原 著

歯槽骨欠損部への多孔質アパタイト顆粒充填に関する組織学的観察

橋 本 マリコ

東京医科歯科大学歯学部第2歯科保存学教室（主任，指導：石川 烈教授）
東京医科歯科大学歯学部口腔解剖学教室（指導：一條 尚教授，山下靖雄教授）

（1989年12月20日 受付）

Observation on Implants of Porous Hydroxyapatite Granules in Periodontal Osseous Defects

Mariko Hashimoto

Department of Periodontology, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Chief and Director : Prof. Isao Ishikawa)

Department of Oral Anatomy, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Directors : Prof. Takashi Ichijo and Prof. Yasuo Yamashita)

The purpose of this study was to observe the regeneration of the periodontal tissue using porous hydroxyapatite granules in experimental periodontal lesions. The upper lateral incisors of three *Macaca fuscatae* were extracted. After a 12-week recovery period, three wall infrabony defects were surgically prepared on the distal surface of the central incisors. In order to accumulate the plaque and cause inflammation, a wire with dental floss was placed inside the defects for a period of four weeks and then removed. Flap operations were performed and porous hydroxyapatite granules were placed into the defects.

Twelve weeks after surgery, the samples were taken out and fixed in glutaraldehyde solution. They were embedded in polyester resin and undecalcified sections were prepared. The specimens were stained with toluidine blue and observed under light microscope.

Results: 1) The implanted area was divided into three distinctive zones. The first zone was located distally and occupied two-thirds of the total area. A large quantity of osseous tissue was detected. The second zone was situated near the root and presented only a small quantity of osseous tissue; Fibrous connective tissue predominated in the third zone adjacent to the root. 2) Bone apposition and resorption caused by physiologic mobility and movement of the teeth were observed.

These results suggest that the elimination of the functional forces is advisable during the healing period whenever hydroxyapatite granules are placed into the periodontal defect.

I. 緒 言

本邦においては、アパタイト・セラミックスは1974年より人工歯根として開発研究^{1~18)}が行われ

てきた。その結果、アパタイトは骨と直接化学結合¹⁾、口腔粘膜上皮と上皮付着が成立する^{14,15)}など組織親和性が高いこと、アパタイトと骨との結合力は大きく⁴⁾、人工歯根と骨が結合後、機能的

負荷状態下でも周囲組織に炎症や骨吸収などが生じないこと⁹⁾が明らかにされた。また1978年よりアパタイトを人工歯根以外に骨補填材としても応用してきている^{19~21, 32)}。骨補填材として使用する場合、骨補填材内での生体組織の連続性また体液の通過性を重視し、多孔質アパタイトが使用される。また著者らはこの多孔質アパタイトを補填した種々の動物実験^{11, 12, 16, 17)}から、補填域に良好な骨形成が得られることも確認している。

アパタイト顆粒の用途として代表的なものの一つに、歯周疾患による骨欠損部への充填があげられる。歯周治療への応用の目的は、喪失した歯槽骨の再生を獲得し、さらに新付着を期待するものである。歯周治療で用いられるアパタイト顆粒に関しては、現在までにその性状および形態も種々のものが報告されている^{22~66)}。

本教室では、1981年より多孔質アパタイト顆粒を歯周治療に応用するための基礎的および臨床的研究を行ってきており^{22~32)}、これまでにサルを用いた動物実験^{22~26)}から、多孔質アパタイト顆粒は臨床応用が十分に可能であるとの確証を得た。また長期的な臨床応用³⁰⁾の結果についてもすでに報告している。峯岸²³⁾は隣接歯を抜歯し抜歯窩治癒後、そのスペースを利用して歯の周囲に外科的な骨欠損を形成し、即時に多孔質アパタイト顆粒を充填し、長期観察を行った結果、充填域のほぼすべての領域に良好な骨形成が得られたと述べている。一方、峯岸²³⁾および林²⁴⁾は、隣接歯抜歯後汚染根面に面する骨欠損を形成し、アパタイト顆粒を充填した結果、充填域内の骨形成はアパタイト顆粒を充填しなかったコントロールとほぼ同量程度であったと報告している。また、アパタイト顆粒充填により上皮の深行増殖を抑え、結合組織性付着を増加させる可能性があることを示唆した。

顆粒充填域内の骨形成に関しては種々な報告がある。結合組織により顆粒周囲にカプセルリングが起こるという報告^{35, 36, 41)}も多い。またヒト歯周組織に多孔質顆粒を充填した後、当該歯およびその周囲顎骨を摘出し組織学的に観察した報告では、

顆粒充填域に骨形成量は少ないもののホア内への骨の侵入形成^{39, 52~54)}や新生骨のリモデリング⁶¹⁾を観察したものもある。

このようにアパタイト顆粒充填域内の骨形成量に関しては、いまだ統一的な見解が得られていないのが現状である。それに対して多孔質アパタイトを骨内に完全埋入した実験では、充填域内に良好な骨形成が得られることに関して多くの報告^{11, 12, 16, 17)}がみられる。林²⁴⁾は、充填域内の骨形成量が必ずしも十分でなかったことについて、充填域の物理的安静状態の確保の必要性を考察している。また小木曾¹⁸⁾は従来からアパタイト人工歯根埋入において、初期の周囲組織とアパタイト相互間の安静状態の確保が、骨とのアンキロシスに不可欠なものであると述べている。しかしこれまで実験歯を含む安静状態という観点から、アパタイト顆粒充填域内の骨形成についての詳細な報告はいまだみられない。そこで今回、著者は峯岸²³⁾と林²⁴⁾の方法と同様な実験を行い、充填域周囲および実験歯の状態との関係を考え、顆粒充填域内における骨形成ならびに結合組織性付着について組織学的検討を加えた。

II. 実験材料および実験方法

1. 実験材料

人工骨補填材として、二次粒子間に数 μm のオープン・ポアをもつ多孔質合成ハイドロキシアパタイト顆粒（焼成温度1,200℃、粒径300~600 μm 、旭光学工業株式会社製）を用いた。

2. 実験動物

永久歯列の完成したニホンザル3頭（オス、実験開始時の推定年齢⁶⁷⁾6.5~7.5歳、体重7.6~9.4kg）を用いた。全身所見および口腔内所見ともに異常はみられなかった。

3. 実験方法

上顎側切歯をあらかじめ抜歯し、アパタイト顆粒を充填するためのスペースをつくった。

抜歯後12週で、中切歯遠心面に三壁性骨欠損を形成した。同部位の唇側寄りに近・遠心的に切開をいれ、歯肉弁を口蓋側に剥離した。歯槽骨骨頂

に相当する根面上にスチール・バーを用いてノッチを付与した。その後、唇・舌（口蓋）側径 3 mm、近・遠心径 3 mm、深さ 4 mm の三壁性骨欠損をスチール・バーおよびチゼルを用いて外科的に形成した。骨欠損の大きさを維持し汚染した根面をつくるために、骨欠損内に骨欠損と同じ大きさのフロスを巻いたワイヤーをいれ、歯冠部に固定した。歯肉弁を戻し縫合し、1 週後抜糸した。フロスを巻いたワイヤーは 4 週間そのままにし、その間、軟性飼料を与えブラッシングは停止し、ブラークを蓄積させた（図 1）。

骨欠損形成後 4 週でフロスを巻いたワイヤーを除去し、2 週後アパタイト顆粒充填を伴う歯肉剝離掻爬手術を行った。

近・遠心方向に切開し、歯肉弁を剝離翻転し、根面および骨面の十分な debridement を行った。骨欠損底部にノッチを付与し、生理食塩水で湿らせた多孔質アパタイト顆粒を骨欠損内にできるだけ密に、アパタイト充填器にて手圧にて加圧充填した。このとき可及的に元来の歯槽骨骨頂の高さまで充填した（図 2）。歯肉弁を元に戻し緊密に縫合した。

術後 3 日間、プロカイン・ペニシリン G 筋肉注射を行った。術後 10 日で抜糸を行い、その後週 3 回ブラーク・コントロールを行った。

術後 12 週でペント・バルビタールの過剰投与でサルを安楽死させ、顎骨を摘出し、グルタルアルデヒドで固定した。通法に従い脱水し、リゴラック樹脂に包埋し Bromwill 薄切機にて近・遠心方向に薄切し、未脱灰研磨標本作製した。切片をトルイジンブルーで染色し、光学顕微鏡にて観察した。また同一の標本についてマイクロラジオグラムを撮影し、光学顕微鏡による観察の参考とした。マイクロラジオグラムの撮影には Softex ESM 型の CMR を用い、撮影条件は管電圧 17 kV、管電流 5 mA で露出時間は 36 分で行った。使用したフィルムは KODAK Spectroscopic Safety Film Type 649-0（ソフテックス社製）を用いた。なお、今回の報告では代表的な標本について詳述した。

Ⅲ. 実験結果

1. 上顎中切歯歯周組織および側切歯相当部顎堤

歯槽骨の外形を記載するにあたって、観察範囲の骨において、便宜的に根尖側方向を上方、歯冠側方向を下方と呼ぶ。また、側切歯相当部顎骨に関しては、上方から下方に向かって深層、中層、浅層とする。

1) 歯槽骨の外形（図 3）

中切歯唇側の骨は、歯根の歯冠側寄り 2/3 の領域で薄く、歯根の形態に近い膨隆を示しているのに対し、根尖側寄り 1/3 の領域では厚く、唇側の膨隆の程度が少なくなっている。唇側の歯槽縁は歯根の近・遠心的中央部で最も根尖側に位置している。

中切歯遠心側の顎骨には、唇側面と骨頂部の間に斜面状の領域（唇側斜面）がみられる。またこの唇側斜面部のうち側切歯相当域に陥凹部がみられる。また中切歯遠心側の顎骨の骨頂部は、中切歯に隣接する部分では、そのほぼ唇・舌（口蓋）側中央部に位置するが、側切歯相当域の近・遠心的中央部に向かうにつれ口蓋側寄りに位置するようになる。

顆粒が充填されている領域（顆粒充填域）の表層は中切歯歯根の遠心面を取り巻くように広がっており、歯根の唇側寄り 1/4 の位置から口蓋側端に相当する範囲に存在している。この顆粒充填域は歯根の口蓋側 1/4 の位置で約 3.1 mm と、その近・遠心幅が最大となっている。また顆粒充填域の表面は、その周囲顎骨表面と移行的になっている。

側切歯抜歯後 12 週で外科的骨欠損形成時に、形成前の骨頂の高さを示すノッチが根面に付与されている。このノッチはセメント-エナメル境から約 2.4 mm 根尖側で、また顆粒充填域の表面の高さより約 2 mm 歯冠側に位置している。

2) 中切歯固有歯槽骨

ここではいわゆる歯槽壁を構成している緻密骨の領域を、固有歯槽骨と呼ぶことにする。

中切歯の唇側では唇側緻密骨の内面が直接固有

歯槽骨となっている。近心側では歯根の唇側 1/2 の領域で、遠心側では唇側 1/5 の領域で、固有歯槽骨といわゆる支持歯槽骨の緻密骨が一体化している。この範囲よりも口蓋側寄りの領域では、骨頂部付近において固有歯槽骨と緻密骨とが一体化している。骨頂部を除き固有歯槽骨の周囲には海綿骨が存在する。しかし歯根遠心面の歯冠側から中央部にかけて顆粒が充填されているために、そこには固有歯槽骨はみられない（図4～7）。

緻密骨と固有歯槽骨が一体化した領域では、線維骨と層板骨が観察される（図10）。そのうち線維骨は歯根膜側と歯肉側に位置して、その間に層板骨が存在する。層板骨はオステオン層板と介在層板から構成される。固有歯槽骨と緻密骨との間に海綿骨が介在している領域の固有歯槽骨においても、線維骨と層板骨が観察される。そのうち線維骨は歯根膜側にのみ限局している。しかし歯槽縁で骨が特に薄い部分では、層板骨がほとんどみられない。

オステオン層板は中切歯固有歯槽骨より近心側および遠心側の海綿骨から連続しているもので、唇側緻密骨内で歯根を取り巻くように近・遠心方向および上下方向に配列している。また唇側緻密骨の歯肉側表面では染色性の高い骨が添加されており、その表面には骨芽細胞とオステオイドがみられる。このような添加骨は唇側緻密骨においてはその遠心側半で特に厚い（図8）。

近心側の固有歯槽骨においてその唇側寄りにみられるオステオン層板の配列方向は、口蓋側から唇側方向に向かい、かつ根尖側から歯冠側に向かっている。近心側の固有歯槽骨においてオステオン層板の配列方向は、基本的に根尖側から歯冠側方向に向かっている。また遠心側のオステオン層板の配列方向は、顆粒充填域の根尖側端付近では口蓋側から唇側方向に向かっている。また近・遠心側いずれも海綿骨から歯根膜方向に向かうオステオン層板もかなりみられる。近心側ではそのような歯根膜方向に配列するものは比較的根尖側 1/3 領域に多く、中心管の太さは細い。これに対して遠心側では、顆粒充填域に近接した領域を除

