

抜歯創内への即時インプラント法に関する実験的研究

長 田 純 一

岩手医科大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任 : 田中久敏教授)

[受付 : 1987年6月13日]

抄録 : 無歯顎患者の顎堤の状態は補綴治療の効果を左右する。とくに歯槽骨が極度に吸収している場合は難症例となる。そこで、歯槽骨の吸収防止を目的とした即時埋植インプラント法を成犬に応用し、30カ月の経過観察を行い、即時埋植インプラント法の有用性を検討した。その結果、インプラント体の埋植深度とインプラント体上部を被覆する骨幅には正の相関が認められ、インプラント体上部に骨の被覆を得るには、埋植深度指数を0.2以上にすることが示唆された。さらに、即時埋植インプラント体周囲には、非機能圧下でも天然歯の場合と類似した梁状骨が長期間にわたり存在し、即時埋植インプラント法が顎骨内部構造の維持に役立つ可能性が示唆された。しかし、即時埋植インプラントを行った場合でも、抜歯創の治癒過程で顎骨の高さの約10%の歯槽骨吸収がみられた。

Key words : alveolar bone preservation, submerged-root implant, dental implant, alveolar bone resorption.

緒 言

歯の喪失後は歯槽骨の吸収が必然的に生じ、この現象は、補綴学的立場からも検討されている¹⁻²⁰⁾。しかし、補綴治療上問題となる歯槽骨の吸収防止に対し、最近では、生化学的観点から骨吸収機序の解明に取り組む姿勢もみられるが²¹⁻²⁵⁾、歯槽骨吸収の原因究明はいまだ十分ではない。

一方、抜歯創に種々の材料を埋植して、抜歯後の歯槽骨の吸収を防止しようという試みはこれまでもなされてきた²⁶⁻²⁸⁾。しかし、埋植に用いられてきた材料は、以前は天然歯根、アクリリック・レジン、石膏などであったためか、いずれも失敗に終わっているのが現状である。

近年、歯科インプラントという概念が歯科界に浸透するにつれて、生体により親和性のあるインプラント材の開発も進み、チタニウム、単

結晶サファイア、アパタイトなどの材料が臨床的に評価されるようになってきた²⁹⁻³⁴⁾。これにともない、抜歯後の歯槽骨の吸収を防止する目的で、抜歯創内への補填材として、これらのインプラント材の応用が考えられるようになってきた³⁵⁻⁴²⁾。また、萎縮した歯槽堤の造成にアパタイト顆粒を応用する試みもなされている⁴³⁻⁴⁸⁾。しかし、これらの材料の生体内における動態については不明な点が少なくない。

そこで本研究では、顎堤の保護を目的とした即時埋植インプラント法に関し、抜歯創という特殊な環境におけるインプラント材の生体親和性、ならびに、生体内におけるインプラント材とその周囲の骨組織の長期的動態を組織学的ならびにエックス線学的に比較検討し、歯槽骨の吸収を防止するための即時埋植インプラント法の有用性について実験的研究を行い、若干の知見を得たので報告する。

An experimental study of the immediate submerged-root implants.

Juni-chi OSADA.

(Department of Removable Prosthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka 020)

岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 12 : 138-157, 1987

研究方法

1. 実験動物と埋植材料

実験には、体重10Kg前後の雑種成犬（推定年齢4歳前後のもの）15頭を使用した。実験に先立ち2週間の検疫期間を置き、実験期間中は、固型飼料と水にて飼育した。実験部位は、左右下顎第一大臼歯近遠心根の計60根とした。使用したインプラント材は、京セラ社製単結晶サファイア（以下バイオセラムと略す）、クラレ社製アパタイト焼結体（以下アパタイトと略す）の二種で、いずれも円柱形のスクリュータイプとした。なお、埋植にあたって、これらの材料の上縁の隅角部を軽く削去し丸みを持たせた。

2. インプラント材の埋植方法

全身麻酔下（ペントバルビタール・ナトリウム 0.5ml/Kg）で、実験動物の下顎第一大臼歯を頬舌的に分割して抜歯した。その後抜歯創壁にできるだけ外科的侵襲を加えないように注意しながら多少整形し、インプラント体と抜歯創との適合をはかった。埋植にあたっては、予

