原 著

過大な咬合荷重下における下顎 apatite implant および
上顎対合天然歯周囲の組織学的観察
—— 3 カ月後の状態について ——

陳 賢 群

東京医科歯科大学歯学部第2 歯科補綴学教室 (主任・指導: 田端恒雄教授)

東京医科歯科大学歯学部第1 口腔解剖学教室 (指導: 山下靖雄教授)

東京医科歯科大学歯学部第2 口腔解剖学教室 (指導: 一條 尚教授)

(1992年3月18日 受付)

Histological Study of Tissues Surrounding
an Overloaded Mandibular Apatite Implant and
Its Antagonist Teeth at Three Months

Ceancheng Chen

Department of Fixed Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

(Chief and Director : Prof. Tsuneo Tabata)

1st Department of Oral Anatomy, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

(Director : Prof. Yasuo Yamashita)

2nd Department of Oral Anatomy, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

(Director : Prof. Takashi Ichijo)

The objective of this study is to compare the degree of the occlusal-bearing ability of 2-piece apatite implant to that of natural dentition.

It is conducted by placing implants at $\overline{M_2}$ and $\overline{M_2}$ areas of adult monkey. Four months later, the occlusal vertical dimension was raised to apply the occlusal force only on the implants by inserting connected crowns on $\overline{M_3M_2M_1}$ and $\overline{M_1M_2M_3}$. Three months after loading, the tissues surrounding the implants and the antagonist teeth were histologically examined.

Results :

The antagonist teeth :

The connected antagonist teeth show much bone resorption on the inner surface of the alveolar wall and the roots are partly in direct contact with the bone and intruded.

Implant :

1. Due to the resorption from extraction, enhanced remodeling is seen in the compact bone of the experimental site. The degree of remodeling is higher toward the coronal direction.

2. Realigned functionally oblique toward the implant, thickened trabeculae, of both the lamellae and woven bone, supported the implant.

3. Bone formed widely on the buccal and lingual surfaces of the compact bone near the implant. In the areas of close to the direct contact of the implant to the compact bone, remodeling with osteon realignment in the axial direction was observed.

4. Most embedded surfaces of the implant were covered and bound to the bone.

I. 緒 言

著者らの研究グループは apatite implant の臨床応用を 1981 年に開始し¹⁾, 1985 年からは implant の構造を歯根部と支台部に分離した 2-piece implant に改良して実施している^{2~4)}。

この臨床応用において顎骨内に埋入される implant 歯根部の寸法は、はじめ大臼歯部で直径 5.5 mm, 長さ 13.0 mm のものを用いたが、このような大きさの implant を許容できる症例が少なく、長さを 11.0 mm に変更した。また implant の術式を 2-piece implant に改良してからは、implant の確実性が高まるとともに適用できる症例が増加し、大臼歯部では通常直径 5.0 mm, 長さ 9.0 mm の implant を使用するようになった。さらに implant の咬合負担能力の大きさが実験的に確認されて、最近では 11.0 mm の implant を使用することは少なく、9.0 mm と 7.0 mm のものを用いるようになってともに、欠損部に対する implant の埋入本数も従前より少なくなっている。

以上のように臨床応用を始めてから約 10 年間で implant の寸法がかなり小さくなるとともに、その埋入本数も減少している。このことは、咬合負担能力に関する動物実験の結果に基づくとともに、基本的には implant 治療を希望する患者の増加に伴って、これらの多様な患者に適用可能な寸法に次第に変更してきたということがある。十分な咀嚼機能の回復を図ることを前提として、apatite implant をどの程度まで小さくすることが可能であるのか、またさらにそのような小さな implant でなければ許容できない顎骨の場合、その顎骨は通常の咬合負担に十分対応できるか否か等、種々な問題が残されている。

また implant に装着する補綴物に関しても、現在は通常の天然歯支台の場合と同様に同様なものを作製し装着しているが、implant の大きさや本数さらにそれを支持する顎骨の構造等をふまえ、どのような補綴物が適切であるのか等に関しても不明な点が多い。

以上のような疑問を解決するためには、まず歯が欠損している通常の顎骨に対し一定の大きさの implant を適用し、implant の咬合負担能力の大きさを明確にしなければならないと考えている。また implant の咬合負担能力を評価するには、天然歯を対照として機能下で比較することが最も判りやすく、implant とそれに対合する天然歯に過重な咬合圧を加えることによって、顎骨に生ずる組織反応から implant の咬合負担能力を評価することができると考えている。そこで成猿を用いて少数の implant 部のみで咬合挙上を行い implant と対合歯に通常以上の咬合圧が加わる状態を設定した実験を行ってきた^{5~7)}。

今回は下顎右側第 2 大臼歯部を 1 本、上顎左側第 2 大臼歯部に 1 本の implant を適用し、それぞれの対合の天然歯には直接咬合する歯のみならず、近・遠心側の両隣接歯計 3 本を連結 crown で固定し、2 箇所の implant 部のみで咬合挙上を行い、挙上後 3 カ月における下顎 implant および上顎の 3 本が連結されている天然歯の状態について、主として組織学的な観察を行った。

II. 実験材料および実験方法

上・下顎第 3 大臼歯が完全に萌出している健康な成猿 3 頭を用い、implant 埋入に先立ち下顎右側第 2 大臼歯、上顎左側第 2 大臼歯（以下 $\overline{M}_2$, $\underline{M}_2$ と記すことにする）を抜歯し、その 3 カ月後 $\overline{M}_2$ 部および $\underline{M}_2$ 部に直径 5.5 mm, 長さ 9.0 mm の apatite 2-piece implant (旭光学工業 K. K. 製) の歯根部を通法に従い粘膜下骨内に 1 本ずつ完全埋入した。歯根部埋入後 3 カ月で implant を被覆する顎堤粘膜を切除し、チタン製支台部を合着した。支台部合着後約 1 カ月で implant につばみ状 crown を、また $\overline{M}_3\overline{M}_2\overline{M}_1$ および $\underline{M}_1\underline{M}_2\underline{M}_3$ に咬合面部が平らな連結 crown を装着し、前歯部が約 5 mm 程度離開するように咬合挙上を行った (図 1)。これらの crown の材質は、歯科用金銀パラジウム合金である。挙上後の飼料は固形飼料とし、週に一度 implant および対合歯の清掃を行った。

咬合挙上後3カ月で、上・下顎歯列の相互関係が標本作製後も維持されるように、歯列相互間にトシコン®のヘビータ입を咬ませ閉口させた状態で、上・下顎骨を一塊として摘出した。

以上、猿に対する操作は塩酸ケタミンの筋注ならびにチオペンタールナトリウムの静注による全身麻酔の無痛下で行った。また本実験では、咬合挙上1カ月以後にimplant部以外の $\overline{M}_3$ および $\overline{M}_1$ が対合のcrownと接触しないようにその咬合面を削除し、implant部のみで咬合接触する状態を確保した。

トシコン®を咬ませた上・下顎骨標本を絹糸にて結紮し、3頭のうち2頭は未脱灰のまま通法に従いRigolac®包埋を行い、1頭は脱灰後セロイジン包埋を行った。

今回はRigolac®包埋を行ったものをExact®薄切器を用い前頭断方向で厚さ約200 μ mの切片を作製し、トルイジン・ブルー染色を施した後、下顎implantおよび対合の $\overline{M}_3\overline{M}_2\overline{M}_1$ の周囲顎骨組織について組織学的に観察した。なお、implant周囲顎骨の状態を通常の咬合機能を営んでいる下顎第2大臼歯($\overline{M}_2$)の顎骨とも比較検討するため、通常の咬合機能を営んでいる3個体の $\overline{M}_2$ 部顎骨をコントロールとした。

また本論文では、Rigolac®包埋を行った1個体のimplantは下顎骨のほぼ頬舌的中央部に埋入され、他の個体のものはかなり舌側寄りに埋入されていたため、implantがほぼ頬舌的中央部に埋入されていたものを中心に観察を行った。

Ⅲ. 実験結果

1. 肉眼所見

3個体いずれの個体の下顎implantも動揺は支台部合着時から標本摘出時まで全くみられなかった。一方、対合の連結された上顎右側第1、第2、第3大臼歯(以下、 $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_2$ 、 $\overline{M}_3$ と称する)も標本摘出時まで特に大きな動揺はみられなかった。上・下顎の前歯部における閉口時の咬合の離開程度は挙上開始時約5mm程度であったが、挙上後の2週間で急激に減少し、その後も経時的に

減少した。また挙上1カ月以後では、implantの隣接歯である $\overline{M}_3$ および $\overline{M}_1$ が対合の金属冠に接触しはじめたため、接触部を削除し、implant以外で咬合接触しない状態を確保した。標本摘出時には前歯部の離開は2mm程度に減少していた。

つぼみ状のimplant crownと、咬合面が平面状の対合のcrownとの接触部は当初微小であった。しかし、咬合開始後implant crownおよび対合歯のcrownいずれにもファセットが形成され、それらは経時的に大きくなった。標本摘出時には、implant crownの頂部に直径4mm程度の大きな円形状のファセットが生じ、また対合の咬合面にもそれより大きく特に頬舌的に広いファセットが生じており、ファセットの中央部は陥凹していた(図2)。なお、implantの周囲粘膜および対合歯の歯肉に炎症は特にみられなかった。

2. 組織所見

1) 下顎implantと対合する連結固定された $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_2$ 、 $\overline{M}_3$ の歯根周囲の状態

implantのcrownに対合する $\overline{M}_3\overline{M}_2\overline{M}_1$ に装着されたcrownのファセットの中心は、 $\overline{M}_2$ のやや近心寄りで口蓋根の口蓋側寄り相当域にみられる。この $\overline{M}_2$ のやや近心寄りの位置は $\overline{M}_3\overline{M}_2\overline{M}_1$ 全体の近遠心幅の中央より近心側に位置する。また連結crownと歯冠の間隙はセメントで満たされ、crownの離脱は認められない。

いずれの歯も歯根周囲の歯槽壁内面では骨吸収が広範な領域で生じており、一部では歯根と歯槽壁が直接接している。その反面、接合線を介して骨形成の生じている部もみられる。いずれの歯の歯根も、その近心面側の歯槽壁では多数の破骨細胞が出現し、骨吸収が広範な領域で進行しているとともに、遠心面側では骨形成が生じている。特に $\overline{M}_1$ 部では近心面側の歯頸側や根分岐部から根尖側の全域で骨吸収が生じ(図3)、また遠心面側の全域で骨形成がみられる(図4)。しかし $\overline{M}_3$ 部では、近心面側の中層で浅く骨吸収が生じているものの、根尖寄りには骨吸収や、骨形成が特にみられず、また遠心面側の根尖寄りではわずかな骨吸収がみられる。

またいずれの歯も、頬側根の頬側歯槽壁の根尖寄りおよび口蓋側歯槽壁の中層以浅、口蓋根の頬側歯槽壁の中層以深から根尖の上方歯槽壁で骨吸収が進行している。特に M_3 では、頬側近心根の口蓋側面における中層から浅層、頬側遠心根の頬側面における根尖寄りおよび口蓋根頬側面の中層から深層で歯根と歯槽壁が直接接している (図 5)。このような接触部ではその周囲で強い骨吸収が生じ歯槽壁が後退し、その結果一部では遊離骨片が歯根に付着した状態もみられる。また相当域周囲の歯根面に歯根吸収も認められる。接触部を中心とした歯槽壁の骨髓側では染色性のかなり高い平行層板の追加や細い骨梁が密な網目をなす、いわゆる woven bone の形成が生じている。この際、いずれの接触部もこの染色性の高い平行層板の内側には、接触していない部の歯槽壁骨髓側に追加されている染色性の高い平行層板と層板が連続する平行層板が認められる。頬・舌側歯槽壁内面では以上のような骨吸収部がみられる反面、頬側近・遠心根間の中隔頂部の頬側寄り、頬側根尖の上方歯槽壁や頬側根の頬側歯槽壁の中層以浅、および口蓋根の頬側歯槽壁における中隔頂部寄りで骨形成が生じている (図 4～6)。この際、頬側歯槽壁の骨形成範囲は M_3 部から M_2 , M_1 部と近心に向かうにつれ減少し、 M_1 部では頬側根、口蓋根いずれの頬側歯槽壁にも全域で骨吸収が生じているとともに (図 4)、口蓋根の口蓋側歯槽壁で骨形成がみられる。

歯槽壁内面では、現在骨吸収や骨形成が特に生じていない部もみられ、それらの内面は比較的平滑である。しかし、骨形成や骨吸収の生じている部では凹凸の強い内面を示している。骨吸収部の多くは染色性の低い元来の歯槽壁の骨面で骨吸収が生じているが、染色性の低い骨面に接合線を介し染色性の高い骨が追加され、その骨面で骨吸収が生じている部も各所に認められる。骨形成部もその多くは元来の染色性の低い骨面に接合線を介し染色性のかなり高い骨が追加されているが、染色性の低い骨面に染色性の高い骨が追加され、その骨面で接合線を介しさらに染色性のかなり高い

