusion on Progression of Experimental Periodontitis in the Beagle Dog. J. Clin. Periodont., 1 : 3-14, 1974.
- 10) Linde, J. & Ericsson, I. : The Effect of Elimination of Jiggling Forces on Periodontally Exposed Teeth in the Dog. J. Periodont., 53 : 562-567, 1982.
- 11) Polson, A.M., Meitner, S.W., & Zander, H.A. : Trauma and Progression of Marginal Periodontitis in Squirrel Monkeys. J. Periodont. Res., 11 : 290-298, 1976.
- 12) Kantor, M., Polson, A.M. & Zander, H.A. : Alveolar bone Regeneration after removal of Inflammatory and Traumatic Forces. J. Periodont., 47 : 687-695, 1976.
- 13) Loe, H. : The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index System. J. Periodont., 38 : 610-616, 1967.
- 14) Loe, H. & Silness, J. : Periodontal Disease in Pregnancy. I. Prevalence and Severity. Acta odont. Scand., 21 : 533-554, 1963.
- 15) Green, J.C. & Vermillion, J.R. : The Oral Hygiene Index. A Method for classifying Oral Hygiene Status. J. Amer. Dent. Ass., 61 : 172-179, 1960.
- 16) 林 和夫, 護邦忠弘, 三瀬博司, 橋本光示, 藤本完次, 民上良徳, 上田雅俊, 今井久夫, 山岡 昭: 歯周疾患における病態の推移とポケット浸出液量との関連性について. 日歯周誌, 19 : 231-238, 1977.
- 17) Brill, N. : Gingival Condition related to Flow

- to Tissue Fluid into Gingival pockets. *Acta odont. Scand.*, 18 : 421-446, 1960.
- 18) 渡辺 久, 石川 烈 : 歯肉溝浸出液の測定法とその意義について. *歯科ジャーナル*, 17 : 225-233, 1983.
 - 19) Irwin, J.P., Victor, E.B. & Alan, B.S. : A Technique for Standardized Serial Dental Radiographs. *J. Periodont.*, 42 : 297-299, 1971.
 - 20) 川崎 仁 : 口内法による個体X線規格撮影とその歯周疾患への応用. *口病誌*, 34 : 164-180, 1967.
 - 21) 民上良徳 : Infrabony pocket への Plaster implant 応用に関する実験的研究. *日歯周誌*, 25 : 9-43, 1982.
 - 22) 杉村忠敬 : 咬合力に対する歯および下顎骨の力学的反応機構に関する実験的研究. *日本補綴誌*, 23 : 512-536, 1979.
 - 23) 谷口 勉 : 補綴学上からみた外傷性咬合の実験的研究. *歯科医学*, 28 : 330-367, 1965.
 - 24) Waerhaug, J. & Hansen, E.R. : Periodontal Changes Incident to Prolonged Occlusal Overload in Monkeys. *Acta odont. Scand.*, 24 : 91-105, 1966.
 - 25) 本間 博, 池田直人, 石川 純 : 実験的咬合性外傷と歯周炎のサル歯周組織破壊に及ぼす影響について. *日歯周誌*, 19 : 220-230, 1977.
 - 26) 本間 博 : 実験的咬合性外傷のサル歯周組織に及ぼす影響に関する研究. *日歯周誌*, 19 : 289-302, 1977.
 - 27) Wentz, F.M., Jarabak, J. & Orban, B. : Experimental Occlusal Trauma Imitating cuspal Interference. *J. Periodont.*, 29 : 117-127, 1958.
 - 28) Glickman, I. & Smulow, J.B. : Adaptive Alterations in the Periodontium of the Phebus Monkey in Chronic Trauma from Occlusion. *J. Periodont.*, 39 : 101-105, 1968.
 - 29) Macapanpan, L.C. & Weinmann, J.P. : The Influence of Injury to the Periodontal Membrane on the Spread of Gingival Inflammation. *J. Dent. Res.*, 33 : 263-272, 1954.
 - 30) 加藤 熙 : 咬合性外傷の治療. *歯科ジャーナル*, 7 : 321-331, 1978.
 - 31) 加藤 熙 : 咬合状態の診査. *歯科ジャーナル*, 5 : 295-307, 1977.
 - 32) 加藤 熙 : 咬合性外傷とその処置—咬合調整. *歯界展望ペリオドンティックスの臨床*, 201-224, 1977.
 - 33) 国島康夫, 黒田昌彦, 小坂橋誠, 谷口威夫 : 咬合調整量をめぐって. *歯界展望*, 60 : 237-256, 1983.
 - 34) Safavi, H., Ruben, M.P., Mafra, E.R. & Bloom, A.A. : Periodontal Traumatism Produced by Sustained Increase in Occlusal Vertical Dimension. A Histopathological Study. *J. Periodont.*, 45 : 207-216, 1974.
 - 35) 天野仁一朗 : 咬合・咀嚼運動および嚥下運動時の顎骨のひずみについて. *歯科基礎誌*, 12 : 52-87, 1970.
 - 36) 宮地建夫 : 咬合圧によって生ずる歪分布からみた動物顔面頭蓋の構造力学的研究. *歯科学報*, 71 : 44-91, 1971.
 - 37) 芳本 忍 : 咬合力に対する下顎骨の力学的反応について. *歯科基礎誌*, 18 : 286-310, 1976.
 - 38) Glickman, I. & Smulow, J.B. : Alteration in the Pathway of Gingival Inflammation into the Underlying Tissues Induced by Excessive Occlusal Forces. *J. Periodont.*, 33 : 7-13, 1962.
 - 39) Glickman, I. & Smulow, J.B. : Effect of Excessive Occlusal Force Upon the Pathway of Gingival Inflammation in Humans. *J. Periodont.*, 36 : 141-147, 1965.
 - 40) Glickman, I. & Smulow, J.B. : Further Observation on the Effect of Trauma from Occlusion in Humans. *J. Periodont.*, 38 : 280-293, 1967.
 - 41) 浦井照彦 : 実験的外傷性咬合による歯周組織の変化に関するX線学的研究. *日歯周誌*, 15 : 173-1973.
 - 42) 林田定昭, 中村正利 : イエテポリ大学歯周病科における Post-Graduate Course. *歯科ジャーナル*, 15 : 615-624, 1982.