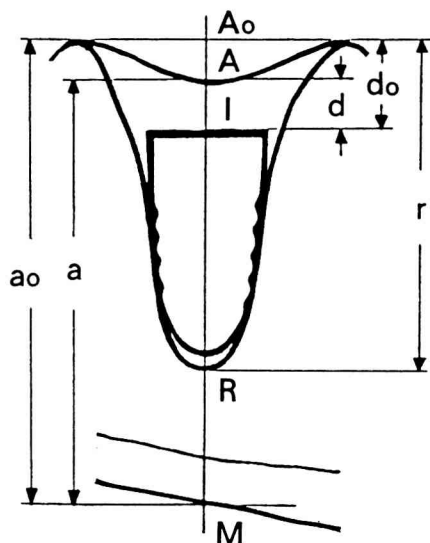


Fig.1 Schema of measuring points, and measuring distances.
Parameters.
Embedding depth = d_0/r
Evaluation of preserved alveolar bone (%) = $a/a_0 \times 100$
Covering bone thickness on the implant = d/a_0

備実験^{49, 50)}の結果をふまえ、インプラント体が抜歯創壁の一部にしっかりと適合するように植立して、初期固定を行い、粘膜弁で縫合閉鎖した。なお、本実験では各材料について、埋植の深さを2種類とした。すなわち、浅い群（埋植深度0.2未満）と深い群（埋植深度0.2以上）とに分けてインプラント体周囲ならびに直上部の骨動態について検討した。埋植深度⁵⁰⁾とはエックス線写真上における歯根の長さ（ A_0-R 間の距離 r ）を基準としたインプラント体上縁の位置を表し、抜歯創の個体差を補正する指標（Embedding depth = d_0/r ）である（Fig.1）。なお、対照群として抜歯創の治癒過程における骨動態についても観察した。

3. 観察方法

1) 肉眼的観察

インプラント体埋植終了後、定期的に口腔内を観察し肉眼的に治癒過程を観察した。

2) エックス線の観察

即時埋植インプラント体の動態，ならびにその周囲の骨の改造現象を経時的に観察する目的で、口内法エックス線規格写真を撮影した。撮影時期は、インプラント埋植直後，1カ月，2カ月，3カ月，12カ月，30カ月とした。

(1) 口内法エックス線規格写真撮影装置

本装置の構造は、通常の歯科用エックス線撮影装置（帝国デンタル社製 X-Ray Unit Type-S Model-2）と著者が考案した特殊な固定装置

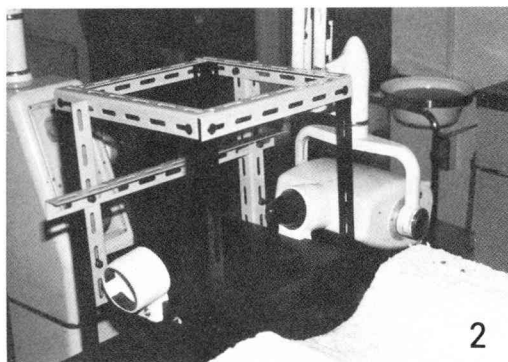


Fig.2 Standardized X-ray unit for intra-oral radiography. Animal is fixed on the horizontal metal frame and X-ray tube is adjusted to the tube fixture.

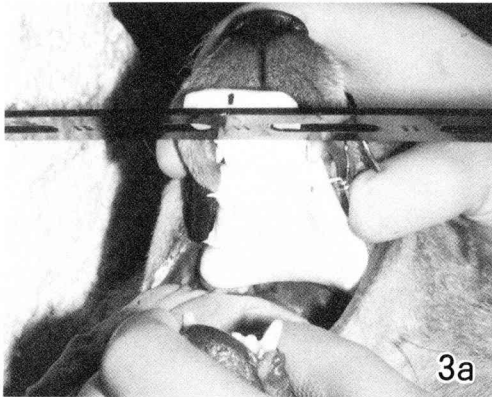


Fig.3a: Bite-plate for fixation of head position.