骨が形成されている部も認められる。また骨吸収や骨形成が現在特にみられない部も、そのほとんどで元来の染色性の低い骨面に接合線を介し染色性の高い骨が薄く追加されている。いずれにしても中隔頂部や根尖部歯槽壁また頬側根の口蓋側歯槽壁や口蓋根の頬側歯槽壁ではその骨髓側面の全域で、染色性の高い平行層板が追加されているとともに、各所で歯槽壁に沿って woven bone も形成されている (図 4, 7)。その woven bone はそれを構成する細い骨梁が発育肥厚することによって比較的緻密で厚い骨の状態となっている。このような平行層板や woven bone の追加形成により歯槽壁を構成する骨の厚さは、通常の咬合を営む歯のものとほぼ同様になっている。歯槽壁に占めるこのような woven bone や平行層板の新たな骨の部分が染色性の低い骨の部分より厚くなっている部が多い。特に、頬側遠心根や口蓋根の根尖部歯槽壁においては、染色性の低い元来の歯槽壁を構成していた骨が消失し、染色性の高い woven bone が新たな歯槽壁を構成している (図 8)。中隔頂部では元来の比較的緻密な歯槽壁の構造を示していた部は消失し、多孔性の強い状態になっているとともに、隣接する海綿骨の骨梁間に高い染色性を示す細い骨梁が広範に形成されている (図 6)。根分岐部の歯根面では歯根吸収が各所に認められる。平行層板の追加は歯槽壁の骨髓側のみならず、中隔域やそれより上方の海綿骨骨梁にも生じている。このような骨梁の肥厚は口蓋根や口蓋根の上方より頬側域の骨梁で認められる。

歯根膜では、歯根と歯槽壁が接している部の周囲を除き、主線維束がみられる。しかしこれらの線維束は通常の機能下におけるものに比べ細く、線維束相互の間隔が広い。また接触部の周囲では線維束はみられず、特定の配列方向を示さない細い線維が分布しているにすぎない。

他の個体の対合歯においても、下顎 implant との咬合関係は基本的に変わらないとともに、挙上後それらは主として上方かつやや頬側方向に移動している。また標本摘出時点において、 M_3 , M_1 の頬側根根尖および M_3 の口蓋根頬側面にお

ける中隔頂部寄りでは歯根と歯槽壁が直接接していると同時に、そのほかの領域でも歯槽壁内面の広範な部位で骨吸収が進行している。

2) 通常の下顎第2大臼歯 (M_2) 部の組織所見

(1) 外形

頬側面は根尖相当部から歯槽頂まで浅深的にはほぼ垂直な面をなし、根尖相当部から下端までは、下方に向かって徐々に舌側へ偏位する程度が強くなる曲面を示している (図9)。近心根部から遠心側に移行するにつれ頬側面全体が若干頬側へ偏位する。近心根部での舌側面は顎下腺窩より上方が顎舌骨筋線を中心に舌側方向に張り出した曲面を示し、その曲面に対し明瞭な陥凹を示す顎下腺窩の上端から顎二腹筋窩までの顎下腺窩部は浅深的にはほぼ垂直な面をなしている (図9)。近心根部から遠心根部に向かって舌側面全体が頬側へわずかに偏位するとともに、顎下腺窩上端の位置が上がる。

(2) 緻密骨

舌側緻密骨には顎舌骨筋線より上方および根尖相当部から顎二腹筋窩にかけて外環状層板がみられる (図10)。顎舌骨筋線より上方のものは頂部に向かって厚くなり、その厚さは頂部域で緻密骨の厚さの $1/3$ から $1/2$ を占める。根尖相当部から顎二腹筋窩にかけての外環状層板もその厚さは個体によって異なる。また内環状層板は根部、中隔部いずれも、顎舌骨筋線より上方のものは非常に薄い、顎舌骨筋線から下顎管の高さまでは比較的厚い。この下方の内環状層板は、根尖の高さより下方にみられる外環状層板が薄い個体のものでは、比較的厚いとともにその浅深的な範囲が広い。外環状層板の厚いものでは薄いとともにその範囲が狭い。内・外の環状層板の間にみられるハバース系は主として近遠心方向に配列している (図10)。

頬側緻密骨にはいずれの個体にも根部の根尖より上方に外環状層板がみられ、その厚さは頂部に向かって増し、それは遠心根部に比べ近心根部のほうが厚い (図11)。この外環状層板が厚い個体では、中隔部でも外環状層板が認められるととも

に、根部・中隔部いずれも根尖の高さから下端にかけて比較的厚い外環状層板がみられる。その反面、内環状層板は全体的に薄く、特に中隔部の根尖相当部より上方にはほとんど認められない (図11)。このような個体では、舌側緻密骨の外環状層板が薄く、内環状層板が厚い。一方、根尖の高さより上方の外環状層板が薄い個体では、中隔部の同じ高さの範囲に外環状層板は認められない。また根尖の高さより下方にも、下顎管の高さで深に薄くみられるにすぎない。その反面、内環状層板は中隔部ではその浅層から緻密骨内面の下端まで、また根部では根尖より下方で比較的厚い。

また両環状層板の間にみられるハバース系は頂部領域を除きそのほとんどが舌側のものと同様、近遠心方向を示している (図11)。しかし頂部領域では舌側上方に向かうものがみられ、それらは特に近心根の近心寄り相当域に多い。

以上のような頬・舌側の緻密骨はトルイジンブルーの染色性が全体的に低く、特にハバース系や介在層板は低い。しかし顎骨頂部では染色性の高いハバース系がわずかにみられる。

(3) 海綿骨

海綿骨では各根の頬側を除き、歯槽壁を構成する比較的緻密な骨が歯根を取り囲んでおり、その歯槽壁と頬・舌側の緻密骨および歯槽壁相互を連絡する骨梁が分布している。歯槽壁の骨はおおむね平行層板で構成され、歯根の舌側や遠心側また根尖側の歯槽壁では、平行層板の内側寄りがシャープピー線維を封入した線維骨の構造を示している。

頬・舌側歯槽壁の周囲骨梁のうち、歯槽壁と緻密骨が比較的狭い中層以浅では、両者を連絡する主として外下方に向かう近遠心的に板状な骨梁が多いのに対し、深層域では両者が離れるとともに骨梁が少なくなる (図12)。

根間中隔域では、その舌側寄りならびに深層域の一部を除いた領域で、両歯槽壁を連絡する骨梁がみられる。これらの骨梁は頬側下方から舌側上方に向かうとともに歯槽壁相互を近遠心的に連絡するような板状の形態を示し、特にその中層以浅

ではそのような骨梁が多く、太い。このような領域と頬・舌側の緻密骨を連絡する骨梁はそれほど多くなく、特に舌側緻密骨寄りでは歯根が顎骨内で頬側寄りに植立していることとも関連し、外下方に向かう細い骨梁がわずかにみられるにすぎない(図13)。このような歯槽壁相互を連絡する骨梁も基本的に平行層板で構成されており、その一部に線維骨が封入されている。 $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_3$ との槽間中隔域にも $\overline{M}_2$ の根間中隔域と同様な骨梁がみられるが、第1大臼歯との槽間中隔域ではその近遠心的な幅が $\overline{M}_2$ の根間中隔の幅より狭く、 $\overline{M}_2$ の根間中隔域より骨梁が太い。

また根尖より下方では細い骨梁が大きな眼網をなし、根尖部歯槽壁と下顎管壁の骨や緻密骨内面を連絡している。根間中隔域や $\overline{M}_3$ との槽間中隔域ではこのような骨梁の疎な状態が根尖の高さより上方の位置からみられる(図9, 12, 13)。

3) implant が埋入されている $\overline{M}_2$ 部の顎骨

(1) 顎骨の外形

$\overline{M}_2$ 部では抜歯窩域を被うように緻密骨が形成されているが、この顎堤部の舌側寄りにみられる頂部は隣接の $\overline{M}_1$ や $\overline{M}_3$ 部の舌側歯槽頂に比べ2 mm程度低い。頬側面のうち元来の緻密骨が残存する頬側緻密骨の外側面は、根尖相当部より上方が顎堤部との移行部に向かって徐々に内側への後退の程度が強くなる曲面を示している。また顎堤部との移行部から顎骨頂にかけては舌側傾斜の強い幅の広い斜面となっている。頬側緻密骨と頬側斜面との移行部の高さは $\overline{M}_1$ や $\overline{M}_3$ の頬側歯槽頂に比べかなり低く、近心根部では根尖相当部から顎骨頂までのほぼ中間的な高さである。したがって頬側面は全体として、根尖相当部が最も頬側に張り出した状態の大きな曲面を示している(図15, 16)。このような頬側面において下顎管相当域がやや豊隆し、また implant が緻密骨に陥入している部や接触している部に相当する外側面もわずかに豊隆している(図15)。 $\overline{M}_2$ 部舌側面では、顎下腺窩より上方の顎舌骨筋線部を中心とした豊隆が通常のものに比べかなり少ないとともに、その領域と顎下腺窩の移行部にみられる陥凹

が浅くなっている。したがって顎舌骨筋線より下方では顎下腺窩の上端部がやや陥凹しているものの顎二腹筋窩の上縁までおおむね平坦になっている(図15, 16)。 $\overline{M}_1$ や $\overline{M}_3$ の舌側歯槽頂に比べ3 mm程度低くなっている舌側緻密骨頂部から顎堤部の顎骨頂までは狭い舌側斜面となっている。

また顎骨の頬舌幅も $\overline{M}_1$ や $\overline{M}_3$ 部に比べ狭くっており、特に頬側斜面のみられる高さでは、その頬舌幅が顎骨頂に向かうに従って狭くなっている。他の個体においてもその部位の顎骨形態は基本的に同様である。

(2) implant の植立状態

以上のような $\overline{M}_2$ 部に埋入されている implant は、近遠心的に近心根の遠心側歯槽壁相当域から遠心根の遠心寄りの範囲で、舌側かつやや近心に傾斜した状態で植立している(図14)。implant の頬側面はその近・遠心的中央部で、浅層が頬側斜面の緻密骨にまた中層から深層が頬側緻密骨に若干陥入しているが、わずかに近・遠心寄りには頬側緻密骨と離れている。舌側面はその近遠心的中央部においても頂部のわずかな部分を除き舌側緻密骨と離れている。しかし implant のやや遠心寄りの深層が緻密骨内面とかなり接近しており、その部分は顎下腺窩の位置に相当する。implant 近心面の頬舌の中央部は顎骨内部のやや頬側寄りに、遠心面の中央部はやや舌側寄りに位置している。

implant crown の頂面にみられるファセットの中心は、以上のような状態で埋入されている implant の長軸に対しかなり頬側に偏位し、implant 全体の中央の位置に対してもそれよりやや頬側である(図14)。また近遠心的には implant の近心寄りの上方に位置している。しかしこのような implant の crown は頬舌的に元来の $\overline{M}_2$ の舌側咬頭部を中心に位置し、そのファセットもおおむね元来の $\overline{M}_2$ 咬合面の舌側半の位置と一致している。また近遠心的には元来の $\overline{M}_2$ 咬合面の遠心寄りを中心に位置している。

他の個体の implant も $\overline{M}_2$ 部の遠心寄りに埋入されているとともに近心傾斜している。しか

し、頬・舌的な傾斜はみられず、浅深的にほぼ垂直に埋入されている(図17)。また crown のファセットは implant の近心寄りに位置している。

(3) 緻密骨の構造

緻密骨の外側面では染色性の低い緻密骨表面に吸収窩が形成されており、それらは舌側では頂部から顎二腹筋窩まで、また頬側では頂部から下端までの広範な領域にみられる。このような骨吸収の結果、通常の $\overline{M}_2$ 部にみられる外環状層板はいずれの部のものもほぼ完全に消失している(図18, 19)。また通常の頬側緻密骨浅層にみられる舌側上方に向かうハバース系の領域も消失している。このような外側面の骨吸収は、頬・舌側とも $\overline{M}_2$ 部のみならず、 $\overline{M}_1$, $\overline{M}_3$ 部の根間中隔域までみられ、またその程度は下方から上方に向かうに従って徐々に減じている。