き全域比較的中心管が太いものが多い。

オステオン層板のうちトルイジンブルーによる染色性ならびに軟X線の透過性が高く、かつ中心管がいまだあまり細くなっていないのがみられる。これらの中心管つまり血管腔は、歯根の近・遠心側の海綿骨から発し、近・遠心側の固有歯槽骨を貫通し唇側緻密骨に達し、歯冠側ならびに根尖側方向に向かって分岐する。したがって唇側緻密骨内では、近心側からの血管と遠心側からの血管が複雑に吻合しあっている。またこのような海綿骨からの血管腔の侵入は、近心側からのものに比べ遠心側から唇側緻密骨に向かうものが多い（図8, 9）。

3) 中切歯固有歯槽骨内表面の状態

中切歯固有歯槽骨内表面には骨吸収がみられる領域、骨形成がみられる領域、さらに両者ともあまり観察されない領域がある。

骨吸収領域は、唇側固有歯槽骨内表面の全域および近心側固有歯槽骨内表面の唇側半にみられ、この領域は口蓋側に向かうにつれ根尖側から狭まって、唇・舌（口蓋）側の中央部では歯冠側 1/3 にのみ観察される（図4～9）。また遠心側固有歯槽骨内表面では唇側から連続して唇・舌（口蓋）側の中央部の全域まで骨吸収領域が及んでいる。すなわち骨吸収領域は唇側遠心隅角を中心として唇側から近・遠心側固有歯槽骨にかけて歯根を取り囲むように広がっている（図10）。近・遠心側固有歯槽骨内表面では歯冠側寄り 1/3 の位置から根尖側に向かうにつれ吸収窩は少なくなる。しかし、近心側固有歯槽骨内表面のうち口蓋側寄りの根尖側に太い血管が歯根膜腔に開孔しており、この部分に限局性に吸収窩が存在する。骨吸収領域では吸収窩に沿って染色性の高い骨が非常に薄く添加されているとともに、その添加骨内には歯根膜線維と連絡しているジャービー線維が封入されている部分が多い。しかし、唇側固有歯槽骨内表面の遠心側半では、その添加骨内にジャービー線維が封入されている部分が少ない（図8）。唇側固有歯槽骨内表面の遠心側半および遠心側固有歯槽骨の根尖側 1/3 領域では、吸収窩内に破骨細

胞がみられる (図10, 11)。

固有歯槽骨内表面に骨形成が生じている領域は比較的少ない。骨形成が生じている領域は近心側固有歯槽骨内表面にのみ認められ、近心側固有歯槽骨内表面の唇側寄りでは歯冠側寄り 1/3 の位置から中央部にかけて、また唇・舌 (口蓋) 側の中央部ではほぼ全域、口蓋側寄りでは中央部から根尖側寄り 1/3 の位置にかけての範囲に観察される。この領域では、固有歯槽骨内表面の表層を構成する骨は、その外側の骨に比べて、染色性がやや高いとともに軟X線の透過性が高い。この骨の厚さは中央部から根尖側に向かうに従って厚くなる。またこの領域には歯根膜側方向に向かう細い血管腔が多い (図12, 13)。

以上のような骨吸収、骨添加領域がみられない領域では、固有歯槽骨内表面は全体として平滑である。

固有歯槽骨内表面に分布する骨芽細胞は、顆粒充填域に近接した部分に一部背の高いものがみられる他は、扁平なものが多い。

4) 中切歯歯根膜

中切歯遠心側の顆粒充填域を除き、歯根膜腔は歯冠側で広く、中央部では狭く、また根尖側ではやや広がっている。また歯根膜腔は遠心側と近心側では遠心側のほうが広い。近心側では唇側端から口蓋側端にかけてその幅はほとんど変わらないが、遠心側では唇側に向かうほど広くなる (図4～7)。

歯根膜の主線維は近心側の中央部付近でやや少なくなるものの、他の領域では通常のものとは基本的に差がみられない。しかし主線維を構成する線維の密度は唇側遠心隅角部付近で他の領域に比べて低くなっており、その線維の配列もやや乱れている。またこの部分では、主線維相互間の間質が広がっている (図8)。

近心側の歯根膜の主線維は遠心側と比べて唇・舌 (口蓋) 側方向に走行するものが多く、そのような状態は口蓋側に向かうほど顕著となる。近心側では、中央部で歯根膜腔の幅が狭く主線維の密度も低いため、本来、脈管神経隙を包んでいる細

い疎な線維が目立つ。遠心側の歯根膜の主線維は主に近・遠心方向に走行するものが多い。しかし口蓋側寄りでは唇・舌 (口蓋) 側方向を示すものが多い (図4～7)。

5) 中切歯セメント質

歯冠側のセメント質は薄く、主に無細胞セメント質からなる。中央部より根尖側では薄い無細胞セメント質の表層に有細胞セメント質が存在し、根尖側に向かうにつれその厚さを増している (図4～7)。

セメント質には歯根膜線維に連続するシャーピー線維が封入されている。封入されている線維束の状態は、線維骨のものとは比べ細いものも多く、またその密度も高い。セメント質表面には、線維束の間にセメント芽細胞ならびにセメントイドが観察される部位が多い。セメントイドの厚さは口蓋側寄りで厚く、遠心側の唇側寄りでやや薄い。またセメント芽細胞は、近・遠心側いずれもその唇側寄りに比べて口蓋側寄りに位置するもののほうがやや大きい。セメント質は全般的にその染色性が低い。しかし遠心面のうち顆粒充填域よりやや根尖側では、セメント質表面に染色性のより高いセメント質が一部添加されている。このセメント質は顆粒充填域に隣接する部分では比較的厚い。またこのセメント質は有細胞セメント質で、シャーピー線維を封入している。

また近心唇側隅角部付近のセメント質には、その上下的中央 1/3 付近の領域に吸収窩が散在している。これらの吸収窩のうち口蓋側寄りのものは根尖側に、また唇側寄りのものは歯冠側に分布している。吸収窩はセメント質内にとどまっており、多くの吸収窩では染色性の高い無細胞セメント質が薄く添加され、さらに有細胞セメント質が添加されている。

遠心側では後述する顆粒充填域付近のセメント質以外は、近心側のようなセメント質の吸収はほとんどみられない。

6) 中切歯遠心側の顎骨

中切歯遠心側の顎骨は骨頂部、唇側斜面、唇側面に分けられる。中切歯遠心側の唇側斜面部には

側切歯相当部を中心に陥凹が観察される (図3)。

唇側斜面部の緻密骨は口蓋側寄りの緻密骨に比べ全体的に薄い。また陥凹部に近づくに従って薄くなり、陥凹部で最も薄い。

唇側斜面部の緻密骨を構成する骨は、中切歯に近い部分では主としてオステオン層板および介在層板であるが、陥凹が最も強くなっている部分に近づくにつれオステオン層板がみられなくなる。陥凹が最も強い部分の緻密骨は、骨小柱が大きくその配列に規則性がみられず、層板構造の不明瞭な、いわゆる分化の程度が低い骨、および染色性の高い層板骨からなっている。歯肉側では両者の骨が不規則に混在しており、海綿骨側では染色性の高い層板骨が主となる。その層板の配列方向は緻密骨の表面形態とほぼ一致している。

また唇側斜面部の緻密骨には海綿骨側かつ歯肉側に向かう髓腔が多く、特に陥凹が最も強くなっている部分では、骨髓が各所で歯肉に露出した状態となっている。このような陥凹の強い部分の緻密骨表面には、破骨細胞が散在するとともに吸収窩が多数みられる。しかし陥凹が最も強い部分より近心側の骨表面では、染色性の高い骨が薄く添加されており、その表面には厚いオステオイドおよび骨芽細胞が観察される。

側切歯相当部から中切歯遠心側端付近にかけて海綿骨を構成する骨小柱の分布状態は、元来の側切歯固有歯槽骨とその周囲ではやや異なっている。

側切歯固有歯槽骨に相当する領域では全般的に骨小柱が多く、密で、唇側緻密骨に隣接する部分では特に多くなっている。それに対し、固有歯槽骨に相当する領域の周囲、すなわち元来の海綿骨に相当する領域では、全体的に骨小柱が少なく、特に深層では細いスホーク状のものが疎な状態で散在しているにすぎない。また元来の側切歯歯槽を埋めている骨小柱は、分化の程度が低い骨質とやや染色性が高い層板骨の両者から構成されており、層板骨は一般に骨小柱の表層に多くみられる。元来の側切歯固有歯槽骨に相当する部分には、染色性の低い層板骨およびシャービー線維を

封入している線維骨が観察される (図14)。また唇側緻密骨に隣接する部分の骨小柱では、その表面に骨形成や骨吸収がみられるものが多い。これらの骨小柱間の骨髓には脂肪細胞は少なく、細網細胞や洞様毛細血管が多い。しかし、側切歯固有歯槽骨のうち口蓋側端付近では、骨小柱表面の骨形成や骨吸収は少なくなり、骨小柱間の骨髓に脂肪細胞が多くなっている (図4～7)。

側切歯固有歯槽骨に相当する領域の周囲に位置する海綿骨の骨小柱は、浅層で近・遠心方向に棚状に広がっているものも多く、中層から深層にかけては上下方向に配列するものが多い。これらの骨小柱は明瞭な層板構造をもつものが大半を占めている。骨小柱表面には一部を除き、lining cell が並んでいる。これらの骨小柱間の髓腔には脂肪細胞が豊富である。

顆粒充填域は主に遠心側頸骨の海綿骨中に存在しており、その周囲には比較的緻密で染色性の低い骨が取り巻いている (図4～7)。この顆粒充填域周囲の骨は唇側や浅層の緻密骨および中切歯固有歯槽骨との移行部で厚くなっている (図12, 13)。

2. 顆粒充填域およびこれに隣接する領域

1) 顆粒充填域の外形とその位置

顆粒充填域は図3に示すように角の取れた箱型に近い形態をしている。顆粒充填域歯肉側表面は唇側斜面および骨頂部の骨表面に移行的で、唇側から口蓋側に向かうにつれ歯肉側に向かって凸な曲線を描く。顆粒充填域の浅層は唇・舌 (口蓋) 側的にも近・遠心的にも広く、中層から深層に向かうにつれその唇・舌 (口蓋) 側幅が狭まる。顆粒充填域浅層は、中切歯の唇側寄り 1/4 の位置から中切歯の口蓋側端よりやや口蓋側に相当する位置まで及んでいる。また近・遠心的には中切歯の口蓋側寄り 1/4 に相当する位置で最も遠心側に広がり、その近・遠心的な厚みは約 3 mm である。顆粒充填域の上下的な深さは中切歯の唇・舌 (口蓋) 側の中央部のやや口蓋側に相当する位置で最大となり、約 3 mm である。

2) 顆粒の分布密度 (図4～7)

顆粒の分布密度は浅層が中層、深層に比べ全体としてやや高い。

唇・舌（口蓋）側中央部付近で分布密度が最も高く、特に唇側寄りの領域で最も低い。また唇側半ではその中切歯根面側（根面側）で遠心側に比べ分布密度が高く、口蓋側半では根面側で低く遠心側で高い。

3) 顆粒充填域周囲の骨（図12, 13）

根面側を除く顆粒充填域の周囲には、緻密な骨が顆粒充填域を包むように厚く形成されている。この骨は唇側緻密骨と唇側および浅層で連絡しているとともに、深層で中切歯固有歯槽骨とも癒合している。この骨の厚さは部位により若干異なり、唇側寄りの浅層で最も厚く、それより深層や口蓋側寄りに向かうとやや薄くなっている。一方、固有歯槽骨との移行部は唇側半では狭く、口蓋側半では広い。

顆粒充填域周囲の骨は、中切歯固有歯槽骨、側切歯相当部および周囲海綿骨と比べて、全般的に染色性が高く、軟X線の透過性が低い。この骨は分化の程度が低い骨の部分と、層板骨からなる部分が混在している。層板骨はほとんどがオステオン層板である。これら層板骨は分化の程度が低い骨の部分に比べ、染色性が高い。また分化の程度が低い骨には二つのタイプがみられる。すなわち、基質をなしている線維の配列がきわめて不規則で、しかもそれらの線維が太いものと、線維の太さは通常の層板骨のものと同様で、その配列も、層板構造はみられないものの比較的平行で規則正しいものとが認められる。以後、便宜上前者をタイプ1、後者をタイプ2とする。そのうちタイプ1は中切歯固有歯槽骨との移行部では観察されない。