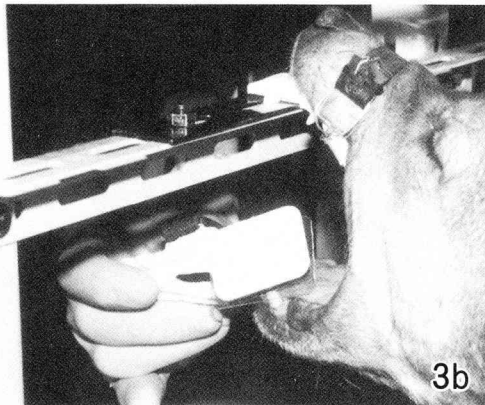


Fig.3b: Bite-plate for fixation of X-ray film.

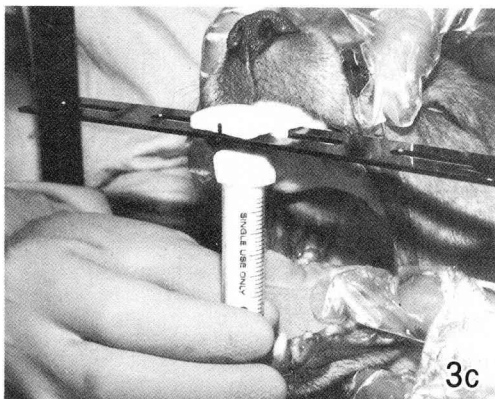


Fig.3c: Bite block for holding inter-maxillary space.

からなる (Fig.2)。エックス線源の固定は、特殊な固定装置の筒にコーンを装填して行った。被写体の固定は、各実験動物の上顎に全口蓋型スプリントを装着し (Fig.3a)、さらにこれを、

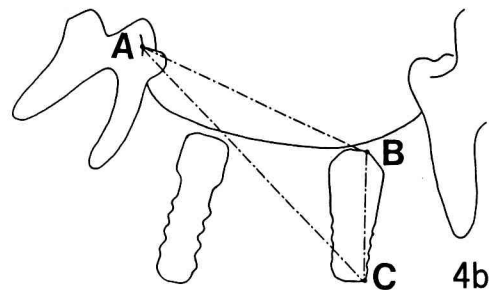
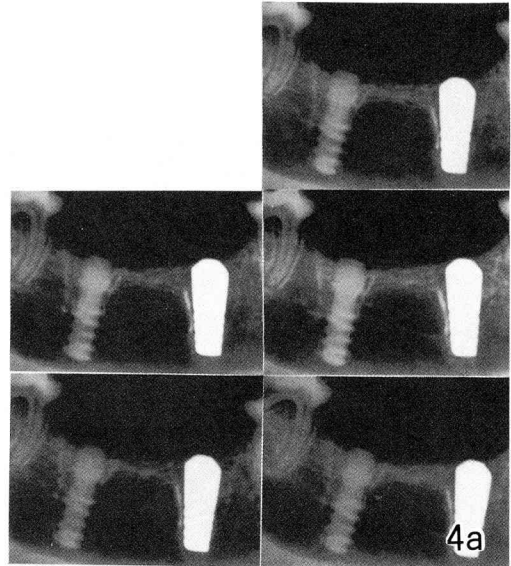


Fig.4 4a : shows 5 intra-oral radiographs taken in the same way and different time to check the reproducibility of standardized X-ray unit. 4b : shows 3 measuring points on the radiograph for identification of reproducibility of X-ray unit.

金属の枠組からなる特殊な固定装置にネジ止めて行った。フィルムは、実験部位に相当する位置に、下顎用スプリント (Fig.3b) を応用して固定した。開口度は、バイトブロック (Fig.3c) で規定した。以上の操作により、エックス線源・被写体・フィルムを常に一定の位置に固定することができる。

撮影条件は、仰角 10° 、管電圧60kvp、管電流10mA、照射時間0.5秒とした。フィルムは標準型歯科用X線フィルム (Kodak社製) を使用した。なお現像はProfexray社製自動現像装置ならびに現像液フジRD-1を用い、 29°C で、