吸収を受けた緻密骨外側面には接合線を介し染色性の高い骨が広範に追加されている(図18, 19)。舌側緻密骨では顎舌骨筋線から顎二腹筋窩にかけての範囲と頂部側に添加骨がみられる。特に implant が埋入されている部の遠心寄りでは、顎舌骨筋線から顎下線窩上端のやや下方までの範囲に厚い添加骨がみられ、implant の深層に相当する顎下腺窩上端部で最も厚い。implant の遠心寄りでは、この厚い添加骨によって顎下腺窩上端の陥凹がみられなくなっている。またこの遠心寄りでは顎二腹筋窩まで添加骨が比較的厚い。implant の遠心寄りの部から近・遠心側に向かってそれぞれ離れるにつれ、顎舌骨筋線から顎二腹筋窩にかけての添加骨は徐々に薄くなるものの、 $\overline{M}_1$, $\overline{M}_3$ の根間中隔域までほぼ同様な範囲で認められる。このような近・遠心側に離れた部においても、implant の深層に相当する高さのものは、それより上方や下方に比べ厚い。

頂部側の添加骨は、implant が埋入されている範囲に限定され、implant の近遠心的中央部から近心寄りにかけて最も厚いととも浅深的にも広い。この頂部側の添加骨と顎舌骨筋線との間、つまり implant と緻密骨がやや離れている implant の中層に相当する領域では、添加骨がみら

れず染色性の低い骨の吸収面が露出している部や、添加された骨が吸収されきわめて薄い状態になっている部が多い(図20)。また implant が埋入されている部位より近心や遠心側の顎舌骨筋線から頂部にかけては、添加骨が全くみられず吸収窩が多数認められる。

頬側の添加骨は implant の近遠心的中央部から近心寄りにかけて最も浅深的に広く、緻密骨の頂部から下顎管のやや下方まで認められ、implant が埋入されている高さの範囲の近心寄りでは厚い。しかし舌側の implant 深層の高さのものに比べるとやや薄い。この部から近心に向かうと全体的に薄くなるとともに、 $\overline{M}_2$ 近心根の近心寄り相当域に至ると根尖相当部より上方のものは頂部側からみられなくなり、染色性の低い元来の骨面に吸収窩が認められはじめる。しかし根尖相当部の高さより下方のものは、 $\overline{M}_1$ の根間中隔部まで認められる。また implant の中央部からその遠心寄りに向かうと、根尖相当部より上方に添加骨がみられなくなる(図21)。しかし根尖相当部より下方のものは遠心に向かって薄くなるものの $\overline{M}_3$ の根間中隔部までみられる。また近・遠心いずれの方向に向かっても、下顎管の高さの部の添加骨はそれより上方や下方のものに比べやや厚い。他の個体の緻密骨外側面にも添加骨が追加されている。

緻密骨内側面には接合線を介し染色性の高い内環状層板が厚く追加されている(図18, 19)。この内環状層板は頬・舌側いずれも根間中隔相当域で最も厚く、近心根の近心寄り、遠心根の遠心寄り相当域に向かって徐々に薄くなる。また頬側のものに比べ舌側のほうが全体的にやや厚い。舌側のこのような内環状層板は顎舌骨筋線から顎下腺窩浅層の高さで最も厚く、根間中隔相当域では、緻密骨の 1/3 程度を占めている。それより上方では緻密骨に連絡する骨梁が各所にみられ、それほど厚くなくまた厚さも一定しない。下方に向かっては下顎管の高さまで徐々に薄くなり、下顎管より下方では下端にかけ急に薄くなる。頬側の内環状層板も根尖側 1/3 相当域より上方では緻密骨に

連絡する骨梁が多く、その厚さは一定しないが頬側斜面との移行部ではかなり厚い。根尖側 1/3 相当域より下方では、やや薄くなっている下顎管の高さを除き下端まではほぼ一様の厚さを示している。しかし上方のものに比べるとやや薄い。このような内環状層板の追加により舌側緻密骨の厚さは、顎舌骨筋線より下方では M_1 や M_3 部のものに比べ、外側の添加骨と後述する内環状層板の第 3 層の分だけ厚い。しかし顎舌骨筋線より上方では、外側に添加されている骨を含めても頂部に向かうほど薄くなっている。また頬側の緻密骨では M_1 や M_3 部のものに比べ根尖相当部より下方もやや薄く、特に根尖より上方では頂部に向かうにつれ薄くなっている。いずれにしても、このような染色性の高い内環状層板は M_2 部のみならず、 M_1 近心根の近心寄りまた M_3 遠心根部まで認められる。 M_1 や M_3 部では緻密骨外側に吸収窩のみられる範囲より内環状層板が追加されている範囲のほうが広い。

このような内環状層板には数本の休止線がみられ、**implant** の近くでは 2 本の休止線によって 3 層に分類される部が多い (図 22, 23)。この 3 層それぞれの染色性は外側の第 1 層から内側の第 3 層に向かって徐々に高くなっている。根間中隔部では第 2 層が最も厚く、次に第 1 層、第 3 層が最も薄い。近・遠心根部も第 3 層が最も薄い、第 2 層はそれほど厚くなく、第 1 層と同程度である。第 1 層の接合線寄りには骨小腔がやや多いとともに層板構造の不明瞭ないわゆる分化程度の低い骨が各所に分布している。第 3 層の層板骨には骨小腔が第 2 層のものに比べ全体的に多い。この第 3 層は周囲骨梁の表面に追加されている平行層板や、特に舌側のものでは骨梁に沿って形成されている **woven bone** と各所で連続しているとともに、それらと同様の染色性を示している (図 22, 23)。3 層のうち、第 1 層と第 2 層の区別は **implant** から離れ顎下腺窩部の下半側の高さに至ると両者間の休止線が認められなくなるため不可能となる。また近心根の近心寄りに至っても境が不明瞭になる。

第 3 層の骨は頬・舌側緻密骨いずれも **implant** が埋入されている範囲の緻密骨内面が最も厚く、次に **implant** より近心側では **implant** の中層以浅の高さに相当する部位、また遠心側では **implant** の中層から深層の高さの範囲で比較的厚い。**implant** の高さより下方の領域では下顎管の高さまでみられるものの、**implant** の近心寄りや中央部ではそれほど厚くない。しかし、**implant** 遠心寄りの下方では下顎管の高さまで比較的厚い。また近心側における **implant** の中層以浅の高さ、遠心側における **implant** の中層から深層の高さにみられる比較的厚い第 3 層は **implant** から離れるにつれ薄くなる。しかしこのような第 3 層に相当する層は M_2 部のみならず、**implant** の中層以浅の高さのものは M_1 の遠心根部まで、**implant** の深層の高さのものは M_3 の根間中隔域まで認められる。また第 3 層の骨は舌側のもののほうが頬側に比べ全体的にやや厚い。特に、**implant** の遠心寄りから遠心側における **implant** 深層の高さより下方のものは、頬側のものに比べ舌側のほうが厚い。その反面、近心側における頂部側では舌側のものに比べ後述する頬側斜面部のほうがやや厚い。

内環状層板のうち **implant** より下方のものでは骨吸収はほとんどみられず、また骨形成も生じていない。それに対し **implant** の頬・舌側や、**implant** より近・遠心側の浅層域では周囲骨梁の骨改造と一体となった骨吸収や骨形成が各所にみられる。

緻密骨の浅層域では染色性の低いハバース系や介在層板の領域に染色性の高いハバース系が各所にみられ、その数は通常の M_2 部のものに比べ多い。これらのハバース管は骨髓側から緻密骨内に入った後、主として近遠心方向に向かっている。またそれらの染色性は内環状層板の第 1 層および第 2 層の染色性に類似している (図 20)。

舌側緻密骨ではこのようなハバース系の他、頂部域や顎下腺窩上端相当域で骨髓側から外側の添加骨に向かう髓腔が貫通しているとともに、髓腔壁に沿って染色性のかなり高い層板骨が追加され

ている(図20)。また **implant** が頰側緻密骨と接触やそれに陥入している部では、その近・遠心側の骨髓腔から **implant** の頰側上方に向かう染色性の高いハバース系が各所にみられる。特にそのような部の近・遠心的中央では、**implant** 周囲に浅深方向のハバース系が多い(図24)。しかし一部のものは外上方にも向かっている。また、このような新たなハバース系は **implant** 表面にも各所で達し、その結果、**implant** 表面に沿って染色性の高い層板骨のみられる部が多くなり、分化程度の低い骨や層板構造の不明瞭な骨が直接結合している部分は少なくなっている(図25)。

いずれにしても、**implant** が頰側緻密骨や斜面部の骨と接している部では、一部骨改造に伴い小さな髓腔が形成されている部を除き、**implant** はそれらの骨と完全に結合している。**implant** が舌側寄りに埋入され、広範な領域が舌側緻密骨に陥入している他の個体のものも全く同様である。

頰・舌側斜面の骨は基本的にそれより下方の緻密骨から連続する染色性の高い内環状層板で構成され、特にその下方域のものは緻密骨域の内環状層板より厚い。この内環状層板の粘膜側寄りには、分化程度の低い骨やそれらを囲む層板構造の不明瞭な骨が封入されている。また骨髓側寄りにはその周囲骨梁表面の平行層板と連続する層板骨が追加されている。このような頰・舌側斜面の骨は緻密骨側から頂部側に向かうにつれその厚さが減少するとともに、髓腔の貫通が多く多孔性になる。

implant の近心面に隣接する部では、頂部側も含め、その骨髓側に厚い層板骨が追加されるとともに粘膜側にも染色性の高い骨が形成され厚くなっている(図28)。骨髓側の層板骨や粘膜側での添加骨は、**implant** の近心頰側隅角部に相当する部で最も厚い。それらは同じ高さの部で M_1 との中間域まで認められる。舌側斜面の骨では粘膜側の添加骨が **implant** からやや離れるとみられなくなる。遠心側の頰・舌側斜面は近心側のものに比べ全体的に薄い。また粘膜側では添加骨の領域が狭く、骨吸収部が多い。

4) 海綿骨の構造

implant の周囲海綿骨には、元来の歯槽壁や骨梁の残存骨、また抜歯後や **implant** 埋入後形成された分化程度の低い骨に層板状の骨(以下層板骨と称する)が追加されて形成された骨梁が分布している。**implant** はこれらの骨梁と各所で結合しているとともに、骨梁が結合していない部では **implant** 表面に厚い骨が追加されており、**implant** に沿って線維組織が形成されている部はほとんどみられない。他の個体も同様である。

(1) **implant** の頰・舌側海綿骨

implant 頰側面の近遠心的中央部を除き、その他の部分は海綿骨に埋入されている。**implant** 近心寄りの比較的広い頰・舌側海綿骨には、その中層以浅で染色性の低い層板骨や線維骨を芯とした骨梁が多く、深層では細く網目状に配列する分化程度の低い骨を芯にした骨梁もみられる。これらの骨梁にはその表面に沿って染色性の高い平行層板がかなり厚く追加されており、特に舌側では厚い平行層板の追加のみならず、骨梁の各所で骨梁に沿って染色性の高い **woven bone** が形成されている。これらの **woven bone** は細くまた比較的密な骨梁で構成されており、骨梁の中心部には分化程度の低い骨がまたその周囲には層板骨がみられる。このような厚い平行層板の追加や **woven bone** の形成により、**implant** 近心寄りの頰・舌側海綿骨では骨の量がかなり多くなっている(図27)。これらの骨の量は深層に比べ中層以浅で多く、特にその頰側では海綿骨において骨の占める割合が骨髓より高く、全体として緻密骨の状態に近い。またこれらの肥厚した骨梁では骨改造も進行し、それらは頰舌方向に向かって配列しはじめている。

implant の近遠心的中央部の舌側海綿骨では、染色性の低い層板骨や分化程度の低い網目状の骨を芯とした骨梁が、また遠心寄りの舌側では **implant** 周囲に分化程度の低い骨を芯とした骨梁が認められる。それらの表面周囲にも近心寄りと同様、平行層板の追加や **woven bone** が形成されている。特に緻密骨と **implant** の両者間隙が比

較的狭い **implant** の近遠心的中央部の浅層から深層および遠心寄りの中層以深に相当する部では、**woven bone** が骨梁周囲のみならず、骨梁と連絡する緻密骨内面に沿っても広範に形成され、それらの **woven bone** は近心寄りのものに比べ緻密な骨の状態を示している (図20)。