このような顆粒充填域周囲の骨内には、海綿骨側から顆粒充填域内方に向かう髄腔が多い。これら髄腔は海綿骨側では太く、また顆粒充填域側では細くなっているものが多い。またこれらの髄腔は、海綿骨側から顆粒充填域内方に向かって顆粒充填域周囲の骨を比較的まっすぐに貫通するものが多い。しかし、顆粒の分布密度が高い顆粒充填域

の唇・舌（口蓋）側中央部に相当する部分では、それらが多数分岐してかなり細くなった髄腔のみが顆粒充填域内に侵入している。顆粒分布密度が最も高い領域に向かう太い髄腔は、そこより分布密度の低い唇側や口蓋側へ迂回しているものが多い。いずれにしても髄腔内には毛細血管や細動脈が髄腔と一致した方向に走行している。顆粒充填域周囲の骨内ではこのような髄腔に沿って、層板骨やオステオン層板が形成されている。

また顆粒充填域周囲の骨と顆粒充填域内の緻密な骨が形成されている領域との境界は、髄腔に沿って形成されている層板骨が連続しているため、全体として不明瞭である。しかし、境界に相当する部分にまだ分化の程度が低い骨が各所に散在しており、それら分化の程度が低い骨内には、主として顆粒充填域の外形とほぼ平行な方向に接合線が認められる（図14）。

4) 顆粒充填域の骨形成

顆粒充填域は骨形成の状態から3領域に分類できる。これら3領域を、便宜上次のように呼ぶことにする（図12, 13）。

(1) 骨緻密領域：顆粒間に多量の骨がみられる領域

(2) 骨疎領域：顆粒表面および顆粒間に骨やオステオイドがみられるものの、それらの量が少ない領域

(3) 線維領域：顆粒間の大部分が線維組織によって占められている領域

以上の3領域の分布状態は、おおむね歯根に隣接する領域が線維領域で、遠心側寄りが骨緻密領域、両者間が骨疎領域となっている。

(1) 骨緻密領域

骨緻密領域の根面側面は、歯根からかなり離れており、歯根を取り巻くような曲面をなしている。歯根との間隔は顆粒充填域唇側半では、中層、浅層において約0.7mmで、深層ではそれよりやや広い。口蓋側半では、深層が歯根に最も近く、浅層に向かうにつれ歯根から離れている。

骨緻密領域は顆粒間に多量に骨が形成されており、この領域では全体として緻密な骨内に顆粒が

封入されたような状態となっている。顆粒間に形成されている骨の構造は顆粒充填域周囲にみられる骨のそれと基本的に同様で、分化の程度が低い骨と髓腔を中心として形成されている層板骨とから構成されている。分化の程度が低い骨は、そのうち顆粒表面と顆粒間の中央部付近に比較的多くみられる。また分化の程度が低い骨は、顆粒充填域の浅層で緻密骨に隣接する部分ではタイプ1が多く、それ以外の大部分の領域ではタイプ2が多い(図15)。

顆粒間に形成されている骨内を貫通する髓腔は、基本的に根面側の方向で、かつやや浅層に向かっていている。しかし、顆粒充填域周囲の骨内のもとの異なり、まっすぐその方向に進むものは少なく、顆粒間を複雑に蛇行している。なお、唇側および口蓋側寄りの顆粒の分布密度が低い領域では、深層で海綿骨側から根面側に向かってかなりまっすぐ進むものも一部みられるが、その数は少ない。髓腔の太さは一般に顆粒の分布密度が低い領域では太く、分布密度が高い領域では細いものが多い。分布密度が高い領域の細い髓腔は、隣接する分布密度の低い領域の太い髓腔から分岐している。このような髓腔のうち顆粒充填域浅層のものでは、歯肉との移行部で歯肉側に開放している(図13)。

また骨緻密領域の歯肉側表層には、表面と平行に層板が配列する層板骨が多い。またこの顆粒充填域の表面では、さらにその表面に骨が添加されており、その骨は周囲緻密骨と連続しているとともに、骨内に歯肉からの太いシャーピー線維が封入されている。

骨緻密領域の歯肉側表面付近に位置している顆粒は、一部が歯肉に露出しており、その表面は歯肉固有層深層の太い線維束で覆われている。

また骨緻密領域の根面側の骨表面には、骨吸収が生じている部分や、骨形成がみられる部分、およびいずれも特にそのような状態がみられない部分がある。そのうち骨吸収が生じている部分が最も広い。その骨吸収が生じている部分は、骨緻密領域の口蓋側寄りではその深層にみられ、唇側寄

りに移行するにつれ上下的に幅広くなる。しかし唇側端においてもその頂部では、骨吸収がみられない。このように広く骨吸収が生じている部分の深層部では、その根面側に隣接する顆粒の表面形態に一致した強い骨吸収が生じており、相当部骨表面には破骨細胞が多数出現している(図16, 17)。

骨形成がみられる部分は、口蓋側寄りではその中層から浅層にかけての領域で、唇側寄りに移行するにつれ頂部付近に局限され狭くなっている。新生骨が形成されている部分は唇側端の頂部のみである。全体として骨緻密領域表面における骨形成の程度は骨吸収の程度に比べ少ない。

骨吸収、骨形成いずれもみられない部分は、前述の骨吸収が生じている部分と骨形成が生じている部分との移行部にわずかにみられる(図16)。

骨緻密領域におけるアパタイト顆粒と骨との界面を観察すると、骨はアパタイトの二次粒子で構成されている顆粒表面の微細な凹凸に一致して形成されている。さらに骨は顆粒表層の二次粒子相互間のマイクロポア内にも形成されている(図15)。これらのマイクロポア内には細胞成分はほとんどみられない。しかし、顆粒の中心部付近や、顆粒表層においてもマイクロポアがもともと狭い部分では、二次粒子表面にのみ薄い骨が添加されている状態や、骨が全く形成されていない状態が観察される。

髓腔内血管周囲の疎な結合組織中には、アパタイトの微細な結晶を取り込んだマクロファージが散在している。また髓腔が顆粒表面と直接接している部分も一部にみられ、そこでは顆粒表面にマクロファージが出現し微細な結晶を貪食している。ほとんどの髓腔にこのようなマクロファージが多数みられるが、それらの周囲に炎症性細胞などは特にみられない(図15)。

(2) 骨疎領域

a. 骨疎領域の範囲

骨疎領域は、顆粒充填域深層では歯根と骨緻密領域との間を占めており、その範囲は広い。しかし、中層では、骨疎領域は、顆粒充填域の根面

側寄りかつ唇・舌（口蓋）側中央部付近を中心にみられる比較的広い線維領域と骨緻密領域との間に存在し、その範囲は狭い。また浅層では線維領域が狭くなるのに伴って骨疎領域が広がっている（図12）。

骨疎領域の骨は、顆粒間に伸長している骨小柱と顆粒表面に形成された骨、ならびに歯根と顆粒とを結合している骨などにより構成されている。しかし、中層から浅層では顆粒と歯根とを結合しているような骨は観察されない。

b. 顆粒間の骨小柱

顆粒間の骨小柱は深層で少ないものの、骨疎領域の全域にわたり多少とも認められる。これらの骨小柱は基本的に骨緻密領域から根面側に向かっているものが多いとともに、骨緻密領域に隣接する部分で太い。また骨小柱の状態は骨疎領域の口蓋側寄りのものと唇側寄りのものでは若干異なっている。口蓋側寄りのものでは太いものが多いとともに、骨小柱表面の骨吸収像は少なく、骨芽細胞やオステオイドのみられる部分が多い。それに対して唇・舌（口蓋）側中央部より唇側寄りのものでは、太いものは少なくなっており、また隣接の顆粒の表面形態に一致して破骨細胞が出現し、骨吸収が進行しているものが多い。一部の骨小柱では骨緻密領域との連絡部で骨吸収が生じ、その部でくびれた状態を示すものや、連絡部でトルイジンブルーに濃青染される骨折線も認められる（図18）。一方、顆粒表面に一致して骨吸収が進行している骨小柱の反対側表面では、骨芽細胞や厚いオステオイドがみられ、活発な骨形成が進行している（図19）。このような骨小柱表面に添加されている新生骨には、その周囲に形成されている線維束の一端を比較的規則正しく封入している。しかし、骨小柱の中芯部にはそのような線維束の封入はみられない。以上のような骨小柱の構造はその表面に添加されている新生骨を除き、骨緻密領域のものと基本的に同様で、分化の程度が低い骨と層板骨から構成され、染色性も同程度である。

顆粒充填域の浅層では、以上のような染色性の

低い骨小柱とは異なり、染色性が高く、しかも細い骨小柱がみられる。これら骨小柱には層板構造はみられず、また骨小柱表面には骨芽細胞ならびに厚いオステオイドが観察される。このような幼弱な骨小柱は、浅層においても口蓋側寄りに多くみられ、それらは唇側方向に伸長している。

c. 顆粒表面に形成されている骨

骨疎領域の顆粒表面に形成されている骨は薄く、またそれらは顆粒表面の各所にみられる。このような顆粒は一般に骨疎領域においても線維領域に隣接する部にみられ、特に口蓋側半に比べ、唇側半に多い。このような顆粒表面の骨には破骨細胞はそれほどみられないものの、その表面が骨吸収を受け微細な凹凸を示すものが多い。またオステオイドの表面に骨芽細胞が出現している状態は特にみられない。このようなオステオイドの表面では、そこから太い線維束が周囲線維組織に向かって放散した状態が認められる。さらにオステオイドの顆粒表面側にトルイジンブルーで赤紫色に染まる石灰化球がわずかながら認められるものが多い。またこのような骨やオステオイドが添加されている顆粒の表層に位置するマイクロポア内に、骨緻密領域のものと同様、骨が侵入形成されている状態が各所にみられる（図20）。

d. 歯根と顆粒を結合している骨（図21）

歯根と顆粒を結合している骨は、骨疎領域深層のみにみられる。特に顆粒が歯根に近接しているところで、このような骨が認められる。この骨には層板構造がみられ、またその周囲の顆粒表面に添加されている骨にも同様に層板構造がみられる。この骨は、術時にルートプレーニングした根面に形成されている新生セメント質と癒合し、顆粒が歯根と結合している状態となっている。顆粒表面に形成された骨と、新生セメント質の境界部付近には比較的小腔が多い。境界部の辺縁では顆粒表面に形成されている骨の層板と新生セメント質の層板が連続しており、また新生セメント質と添加骨との構造上の差がみられないため、骨とセメント質の境界は明瞭でない。しかし、連絡部の一部では骨折線がみられる。このような歯根に骨

性結合している顆粒の近傍に位置する顆粒においても、前述したように比較的広範囲に骨添加が観察されるが、この骨は根面とは直接連絡していない。このような顆粒の表面に形成されている骨は、一般に骨性結合している顆粒から離れたものほど薄くなっており、特に顆粒の遠心側や唇側面で骨形成の範囲が狭くなっている。またこのように薄くなった骨やその付近の顆粒表面の一部で、それらが崩壊している状態がみられる。また、その周囲に微細なアパタイト結晶を取り込んだマクロファージが多数散在している。このような骨ならびに顆粒表面の崩壊は、一般に顆粒の遠心側や唇側に多くみられる。またそのような部分は隣接の顆粒がきわめて近接している場合に多い。

(3) 線維領域 (図22)

線維領域は前述したように骨疎領域と歯根との間に位置している。線維領域における顆粒間および顆粒表面には骨やオステオイドがほとんどみられない。顆粒間には骨疎領域から侵入してくる血管が顆粒を避けるように蛇行しながら歯肉側に向かっていて、血管周囲には血管の走行と一致した配列を示す比較的疎な線維性結合組織が形成されている。またこの領域の線維束は、骨疎領域の顆粒間にみられるものに比べて太く、密度が高い。顆粒表面周囲では比較的密な線維束が顆粒を取り巻くように配列している。

線維領域の線維束は、骨疎領域の線維束とその移行部では連続している。また根面側ではその一端が根面に形成されている新生セメント質内に封入されている。この領域においても、隣接する顆粒相互が接触もしくは近接し、相当部における顆粒表面が崩壊するとともに、その周囲線維組織内に微細なアパタイト結晶を取り込んだマクロファージが散在している状態が各所にみられる。特に線維領域の唇・舌（口蓋）側中央部のやや口蓋側寄りから唇側にかけての領域のうち浅層では、歯根に隣接する顆粒の最も歯根に近い部位よりむしろ、そのやや唇側寄りの表面形態にほぼ一致して根面が吸収している状態が広範囲にみられる。そのような部においても、根面と顆粒との間の線