1分間行った。

(2) 本装置の再現性

本装置で撮影した写真の再現性を調べる目的で、同一実験動物に対し、エックス線源・被写体・フィルムを毎回装填、固定し直して、5枚のエックス線写真を撮影した (Fig.4a)。被写体は、計測の便宜上、下顎第一大臼歯抜歯創内にチタニウムインプラントを埋植したものを使用し、写真上のランドマーク3点をA, B, Cとした (Fig.4b)。それぞれの計測点間の距離は、1/10mm目盛りスチール製定規を用い各エックス線写真について5回計測した。この測定値に関して一元配置分散分析を行った結果、5枚のエックス線写真上の測定値間には有意差はみられなかった (Table 1a)。また、エックス線写真上、歯根長軸方向の測定値に関して変動係数が大きかったが、それでも0.2%とかなり低く、本装置によるエックス線写真の再現性が確認できた (Table 1b)。

(3) エックス線写真の計測

各実験動物ごとに得られたエックス線写真上から、①. 抜歯創直上の歯槽骨頂の高さ (A—M間の距離 = a) の経時的变化, ②. 埋植後3カ月目のインプラント体直上部を被覆する骨幅 (A—I間の距離 = d) を求めた (Fig.1)。

計測に際し、抜歯創中央部を通る任意の直線を写真上にひき、Fig.1に示すごとく5点を計測点として設定した。なお、同一実験動物の間では写真を重ねあわせ、任意の直線が重なるようにした。また、それぞれの値は実験動物の個体差をなくす目的で、抜歯直後の歯槽頂 (A₀) と下顎骨下縁 (M) の距離 (a₀) に対する比として換算した。

3) 病理組織学的観察

インプラント体埋植後3カ月, 12カ月, 30カ月目にネプタールの静注過量投与により屠殺し、下顎骨を摘出、10%中性緩衝ホルマリンにて固定し、脱灰標本と非脱灰標本を作製した。脱灰標本の作製にあたっては、Plank-Rychlo法にて脱灰した。脱灰完了後、通法にしたがってparaffin包埋、前額断方向に薄切し、H.E.染色

Table 1a

	Source of variation	S.S.	d.f.	M.S.	F
AB	Treatments	0.0016	4	0.0004	0.1429
	Experimental error	0.0560	20	0.0028	
	Total	0.0576	24		
	Source of variation	S.S.	d.f.	M.S.	F
BC	Treatments	0.0080	4	0.0020	0.4348
	Experimental error	0.0920	20	0.0046	
	Total	0.1000	24		

F₉₉ (4, 20) = 4.50

Table 1b

	Mean	Variance	S.D.	C.V.
AB	18.7	0.00	0.01	0.05
BC	9.9	0.00	0.02	0.20

Table 1 Result of statistical analysis of reproducibility of radiographs.

Note ; no statistic differences in distances of A-B and B-C on 5 radiographs (p<0.01) (a). Statistical data on 5 radiographs shows any C. V. (coefficient of variation) s are small (b).

標本を作製した。

非脱灰標本は、固定後、通法にしたがいリゴラック包埋し、マルトースライサーおよびマルトーススピードラップを用いて、厚さ100μmの研磨標本を作製した。なお、研磨にあたってはエックス線写真を参考にし、インプラント体の長軸と平行に試料を切り出しして行った。

4) Contact-microradiogram (CMR) の観察

インプラント埋植後3カ月, 12カ月, 30カ月経過した実験例の非脱灰研磨標本は封入前にCMRを撮影した。装置は綜研社製 Sofron SRO-M50を使用し、管電圧は13kvp, 管電流3mA, 露出時間20分で撮影した。フィルムは、Kodak社製 spectro-scopic film 649-0を使用した。現像はKodak社指定のD-19を用い、停止、定着、水洗、乾燥し、エンテランにて封入を行った。

標本は、IBAS2000画像解析システムで画像解析を行い、顎骨内部の骨梁密度ならびに、平均骨梁幅の経時的推移を観察した。なお、平均骨梁幅の計測に際しては、IBAS2000画像解析システムのプログラムの中に平均骨梁幅の計算式⁶⁾、平均骨梁幅＝(全骨量/全骨梁面)×2(mm)を組み入れ自動算出する方法をとった。