また舌側海綿骨の浅層半は遠心に向かうにつれ海綿骨における骨の占める割合がやや減少し、骨梁に沿った **woven bone** の形成も少なくなる。また近心寄りでは骨改造部で骨形成の領域が広いのに対し、遠心寄りでは骨吸収部が多い。深層半では近心から遠心に向かって平行層板が厚くなるとともに、遠心寄りで **implant** と緻密骨の両者間隙が狭くなっている部分ではその間隙が多量の **woven bone** で満たされている。相当域では活発な骨改造が進行し、両者間隙の骨が浅深方向に向かうハバース系に置換されはじめている。

implant の遠心寄りの比較的広い頬側海綿骨では、その浅層半は分化程度の低い骨を芯にした骨梁がみられるのに対し、深層半は緻密骨寄りが主として染色性の低い層板骨や線維骨を芯に骨梁が、また **implant** 寄りには分化程度の低い骨を芯に骨梁がみられる。この際、分化程度の低い骨には染色性がやや高いものと低いものとの2種類が認められる。染色性のやや高い分化程度の低い骨は **implant** 周囲に限って認められることが多く、染色性の低いものはかなり広範な領域でみられる。頬側では **woven bone** の形成はほとんどみられないが、骨梁に沿った厚い平行層板の追加やその後における骨改造により、骨梁が全体として頬側緻密骨内面から **implant** 側に向かっている (図28)。また、この遠心寄りの頬側においても浅層に比べ深層のほうが海綿骨における骨の割合が若干多い。

implant が舌側寄りに埋入されている他の個体のものでも、その頬側海綿骨には頬側緻密骨内面から **implant** 頬側面に向かって斜め上方に向かって配列する太い骨梁が多量にみられ、それらの骨梁は近遠心的に板状の様相を示している。しかしこれらの頬側の骨梁には **woven bone** の形成

はほとんど認められない。

(2) **implant** より下方の海綿骨

implant より下方のうちその近心側半では、**implant** 下面の頬・舌側端に緻密骨内面から連続する染色性の低い骨や分化程度の低い骨を芯とした骨がみられ、その下面に厚い平行層板や **woven bone** が形成されているが、それより下方では下顎管の位置まで太い骨梁はみられず、細い骨梁が大きな網目状をなして分布しているにすぎない (図15)。**implant** の近心端部は元来の遠心側歯槽壁の位置であるが、**implant** の下方の状態に変わりはない。また下顎管上壁の骨はその下面で骨吸収が、上面では染色性の高い平行層板が薄く広範に追加されている。

遠心側半では **implant** の下方に元来の歯槽壁の骨が薄く多孔性の状態で残存しており、それらの骨に厚い平行層板が追加されている (図29)。しかしこの厚い平行層板も **implant** の頬・舌側のものに比べるとかなり薄い。舌側半のものでは平行層板の追加のみならず、その周囲に沿って比較的密な **woven bone** も形成されている。このような歯槽壁の骨を中心として肥厚した骨と緻密骨を連絡する骨梁がみられ、それら骨梁が緻密骨と連絡する部周囲の緻密骨内面では、骨梁表面の平行層板と連絡する内環状層板の第3層がみられる。これら骨梁のうち、舌側の骨梁ではその周囲に **woven bone** の形成もみられ、その **woven bone** の形成は骨梁が連絡する部周囲の緻密骨内面にもみられる。頬側の骨梁では **woven bone** の形成が少ないとともに、平行層板の厚さも舌側のものに比べ薄い。元来の歯槽壁を芯とした骨は下顎管壁の骨とも連絡しており、下顎管壁の骨には骨梁表面に追加されている平行層板と連続する平行層板がその外側面のみならず内側面にも追加されている。

他の個体では元来の根尖部と **implant** の下面がほぼ同様の高さであるとともに、それらと下顎管はかなり離れており、相当域に太い骨梁はほとんど認められない (図30)。

(3) **implant** の近・遠心側海綿骨

implant の近心では近心根の歯槽壁の骨が各所に残存している。また抜歯窩域ではその浅層域に分化程度の低い骨を芯とした骨梁が多くみられるが、元来の根尖相当部よりかなり高い位置にある implant の深層部以深では骨梁が非常に疎な状態を示している (図16, 31)。implant の中層以浅の高さにおいても、その舌側寄りには骨梁が少ない。以上のような骨や骨梁の表面には平行層板が追加されており、それらは基本的に implant 浅層の高さのものほど厚く、骨梁の少ない舌側寄りでは woven bone も各所に形成されている。このような浅層の高さにおいて、平行層板の厚さは舌側寄りのものに比べ頬側寄りのほうがやや厚い。いずれにしても implant の中層以浅の高さの海綿骨では各所で骨改造が進行し、骨梁が全体として頬・舌側緻密骨内面から中央に向かってやや斜め上方に向かうとともに、近遠心的に板状の様相を示しはじめている (図31)。M₁ との槽間中隔部に近づくとも平行層板の追加は薄くなるが、そのような追加は槽間中隔の骨にまでみられる。

遠心側海綿骨では implant の頂部から下端までの高さの範囲で染色性の低い層板骨や線維骨を芯にした骨梁が多い。これらの骨梁には、平行層板が追加されまた頬側のものに比べ骨梁がやや少ない舌側のものでは woven bone も形成されている。追加されている平行層板の厚さは implant の深層に相当する高さで最も厚く、特にその舌側寄りで厚い (図32)。また implant の中層から深層に相当する高さの骨梁は、骨改造により全体として頬・舌側の緻密骨内面から中央に向かって斜め上方に向かうとともに、近遠心的に板状の様相を示している (図32)。しかし浅層のものは骨梁がやや細いとともにそのような配列は特にみられず、骨改造に伴う骨吸収部が多い。implant 深層の高さに相当する骨梁の表面における平行層板の追加は M₂ 近心根の近心歯槽壁まで認められる。

また implant の高さより下方では骨梁が少ない。しかし、implant に近い領域の下方では implant 遠心寄りの下方にみられる残存する歯槽壁

を芯とした骨と連絡する細い骨梁が各所に認められる。そのような細い骨梁やそれらと連絡する下顎管壁の骨には平行層板が追加されている。

他の個体の implant でも、近心側の海綿骨では implant の浅層の高さに相当する部分の骨梁は肥厚し、遠心側では深層の高さに相当する部分で肥厚している。しかし、近・遠心側いずれも頬側域に比べ舌側域のものの方が骨梁がより肥厚している。また implant の高さより下方では implant が埋入されている部と同様、骨梁が非常に少ないとともに下顎管壁の骨の肥厚もほとんど認められない。

以上のように、implant 周囲の海綿骨骨梁ではその表面や周囲に沿って平行層板また woven bone が追加形成されているが、それらの骨梁表面では一部骨改造が進行している部を除き、骨形成はほとんど認められなくなっている。

IV. 考 察

dental implant 治療の目的は、歯の欠損に伴って生じた顎口腔機能の低下を元の状態に回復させることにある。

しかし、implant を適用する際、どの程度のサイズのことを何本埋入すれば十分なのか、implant に装着する補綴物をどのようなものにし、また咬合様式をどうするのかが問題となる。現状では、著者らの apatite implant のみならず他の implant システムにおいても、implant のサイズは適用する部の顎骨の大きさによってほぼ決定され、implant に加わる咬合力の大きさとの関係で特に決められているわけではない^{9~11)}。また、implant に装着する補綴物に関しても、その咬合様式を含め種々論議されている^{12~14)}ものの、それらには補綴物を装着する implant のサイズや、implant を支持する顎骨の構造との関係をふまえて論じられているものは少なく、これらの問題を解決するべき明確な指針はいまだみられない。

著者は、これらの問題を解決するための最も重要な要素は、一定のサイズの implant 1本あた

りの咬合負担能力を明確にすることだと考える。**implant** は一般に抜歯によって萎縮が生じた顎骨に、また義歯装着によってその萎縮がさらに助長されている部に埋入される。したがって、適用される **implant** はその部に存在していた天然歯よりかなり小さなサイズのものとならざるを得ないことが多い。

実際、著者らが大白歯部に **apatite implant** を埋入する際には、歯根部の長さが 9.0 mm もしくは 7.0 mm、直径で 5.0 mm ときに 5.5 mm のものを用いている。この大きさは、下顎第 1 大白歯の歯根長約 12.5 mm、歯頸部における頬舌幅径約 9.4 mm、上顎第 1 大白歯の歯根長約 12.1 mm、同頬舌幅径約 11.3 mm¹⁵⁾ に比べてかなり小さい。また **implant** が適用される部の顎骨は、一般に顎堤の頬側斜面の傾斜が強く、**implant** は元来の天然歯が植立していた位置より舌側に埋入せざるを得ない。その位置において対合歯と咬合する補綴物を製作するために、**implant** に加わる側方圧はかなり大きなものになると考えられる。したがって、**implant** の咬合負担能力は天然歯の咬合負担能力と同等、もしくはそれより大きくなければ **implant** の臨床応用は基本的に成立しないものと思われる。いずれにしても、**implant** の咬合負担能力は明確にされなければならない。

implant の咬合負担能力の評価に際しては、天然歯と比較する方法が最も理解しやすい。著者らのグループはこの比較に際して、最初に **apatite implant** の押し出し実験や骨との引っ張り実験を行った。その結果、**apatite** と緻密骨の引っ張り実験による結合力は最大 160 kg/cm²¹⁾、また直径 5.6 mm、長さ 11.0 mm の円柱状 **apatite** を成犬下顎骨に形成した直径 6.0 mm の穴に埋入した場合の押し出し実験の最大値は、300 kg であった¹⁶⁾。これに対し天然歯では、歯根膜の引っ張り強さが 12~16 kg/cm²、大白歯の引き抜き加重は 30 kg 程度とされている¹⁷⁾。つまり、一過性の破壊実験では、**apatite implant** の植立強度が天然歯より圧倒的に高いことが認められる。これらの結果を受け、機能下における天然歯との比較実験

を始めた。この際、**implant** に天然歯と同様の咬合をさせた場合には、**implant** および対合の天然歯に問題は起こらない。そこで、**implant** と対合の天然歯に通常以上の咬合圧を加えた場合、**implant** もしくは対合歯のどちらかに異常な状態が生じ、両者の比較が可能になるのではないかと考えた。まず、片側の下顎臼歯部に 2 本の **implant**、反対側の上顎臼歯部に 2 本の **implant** の計 4 本を適用し、**implant** と対合する 4 本の天然歯のみが咬合接触する状態で咬合挙上する実験、つまり **implant** 1 本対天然歯 1 本の比較実験を行った^{2, 18)}。その結果、対合の天然歯には移動が生じたものの、**implant** には特に問題となる所見はみられなかった。この結果を受け下顎右側第 2 大白歯（以下 $\overline{M}_2$ と称する）部に 1 本、反対側 $\overline{M}_2$ 部に 1 本の **implant** を適用し、また対合の天然歯には直接対合する M_2 や $\overline{M}_2$ のみならず両隣接歯の M_1 、 $\overline{M}_3$ や $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_3$ に及ぶ連結冠を装着し、2 箇所 **implant** 部のみで咬合挙上する実験を行った。この **implant** 1 本対天然歯 3 本の比較実験による挙上後 1 か月の **implant** および対合歯の状態は、小木曾らがすでに報告している^{7, 8)}。それによると、下顎の **implant** では **implant** を支持する海綿骨骨梁の肥厚が始まるとともに、直接結合する緻密骨では骨改造が開始されている。それに対し、上顎 3 本の大臼歯ではいずれの歯も根間中隔頂部および各根尖部で歯根と歯槽壁が直接接しており、骨吸収も歯槽壁内面の広範な領域で生じている。しかし歯槽壁内面で骨吸収が生じている部では、その骨髓側で骨形成が始まるとともに、歯根膜には通常のものとは異なるものの主線維束がみられ、それらのことから、対合歯には異常な状態が起こっているものの不可逆的な状況には至っていないとしている。

そこで今回はこのような **implant** 1 本対天然歯 3 本の比較実験において、その挙上期間をさらに延長した場合、**implant** 周囲の顎骨がどのような反応を示すのか、あるいは **implant** 周囲に異常な状態が生ずるのか、また 3 本の対合歯はどうなるのか等を検索するため、より長期に及ぶ上期

間3カ月の実験を行った。

この実験のうち今回は、下顎の **implant** と上顎の対合歯との状態について組織学的に検索した。特に **implant** が埋入される部の顎骨は、通常の咬合を営む天然歯が植立している部の顎骨と比べ、どのように変化しているのか、またそのような顎骨に埋入された **implant** に強い咬合圧が加わった場合、顎骨はどのような反応を示すのか等を中心に検討した。

1. 肉眼所見について

支台部着合後から標本摘出時まで、下顎に適用された3個体すべての **implant** に動揺は全くみられない。また、対合の連結された **M₁**, **M₂**, **M₃** も特に大きな動揺はみられず、周囲歯肉にも異常な状態はみられない。これらのことから、**implant** および対合歯には、全体として大きな問題は生じていないことが伺われる。

当初、歯科用金銀パラジウム合金で鑄造された **implant crown** はつぼみ状のもので、対合歯の **crown** は咬合面が単純な広い平面となっていたが、**implant** の **crown** ならびに対合歯の連結 **crown** いずれにもファセットが生じ、それらは経時的に大きく、また対合のものでは深くなった。このように、**crown** に経時的に大きくなるファセットが生じたことから、実験期間中それらにかなり強い咬合圧が加わっていたものと推察される。また、対合のファセットではその頬舌幅が下顎 **implant** のものよりかなり広く、実験期間中の咬合は単なる上下的な開閉のみならず、側方運動に類似したものもあったことが伺われる。また挙上開始時、前歯部の離開が5 mm程度あったものが最終的に2 mm程度に減少している。この間 **implant** 部以外で接触が生じないように、**M₃** また **M₁** を削除しているが、このような咬合高径の減少は強い咬合圧による両 **crown** のファセットの形成や、後述するような対合歯の圧下によって生じたものと思われる。