維組織内に微細なアパタイト結晶を取り込んだマクロファージが散在している（図17）。

5) 顆粒充填域根面および歯冠側のセメント質
顆粒充填域は歯根の上下の中央部およそ1/3の領域に相当する。根尖側ノッチは顆粒充填域の根尖側端にみられ、そこからセメント-エナメル境までの範囲のセメント質は根尖側ノッチよりもさらに根尖側のものに比べ、全体的に薄く、表面はほぼ平滑である。顆粒と近接して歯根吸収が生じている領域においても、象牙質が露出している部はほとんど観察されない。相当域のセメント質には、象牙質寄りの染色性が低い部分と顆粒充填域寄りの染色性が高い部分とが観察される。この染色性が高い部分は術後形成された新生セメント質と考えられる。染色性の高い部分は低い部分に比べ、一般に薄い。両者の境界は微細な凹凸を示しているものの、全体として比較的平滑である。

顆粒充填域の唇側において根尖側ノッチの表面に添加した新生セメント質は、セメント質小片を取り込んだ骨組織と結合している。

新生セメント質が添加している範囲は、唇・舌（口蓋）側的には顆粒充填域よりも広い。また新生セメント質は根尖側ノッチを越えてさらに根尖側方向に薄く伸びている。歯冠側方向は顆粒充填域の高さよりわずかに歯冠側までみられ、その位置が上皮根尖側端と一致している。新生セメント質は根尖側ノッチ付近で最も厚く、歯冠側に向かうに従って薄くなっている。また唇側半の浅層では新生セメント質の吸収がみられ、その吸収はセメント質内にとどまらず、象牙質にまで及んでいるものも一部に観察される。しかし、吸収窩に沿って破歯細胞が出現している部位は少なく、多くの吸収窩ではセメント芽細胞および薄いセメントイドがみられるのみである。

顆粒充填域深層付近の新生セメント質は有細胞セメント質で層板構造がみられる。根尖側ノッチ付近ではセメント小腔が大きく密で、その配列が不規則である。ノッチからやや歯冠側に向かうと、セメント小腔は扁平でその配列も規則的になり、層板構造がみられるようになる。また顆粒充

墳域の中層よりも歯冠側ではセメント細胞の封入が少なくなり、歯冠側端ではほとんど無細胞性となる。根尖側の新生セメント質の染色性はそれほど高くはなく、元来のセメント質に類似している。歯冠側やごく薄く添加している部分では高い染色性を示す。上皮直下の新生セメント質は非常に薄いととも、染色性が高く、またその表面には石灰化球がみられる。新生セメント質の表面にはセメント芽細胞が並び、周囲の線維束の一端がセメント質内に封入されている。セメント芽細胞は根尖側では比較的背が高いが、歯冠側に向かうにつれ扁平になる。

新生セメント質と連絡する線維束の方向は、主に根面に対し直角、もしくは斜めに配列するものが多い。

上皮根尖側端の新生セメント質の周囲には、上皮に平行な方向に配列する、密で細い線維束、遠心側から根面側方向へ顆粒充填域の蓋をするように走行する密で太い線維束、およびこの二つの線維束の間を、歯根を取り囲む方向に走行する太い線維束がみられる。これらの線維束の一端が新生セメント質に封入されている（図23）。

唇・舌（口蓋）側中央部の口蓋側寄りでは、歯根周囲に顆粒がみられないにもかかわらず、根面には元来のセメント質の範囲で吸収窩が連続している。この部分では一部に破歯細胞が存在し、新生セメント質の添加はみられない。この吸収面の一部にまで上皮の根尖側端は及んでおり、それより根尖側には遠心側からの太い線維束が歯根近くでやや細くなって歯根を取り巻く方向に配列している。

3. 中切歯遠心側の歯肉

歯肉の厚さは唇側から口蓋側に向かうにつれ薄くなる。唇側面の側切歯抜歯窩の陥凹に相当する部分の歯肉には強い凹凸がある。

歯肉溝底部は大部分が元来の骨頂を示すノッチ根尖側端に位置しており、一部でノッチよりごくわずかに根尖側に位置する。

中切歯歯肉縁より遠心側の歯肉上皮は歯肉縁付近でやや厚くなっており、唇側面ならびに唇側斜

面部では、ほぼ一定となっている。しかし骨頂部から口蓋側に向かうに従い、その厚さが徐々に薄くなっている。

歯肉溝壁を構成している上皮細胞には角質層が観察されず、白血球の浸潤は比較的少ない状態となっている。上皮の細胞間隙は歯肉溝底部付近でやや広がっている。また上皮稜の形態は歯肉縁に近いところでは比較的平滑になっているが、歯肉溝底部近くでは不規則な凹凸がみられる。

歯肉溝底部よりも根尖側には根面に沿って扁平で染色性の高い細胞が数層配列しており、それらの細胞間隙は狭い。上皮根尖側端は顆粒充填域表面の歯冠側にとどまっている。特に顆粒充填域の唇・舌（口蓋）側中央部に相当する位置の上皮は、根尖側端付近では細胞層がきわめて薄くなり、部分的に上皮が消失している状態もみられる。しかし口蓋側ではこれらの上皮の根尖側端は上記の領域と異なり、かなり肥厚している。

中切歯唇側面の遠心側寄りの部分から、側切歯相当部の唇側陥凹部を覆う歯肉には、筋線維がみられる。

顆粒充填域の表層には、通常の骨膜様の構造が明瞭には認められないが、その他の領域では骨表面に骨膜が観察される。顆粒充填域以外の領域では骨膜の表面に太い線維束が密に分布している。さらにそれらの線維束は歯肉表面に向かうに従って疎になっている。またそれらの線維束は主として近・遠心方向に配列するものが多い。しかし、歯肉表面に向かうに従って、近・遠心方向に配列するものの他に、唇・舌（口蓋）側方向や上下方向に走行するものもみられるようになり、全般的に線維配列が不規則になるとともに、線維束が細くなっている。これらの線維束表面には太い血管も観察され、それらは主として遠心側から歯肉縁に向かって走行している。しかし口蓋側寄りでは、唇・舌（口蓋）側方向に走行する細い血管が多くみられる。

顆粒充填域表面の歯肉には、その周囲の領域の歯肉と同様、太い線維束が観察され、その配列状態も類似している。またこの領域の線維束はそれ

より遠心側にみられる太い線維束と連続している。しかし、その密度は低く、細い。特に顆粒充填域の唇・舌（口蓋）側中央部付近で、線維束が最も疎でしかも細くなっている。一方、口蓋側では歯肉の深層から浅層の上皮直下にいたるまで、太い線維束が密に観察される。

顆粒充填域表面の深層歯肉にみられる太い線維束は、顆粒間に形成されている細い線維束と連絡している。またこの太い線維束は、その一端が新生セメント質の最歯冠側端付近に封入されている。したがって歯肉浅層にみられるこれらの近・遠心方向に走行する太い線維束は、新生セメント質表面から顆粒充填域表面、さらにはそれより遠心側の骨表面を覆うように走行している。

歯肉溝付近の上皮下の毛細血管周囲には、軽度の炎症性細胞浸潤が観察される。その炎症性細胞浸潤は、上皮直下で、上皮に沿って走行している密な線維束と上皮との間に限局している。

IV. 考 察

歯周治療の最終目的は歯周疾患によって喪失した歯周組織を再生させ、正常な機能が営める状態にすることにある。機能的な付着器官としての歯周組織の再構築とは、骨、セメント質ならびに歯根膜が一体となって治癒することが理想的であるとされている^{68,69)}。

アパタイトは生体親和性に優れ、骨伝導能を有する生体材料であり、これに関する研究報告^{1~66)}が数多くなされている。歯槽骨の残存骨壁数が多い骨欠損症例では骨の再生が起りやすく、これと平行して結合組織性付着も起りやすいといわれており^{70~74)}、また歯槽骨再生とセメント質再生には密接な関係が存在し、骨の再生力がセメント質の形成に大きく関与するという報告もある⁷⁵⁾。したがって、アパタイト顆粒を充填することによって、良好な骨の再生を獲得することができれば、このことが根面における組織の治癒に対しても有効に働き、セメント質および歯根膜の再生も期待できると思われる。

これまで、アパタイト顆粒を歯周治療に用いた

臨床報告^{28~30, 34, 42~49)}やヒト生検^{35, 36, 38~41, 52~54, 61, 65, 66)}および動物実験^{22~26, 33, 50, 51, 55~60, 62, 63)}による組織学的検索は広く行われ、臨床的にもその有効性が長期的に確認されている。ヒト生検の組織学的検索では線維組織によってアパタイト顆粒が被包される^{35, 36, 41)}というものも多い。また顆粒充填域にわずかながら骨形成が認められるものの、上皮の深行増殖が観察され、新付着に対して否定的な報告^{34~36)}が多い。しかしヒト生検の場合、そのほとんどが保存不可能に近い状態の歯を対象としており、また reentry して歯冠部の歯肉結合組織に近い領域のみを観察しているにすぎないものが多い。このような領域は残存する顎骨から離れた最も骨形成が遅いと予測できる部位であり、またブラークによる感染の影響が及びやすい部位でもある。したがって、ヒト生検による観察のみで、アパタイト顆粒の歯周組織再生への有効性を評価することは困難である。動物実験において、外科的に骨欠損を形成し、そこに顆粒を充填したものでは、顆粒充填域に良好な骨形成が認められたという報告^{23, 50, 51, 57~59, 63)}が多い。一方、実験的歯周炎を惹起してアパタイト顆粒を充填した報告では、顆粒充填域における骨形成量が何も充填しなかった対照側と同様であったり、またむしろ骨形成量が少ない場合も観察されている^{23, 24, 33, 62)}。しかしながら結合組織性付着に関しては、アパタイト顆粒はスペース・フィラーとして働き^{35~38)}、術後骨欠損へ肉芽組織が落ち込むのを防止し、創傷治癒を促進させ、上皮の深行増殖を阻止する可能性が示唆されている。顆粒充填域の骨形成に関しては、周囲組織を安静状態にしておくことと促進的に作用することが示唆されているが、詳細な観察はいまだなされていない。外科的に形成した骨欠損に顆粒を充填し、良好な骨形成を獲得した後、実験歯に矯正力を与えた実験^{55, 56)}では、その圧迫側で顆粒間に形成された骨に吸収や変性が生じ、根面に歯根と一致した吸収が生じたという報告がみられる。このような報告からも周囲組織の状態が顆粒充填域での骨形成に大きく関与することがうかがえる。したがって、今回は本教室における従

来の実験と同様な実験条件のもとで、特に、周囲組織と顆粒充填域との関連性について着目し、顆粒充填域における骨形成ならびに結合組織性付着に対する周囲組織の影響について考察した。

1. 顆粒充填域周囲の顎骨について

今回の実験では、顆粒の充填に先立ち、峯岸²³⁾、林²⁴⁾の実験方法に準じ、ヒトの歯周疾患によって生じる骨欠損に近い状態を設定した。実験歯隣接面に汚染根面を有する三壁性骨欠損を形成する目的で、まずそのスペースをつくるために隣接する側切歯を抜歯した。側切歯抜歯後12週で、外科的に骨欠損を形成し、根面をブラックで汚染させるため、4週間フロスを巻き付けたワイヤーを骨欠損部に挿入し、中切歯に固定した。歯肉は発赤腫脹し、実験歯の動揺度は増加し1度から2度を示した。ポケットは、遠心面の唇・舌（口蓋）側の中央部の位置で約5mmの深さとなっており、フローピンクによる出血が実験歯全周にみられた。以上のように肉眼的に歯周組織にかなり強い炎症を惹起させ得た。

外科的形成時には箱型であった骨欠損の形態は、顆粒充填時には浅層が唇・舌（口蓋）側のかつ近・遠心的にやや広がり、浅層から深層に向かってに従いその範囲はむしろ狭まっていた。また側切歯相当部歯槽頂の位置は、外科的骨欠損形成時に付与したノッチより約2mm根尖側に位置していた。以上のように、外科的に形成した骨欠損部の大きさは顆粒充填時においてすでに縮小していた。今回行ったこのような汚染条件が、前述したような本実験の前提条件を設定するうえで、その目的に沿ったものであったか否かについては今後さらに検討しなければならない。

また顆粒充填時に骨欠損底部周囲について観察した結果、肉眼的には比較的緻密であり、触診では海綿骨より硬い状態であった。これは標本でみられる顆粒充填域周囲の比較的緻密な骨に相当すると思われる。