結 果

1. 肉眼的所見

対照群の抜歯創は、術後2週目において一部に発赤や顎堤粘膜の陥凹がみられたが、創口は閉鎖し、縫合線がわずかに認められるのみであった。抜歯後1カ月目では、創口の閉鎖は完全で、根間中隔部の膨隆が著明であった。また、粘膜は健康色を呈していた。抜歯後2カ月目では、粘膜は凹凸を呈し、頬舌側の歯槽骨縁が粘膜下に触知できた。抜歯後3カ月目では、創口は消失し、また、顎堤の形態は丸みをおびて、いくぶん吸収した状態を呈した。抜歯後12カ月目、

30カ月目では、3カ月目と比較して著明な差は認められなかった。インプラント体埋植部では、材料の種類、埋植条件の違いによる差は認められず、また、対照群との間にも著明な差はみられなかった。

2. エックス線規格写真所見

1) 観察所見

バイオセラム埋植群では、観察期間を通してインプラント体の挺出、移動は認められなかった。また、埋植深度の深いもの(埋植深度0.2以上)(Fig.5b)では、インプラント体直上に3カ月目頃から厚い皮質骨様のエックス線不透過像の被覆が観察された。一方、埋植深度の浅いもの(埋植深度0.2未満)(Fig.5a)では骨様不透過像がインプラント体直上を薄く被覆する傾向を示した。しかし、ほとんど被覆しない例もみられた。この状態は、3カ月以後30カ月まで、不完全被覆のままほとんど変化がみられなかった。

インプラント体周囲の骨改造に関しては埋植深度の違いによる差は認められず、埋植後3カ

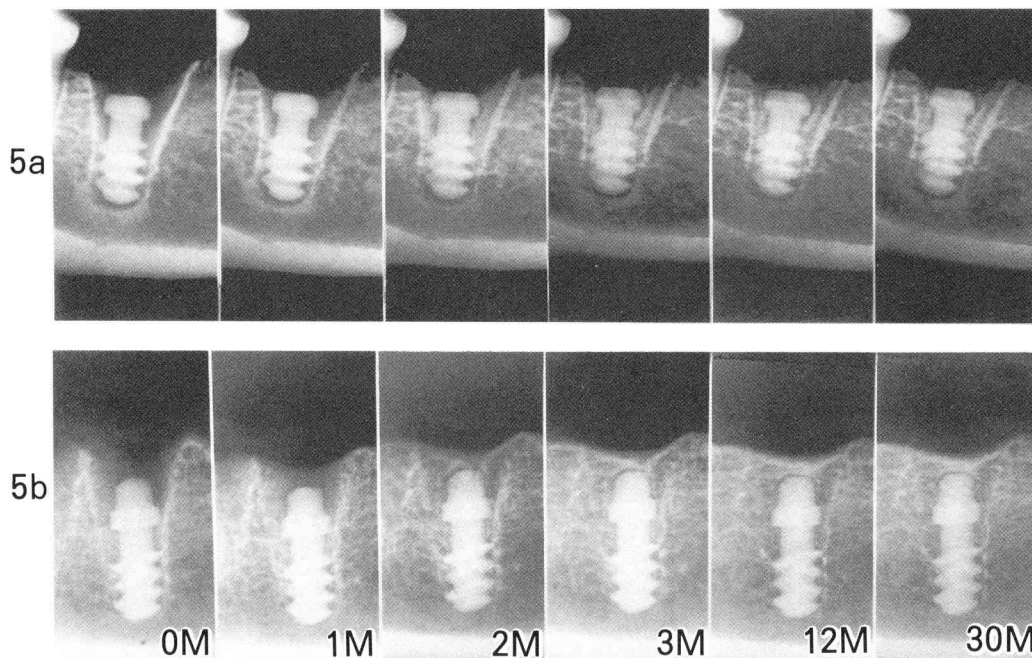


Fig.5 Standardized radiographs are taken at 0, 1, 2, 3, 12 and 30 months after implantation. 5a : shows shallowly embedded sapphire implant. 5b : shows deeply embedded sapphire implant.