2. 上顎対合歯の状態について

上顎3本の対合歯においては、すべての歯根の近心面側歯槽壁内面で骨吸収が進行しているのに

対し、遠心面側では骨形成が生じている。この際 **M₁** 部ではその近心面側歯槽壁のほぼ全面で骨吸収が、また遠心面側歯槽壁のほぼ全面で骨形成が生じている。これに対し、**M₃** 部では近心面側歯槽壁の中層以浅に骨吸収がみられるものの、根尖部では特に骨吸収や骨形成がみられず、遠心面側の根尖寄りで骨吸収が認められる。さらに、各歯の口蓋根根尖の上方歯槽壁には破骨細胞がみられ、その破骨細胞の出現は **M₃** から **M₁** に向かって多くなっている。また **M₃** では、頬側近心根の口蓋側面における中層から浅層、頬側遠心根の頬側面における根尖寄りおよび口蓋根頬側面の中層から深層で歯根と歯槽壁が直接接している。これらのことから、連結された3本の大白歯は標本摘出時に **M₃** 部の歯根と歯槽壁が直接接している部を支点に **M₂**, **M₁** が上方に回転するような移動をしていることが伺われる。これは下顎 **implant** との咬合接触部位が **M₁** から **M₃** の近遠心幅の中央部より近心側に位置すること、また猿の上顎では **M₃** から **M₁** に向かって、その根が小さくなることによるものと思われる。

さらに、いずれの歯も頬側根頬側面の根尖寄り、頬側根口蓋側面の中層以浅、口蓋根頬側面の中層以深に相当する歯槽壁で骨吸収が進行している。一方、口蓋根頬側面の中層以浅および頬側根頬側面の中層以浅に相当する歯槽壁で骨形成がみられる。また、各歯の口蓋根根尖部周囲の歯槽壁で骨吸収が生じ、頬側根根尖の上方歯槽壁および頬側近・遠心根間の中隔頂部における頬側寄りで骨形成が生じている。このことから、連結された3本の大白歯の歯冠部は、**M₃** 部の歯根と歯槽壁の接触部を支点に口蓋側へ回転するように移動していると思われる。また、頬側根頬側面周囲の骨形成域は近心に向かうに従って狭くなっている。**M₁** 部では骨形成がほとんどみられず、根尖寄りから浅層域のほとんどの領域で骨吸収が進行している。一方、**M₁** 口蓋根の口蓋側歯槽壁では広範な骨形成が認められる。したがって、連結された3本の大白歯の近心が頬側に張り出すような移動も生じていることが伺われる。歯冠部の口蓋側方

向への回転は、下顎 **implant** との咬合接触部位が **M₂** の口蓋根の口蓋側寄りであることによると思われ、また **M₁** 部を中心とした頬側への移動も下顎 **implant** との咬合関係によるものと思われる。なお、口蓋根根尖部で骨吸収が生じているものの、頬側根根尖部や根間中隔頂部では骨吸収が特にみられないことから、3本の対合歯は現在沈下しているとは思われない。

歯槽壁内面で現在骨吸収や骨形成が進行している部の多くは、染色性の低い元来の歯槽骨面に沿ってみられる。しかし骨吸収部の一部では、染色性の低い元来の骨に接合線を介し染色性の高い骨が追加され、その骨が吸収されている。また骨形成部においても元来の染色性の低い骨に接合線を介し染色性の高い骨が追加され、その骨面に接合線を介し染色性のかなり高い新たな骨がさらに追加されている部がみられる。それらは、頬側根の口蓋側歯槽壁および口蓋根の頬側歯槽壁で多く観察される。また、現在骨吸収や骨形成などがみられない部分のほとんどは、染色性の低い元来の骨に接合線を介し染色性の高い骨が追加されている。したがって対合歯の歯槽壁では、ほとんどの領域で挙上後のいずれかの期間に骨吸収が生じ、その骨吸収部も挙上後の時期によって位置が変化していることが伺われる。

下顎 **implant** との咬合接触部位が基本的に変化していないにもかかわらず、骨吸収部の位置が時期によって変化していく理由として、歯槽壁と歯根との接触が生じ相当域で歯の移動が制限されることによると思われる。このような歯根と歯槽壁の接触は時期により、また個体により異なっている。今回の実験で標本にした2頭および小木曾らの実験^{7,8)}いずれも、下顎 **implant** との接触は基本的に **M₂** 口蓋根の口蓋側寄りで咬合している。小木曾らの行った1カ月の実験では歯根と歯槽壁の接触は **M₁**、**M₂**、**M₃** いずれも中隔頂部および各根の根尖で生じており、今回の他の個体では **M₁**、**M₂** 頬側根の根尖部、**M₃** の口蓋根頬側面の浅層でみられる。歯槽壁と歯根が接触している部の周囲では最も強い骨吸収が生じ、その骨吸収

によって接触部の骨がいわゆる穿下的な骨吸収を受けている。このことから、接触部での穿下的な骨吸収が進行すると、相当域での歯の移動の制限がなくなり再び急速な移動が起こり、また別の位置で歯根と歯槽壁の接触が生じ、その結果歯の移動が再び減弱するものと思われる。

歯槽壁の骨髄側面では元来の染色性の低い骨に染色性の高い平行層板が追加されている。それらは、特に口蓋根の頬側歯槽壁および頬側根の口蓋側歯槽壁で厚い。この領域では、細い骨梁が網目状に形成されているとともに、それらの骨梁が発育肥厚することによって全体として比較的緻密な厚い骨の状態となったいわゆる **woven bone** も各所で形成されている。このような平行層板や **woven bone** の追加形成により歯槽壁を構成する骨の厚さは、通常の咬合を営む歯のものとほぼ同様になっている。したがって、骨髄側の骨形成は歯槽壁内面での骨吸収の代償として生理的に生じていることが伺われる。口蓋根の頬側歯槽壁や頬側根の口蓋側歯槽壁では、現在の歯槽壁を構成する骨のうち骨髄側の平行層板や **woven bone** のほうが、染色性の低い元来の歯槽壁の骨より厚くなっている部が各所にみられる。特に、根尖部では元来の歯槽壁の骨が全く消失し、元来の歯槽壁の外側に形成された **woven bone** のみが新たな歯槽壁を構成している。中隔頂部でも元来の比較的緻密な歯槽壁の構造部分は消失し、かなり多孔性の骨になるとともに、周囲海綿骨の骨梁間に **woven bone** が形成されている。

また、歯根周囲の海綿骨では中隔域のみならず、それより上方においても染色性の低い骨梁の表面に染色性の高い平行層板が厚く広範に追加されている。この際、平行層板の追加は口蓋根相当域より頬側の海綿骨では比較的厚いのに対し、口蓋側の骨梁では少ない。このような所見、また口蓋根の頬側歯槽壁、頬側根の口蓋側歯槽壁の骨髄側で平行層板や **woven bone** の形成が多いこと、中隔頂部の骨が強い吸収を受け元来の構造が消失していること、根尖部歯槽壁に元来の染色性の低い骨が消失していること、さらに口蓋根口蓋側歯

槽壁の骨髓側に平行層板の追加が少ないことなどから、実験期間を通じ歯が主として上方かつやや頬側方向に強く圧迫されるとともに移動が経時的に生じていたものと思われる。

また歯根膜にみられる線維束が通常のものに比べ細く、それらの線維束相互間が広がっている。他の個体においても **implant** の対合歯には、基本的に同様な状態がみられる。以上のような、歯槽壁内面での大幅な骨吸収、歯根と歯槽壁との接触、歯の上方への移動、また歯根膜の線維束が細くなるとともにそれらの相互間が広がっている状態等は通常ではみられない現象である。また成犬の下顎第1大臼歯に高い鑄造冠を装着し、対合歯に過剰な咬合圧を加えたとする山田の実験¹⁹⁾でも固有歯槽骨の歯根膜側では吸収の活発な骨改造が生ずるとともに、支持歯槽骨の海綿骨骨梁に肥厚が生ずるとしている。このことから対合歯は **implant** から強い咬合圧を受け通常ではない状態に陥っているものと解釈される。

3. **implant** が埋入されている $\overline{M}_2$ 部顎骨について

$\overline{M}_2$ 部の顎骨では抜歯によって生じた変化と、**implant** 部で咬合挙上したことによる影響とがみられる。

1) 顎骨の抜歯後における変化について

implant 周囲の $\overline{M}_2$ 部顎骨の外側は、抜歯窩を被うように形成された顎堤の骨とそれより下方にみられる元来の緻密骨の領域で構成される。

元来の緻密骨が残存する頬・舌側緻密骨域では、染色性の低い骨面に沿って吸収窩がその頂部から舌側では顎二腹筋窩まで、頬側では下端まで連続して観察される。このような骨吸収により、通常の $\overline{M}_2$ 部緻密骨の外側域に通常みられる外環状層板は完全に消失している。また、通常の $\overline{M}_2$ 部における頬側緻密骨浅層域の舌側上方に向かうハバース系も消失している。このような緻密骨外側面における骨吸収は $\overline{M}_2$ 部のみならず、 $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_3$ 部の根間中隔域まで認められる。またその程度は下方から上方に向かって減少する。

その反面、緻密骨内側には接合線を介し、染色性の高い内環状層板が厚く広範に追加されてい

る。この内環状層板は頬側のものに比べ舌側のものが全体的に厚い。近遠心的には、根間中隔部で最も厚く、それより近心や遠心に向かって薄くなっている。また浅深的には、舌側緻密骨では顎舌骨筋線から顎下腺窩の浅層域にかけて最も厚く、それより上方では緻密骨内面が骨梁と各所で連絡することにも関連し、それほど厚くなくその厚さも一定しない。また、顎下腺窩の中層以深では、下方に向かって徐々に薄くなっており、下顎管より下方で急に薄くなる。頬側緻密骨内面ではその根尖側 $1/3$ より上方は舌側の上方と同様、それに連絡する骨梁が多く内環状層板の厚さは一定しない。また、根尖側 $1/3$ から下端までは、やや薄くなっている下顎管の高さを除きほぼ様な厚さを示している。その厚さは、根尖相当部より上方のものに比べ薄い。このような頬・舌側緻密骨内側の内環状層板の追加も $\overline{M}_2$ 部のみならず、 $\overline{M}_1$ 近心根の近心寄りまた $\overline{M}_3$ の遠心根部まで認められる。 $\overline{M}_1$ 、 $\overline{M}_3$ 部では外側の骨吸収窩がみられる領域より内側の内環状層板の追加されている領域のほうがやや広い。

以上のように外側での骨吸収、内側での環状層板の追加は $\overline{M}_1$ の近心寄り、 $\overline{M}_3$ の遠心寄りまでみられることから、一本の歯の抜歯の影響が隣接する歯根部にまで及ぶことが理解される。**implant** 近傍の内環状層板の多くには、休止線を介する3層が認められる。3層の染色性は外側から第1層、第2層、第3層と内側に向かうにつれ順次高くなる。第3層は第1層、第2層に比べ薄く、また後述するように **implant** の機能と深く関係していると思われる。第1層の接合線寄りには骨小腔が多いとともに層板構造の不明瞭な骨が各所にみられる。このような層板構造の不明瞭な骨は一般に急速に形成された骨といわれている^{20~24)}。したがって、第1層は抜歯後の急激な外側面の骨吸収に対応して、追加された骨を含む層と思われる。また第1層と第2層の間には明瞭な休止線がみられることは、なんらかの事情により、内側への層板骨の追加形成が一時的に休止したことを意味している。また、その休止線は **im-**

plant から離れた部位ではみられず、第 1 層と第 2 層の区別がつかなくなる。したがって、**implant** 近傍の第 1 層と第 2 層の間の休止線は **implant** 埋入時の侵襲によって生じたものと思われる。この第 2 層は、元来の歯根部に比べ根間中隔部で厚い。このことは、**implant** 埋入後から挙上するまでの期間における緻密骨の内方への移動が中隔部で最も強く生じていたことを示唆している。