図 説 明

Control sites

Fig. 9 Roentgenogram of 0 week after high crown setting

Fig. 10 Roentgenogram of 58 weeks after high crown setting

Experimental sites

Fig. 11 Roentgenogram of 0 week after high crown setting

Fig. 12 Roentgenogram of 2 weeks after high crown setting

Fig. 13 Roentgenogram of 6 weeks after high crown setting

Fig. 14 Roentgenogram of 8 weeks after high crown setting

Fig. 15 Roentgenogram of 11 weeks after high crown setting

Fig. 16 Roentgenogram of 4 weeks after occlusal adjustment

Fig. 17 Roentgenogram of 7 weeks after occlusal adjustment

Fig. 18 Roentgenogram of 12 weeks after occlusal adjustment

Fig. 19 Roentgenogram of 25 weeks after occlusal adjustment

Fig. 20 Roentgenogram of 42 weeks after occlusal adjustment

Fig. 21 Roentgenogram of 58 weeks after occlusal adjustment

Control sites

Fig. 22 Photo-pattern (A) of 0 week after high crown setting

Fig. 23 Photo-pattern (A) of 58 weeks after high crown setting

Experimental sites

Fig. 24 Photo-pattern (A) of 0 week after high crown setting

Fig. 25 photo-pattern (A) of 2 weeks after high crown setting

Fig. 26 Photo-pattern (A) of 6 weeks after high crown setting

Fig. 27 Photo-pattern (A) of 8 weeks after high

crown setting

Fig. 28 Photo-pattern (A) of 11 weeks after high crown setting

Fig. 29 Photo-pattern (A) of 4 weeks after occlusal adjustment

Fig. 30 Photo-pattern (A) of 7 weeks after occlusal adjustment

Fig. 31 Photo-pattern (A) of 12 weeks after occlusal adjustment

Fig. 32 Photo-pattern (A) of 25 weeks after occlusal adjustment

Fig. 33 Photo-pattern (A) of 42 weeks after occlusal adjustment

Fig. 34 Photo-pattern (A) of 58 weeks after occlusal adjustment

Control sites

Fig. 35 Photo-pattern (B) of 0 week after high crown setting

Fig. 36 Photo-pattern (B) of 58 weeks after high crown setting

Experimental sites

Fig. 37 Photo-pattern (B) of 0 week after high crown setting

Fig. 38 Photo-pattern (B) of 2 weeks after high crown setting

Fig. 39 Photo-pattern (B) of 6 weeks after high crown setting

Fig. 40 Photo-pattern (B) of 8 weeks after high crown setting

Fig. 41 Photo-pattern (B) of 11 weeks after high crown setting

Fig. 42 Photo-pattern (B) of 4 weeks after occlusal adjustment

Fig. 43 Photo-pattern (B) of 7 weeks after occlusal adjustment

Fig. 44 Photo-pattern (B) of 12 weeks after occlusal adjustment

Fig. 45 Photo-pattern (B) of 25 weeks after occlusal adjustment

Fig. 46 Photo-pattern (B) of 42 weeks after occlusal adjustment

Fig. 47 Photo-pattern (B) of 58 weeks after occlusal adjustment

CONTROL 0w

Fig. 9

Fig. 22

Fig. 35

CONTROL 59w

Fig. 10

Fig. 23

Fig. 36

0w

Fig. 11

Fig. 24

Fig. 37

2w

Fig. 12

Fig. 25

Fig. 38

6w

Fig. 13

Fig. 26

Fig. 39

8w

Fig. 14

Fig. 27

Fig. 40

11w

Fig. 15

Fig. 28

Fig. 41

4w

Fig. 16

Fig. 29

Fig. 42

7w

Fig. 17

Fig. 30

Fig. 43

12w

Fig. 18

12w

Fig. 31

12w

Fig. 44

25w

Fig. 19

25w

Fig. 32

25w

Fig. 45

42w

Fig. 20

42w

Fig. 33

42w

Fig. 46

58w

Fig. 21

58w

Fig. 34

58w

Fig. 47