顆粒充填域周囲の骨は、中切歯固有歯槽骨や海綿骨と比べて、染色性が高く、石灰化が低い。この骨は分化の程度が低い骨と層板骨からなってお

り、分化の程度が低い骨がかなり広範囲を占めている。さらに分化の程度が低い骨は封入されている線維の太さ、配列状態により二つのタイプ（タイプ1、タイプ2）に分けられる。タイプ1は基質をなしている線維が太く、その配列がきわめて不規則で、分化の程度が低い骨の大半を占めている。またタイプ2は線維の太さが通常の層板骨のものとはほぼ同様で、その配列も比較的平行で規則正しい。タイプ1は接合線を介し、海綿骨側に位置し、タイプ2は顆粒充填域側に位置している。タイプ2は顆粒充填域内部の骨と部分的に連続している。なお、タイプ1に封入されている太い線維は、汚染期間中にワイヤー部を中心にした炎症域を包むような線維組織が形成され、その線維組織内に向かって、骨が形成される際、新生骨にこれらの線維の一部が取り込まれたものであると思われる。またタイプ2は、接合線の形態からみてタイプ1の骨が吸収され、その後そこに添加されたものであると思われる。したがってタイプ2は顆粒充填後、間もない時期に形成された骨であると思われる。顆粒充填域周囲の比較的緻密な骨は、肉眼所見ならびに以上のような組織所見から、その大半が汚染期間に形成されたものであり、また一部顆粒充填域側のものは顆粒充填直後に形成添加されたものであると思われる。

また、この顆粒充填域周囲の骨は唇側寄りや浅層の緻密骨に近い領域では厚く、口蓋側寄りや深層の海綿骨に近い領域では薄くなっている。このように骨が厚く形成されている部分は、元来、骨が豊富に存在する部分に相当し、また骨が薄い部分はもともと骨が少ない部分に相当することから、このように骨の厚さに差が認められるのは、“場”の特異性に関連するものと思われる。一方、顆粒充填域周囲の骨で、元来の海綿骨領域に形成されている骨は、観察時において、一般的な海綿骨に比べてその量が多いが、本来、海綿骨としての“場”に形成されているものであるから、長期的には次第に減少していくものであると考えられる。

中切歯遠心側歯槽縁は近心側歯槽縁より根尖側に位置している。また遠心側の唇側斜面部の顎骨

には陥凹がみられ、特に側切歯相当部の陥凹は深い。唇側斜面部から骨頂部にかけて、その緻密骨外表面には活発に骨吸収がみられ、一方この骨の海綿骨側表面では骨添加がみられる。つまり、この緻密骨が内方に向かって移動していることを示している。また、それに伴って海綿骨の緻密骨寄りの骨小柱では、骨吸収や骨形成が生じている。一般に抜歯後、その部の顎堤は吸収沈下し、特にその吸収の程度は唇側寄りの部分で強いといわれている^{3,76,77)}。今回の実験では抜歯後すでに30週経過しているにもかかわらず、このような抜歯後の変化が引続き生じていることが認められた。今回の実験では、抜歯後に生じるこのような顎堤の萎縮が進行している領域の近心端部に、顆粒が充填されている。

2. 実験歯の移動について

唇側の固有歯槽骨内表面では全域にわたって骨吸収がみられ、特に歯槽骨縁で強い。また近心側固有歯槽骨の唇側寄りの全域および顆粒充填域より唇側の遠心側固有歯槽骨内表面に骨吸収がみられる。また以上のような固有歯槽骨内表面に変化がみられるだけでなく、唇側緻密骨においてもその遠心側の歯肉側表面に骨添加が生じている。

一方、近心側固有歯槽骨内表面は唇側寄りの歯冠側1/3の領域と、口蓋側寄りの根尖側のごく一部を除いた領域では、その表面は平滑で、染色性のやや高い骨が中層から深層にかけてかなり厚く添加されている。CMR 像においても、この染色性の高い領域の軟X線透過性は周囲歯槽骨より高く、石灰化が低い新しく添加された骨であると思われる。また、この新生骨の表面には骨芽細胞がみられる。

これに対して遠心側の固有歯槽骨は、海綿骨側から歯根膜側にかけて、その全域にわたって軟X線の透過性に差がみられない。

中切歯固有歯槽骨の各所に、骨吸収、骨形成による新たなオステオン層板の形成が観察される。

以上のように実験歯周囲の固有歯槽骨内表面にみられる骨添加や骨吸収および固有歯槽骨の改築、さらには唇側緻密骨外表面での骨添加などの

状態からみて、実験歯が唇側方向かつ遠心側方向へ移動しているものと思われる。このような実験歯の移動は隣接する側切歯を抜歯したことによると思われる。歯が移動する際にこのように歯槽骨に変化が生じることについては、同様の報告が多数みられ^{78~81)}、また隣接歯を抜歯後、当該歯が抜歯窩方向に移動することはよく知られている。

歯根膜腔は口蓋側から唇側に向かうほど広くなり、遠心側と近心側では遠心側のほうが広い。特に遠心側では唇・舌（口蓋）側的な差が大きい。唇側の遠心側半の歯根膜では主線維相互間が広くなり、主線維の線維束としての形態が不明瞭になっている。また線維束を構成する線維は緊密性に欠け、疎である。このような線維束は唇側遠心側半から遠心側の唇・舌（口蓋）側の中央部付近までの範囲にみられる。このような歯根膜線維の状態は顆粒充填域の近くにまで観察される。このような歯根膜腔の広さ、線維束の配列ならびに分布状態は、実験歯が唇側かつ遠心側方向へ移動しつつ、しかも咬合機能時に大きく動揺していることを示していると思われる。

また口蓋側に向かうほど唇・舌（口蓋）側方向に配列する歯根膜線維が増加している。これは唇側かつ遠心側に歯根が移動することと、咬合機能時における動揺に対する一種の適応を示す変化と考えられる。

以上のような実験歯の移動と動揺が生じている状況下で、その歯の遠心側に顆粒が充填されている。

3. 顆粒充填域について

1) 顆粒の分布状態

顆粒充填域の外形は、全体として角が取れた箱型である。

顆粒充填域内における顆粒の分布は、必ずしも均一ではない。特に口蓋側寄りの中層から深層において、顆粒の分布密度が高く、また全体として辺縁部寄りに比べて、根面側寄りでその分布密度が低い。口蓋側寄りの中層から深層で分布密度が高いのは、この部の骨欠損の深さが最も深く、アパタイト充填器を用いて唇側方向から手圧にて顆

粒を充填する際、最も強い圧を加えたことにより顆粒が粉碎し、小さな顆粒が大きな顆粒間に散在した結果、密度が上がったものと考えられる。また根面側寄りにおいて相対的に辺縁部寄りに比べて密度が低いのは、この部分が周囲の骨組織から最も離れているために骨形成が遅れ、顆粒の固着が遅れたこと、またこの部の顆粒は歯の移動および機能的動揺の影響を強く受けることなどにより、被覆する歯肉がいまだ治癒しないうちにいくつかの顆粒が口腔内に排出された結果であると考えられる。

2) 顆粒充填域に形成されている骨について

顆粒充填域には、良好な骨形成がみられ、多量に骨が形成されている領域（骨緻密領域）が存在し、その領域は顆粒充填域全体の遠心側約 2/3 程度を占めている。しかし、そのような骨緻密領域に囲まれた根面側寄りでは骨形成量が少ない領域（骨疎領域）があり、さらに根面側の中層には顆粒間に骨が全く形成されていない領域（線維領域）が広がっている。

顆粒充填域にみられる血管系は、顆粒充填域周囲の骨髄から顆粒充填域周囲の骨を貫通し、顆粒充填域の内部方向および歯肉側方向へ向かっている。顆粒充填域内における骨形成状態ならびに血管系の配列状態などからみて、顆粒充填後における顆粒充填域の組織分化は、顆粒充填域の辺縁部つまり元来の骨側から開始され、また骨形成もそのような方向で顆粒充填域内に広がったことが推察される。

また骨緻密領域および骨疎領域にみられる骨は、いずれも 2 種類の骨質で構成されている。その一つは染色性がやや高く、骨小腔が大きく、その数が多いとともに配列に規則性がみられず、また層板構造を示さない骨、いわゆる分化の程度が低い骨である。もう一つは染色性が前者よりやや高く、骨小腔が通常の緻密骨にみられるものと同様の大きさで、層板構造を有する骨である。

顆粒充填域にみられる層板骨は、分化の程度が低い骨が血管系の再構築に伴う骨のリモデリングによって吸収され、その後血管系を中心に形成さ

れたものと思われる。顆粒充填域においては分化の程度が低い骨がその全域にわたって観察される。このことはすなわち、顆粒充填域にみられる分化の程度が低い骨は、顆粒充填後かなり早い時期に顆粒充填域全体に形成されたものであることを示している。またこの骨は基質線維の配列状態などから、前述した顆粒充填域周囲にみられるタイプ 2 の骨と同様なものであると思われ、両者は各所で連絡している。

以上、顆粒充填域周囲および顆粒充填域の骨についてまとめると、顆粒充填域周囲の骨のうち海綿骨側のものは外科的骨欠損形成後、汚染期間中に欠損部に面する海綿骨内に不規則に線維を取り込みながら形成されたタイプ 1 の骨である。これらタイプ 1 の骨の表面が、顆粒充填時から顆粒間の骨形成と同時に改築を受け、したがってタイプ 2 の骨が顆粒充填域から顆粒充填域周囲にかけて連続的に観察されるものと思われる。両者にみられる層板骨はこれらタイプ 1, 2 の骨が形成された後、血管系の侵入に伴って形成されたものである。

血管系は顆粒充填域周囲内に侵入するに際し、顆粒を迂回するため、顆粒間を縫うように走行せざるを得ない。したがって顆粒間にみられる層板骨も顆粒間を縫うように配列している。

また骨疎領域において、歯根と骨性結合している顆粒やその周囲の顆粒では、その表面の多くにそれを取り囲むように層板が配列する層板骨がみられる。このような層板骨は顆粒周囲、つまり顆粒相互間の骨が後述するような理由でいったん消失した後、なんらかの理由により、周囲の組織分化が進行した状況下で顆粒の表面に形成されたものと思われる。

いずれにしても、顆粒充填域内においては現段階においても、このようなリモデリングがところどころに観察されることから、分化の程度が低い骨は今後も引き続き、徐々に層板骨に置換されていくことが考えられる。顆粒充填域内部に形成された骨におけるリモデリングについては、これまでに報告^{61, 63)}はあるが、オステオン層板が観察さ

れたことに触れるのみで、今回のように詳細に観察したものはみられない。

また骨緻密領域は元来の海綿骨領域に形成されているにもかかわらず、顆粒間に多量に骨が形成されており、その骨の量は実験部位より離れた周囲海綿骨領域に比べ多いことから、長期的には顆粒間の骨が徐々に減少し、周囲の海綿骨の状態に近づいていく可能性が高いと思われる。しかし、この骨緻密領域が中切歯遠心側において中切歯固有歯槽骨としての機能の一部を担っているならば、その領域の骨の量はある程度維持されることも考えられる。

3) アパタイト顆粒とその表面に添加されている骨の関係について

骨緻密領域に封入されている顆粒の表面を観察すると、それらの顆粒はほぼ全周が骨と密接しており、ほとんど、その間に線維組織は介在しない。顆粒は約 $10\mu\text{m}$ 程度のアパタイトの二次粒子で構成されており、したがって顆粒表面は数 μm のオーダーの微細な凹凸を示している。したがって顆粒に添加された骨は、そのような顆粒表面の微細な凹凸に一致して密着している。また顆粒表層部にみられるマイクロボア内には、細胞成分はみられないものの、顆粒周囲の骨と同様、トルイジンブルーによって赤紫色に染色される組織が観察される。それらのマイクロボアよりさらに内方に位置するマイクロボア内では、二次粒子の表面に沿ってごく薄く赤紫色の層がみられる。さらにそれより内方ではそのような赤紫色の組織は全く認められない。また顆粒表層部にみられるマイクロボアでも、その内腔が狭いものではこのような赤紫色の組織は観察されない。

このような多孔質アパタイト顆粒のマイクロボア内に形成されている組織については、いくつかの報告があり^{16, 64~66)}、特に Ogiso ら¹⁶⁾ は今回と同じ構造の顆粒をサルの上顎骨に充填し、透過電子顕微鏡を用い観察している。それによると、この赤紫色の組織は骨組織であり、その骨は通常の骨と同様なコラーゲン線維を含んでいるとしている。またやや内方における二次粒子表面の薄い赤

紫色の層はコラーゲン線維をほとんど含まず、微細な骨結晶が密に沈着したものであることも示している。これらのマイクロボア内の骨組織は、顆粒表面で骨芽細胞が出現し、それがコラーゲン線維を分泌合成する際、顆粒内部のマイクロボアにもコラーゲン線維が送り込まれ、また骨芽細胞によって形成された顆粒表面のオステオイドが石灰化する際、マイクロボア内も石灰化し骨が形成されたものであると述べている。したがって本実験において観察されたマイクロボア内にみられる赤紫色の骨組織も、顆粒周囲で骨が形成される際に形成されたものであると思われる。