また M_2 部の舌側緻密骨は、顎舌骨筋線より下方では後述するような外側の添加骨や内側の第 3 層の分だけ M_1 部や M_3 部のものより厚い。それに対し、顎舌骨筋線より上方、頬側緻密骨の根尖相当部の上方では M_1 、 M_3 部のものに比べ薄いとともにもその差は上方に向かうにつれ強くなっている。また頬側では根尖相当部より下方もわずかに薄くなっている。一條らは、顎骨は、一生を通じて移動しておりその移動に際し、外側面が吸収される場合には内側面で内環状層板が追加されるとしている^{25~29)}。つまり、顎舌骨筋線より下方の舌側緻密骨にはいわゆる内方への移動が生じている。しかし、顎舌骨筋線より上方の舌側緻密骨、頬側緻密骨特にその根尖相当部より上方では、単に内方への移動のみならず、緻密骨の菲薄化が進み、それらの菲薄化は頂部側へ向かうにつれ強くなっている。これらのことから、 M_2 部の顎骨は歯が消失し機能が加わらなくなったことにより、緻密骨に内方への移動のみならず菲薄化が生じ、その菲薄化は上方ほど強いことが理解される。

頬側緻密骨の外側面は、本来根尖相当部より頂部まではほぼ浅深的に真っすぐで、また根尖相当部より下方では下端にかけて内方へ変位する比較的高い曲面をなしている。しかし M_2 部では前述のような緻密骨の移動また萎縮によって根尖相当部より上方が頂部に向かって内方へ後退する程度が強くなる曲面を示し、根尖相当部より下方は曲面の曲率が小さくなっている。したがって、頬側緻密骨の外側面は、全体として根尖相当部が浅深的に最も頬側に張り出す大きな曲面を示している。また、舌側面は顎下腺窩より上方の顎舌骨筋線を

中心とした曲面が全体として平らな状態になるとともに、相当域と顎下腺窩の移行部にみられる陥凹部が浅くなっている。

このような抜歯後における外側面の骨吸収により顎骨頂部が M_1 や M_3 部に比べ約 2 mm 低くなっている。また、顎骨の頬舌幅も狭くなっており、特に M_1 や M_3 部の頬側緻密骨頂部に比べ 4~5 mm 低くなっている頬側緻密骨頂部から顎骨頂部にかけてみられる頬側斜面部では、頂部に向かうにつれ急激に狭くなっている。このような顎骨形態の変化は他の個体においても基本的に同様である。

以上のように形態の変化した顎骨の中に埋入されている **implant** は、かなり舌側傾斜が強い。しかし、**implant** 頬側面はその近遠心的中央部のみがわずかに緻密骨内に陥入し、舌側面は緻密骨に陥入はしていないものの、接近している。また、**implant** 近心面の頬舌的中央部は顎骨のやや頬側寄りに、遠心面の頬舌的中央部は顎骨の舌側寄りに位置している。この **implant** 近心面と遠心面の頬舌的中央部の位置の違いは、**implant** の近心面から遠心面に移行する間に、顎骨が頬側に変位するために生じるものである。これらのことは **implant** が顎骨のほぼ中央部に埋入されていることを意味し、頬舌的には最も適切な位置に埋入されていると思われる。

しかし、**implant crown** の頂部は **implant** の長軸よりかなり頬側に変位しているにもかかわらず、対合歯との接触部位が M_2 の口蓋側寄りとなっている。この **implant crown** の形態や対合歯との咬合接触部位は、 M_2 部の顎骨形態から止むをえないものである。実際に、臨床においても **implant** の植立部位は、元来の天然歯が植立していた部よりかなり舌側寄りに埋入せざるをえないことが多い。また、今回標本にした 2 個体のうちの他の個体の **implant** は舌側傾斜が少ないものの、かなり顎骨の舌側寄りに埋入されていたため、前述の顎骨の中央に埋入されている **implant** を中心に所見を記載した。

下顎管の高さの頬側緻密骨では、それより上方

や下方の骨面よりやや頰側へ豊隆しているとともに、内側に追加されている内環状層板が薄い。下顎管の存在は抜歯された1本の歯のみとだけ関係しているのではなく、したがってその位置は容易に変化することができない。そのため緻密骨の内方への移動が他の部より遅れているものと思われる。また、**implant** が頰側緻密骨に陥入している部分もその周囲に対しわずかに豊隆しているが、これは **implant** の存在により、内環状層板が追加できず、その結果外側の骨吸収が他の領域に比べ遅れたためと考えられる。一部の研究者らは、抜歯窩に **implant** を埋入することにより、たとえそれが機能していなくとも顎堤の吸収を抑えることができるとしている^{30~32)}。今回の所見では、咬合圧が加わっている **implant** が緻密骨に陥入している部分の外側でも、後述するように咬合圧が加わったことによりいったん添加形成された骨のみならず、さらに染色性の低い部分まで吸収されている。このことから機能下でない **implant** を骨内に埋入しても、顎骨の萎縮は阻止されえないことが理解される。

2) **implant** 部で咬合挙上したことによる影響について

(1) 周囲海綿骨への影響

implant はその頰側面の近遠心的中央部を除き、広範な領域が海綿骨に埋入されている。このような海綿骨域には、元来の歯槽壁や骨梁の残存骨、また抜歯後や **implant** 埋入後形成された分化程度の低い骨に層板状の骨が追加形成された骨梁が分布している。分化程度の低い骨には染色性がやや高いものと低いものがみられ、低いものは抜歯窩相当域や、それに隣接する元来の槽間隔相当域の広範な領域にみられるのに対し、染色性のやや高い分化程度の低い骨は **implant** に隣接する部に限ってみられる。これらの分化程度の低い骨は侵襲を受けた後、急激な骨形成が生じた際の **woven bone** の一部が残存したものと思われる。今回の実験では顎骨内に抜歯および **implant** 埋入の2度侵襲を加えており、したがって分化程度が低い骨のうち、染色性の低い骨は抜歯後の短

期間に形成されたもので、染色性の高い骨は **implant** 埋入後当初形成された **woven bone** の一部と思われる。このような種々な骨構造を示す骨を芯とした骨梁の太さや量は部位によってかなり異なっている。**implant** の頰・舌側海綿骨で骨梁が最も多いとともに太い。この頰・舌側の海綿骨においてもその近心寄りでは浅層域のほうが深層域に比べ骨の量が多いのに対し、遠心側寄りでは浅層域より深層域のほうが骨の量が多い。また **implant** より近心側における **implant** 中層以浅の高さの領域および遠心側における **implant** 中層から深層の高さの領域で多い。**implant** の遠心寄りの下方でも骨梁が比較的多い。しかし、このような近・遠心側で骨梁が多い部や **implant** 遠心寄りの下方も、**implant** の頰・舌側海綿骨に比較すればかなり少ない。その他の領域では、細い骨梁が大きな網眼をなしているにすぎない。

implant 周囲に骨梁の多い部では、骨梁表面に平行層板が広範に追加されており、それらの平行層板は **implant** の近・遠心側海綿骨のものや遠心寄りの下方域に比べ、頰・舌側海綿骨のもののがかなり厚い。また骨梁の少ない部では平行層板の追加が少ない。このような平行層板は、その染色性が比較的高く、最近形成された骨であることが伺える。またこの平行層板は骨梁表面に沿ってかなり広範な領域にわたって連続して追加されていること、小木曾らも機能期間1カ月のもので同様な平行層板の追加をみているが^{6~8)}、その平行層板は形成され始めた時点でいまだその厚さが薄いことなどから、この平行層板は **implant** に咬合圧が加わり始めているから、**implant** を支持する骨梁を補強するための経時的に追加されたものと思われる。

implant 周囲海綿骨における骨梁の分布状態や追加されている平行層板の厚さから、**implant** に加わる咬合圧のうち海綿骨で支持される部分は、主として頰・舌側の海綿骨で支持されたとともに、その一部は近・遠心側の海綿骨や **implant** 遠心寄りの下方域の骨梁でも支持されるものと思われる。また **implant** の中層以浅の高さの海綿骨と

中層以深の高さの海綿骨における骨の量や平行層板の厚さが、**implant** の近・遠心の中央部を境に近心側と遠心側で逆になっているのは、**implant** がかなり近心傾斜で埋入されているとともに、**crown** のファセットも **implant** の近心寄りに位置していることによって、**implant** の中層以浅の高さでは近心側にまた中層以深では遠心側に強い力が加わったことによるのではないと思われる。また舌側の海綿骨では平行層板の追加のみならず、骨梁に沿って各所で **woven bone** の形成がみられる。それらの **woven bone** は平行層板と同様な染色性を示すとともに両者が各所で連続していることなどから、骨梁周囲の **woven bone** も挙上後形成されたと思われる。小木曾ら⁶⁻⁸⁾ の挙上後 1 カ月の実験でも、海綿骨の骨梁が少ない上顎のものでは多量の **woven bone** の形成が認められている。 $\overline{M}_2$ 部の中隔域やその舌側ではもとも骨梁が少なく、根の抜歯窩相当域においても今回の実験では近・遠心根部いずれもその頰側寄りに比べ舌側寄りで骨梁が少ない。また **implant** は舌側傾斜が強いとともに、**crown** のファセットは **implant** 全体の中央よりやや頰側に位置している。したがって、海綿骨の舌側寄りにこのような **woven bone** が形成されたことは、咬合圧が頰側よりも舌側域に強く加わったため、元来骨梁が少ない舌側海綿骨で急激に骨の量を増加させるためのものと思われる。

また、**implant** の近心寄りから近心側の海綿骨頂部側における平行層板の追加は、舌側寄りのものに比べ頰側寄りのものがやや厚いのに対し、**implant** 遠心寄りから遠心側での **implant** 深層の高さでは、舌側寄りのほうが頰側寄りに比べ厚い。この理由として **implant crown** のファセットが **implant** の近心寄りにおいてその中央よりやや頰側に位置しているためと考えられる。

いずれにしても、近心側骨梁表面の平行層板の追加は、隣接の $\overline{M}_1$ 遠心根の遠心歯槽壁まで、遠心側では $\overline{M}_2$ 近心根の近心歯槽壁までみられる。

また、**implant** 周囲で平行層板が厚く追加されている領域の骨梁は、骨改造により頰・舌側緻密

骨内面から内側上方に向かうとともに、近遠心的に板状の状態を示している。このような骨梁の配列は他の個体の頰側海綿骨にも顕著に認められるとともに、通常の天然歯周囲の骨梁にも認められる。天然歯周囲の骨梁の配列様式は外力に適応した建築学的構造を有するとされている³⁸⁾。したがって、**implant** 周囲におけるこのような骨梁の配列状態は咬合機能を営む **implant** を支持するためのいわゆる機能配列と考えられる。

implant 周囲海綿骨における骨の量は、**implant** 頰・舌側で圧倒的に多い。近・遠心側や **implant** の下方ではその一部のみで多く、その他の領域では非常に少ない。他の個体のものでは、**implant** と頰側緻密骨の間および **implant** が舌側緻密骨に陥入している部の周囲海綿骨に多量の骨がみられるのに対し、**implant** の近・遠心側では骨梁の量が少ない。また **implant** より下方の高さでは **implant** の近・遠心側のみならず **implant** 部でも、細い骨梁がわずかにみられるにすぎない。いずれにしても、**implant** 周囲海綿骨における骨梁の分布状態にはかなりの偏りがある。

これらの現象は **implant** の咬合圧をまず骨梁が受け、それを骨構造が強固な緻密骨や隣接歯の歯槽壁に伝える際、**implant** とそれらの骨との間隔が狭い部の骨梁のほうが広い部のものに比べ歪が大きい。歪が大きく生ずる部では骨梁が肥厚することによって、その歪に対して抵抗できるようにするものと思われる。したがって、緻密骨に近い **implant** の頰・舌側における海綿骨と、緻密骨や隣接の歯槽壁まで離れた部に存在する近・遠心側の海綿骨で骨の肥厚に極端な差が生じたものと考えられる。天然歯周囲の骨梁においても、緻密骨と歯槽壁が比較的近接した浅層域では骨梁が太く多いのに対し、歯槽壁と緻密骨が離れた根尖側やそれより下方には細い骨梁が多く、しかもそれらは大きな眼網をなして分布しているにすぎない。また、近・遠心の歯槽壁相互間隔が広い $\overline{M}_2$ 根間中隔域より、相互間隔が近接している $\overline{M}_1$ と $\overline{M}_2$ の槽間中隔域のほうが骨梁が太い。これらのことは、天然歯においても骨梁の支持源となる緻

密骨や隣接の歯槽壁までの距離の差によって骨梁の分布状態にも差が生じていることを示している。しかしそのような差は、天然歯の場合より **implant** のほうがより強い傾向がみられる。これは **apatite implant** においては歯根膜が存在しないことによって、力の伝達がより直接的に生ずるためと思われる。**implant** 周囲海綿骨において、**implant** と緻密骨や歯槽壁など骨構造がしっかりした骨との距離の差によって、骨梁の分布状態に極端な差が生ずることに關しては、今後 **implant** の臨床応用に際して留意しなければならない。