骨疎領域では顆粒相互間に骨がほとんどみられず、顆粒表面のところどころにごく薄い骨やオステオイドがみられる程度である。

このような骨やオステオイドに隣接する顆粒表層のマイクロボアにも赤紫色の層が形成されており、また骨やオステオイドがみられない部分の顆粒表層においてもその一部で、マイクロボア内が赤紫色に染まっている状態が観察される。また顆粒表面の骨はその表面が吸収を受けた状態を示している。さらに従来の顆粒充填あるいは添加実験^{11, 12, 16, 17)}の結果から、顆粒相互間に骨が全く形成されない状態で顆粒表面にのみ骨が形成されることは、一般には考えられない。また線維領域にみられる顆粒のマイクロボアには、このような赤紫色の組織は全くみられない。したがって骨疎領域における顆粒表層のマイクロボア内の骨組織の存在、ならびに顆粒表面にのみ骨が存在している状況は、顆粒相互間や顆粒表面に一度良好な骨形成が生じたことを示唆している。

4) アパタイト結晶を取り込んだマクロファージについて

顆粒充填域内には随所にマクロファージが観察される。これらのマクロファージは、顆粒相互間の線維組織や髄腔ならびに顆粒表面に多数散在している。

アパタイト顆粒表面にマクロファージが出現するのは、外来物であるアパタイト顆粒を崩壊貪食しようとして出現しているものと考えられている

82~84)。

今回の実験では、微細なアパタイト結晶を取り込んだマクロファージがその周囲組織に対し、炎症反応などを惹起している像は観察されないものの、これらの影響については今後の検討を要するものと思われる。

5) 骨疎領域および線維領域について

骨緻密領域より根面側には顆粒相互間隙や顆粒表面の骨の量が少ない骨疎領域がみられ、特に顆粒充填域の唇・舌（口蓋）側の中央部で根面側寄りの中層には骨が全くみられない線維領域が形成されている。骨疎領域の深層では薄い骨が比較的広範囲にその表面に添加している顆粒が多い。しかし顆粒相互間の骨の量はかなり少ない。また骨疎領域の中層から浅層では、顆粒表面に薄い骨やオステオイドが散在しているのみで、顆粒相互間には、骨緻密領域から伸長している骨小柱がみられる。

深層では一部の顆粒がその表面に形成された骨と根面に添加された新生セメント質を介し、歯根と骨性結合している。しかし、このような顆粒とそれら周囲の顆粒とは骨を介した連絡がほとんどみられない。顆粒相互が相対している顆粒表面のうち、根面寄りの顆粒表面では唇側遠心面に、また骨緻密領域寄りの顆粒では根面側面にほとんど骨がみられない。さらにそのような部の顆粒表面の一部では亀裂が生じているとともに崩れている。またその部分に一部残存している薄い骨はすでに吸収を受けた状態となっているものの、その顆粒の表層のマイクロホア内には骨が認められる。さらにこの領域の顆粒が骨緻密領域と相対する部分では、骨緻密領域の骨表面がその顆粒の表面形態に一致してえぐれたように陥凹しており、破骨細胞が多数出現している。このような骨吸収の状態は、矯正力を加え歯を移動させた実験で圧迫側に観察される穿下性骨吸収像^{78~81)}に類似していると思われる。

以上の所見はこれらの部位において、顆粒相互、また顆粒と骨との間に物理的な圧迫が加わったことを示していると思われる。その圧迫は、顆

粒相互または顆粒と骨が接触することによる圧迫の他、それらの間に間隙があることから間接的な圧迫もあるものと考えられる。しかもこのような圧迫は、根面を中心にして遠心方向かつ唇側方向に生じている。

本来、このような顆粒充填域深層はその根尖側で固有歯槽骨や海綿骨と隣接しているために、顆粒の充填後、その他の顆粒充填域辺縁部と同様に良好な骨形成状態を示すことが十分予想される領域であり、このことから以下のような過程を経て二次的に骨の量が減少したと思われる。つまりこのような深層の骨疎領域では、術後当初、比較的良好な骨形成が一様に広がり、それらの新生骨によって顆粒相互が連絡し、また同時に一部の顆粒は顆粒充填域周囲の緻密骨と連絡し、さらに一部の顆粒は歯根と連絡していたものと考えられる。しかしそれらの新生骨が発育肥厚するとともに石灰化が亢進し、骨の物理的性状が高まってきたとき、生理的動揺を常に示す歯根と動かない顆粒充填域周囲の骨を連絡する骨に歪みが集中し、その部位やその周囲の骨に骨折が生じたと思われる。その結果、顆粒充填域深層は遠心側の顆粒充填域周囲の骨と固着した顆粒群と、歯根と固着した顆粒群に分離したものと推測される。その後、遠心側の顆粒群では顆粒間の骨形成がさらに進行して骨緻密領域となり、それに対して歯根に固着した顆粒群は顆粒相互が一体となり、歯の生理的動揺に連動して動揺し、同時にこれらの顆粒は唇側遠心方向に移動していると思われる。その結果、骨緻密領域の根面側面が少しずつ吸収を受け後退し、また顆粒相互を連絡する骨も吸収される。このような状態が進み、顆粒が互いに接触するようになり、一部顆粒表面に残存していた骨もさらに強く吸収されているものと思われる。

中層の骨疎領域では、深層よりもさらに顆粒表面の骨形成が少なく、顆粒表面のところどころに薄い骨やオステオイドがみられるのみである。またこの領域のうちでも骨緻密領域寄りでは、顆粒間の骨小柱がその根面側寄りに隣接する顆粒の形態に一致して吸収を受け、一方反対側では骨形成

がみられる。このような骨小柱と骨緻密領域の連絡部では骨吸収や骨折線がみられ、それらの連絡が途切れていく状態を示している。

中層から浅層の骨疎領域は、深層と異なり、元来の顎骨からかなり離れていることから、もともと骨形成量がそれほど多くなかったものと思われる。それに加えて、歯根の動揺に伴って起こる顆粒の動揺が骨形成を途中で中断させ、また一度形成された骨を吸収消失させたものと考えられる。またそこにみられる骨には種々の方向に走行する接合線が多数観察されることから、この領域で骨が吸収、添加を繰り返しつつ、この時期にいたって全体として骨がきわめて少ない状態になったものと思われる。この際、深層のように、顆粒の表面に骨形成がなぞ進行しなかったのかについてその詳細は不明である。しかし、中層より浅層では顆粒と歯根が隣接する部分で歯根吸収が広範囲に生じており、そのことからみて歯の動揺や移動の影響が深層より強かったことが推測される。

顆粒充填域中層より浅層の根面側には骨が全くみられない線維領域が形成されている。この線維領域は、顆粒充填域の中央部付近に位置しており、また線維領域の歯肉側には、歯肉固有層の緊密な線維性結合組織が存在していることから、骨が周囲顎骨からこの領域に伸長してくる以前に、顆粒間、および歯根と顆粒との間にそれらの線維性結合組織が侵入形成された可能性が高い。またこの線維領域に隣接してみられる骨疎領域の線維構成、血管分布、間質の状態とかなり異なっていることなどからみて、この線維領域には、はじめから骨の形成がほとんど生じなかったものと思われる。

6) 顆粒充填域の根面について

顆粒充填域に面する根面では、そのほぼ全域にわたり充填時のルートプレーニング時に残存した元来のセメント質表面に新生セメント質が添加されている。その新生セメント質は元来のセメント質に比べ、染色性がやや高く、その石灰化もいまだそれほど高くない。

新生セメント質と元来のセメント質との境界部

には接合線がみられる。したがって搔爬されたセメント質表面に術後新生セメント質が形成される前に、わずかなセメント質の吸収が生じたことがうかがえる。このような新生セメント質は一般にその周囲の顆粒充填域における骨形成が良好な部位ほど厚くなっており、新生セメント質の添加と骨形成の関連性をうかがわせる。また顆粒充填域の表層より歯冠側にみられる新生セメント質は非常に薄い。この表層より歯冠側の一部や、破歯細胞が観察されない吸収窩では、いまだ石灰化したセメント質はみられず、薄いセメントイドのみが添加されている状態となっている。また顆粒との接触によって生じた歯根吸収がみられる部分や、破歯細胞が出現している吸収窩では、新生セメント質はほとんど形成されていない。このような新生セメント質やセメントイドはその周囲組織の線維束の一端を封入しているものの、封入された線維束の数や太さは通常のセメント質のものに比べて、かなり少なく細い。また新生セメント質の周囲に存在する線維束は通常のものに比べて、配列に規則性があまりみられず、典型的な主線維の形態を示すものは少ない。したがって顆粒充填域に面して形成されたセメント質の機能は、通常のものとはかなり異なったものであることが推察される。しかし、顆粒充填域より歯冠側に形成されている新生セメント質やセメントイドには、比較的多くの太い線維束が封入されており、また付着上皮の深行増殖は新生セメント質の最歯冠側端にとどまっている。この太い線維束は主に、顆粒充填域の表層を被覆するように配列するものである。顆粒充填域より歯冠側の新生セメント質は、通常のセメント質に近い機能を有しているものと考えられる。

顆粒充填域深層で、根面に形成された新生セメント質と顆粒表面の添加骨が骨性結合している状態が観察された。これまでに顆粒と歯根との骨性結合に関する報告は多い^{55, 57~60)}ものの、それを詳細に観察し、またその成因を考察しているものは少ない。原ら⁵⁵⁾は骨形成の活性が高い場合に、顆粒と歯根の骨性結合が起こりやすくなると推測

している。また顆粒と歯根が近接している場合に骨性結合がみられたとする報告がある⁵⁷⁾。

骨性結合している部分では、根面に形成されているセメント質と顆粒表面に形成されている骨の層板が連続している状態が観察される。さらにその層板構造を有するセメント質の構造と顆粒表面の層板骨の構造は差が特にみられない。このことから、新生セメント質と骨とは異なったものではなく、基本的に類似した組織であると思われる。Melcherら⁸⁵⁾は骨由来の細胞を象牙質面上で培養すると、セメント質様物質を産生したと報告している。また再生の著しい骨組織に対応する根面には骨様セメント質の形成が認められるという報告⁷⁵⁾がある。またアパタイトを用いた歯内骨内インプラント実験¹³⁾で、インプラント上に形成された硬組織は構造的にセメント質ならびに骨と類似していた。以上のように、新生セメント質と骨とは構造上の類似性があることから、機能的な面も含め、これらについて今後詳細に検討していく必要があると思われる。

以上、ニホンザルの上顎側切歯の抜歯窩が治癒した後、中切歯遠心側に外科的骨欠損を形成するとともに、同部に一定期間汚染源を設定した後、歯肉剝離搔爬手術を行い、アパタイト顆粒を充填し、その12週後における中切歯歯周組織ならびに顆粒充填域の組織形成の状態について組織学的観察を行った。その結果顆粒充填域の広範囲において、顆粒間に多量の骨が形成された。しかし、歯根に隣接する領域では顆粒間に骨が少ない状態や、さらに骨が全く形成されず、線維組織で満たされた状態が観察された。このような顆粒間に良好な骨形成が生じない原因として、歯の生理的動揺や歯の移動が示される所見が数多く認められた。

一般にアパタイトを用いた人工歯根や人工骨の応用に際して、適用する場に感染がないこと、また絶対的に近い安静状態を確保することが、それらを成功に導くための最も重要な条件であるとされている¹⁸⁾。同じアパタイト顆粒を用いる際にも基本的に同様なことが重要であると思われる。今

回の実験によって、生理的動揺がみられる歯根の周囲にアパタイト顆粒を充填することの困難さが示された。したがって、歯周治療を目的としてアパタイト顆粒を用いる際には、術後当初一定期間、顆粒充填域の安静状態をいかに確保するか、さらにどのようにして顆粒と歯根との骨性結合を防止するか、などについて一連の術式を考察していかなければならないと思われる。

V. 結 論

実験的歯周炎を惹起した骨欠損部にアパタイト顆粒を充填し、アパタイト顆粒充填域ならびに周囲組織の再生を観察する目的で動物実験を行った。

ニホンザルの上顎側切歯抜歯後12週で中切歯遠心面に外科的に3壁性骨欠損を形成し、4週間汚染源を設定した。その後、汚染源を除去して、歯肉剝離搔爬手術を行い、アパタイト顆粒を充填し、その12週後における中切歯歯周組織、ならびに顆粒充填域の組織形成の状態および両者の関連性について組織学的観察を行った。

1) 側切歯抜歯後30週において、中切歯遠心側ならびに側切歯相当部の顎骨で広範囲に吸収沈下がみられ、また側切歯相当部顎骨では活発な改造が起り、顎堤の萎縮が引き続き進行している。