また、**implant** 遠心寄りの下方域では、歯槽壁の残存骨を芯として肥厚した骨梁が比較的多いとともに、それらと連絡する下顎管壁の骨にも平行層板や **woven bone** の追加形成がみられる。これらの骨は **implant** に加わる咬合圧の一部を支えるものと思われる。しかし、元来の根尖部の高さが **implant** の底面とほぼ一致しているとともに、その高さから下顎管までかなり離れている他の個体のものでは、**implant** より下方に太い骨梁はみられず下顎管壁の肥厚も全く認められない。つまり、**implant** に加わる咬合圧を支持するため海綿骨の骨の量が増加するが、その際全く新たに骨が形成されるのではなく、既存の骨を利用して骨の量を増やしていることが伺われる。

いずれにしても、**implant** 周囲海綿骨梁では、**implant** に加わる強い咬合圧に反応するための変化が生じ、異常な骨吸収や炎症など問題となる所見は全く生じていないことが認められた。

(2) 頬・舌側緻密骨への影響

頬・舌側緻密骨の内側には前述したように厚い内環状層板が追加され、**implant** 近傍の内環状層板は休止線によって主として3層に分かれている。内側の第3層は **implant** 周囲海綿骨の骨梁に沿って追加されている平行層板や、その周囲で形成されている **woven bone** と染色性が類似している。また、骨梁と緻密骨との連絡部では骨梁に追加されている平行層板の層板と第3層の層板が連続している。したがって、この第3層は **im-**

plant 挙上後骨梁表面に追加された平行層板と同時期に追加形成されたものと考えられる。

この第3層は頬・舌側いずれも **implant** が埋入されている範囲の緻密骨内面が最も厚く、次に **implant** より近心側で **implant** の中層以浅の高さに相当する部、または遠心側で **implant** の中層から深層の高さに相当する部で比較的厚い。**implant** より下方の領域では、海綿骨に骨梁が少ない **implant** の近心寄りから中央部にかけてはかなり薄い。しかし、骨梁の多い **implant** 遠心寄りの下方では下顎管の高さまで比較的厚い。このような第3層に相当する層は $\overline{M_2}$ 部のみならず、**implant** から離れるにつれ順次薄くなるものの、 $\overline{M_1}$ および $\overline{M_3}$ 部まで認められる。以上のように、第3層の骨の厚さは基本的に海綿骨の骨梁が多い部で厚く、少ない部で薄い傾向がみられる。他の個体においても同様である。このような第3層の追加は、緻密骨を補強するためその厚さが内側に向かって肥厚したものとと思われる。しかし、**implant** に近い領域でもその周囲に骨梁が少ない部ではかなり薄いこと、また緻密骨外側の添加骨は他の個体も含め、**implant** の下方にもその近心寄りから遠心寄りまで比較的厚く追加されていることなどから、第3層は **implant** 周囲骨梁に加わる機能圧が緻密骨に確実に伝わるように、また肥厚した骨梁と緻密骨を強固に結合させるために追加されている意味が大きいものと思われる。

また頬・舌側緻密骨の外側にも染色性の高い骨が染色性の低い骨に接合線を介し追加されており、その添加骨の染色性は内側の第3層また骨梁表面の平行層板と類似している。したがって外側の添加骨は挙上後に形成されたものと思われる。舌側緻密骨の外側の添加骨は顎舌骨筋線から顎二腹筋窩にかけての広い範囲と頂部側に認められる。また頬側では顎骨頂部から下顎管のやや下方まで認められる。

舌側の顎舌骨筋線から下方の添加骨は、**implant** 舌側面が緻密骨に最も接近している **implant** 遠心寄りの深層の高さで最も厚く、その部

から離れるにつれ薄くなっている。しかしこの顎舌骨筋線から顎二腹筋窩までの添加骨は、 M_1 や M_3 の根間中隔域まで浅深的にはほぼ同様な範囲で認められる。このような **implant** から離れた部においても **implant** 深層の高さに相当する部のものはそれより上方や下方に比べ厚い。**implant** 遠心寄りの深層では、**implant** と緻密骨が接近するとともに、両者間隙に多量の骨が形成されており、ほぼその間隙が骨によって満たされた状態になっている。このことは相当域の舌側緻密骨にかなり強い咬合力が伝わっていたことを示している。顎舌骨筋線から顎二腹筋窩までの添加骨はこの部を中心に、それより下方や近・遠心側に向かって離れるにつれ順次薄くなっていくが、この際、内側の第3層のように海綿骨の骨梁の多少にかかわらずその厚さはそれほど変化しない。以上のことから、**implant** 遠心寄りの深層の高さで緻密骨に伝わった力は他の領域に比べかなり強かったことが伺われるとともに、緻密骨内における力の分散の深層方向のみならず近遠心方向にもかなり広範に生じていることが理解される。また、**implant** から近・遠心側に離れても、**implant** の深層の高さの添加骨はそれより上方や下方のものに比べ厚い。このことは緻密骨内における力の分散に際し、浅深方向より近遠心方向に分散しやすいことを示している。その理由の詳細は不明であるが、舌側緻密骨の多くの領域を占めるハバース系が近遠心方向に配列していることと関係しているものと思われる。

また舌側頂部側の添加骨は **implant** の近心寄りでもわずかにみられるものの、**implant** より近・遠心側では全くみられず、顎舌骨筋線より上方では、ほとんどの表面で染色性の低い骨面に吸収窩が形成されている。また **implant** が埋入されている範囲でも頂部側の添加骨の領域と顎舌骨筋線の間、つまり **implant** と緻密骨の内面が比較的離れている部では添加骨が吸収され非常に薄くなっている部や、添加骨が全く認められない部が多い。しかし、**implant** の近心寄りでは **implant** 中層以浅の高さの緻密骨内側に骨梁がかなり多

く、相当域の緻密骨には強い力が加わっていたことが推察される。これらのことから、顎舌骨筋線より上方でも下方域と同様、挙上後当初 **implant** 近心寄り相当域を中心に添加骨が広範に追加されたものの、その後骨吸収によって最も厚い部分を残し消失したものと考えられる。

つまり、顎舌骨筋線より上方では、**implant** 挙上後も抜歯後における緻密骨の内方への移動や菲薄化が引きつづき進行した結果、ほとんどの添加骨が消失したものと推察される。

頬側緻密骨の外側添加骨は、**implant** が埋入されている部分の近心寄りで浅深的に最も広く、緻密骨頂部から下顎管の下方までみられる。相当域においても **implant** が埋入されている部分で厚い。**implant** の近心寄りから近・遠心側に離れるにつれ全体的に薄くなるとともに、根尖相当部の高さより上方のものはわずかに離れるとみられなくなる。しかし下方のものは M_1 部や M_3 部の根間中隔域まで認められる。根尖相当部より上方の添加骨の形成範囲が狭いのも、舌側の顎舌骨筋線より上方の添加骨と同様の理由によるものと思われる。また根尖相当部より下方の添加骨でも、下顎管の高さを除きその表面に微小な凹凸がみられる。このことから、頬側では根尖の高さより下方も、抜歯後の緻密骨の移動が挙上後もわずかに生じているものと思われる。

また外側の添加骨は顎堤部の頬・舌側斜面にも追加されており、その添加骨は遠心側では少ないのに対し近心側では比較的広く、特に **implant** の近心頬側隅角に隣接する部でかなり厚い。また相当域内側の海綿骨には骨梁が比較的多い。このことは **implant** の近心頬側方向に強い力が加わったことを示し、それは **implant crown** のファセットが **implant** の近心頬側寄りに位置していることと関係すると思われる。いずれにしても、頬・舌側斜面や頬・舌側の緻密骨外側の添加骨は他の個体においても追加されている。

また緻密骨の内側では、その頂部側に染色性の高いハバース系が通常のものより多く、それらのハバース系の多くは内環状層板の第1、2層の染

色性と類似し、その配列方向は主として近遠心方向を示している。したがって、これらの染色性の高いハバース系は挙上以前に形成されたものであるとともに、それらの形成は抜歯後に生じた緻密骨の移動や菲薄化に伴って変化した緻密骨内の血管系を再構築するための骨改造と思われる。

implant が埋入されている高さの緻密骨にはこのようなハバース系の他、内側から外側の添加骨に向かうハバース系がみられ、それらは前述したハバース系の染色性より高い。このようなハバース系は添加骨への血管系を構築するためのものと思われる。さらに、implant が頰側緻密骨と接触もしくは緻密骨に陥入している部分では、それより近・遠心側の骨髓腔から implant 側に向かって頰側上方に向かう染色性のかなり高いハバース系が多い。特に implant が最も緻密骨に深く陥入している部分では、implant 周囲のハバース系が主として浅深方向に向かっている。このようなハバース系の形成は、implant が埋入されたことにより変化した周囲緻密骨内の血管系を再構築するためのものとも思われるが、それらのハバース系の染色性は海綿骨域の平行層板や woven bone の染色性と同様、もしくはそれより高いことから、挙上後に生じたものと思われる。implant 舌側面の遠心寄りにおける深層域では implant と緻密骨が接近しているとともに、両者間を満たすように形成されている骨が浅深方向に向かうハバース系に変化しはじめており、他の個体においても implant が舌側緻密骨に陥入している部分では周囲に浅深方向に向かうハバース系が形成されている。また小木曾らの挙上期間 1 カ月の所見でも、implant が緻密骨と結合している部分では、浅深方向のハバース系の形成が開始されている⁶⁻⁸⁾。なぜそのようなハバース系の形成が生ずるのかに関して詳細は不明である。しかし、歯根膜を有さない implant が咬合機能を営むうえで、若干なりとも頰・舌的な揺れが必要であり、緻密骨に頰舌的な弾性を確保するための力学的な意味が大きいのではないかと考えられる。

以上のように、implant が海綿骨に埋入されて

いる部、緻密骨に埋入されている部いずれも、その表面周囲で骨改造が進行し小さな髓腔が形成されているわずかな部を除き、implant 完全埋入の場合³⁴⁾や、通常の咬合の場合^{1,35)}と同様、implant 表面のほとんどが骨と結合している。このことから、下顎 implant に今回の実験条件のような強い咬合圧が加わっても、またそれが比較的長期にわたっても骨性結合の状態は損われないことが認められた。

また implant 周囲の海綿骨では implant に加わる強い咬合圧を支持するため、骨梁の肥厚が生ずるとともにそれらの骨梁に骨改造が生じ、骨梁がいわゆる機能配列を示すようになっている。緻密骨においてもその内側や外側面に添加骨が追加されるとともに、implant が緻密骨と直接接している部では緻密骨に骨改造が生じ、implant 周囲のハバース系が浅深方向に向かって配列している。このように、対合の 3 本の大臼歯において主として上方への圧下などが生ずるほどの大きな咬合圧が 1 本の implant に加わっても、implant を支持する顎骨に特に異常な所見は生じていないことが認められた。

しかし、通常の天然歯が植立している部の顎骨に比べかなり小さくなっている顎骨に implant が埋入され、その implant に通常の咬合圧より強い力が加わっているにもかかわらず、顎骨の大きさは基本的に変わず、また海綿骨の骨梁も通常の天然歯が植立している部のものに比べ全体として特に多くなっているというわけでもないように思われる。天然歯と implant でそれを支持する顎骨になぜこのような差がみられるのか、今後さらに検討して行かなければならない。

V. 結 論

apatite implant の咬合負担能力を天然歯と機能下において比較するため、成猿の M_2 部および M_2 部に apatite implant を埋入し、その 4 カ月後 implant に crown を、また対合の M_3 、 M_2 、 M_1 と M_1 、 M_2 、 M_3 に連結 crown を装着し、2 本の implant 部のみが咬合接触する状態での咬合

挙上を行った。今回はその3カ月後における下顎 implant および対合の $M_3M_2M_1$ 部周囲の状態について組織学的に検索するとともに、下顎 implant 周囲の顎骨と通常の咬合機能を営む M_2 部のものとの比較も行った。その結果、以下のような結論を得た。

1) implant が埋入されている部の顎骨は、抜歯後による骨吸収により頬・舌側の緻密骨が内方へ移動しているとともに、頬側緻密骨の根尖相当部より上方や舌側緻密骨の顎舌骨筋線より上方では菲薄化が進行している。緻密骨の内方への移動や菲薄化はその頂部側ほど強い。

2) implant に対合する上顎3本の大臼歯はそれらが一体となって主として上方に圧下されている。標本摘出時においても歯槽壁内面での広範な領域における骨吸収や歯槽壁の一部における歯根との接触がみられるとともに、歯根膜の主線維束は細くまた疎な分布状態となっている。

3) implant を支持する周囲の海绵骨では骨梁の肥厚が生ずるとともに、それら骨梁に骨改造が生じ、骨梁が緻密骨内面から implant に向かって斜め上方に向かういわゆる機能的な配列状態がみられはじめている。

4) implant 周囲緻密骨では、その内側および外側面に添加骨が追加されているとともに、implant が緻密骨と直接接している部では緻密骨に骨改造が生じ、implant 周囲のハバース系が浅深方向に向かって配列している。