2) 側切歯抜歯後30週において、中切歯は唇側かつ遠心側方向に移動しており、また咬合機能時に動揺が認められる。

3) 顆粒充填域周囲には、汚染期間中に形成された比較的緻密な骨が、顆粒充填域を取り囲むように存在する。

4) 顆粒充填域の遠心側寄りおよそ2/3には、多量に骨が形成されている領域(骨緻密領域)が存在し、その根面側には骨形成量が少ない領域(骨疎領域)が、さらに根面側の中層には骨形成が全くみられない領域(線維領域)が存在する。

5) 顆粒充填域に形成されている骨はその多くが、顆粒充填域周囲の骨のうち顆粒充填域側にみられる骨とともに、顆粒充填後早期に形成された分化の程度が低い骨であり、また各所でこれらの

骨が層板骨に置換されている。

6) 骨疎領域と骨緻密領域の境界では, 広範囲に骨吸収がみられるとともに, 骨緻密領域から骨疎領域に伸長した骨小柱には骨折線や骨吸収がみられる。また根面に形成された新生セメント質と, 顆粒表面に形成された骨が骨性結合している部がみられる。

7) 線維領域の顆粒を除き, マイクロポア内に骨形成が認められる顆粒が多い。特に骨疎領域においては, 周囲あるいは顆粒表面に骨形成がみられない顆粒のマイクロポア内に骨が形成されているものがみられる。

8) 中切歯根面には顆粒充填域のやや歯冠側寄りの位置まで新生セメント質が添加され, 周囲の線維組織が封入されている。また根面の一部には, 周囲の顆粒形態に一致した吸収が観察される。付着上皮の根尖側端は新生セメント質の最歯冠側端に一致し, この部の新生セメント質には太い線維束が封入されている。

9) 以上のことから, 顆粒充填域には充填後早期に歯根付近まで良好に骨が形成されたものの, 歯の生理的動揺や歯の移動により, 経時的に骨が吸収された可能性が示唆された。したがって歯周治療にアパタイト顆粒を用いる際の, 顆粒充填域における安静状態の確保の必要性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり, 懇篤なるご指導ならびにご校閲を賜りました石川 烈教授に深甚なる感謝の意を表しますとともに, 終始懇切丁寧なご教授とご校閲をいただきました本学第2口腔解剖学教室, 一條 尚教授ならびに第1口腔解剖学教室, 山下靖雄教授に深く感謝いたします。

また本研究に際し, 多大なるご助言, ご教示をいただきました本学第2歯科補綴学教室, 小木曾 誠博士に心より感謝の意を表します。

また種々なご援助, ご協力をいただきました本学口腔解剖学教室, 第2歯科補綴学教室ならびに第2歯科保存学教室の諸先生方に厚くお礼申し上げます。

さらに本研究に際し, 材料作製にご尽力くださった旭光学工業株式会社ニューセラミックス部の方々に感

謝いたしますとともに, 動物実験に際し, ご協力いただきました本学動物実験施設の方々に感謝いたします。

本研究の要旨は平成元年12月, 第54回口腔病学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) 小木曾 誠: Apatite 焼結体埋入による顎骨組織の経時的推移変化. 口病誌 45: 170-221, 1978.
- 2) 金田浩之: Apatite Implant の埋入間隙と骨組織形成との関連に関する観察. 口病誌 47: 57-97, 1979.
- 3) 荒崎淳三: 抜歯後における下顎骨の経時的変化. 口病誌 49: 358-399, 1982.
- 4) 石田光輔: アパタイト・セラミックス・インプラントの骨組織による保持に関する組織学的研究. 口病誌 51: 333-371, 1984.
- 5) 塩田 真: アパタイト・セラミックスの即時インプラントへの応用に関する実験的研究. 口病誌 51: 219-258, 1984.
- 6) 三羽敏夫: アパタイト・セラミックス・インプラントの埋入後の咬合開始時期と骨形成との関連性に関する組織学的研究. 口病誌 52: 233-287, 1985.
- 7) 武井信作: アパタイト・インプラントの上顎洞穿孔に関する組織学的観察. 口病誌 53: 77-123, 1986.
- 8) 和久田 尚: ブラック蓄積によるアパタイト・インプラント周囲組織への影響に関する実験的研究. 口病誌 54: 490-526, 1987.
- 9) 相川修二: 機能的負荷状態下における apatite implant が周囲顎骨組織に及ぼす影響について. 口病誌 55: 381-436, 1988.
- 10) 杉本裕史, 古田 勲, 小木曾 誠, 一條 尚: 少数のアパタイト人工歯根による咬合挙上時の人工歯根及び対合歯の周囲組織に関する実験的研究. 第78回日本補綴歯科学会学術大会論文集: 57, 1987.
- 11) 魚島勝美: Apatite implant 適用を目的とした顎骨形態の改善に関する実験的研究. 口病誌 56: 314-339, 1989.
- 12) 益田高行: Apatite implant 適用を目的とした顎骨内部構造の改善に関する実験的研究. 口病誌 56: 289-313, 1989.
- 13) 富塚 健: Apatite ceramics を用いた歯内骨内インプラントに関する実験的研究. 口病誌: 投稿中.
- 14) Ogiso, M., Kaneda, H., Arasaki, J., Tabata, T. and Hidaka, T.: Epithelial attachment and bone tissue formation on the surface of hydroxyapatite ceramics for the purpose of dental

- implants. 1st World Biomater. Congress, Vienna, April, 4-8, 1980.
- 15) Ogiso, M., Kaneda, H., Arasaki, J., Ishida, K., Asano, K. and Tabata, T. : Epithelial attachment to hydroxyapatite ceramics implant. J. Dent. Res. 59 (Special Issue B) : 941, 1980.
 - 16) Ogiso, M., Tabata, T. and Hidaka, T. : Osteogenesis of 5-type dense apatite granules and 3-type porous apatite granules and effect of macrophages. Trans. 12th Ann. Meet Soc. Biomater. : 58, 1986.
 - 17) Ogiso, M., Ichijo, T., Tabata, T., et al. : Relations with surrounding tissue of apatite dental implant and apatite granules applied in human jaw bone. Trans. 3th World Biomater. Congress : 109, 1988.
 - 18) 小木曾 誠 : アパタイト・セラミックスとデンタル・インプラントについて. ザ・クインテッセンス 4 : 389-407, 1985.
 - 19) 山崎安晴 : 人工骨としての多孔質アパタイトー顎骨補填実験一. 口病誌 49 : 372-406, 1984.
 - 20) 松本麻弥子 : 多孔質アパタイトの添加補填に関する実験的研究ー顎骨添加実験一. 口病誌 53 : 30-76, 1986.
 - 21) 神林秀昭 : 多孔質アパタイト人工骨による下顎骨再建に関する実験的研究ー区域切除後の架橋補填一. 日口外誌 : 投稿中.
 - 22) 林 成忠, 木村喜保, 呉 啓彦, 米良豊常, 西原達次, 野口俊英, 木下四郎, 加藤一男 : サルの歯槽骨欠損部における Hydroxyapatite 移植の臨床的および組織学的研究. 日歯周誌 25 : 919-935, 1983.
 - 23) 峯岸大造 : サル歯槽骨欠損部への多孔質アパタイト顆粒の充填に関する研究. 日歯周誌 28 : 87-100, 1986.
 - 24) 林 成忠 : ハイドロキシアパタイト顆粒の歯周治療への応用に関する組織学的研究ーその形状の違いが組織に及ぼす影響について一. 日歯周誌 28 : 1004-1027, 1986.
 - 25) Minegishi, D., Lin, C., Noguchi, T. and Ishikawa, I. : Porous hydroxyapatite granule implants in periodontal osseous defects in monkeys. Int. J. Periodontics Restorative Dent. 4 : 51-63, 1988.
 - 26) Lin, C. and Ishikawa, I. : Effect of Porous and dense hydroxyapatite implantation on periodontal tissue regeneration in monkeys. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 36 : 1-11, 1989.
 - 27) 石川 烈, 林 成忠, 峯岸大造, 田中良彦 : 歯周治療におけるハイドロキシアパタイトの応用について. ザ・クインテッセンス 4 : 355-369, 1985.
 - 28) 田中良彦, 和泉雄一, 渡辺 久, 萩原さつき, 石川 烈 : 多孔質アパタイト移植に関する臨床的研究. 術後 1 年間の観察結果. 日歯周誌 27 : 444-457, 1985.
 - 29) 田中良彦, 橋本マリコ, 和泉雄一, 渡辺 久, 萩原さつき, 石川 烈 : 多孔質アパタイト充填に関する臨床的研究. 日本歯科保存学会 1986 年度春季学会 (第 84 回) プログラム : 37, 1986.
 - 30) 田中良彦 : 顆粒状多孔質アパタイト補填に関する臨床的研究. 日歯周誌 29 : 37-64, 1987.
 - 31) 石川 烈, 峯岸大造, 林 成忠, 田中良彦 : 多孔質ハイドロキシアパタイトの歯周治療への応用, 別冊クインテッセンス. 「歯科における生体新素材の応用」. 東京, 1987, クインテッセンス出版, 67-78.
 - 32) 田端恒雄, 小木曾 誠, 石川 烈, 大西正俊 : ハイドロキシアパタイト骨補填材の歯科臨床への応用. 東京, 1985, 旭光学工業株式会社.
 - 33) Caton, J., Nyman, S. and Zander, H. : Histometric evaluation of periodontal surgery II. Connective tissue attachment levels after four regenerative procedures. J. Clin Periodontol. 7 : 224-231, 1980.
 - 34) Rabalais, M. L., Yukna, R. A. and Mayer, E. T. : Evaluation of Durapatite ceramic as an alloplastic implant in periodontal osseous defects. 1. Initial six-month results. J. Periodontol. 52 : 680-689, 1981.
 - 35) Froum, S. J., Kushner, L., Scopp, I. W. and Stahl, S. S. : Human clinical and histologic responses to Durapatite implants in intraosseous lesions. Case reports. J. Periodontol. 53 : 719-725, 1982.
 - 36) Moskow, B. S. and Lubarr, A. : Histological assessment human periodontal defect after Durapatite ceramic implant. Report of a case. J. Periodontol. 54 : 455-462, 1983.
 - 37) 青野正男, 原 宜興 : 歯槽骨欠損に対するハイドロキシアパタイトの移植の現状と展望. ザ・クインテッセンス 4 : 1801-1814, 1985.
 - 38) Han, T., Carranza, Jr. F. A. and Kenny, E. B. : Calcium phosphate ceramics in dentistry. A review of the literature. J. Western Soc. Periodont./Periodont. Abs. 32 : 88-108, 1984.
 - 39) Stahl, S. S. and Froum, S. J. : Histologic and clinical responses to porous hydroxylapatite implants in human periodontal defects. Three to twelve months postimplantation. J. Periodontol. 58 : 689-695, 1987.
 - 40) Ellinger, R. F., Nery, E. B. and Lynch, K. L. : Histological assessment of periodontal osseous defects following implantation of hydroxyapatite and biphasic calcium phosphate ceramics : A case report. Int. J. Periodontics Restorative