5) また骨内に埋入されている implant の表面は骨と結合しているとともに、implant 周囲に特に異常な状態は生じてない。

6) 以上のことから、apatite implant の咬合負担能力はかなり高いことが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご指導ならびに御校閲を賜りました田端恒雄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御校閲をいただきました本学口腔解剖学教室、一條尚教授ならびに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

だきました本教室、小木曾誠博士に心から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第2歯科補綴学教室ならびに口腔解剖学教室の諸先生方に厚くお礼申しあげます。

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3年5月、第85回日本補綴歯科学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) Ogiso, M., Kaneda, H., Arasaki, J., Ishida, K., Shiota, M., Mitsuwa, T., Tabata, T., Yamasaki, Y. and Hidaka, T.: Hydroxyapatite ceramics (H. A. C.) implant under occlusal function. Animal studies and clinical studies. 7th Ann. Meet. Soc. Biomater. 13th Int. Biomater. Symp.: 54, 1991.
- 2) 小木曾 誠, 田端恒雄, 他: Apatite 2-Piece Implant 第1報 歯根部移植試験. 補綴誌 31(6): 1522-1530, 1987.
- 3) 小木曾 誠, 田端恒雄, 他: Apatite 2-Piece Implant 第2報 機能的負荷試験. 補綴誌 32(1): 321-332, 1988.
- 4) 小木曾 誠, 田端恒雄, 他: Apatite 2-Piece Implant 第3報 臨床治験について. 補綴誌 32(3): 523-533, 1988.
- 5) 杉本裕史, 他: 小数のアパタイト人工歯根による咬合挙上時の人工歯根およ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.
- 6) Ogiso, M., Ishihara, S., Uehara, K., Chen, C., Ichijo, T. and Tabata, T.: The degree of the bearing ability to the occlusal force of apatite implant. 12th Ann. Meet. Soc. Biomater.: 259, 1990.
- 7) 小木曾 誠, 陳 賢群, 他: Apatite 2-Piece Implant の咬合負担能力に関する実験的研究一特に Implant 1 本対天然歯 3 本の比較実験について. 補綴誌 35(6): 1182-1194, 1991.
- 8) 陳 賢群, 小木曾 誠, 他: 大きな負荷下の Apatite Implant を支持する顎骨の改造について. 第85回日本補綴歯科学会学術大会論文集: 41, 1991.
- 9) Ledermann, P., Schroeder, A. and Stich, H.: Die ITI-Hohlzylinder implantate I. Qu-intessenz 32: 377, 1981.

- 10) Albrektsson, T. and Lekholm, C. : Osseointegration : current state of the art. Berman, C. Osseointegration, Dent. Clin. North Am. 33(4) : 537-554, 1989.
- 11) Kirish, A. and Ackermann, K. L. : The IMZ Osseointegrated Implant System. Berman, C. Osseointegration, Dent. Clin. North Am. 33(4) : 733-794, 1989.
- 12) Branemark, P-I., Zarb, G. and Albrektsson, T. : Tissue-Integrated Prostheses—Osseointegration in Clinical Dentistry. Berlin, 1985, Quintessence.
- 13) 三谷春保 : 上部構造を中心に, 補綴誌 32 (5) : 967-972, 1988.
- 14) 末次恒夫 : インプラントと補綴学, 特に上部構造補綴物の設計について. 歯界展望別冊, インプラントの臨床 : 93-96, 1975.
- 15) 白数美輝雄, 中村政雄, 古橋九平 : 歯の形態学. 151-207, 医歯薬出版, 東京, 1981.
- 16) 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(2) : 333-371, 1984.
- 17) 日本エム・イー学会編 : 医用電子・生体工学 ME 事典. 東京, 626, コロナ社, 1978.
- 18) 杉本裕史 : Apatite 2-Piece Implant の咬合負担能力に関する実験的研究. 口科誌 39(2) : 425-437, 1990.
- 19) 山田俊二 : 過剰な咬合圧による歯槽骨の変化. 歯科基礎 25 : 961-989, 1983.
- 20) Robert, E., Garetto, L. and DeCastro, R. : Remodeling of devitalized bone threatens periosteal margin integrity of endosseous titanium implants with threaded or smooth surfaces : Indications for provisional loading and axially directed occlusion. J. Indiana Dent. Asso. 68(4) : 19-24, 1989.
- 21) Enlow, D. H. : A study of the postnatal growth and remodeling of bone. Am. J. Anat. 110 : 79-101, 1962.
- 22) Enlow, D. H. : Functions of the Haversian system. Am. J. Anat. 110 : 269-305, 1962.
- 23) Enlow, D. H. : Principles of bone remodeling. Springfield, Ill., 1963, Charles C Thomas Publisher.
- 24) 松本重之 : インプラント窩形成がその周囲組織に及ぼす影響について. 口病誌 58(2) : 403-446, 1991.
- 25) 一條 尚 : 下顎骨の一生. 日本歯科評論第487, 489, 490号, 1983.
- 26) 一條 尚 : 下顎骨の形成・発育成長と, 成長後における構造と形態の基本的な変化 3. 病的な変化と歯の喪失による変化. 歯界展望 68(1) : 7-16, 1986.
- 27) 須賀昭一 : 抜歯に伴う歯槽骨変化. 歯科ジャーナル, 別冊 第4編 抜歯窩の治癒 : 377-389, 1988.
- 28) 大野康亮 : 抜歯窩骨性治癒過程の microradiography ならびにラベリング法による研究. 歯学 60(6) : 839-868, 1973.
- 29) 千葉博茂 : 歯牙抜去につづく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. 歯基礎誌 18 : 1-52, 1976.
- 30) Denissen, H., Mangano, C. and Venini, G. : Hydroxylapatite Implants. Padua, 1985, Piccin, 64-87.
- 31) 豊島 康 : ハイドロキシアパタイト人工歯根填入による抜歯後の歯槽骨吸収に関する実験的研究. 補綴誌 34 : 25-39, 1990.
- 32) 平井 直 : 抜歯窩挿入型ハイドロキシアパタイト・セラミックス・インプラントによる顎堤の保全効果. 補綴誌 32 : 920-935, 1988.
- 33) 藤田恒太郎 : 歯の組織学. 東京, 1991, 医歯薬出版, 159-190.
- 34) 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(1) : 170-221, 1978.
- 35) 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(2) : 381-436, 1988.

付 図 説 明

- 図 1 implant 部の咬合状態を示す
- 図 2 implant および対合歯の crown には広いファセットが生じている
- 図 3 M_1 の口蓋根の近心側歯槽壁内面を示し, 広範な領域で骨吸収 (↑) が生じている (×5.8)
- 図 4 M_1 の頬側根 (B) の口蓋側歯槽壁および口蓋根 (P) の頬側歯槽壁内面を示す. 頬側歯槽壁内面では全域にわたり骨吸収が生じ (▲), 遠心面側から口蓋側歯槽壁内面で骨形成 (★) が生じている. また頬側根根尖の上方歯槽壁内面で骨形成が生じている. 歯槽壁の骨髄側には染色性の高い平行層板が追加されている (×3.3)
- 図 5 M_3 の頬側近心根を示す. 歯槽壁と歯根との接触 (↑) がみられ, その周囲歯槽壁内面では

活発な骨吸収(▲)が、骨髄側では骨形成(★)が生じている。また 頬側根の頬側歯槽壁の中層以浅および口蓋根の頬側歯槽壁における中隔頂部寄りで骨形成(★)が生じている(×2.6)

- 図6 M_1 の頬側近・遠心根間の中隔頂部を示す。中隔頂部の頬側寄りで骨形成(★)が生じている。しかし中隔頂部では緻密な歯槽壁の構造(↑)は消失しているとともに、隣接する海綿骨の骨梁間に高い染色性を示す細い骨梁が広範に形成されている(×3.5)
- 図7 M_2 の遠心寄りで、歯槽壁の骨髄側では染色性の高い平行層板や比較的緻密で厚い骨の状態になった woven bone が追加されている(×5.5)
- 図8 M_2 の頬側遠心根の根尖部を示す。根尖部歯槽壁には染色性の低い元来の歯槽壁が消失し、染色性の高い骨が新たな歯槽壁を構成している(×7.3)
- 図9 通常の M_2 の近心根部における頬舌断を示す(×1.0)
- 図10 図9における舌側緻密骨の浅層域、顎舌骨筋線より上方には厚い外環状層板(E)(↑)がみられる(×2.5)
- 図11 図9における頬側緻密骨、根尖より上方および下方に厚い外環状層板(E)がみられる。しかし、根尖より下方の内環状層板(I)は薄い(×2.0)
- 図12 図9の個体と異なる個体の M_2 遠心根部の頬舌断を示す(×1.8)
- 図13 通常の M_2 の根間中隔域における頬舌断を示す(0.9)
- 図14 下顎 implant の近遠心的中央部における上・下顎骨の前頭断を示す
- 図15 図14の下顎 implant 部を示す(×2.0)
- 図16 M_2 の近心根相当域の頬舌断を示す(×1.1)
- 図17 他の個体の下顎 implant の近遠心的中央部における上・下顎骨の前頭断を示す
- 図18 implant が埋入されている部の頬側緻密骨を示す。外側面での骨吸収により外環状層板は消失(↑)している。その反面、骨髄側では染色性の高い内環状層板が追加されている。また緻密骨の外側面では接合線を介し、染色性の高い骨が追加されている(×1.9)
- 図19 implant が埋入されている部の舌側緻密骨を示す。外側面での骨吸収により顎舌骨筋線より上方に外環状層板はみられない。その反面、骨髄側で内環状層板が追加されている。また緻密骨の外側面では接合線を介し、染色性の高い骨が追加(↑)され、その添加骨の厚さは implant が緻密骨と最も接近している部相当域で最も厚い(×4.5)
- 図20 implant が埋入されている部でも、implant と舌側緻密骨がやや離れている部の緻密骨外側面では染色性の高い添加骨が骨吸収を受けており、添加骨が消失(↑)している部がみられる。また implant の浅層および深層の高さに相当する緻密骨内には海綿骨側から外側の添加骨に向かう髓腔が貫通している。implant を支持する骨梁に沿って緻密な厚い骨の状態を示しはじめている woven bone が形成されている(×1.9)
- 図21 implant が埋入されている部の遠心寄りにおける頬側緻密骨を示す。元来の根尖相当域より下方の頬側緻密骨外側面には染色性の高い添加骨がみられるが、根尖相当域より上方では添加骨がほとんど消失(↑)している(×2.3)
- 図22 舌側緻密骨に追加されている内環状層板を示す。染色性の高い内環状層板は休止線により3層(1, 2, 3)に分類される部が多い(×10)
- 図23 頬側緻密骨に追加されている内環状層板も休止線により3層(1, 2, 3)に分類される部が多い(×10)
- 図24 implant が緻密骨に埋入されている領域では、implant 周囲に高い染色性を示す浅深方向に配列するハバース系(↑)が多い(×3.5)
- 図25 implant 周囲での新たなハバース系の形成に伴い、implant (I)表面においても染色性の高い層板骨のみられる部が多くなっている(×15.5)
- 図26 implant のやや近心側における頬側斜面の骨を示す。骨髄側および粘膜側に染色性の高い骨(↑)が追加され、全体的にかなり厚くなっている(×7.8)
- 図27 implant (I)近心寄りの頬・舌側海綿骨を示す。骨梁表面に層板骨が追加されるとともに、その周囲に woven bone が形成され、海綿骨に占める骨の量が多くなっている(×2.6)

- 図28 implant (1) の頬側に位置する骨梁は平行層板の追加により肥厚しているとともに、全体として緻密骨内面から implant に向かって配列(↑)している(×2.7)
- 図29 implant 遠心寄りの下方域では元来の歯槽壁の骨が薄く多孔性の状態で残存し、それらの骨に平行層板(↑)が追加されている(×2.8)
- 図30 図17の下顎 implant が埋入されている部を示す。implant の下方に骨梁がほとんど認められない。また頬側には頬側緻密骨内面から implant に向かって斜め上方に配列する太い骨梁が多い(×1.8)
- 図31 implant のやや近心側を示す。implant の深層の高さより下方には骨梁が少ない。implant の中層以浅の高さに相当する部分の骨梁では平行層板が追加(↑)されており、その厚さは舌側寄りの骨梁に比べ頬側寄りのもののほうが厚い。また骨梁は全体として頬・舌側緻密骨内面から中央に向かってやや斜め上方に向かっている(×2.0)
- 図32 implant のやや遠心寄りを示す。骨梁に追加されている平行層板(↑)の厚さは、implant の深層の高さに相当する部の舌側寄りの骨梁で最も厚い。また implant の中層から深層に相当する高さの骨梁は全体として頬・舌側緻密骨内面から中央に向かってやや斜め上方に向かっている(×1.9)