- Dent. 3 : 22-33, 1986.
- 41) Kramer, G. M., Mattout, P., Mattout, C. and Mellonig, J. T.: Clinical and histological responses to a mixed bone/hydroxyapatite graft : Report of a case. *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* 9 : 9-21, 1989.
 - 42) Yukna, R. A., Mayer, E. T. and Brite, D. V.: Longitudinal evaluation of Durapatite ceramic as an alloplastic implant in periodontal osseous defects after 3 years. *J. Periodontol.* 55 : 633-637, 1984.
 - 43) Yukna, R. A., Harrison, B. G., Caudill, R. F., Evans, G. H., Mayer, E. T. and Miller, S.: Evaluation of Durapatite ceramic as an alloplastic implant in periodontal osseous defects. 2. Twelve month reentry results. *J. Periodontol.* 56 : 540-547, 1985.
 - 44) Yukna, R. A., Cassingham, R. J., Caudill, R. F., Evans, G. H., Miller, S., Mayer, E. T. and Simon, J. F.: Six month evaluation of Calcite (hydroxyapatite ceramic) in periodontal osseous defects. *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* 3 : 35-45, 1986.
 - 45) Yukna, R.: Osseous defect responses to hydroxylapatite grafting versus open flap debridement. *J. Clin. Periodontol.* 16 : 398-402, 1989.
 - 46) Meffert, R. M., Thomas, J. R., Hamilton, K. M. and Brownstein, C. N.: Hydroxylapatite as an alloplastic graft in the treatment of human periodontal osseous defects. *J. Periodontol.* 56 : 63-73, 1985.
 - 47) Kenny, E. B., Lekovic, V., Han, T., Carranza, Jr. F. A. and Dimitrijevic, B.: The use of a porous hydroxylapatite implant in periodontal defects. 1. Clinical results after six months. *J. Periodontol.* 56 : 82-88, 1985.
 - 48) Kenny, E. B., Lekovic, V., Elbaz, J. J., Kovacic, K., Carranza, Jr. F. A. and Takei, H. H.: The use of a porous hydroxylapatite implant in periodontal defects. 2. Treatment of class 2 furcation lesions in lower molars. *J. Periodontol.* 59 : 67-72, 1988.
 - 49) Krejci, C. B., Bissada, N. F., Farah, C. and Greenwell, H.: Clinical evaluation of porous and nonporous hydroxyapatite in the treatment of human periodontal bony defects. *J. Periodontol.* 58 : 521-528, 1987.
 - 50) West, T. L. and Brustein, D. D.: Comparison of replamineform coral and bone alloimplants in dog periodontal pockets. *J. Dent. Res.* 57 : 101, 1978.
 - 51) West, T. L. and Brustein, D. D.: Freeze-dried bone and coralline implants compared in the dog. *J. Periodontol.* 56 : 348-351, 1985.
 - 52) Carranza, Jr. F. A., Kenny, E. B., Lekovic, V., Talamante, E., Valencia, J. and Dimitrijevic, B.: Histologic study of healing of human periodontal defects after placement of porous hydroxylapatite implants. *J. Periodontol.* 58 : 682-688, 1987.
 - 53) Kenny, E. B., Lekovic, V., Sa Ferreira, J. C., Han, T., Dimitrijevic, B. and Carranza, Jr. F. A.: Bone formation within porous hydroxylapatite implants in human periodontal defects. *J. Periodontol.* 57 : 76-83, 1986.
 - 54) Shepard, W. K., Bahat, O., Joseph, C. E., LoPicollo, P. and Bernick, S.: Human clinical and histological responses to a Calcite implant in intraosseous lesions. *Int. J. Periodontics Restorative Dent.* 3 : 47-63, 1986.
 - 55) 原 宜興, 村上照男, 梶山啓次郎, 前田勝正, 赤峰昭文, 長嶺尚子, 宮武祥子, 安部達也, 畦元良仁, 青野正男: リン酸カルシウム系セラミックスの歯周治療への応用. 8. Hydroxyapatite 周囲骨への矯正力の影響. *日歯周誌* 31 : 224-234, 1989.
 - 56) Schneider, B. and Diedrich, P.: Interaktion von kieferorthopädischer Zahnbewegung und Hydroxylapatit-Keramik. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 44 : 282-285, 1989.
 - 57) 八重柏 隆: 実験的根分岐部病変におけるハイドロキシアパタイトの治癒に及ぼす効果について. *日歯周誌*, 31 : 83-99, 1989.
 - 58) 菅谷 彰, 児玉利朗, 古郷辰二, 佐藤 肇, 三辺正人, 田村俊之, 高井豊喜, 小川優司, 渡辺是久, 堀 俊雄: イヌ 槽骨欠損部への Hydroxyapatite および Tricalcium phosphate 移植に関する組織学的研究. *日歯周誌* 29 : 179-197, 1987.
 - 59) 須賀康夫: 顆粒状ハイドロキシアパタイトによる歯周治療. *歯界展望* 67 : 341-348, 1986.
 - 60) 塩入隆行, 松江美代子: 根分岐部に移植した HAP の骨形成および歯根膜の再生に関する研究. *日歯周誌* 29 : 689-705, 1987.
 - 61) Sapkos, S. W.: The use of periograf in periodontal defects. Histologic findings. *J. Periodontol.* 57 : 7-13, 1986.
 - 62) 原 宜興, 岸 哲也, 古川猛士, 鄭 有仁, 長嶺尚子, 谷 和代, 吉村祥子, 赤峰昭文, 前田勝正, 青野正男: リン酸カルシウム系セラミックスの歯周治療への応用. 3. 実験的歯周炎への hydroxyapatite の応用. *日歯周誌* 26 : 542-555, 1984.
 - 63) 原 宜興, 古川猛士, 宮武祥子, 前田勝正, 赤峰昭文, 北村哲朗, 岩本恭行, 安部達也, 青野正男: リン酸カルシウム系セラミックスの歯周治

- 療への応用. 7. Hydroxyapatite 周囲に再生した骨組織について. 日歯周誌 29 : 545-556, 1987.
- 64) Jarcho, M. : Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics. Clin. Orthop. 157 : 259-278, 1981.
- 65) Ogilvie, A., Frank, R. M., Benqué, E. P., Gineste, M., Heughebaert, M. and Hemmerle, J. : The biocompatibility of hydroxyapatite implanted in the human periodontium. J. Periodont. Res. 22 : 270-283, 1987.
- 66) Ganeles, J., Listgarten, M. A. and Evian, C. I. : Ultrastructure of Durapatite-periodontal tissue interface in human intrabony defects. J. Periodontol. 57 : 133-140, 1986.
- 67) 桐野忠大, 佐伯政友 : 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)—. 伊谷純一郎, 池田次郎, 田中利男編, 高崎山の野生ニホンザル. 東京, 1964, 勁草書房, 124-135.
- 68) Zander, H. A., Polson, A. M. and Heijle, C. D. : Goals of periodontal therapy. J. Periodontol. 47 : 261-266, 1976.
- 69) Melcher, A. H. : On the repair potential of periodontal tissues. J. Periodontol. 47 : 256-260, 1976.
- 70) Ellegaard, B. and Løe, H. : New attachment of periodontal tissues after treatment of infrabony lesions. J. Periodontol. 42 : 648-652, 1971.
- 71) Prichard, J. : The infrabony technique as a predictable procedure. J. Periodontol. 28 : 202-216, 1957.
- 72) Pature, B. and Glickman, I. : Clinical and roentgenographic evaluation of the posttreatment healing of infrabony pockets. J. Periodontol. 33 : 164-171, 1962.
- 73) Ellegaard, B., Karring, T. and Løe, H. : New periodontal attachment procedure based on retardation of epithelial migration. J. Clin. Periodontol. 1 : 75-88, 1974.
- 74) 小林英和 : サルの歯槽骨にいろいろな欠損を与えた場合の修復過程について. 口病誌 38 : 404-423, 1971.
- 75) 西村和晃, 永石真幸, 林 正純, 白井義英, 山田 実, 英保武志, 中谷 聡, 山岡 昭 : 歯肉剝離掻爬術の新付着に関する研究(第12報). 骨再生が近接歯根面上へのセメント質形成に及ぼす影響について. 日歯周誌 29 : 172-178, 1987.
- 76) 一條 尚 : 上・下顎骨の形態と構造の変化. オーラル・マキシロフェイシャル・インプラント 3 : 155-165, 1989.
- 77) 須賀昭一 : 顎骨の骨改造. 小澤英浩, 須田立雄編, 骨吸収に関する諸問題—基礎と臨床—. 新潟, 1987, 西村書店, 1-19.
- 78) Azuma, M. : Study on histologic changes of periodontal membrane incident to experimental tooth movement. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 17 : 149-178, 1970.
- 79) 武内真利 : 歯の移動に関する実験的研究—単相刺激による歯周組織の組織学的変化—. 口病誌 46 : 293-305, 1979.
- 80) 岡田卓也, 岩澤忠正, 平井五郎 : 歯の移動実験における歯周組織の添加新生骨に関する研究. 日大口腔科学 7 : 90-109, 1981.
- 81) 原 林作 : 抜歯窩への実験的歯牙移動による歯槽骨変化のラベリング法とマイクロラジオグラフィによる研究. 歯学 65 : 361-408, 1977.
- 82) 永井教之 : 歯科インプラントと生体組織. 補綴誌 32 : 955-960, 1988.
- 83) 小澤英浩 : 骨の形成と吸収 : 骨改造現象の細胞生物学的特徴. オーラル・マキシロフェイシャル・インプラント 3 : 167-183, 1989.
- 84) 郡 正樹 : 骨欠損部修復過程に及ぼすハイドロキシアパタイトセラミックスの影響. 歯基礎誌 30 : 573-591, 1988.
- 85) Melcher, A. H., Cheong, T., Cox, J., Nemeth, E. and Shiga, A. : Synthesis of cementum-like tissue *in vitro* by cells cultured from bone. A light and electron microscope study. J. Periodont. Res. 21 : 592-612, 1986.

付 図 説 明

M : 近心側
D : 遠心側
H A : ハイドロキシアパタイト顆粒
(切片はすべて近遠心断)

- 図1 フロスを巻き付けたワイヤーを外科的骨欠損部に固定して4週後, 炎症を惹起した状態を示す
- 図2 骨欠損部にアパタイト顆粒を充填した状態を示す
- 図3 顎骨の形態(左), ならびにアパタイト顆粒充填域の位置およびその外形(右)を示す

- 図4 顆粒充填域のうち、唇側寄りの部分を示す(×2)
- 図5 顆粒充填域のうち、唇・舌(口蓋)側的中央部のやや唇側寄りの部分を示す(×2)
- 図6 顆粒充填域のうち、唇・舌(口蓋)側的中央部のやや口蓋側寄りの部分を示す(×2)
- 図7 顆粒充填域のうち、口蓋側寄りの部分を示す(×2)
- 図8 唇側歯槽縁の骨吸収を示す。遠心側歯根膜の主線維はその密度が低く、主線維相互間の間質が広がっている(×8)
- 図9 図8と同じ部位のCMR像。唇側緻密骨内に細い血管腔が複雑に分布している(×10)
- 図10 中切歯の唇側寄り付近。遠心側固有歯槽骨には比較的太いオステオン層板が多く、また内表面には骨吸収が観察される(×6.5)
- 図11 図10の一部拡大。遠心側固有歯槽骨内表面の吸収窩と破骨細胞(矢印)を示す(×100)
- 図12 図6の一部拡大。近心側固有歯槽骨には骨形成が認められる。遠心側には顆粒充填域周囲の骨および顆粒充填域がみられる。顆粒充填域は点線で示したように遠心側から骨緻密領域、骨疎領域、線維領域に分けることができる(×3.5)
- 図13 図12と同部位のCMR像。近心側固有歯槽骨の添加骨は軟X線の透過性が低く、細い血管腔が分布する。遠心側では血管腔が顆粒充填域周囲の骨を通り、海綿骨領域から顆粒充填域内部方向に配列する(×3.5)
- 図14 図5の一部拡大。顆粒充填域周囲の骨には、分化の程度が低い骨タイプ1(※)およびタイプ2(★)が存在する。側切歯固有歯槽骨を構成していた線維骨(矢印)を示す
- 図15 図6の一部拡大。骨緻密領域における顆粒間の骨形成を示す。顆粒間の骨には分化の程度が低い骨と層板骨が存在する。顆粒表層のマイクロボアは骨同様の染色性(矢印)を示す。顆粒間の髓腔内にはマクロファージが散在する(×40)
- 図16 図4の顆粒充填域深層の一部拡大。深層の骨緻密領域の顆粒に一致した骨吸収、これに相対する骨疎領域の顆粒表面の崩れを示す。浅層の骨緻密領域表面には周囲の線維を封入しながら骨形成がみられる(×25)
- 図17 図5の顆粒充填域深層の一部拡大。骨緻密領域に封入された顆粒表面の骨にみられる吸収を示す。顆粒表面と根面との間の線維組織には微細なアパタイト結晶を取り込んだマクロファージ(矢印)が散在する(×50)
- 図18 図4の顆粒充填域浅層の一部拡大。骨疎領域の顆粒間にみられる骨小柱を示す。骨緻密領域との連絡部には骨折線(矢印)が観察され、また一部には骨吸収がみられる(×66)
- 図19 図7の顆粒充填域浅層の一部拡大。骨疎領域の顆粒間にみられる骨の根面側表面には周囲の顆粒に一致した骨吸収、反対側表面には骨添加が観察される(×40)
- 図20 図5の骨疎領域の一部拡大。顆粒表面の一部ではマイクロボア内にも骨が侵入形成され(矢印)、この骨から線維が周囲に放散している(×100)
- 図21 図6の骨疎領域深層の一部拡大。顆粒表面の添加骨と根面(R)に添加した新生セメント質を介して、顆粒と歯根とが結合している。骨疎領域には疎な線維束が分布する(×25)
- 図22 図5の一部拡大。唇・舌(口蓋)側的中央部中層の線維領域を示す。線維領域の線維束は比較的密で、その配列は血管の配列と関連する。このような線維束はその一端を新生セメント質(矢印)に封入されている(×8)
- 図23 図5の一部拡大。顆粒と一致した歯根吸収を示す。吸収窩内には破骨細胞(矢印)が観察される。吸収窩より歯冠側まで新生セメント質が添加しており、新生セメント質(★)には歯肉固有層の太い線維束が封入されている。付着上皮の位置は新生セメント質の最歯冠側端に一致する(×80)