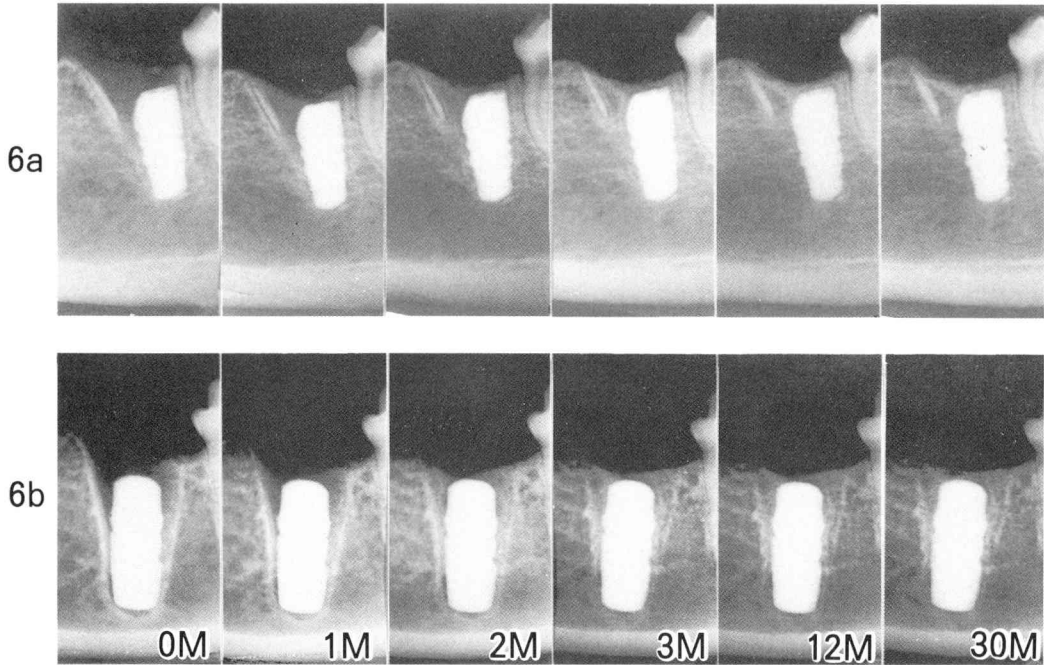


Fig.6 Standardized radiographs are taken at 0, 1, 2, 3, 12 and 30 months after implantation. 6a : shows shallowly embedded apatite implant. 6b : shows deeply embedded apatite implant.

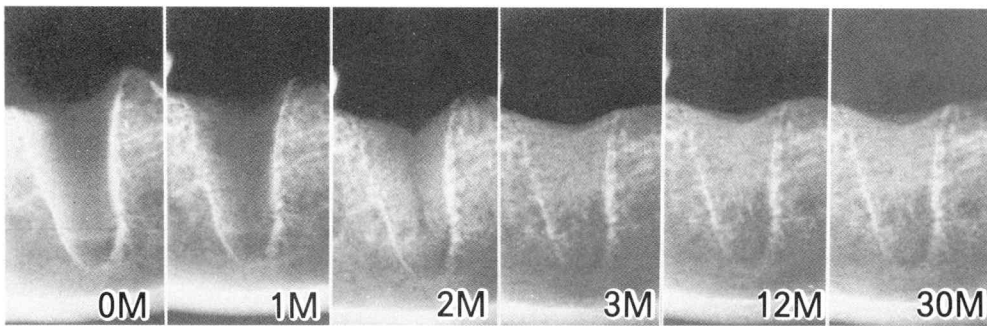


Fig.7 Standardized radiographs of extraction site taken at 0, 1, 2, 3, 12 and 30 months after extraction are showed.

月目まで経時的に抜歯創内部のエックス線不透過性が増加した。また、埋植後3カ月目からインプラント体直上の歯槽頂部には白線様の不透過像が認められ、この不透過像は以後30カ月までだいに明瞭化していった。抜歯前の歯槽硬線は12カ月頃までに大部分が消失したが、インプラント体埋植後3カ月目ごろから、インプラント体周囲には新たな歯槽硬線様の構築が認められた。さらに、新たな歯槽硬線様の構築像と

インプラント体との間には、30カ月経過した時点においても一層のエックス線透過像の介在が認められた (Fig.5b-30M)。

アパタイト群では (Figs.6a,b)、インプラント体周囲の骨改造の速度、エックス線不透過性を示す部位の推移に関しては、バイオセラム埋植群との間に大きな差は認められなかった。また、埋植3カ月以降のインプラント体直上の歯槽頂部には、骨の被覆を示す明瞭な白線様の不

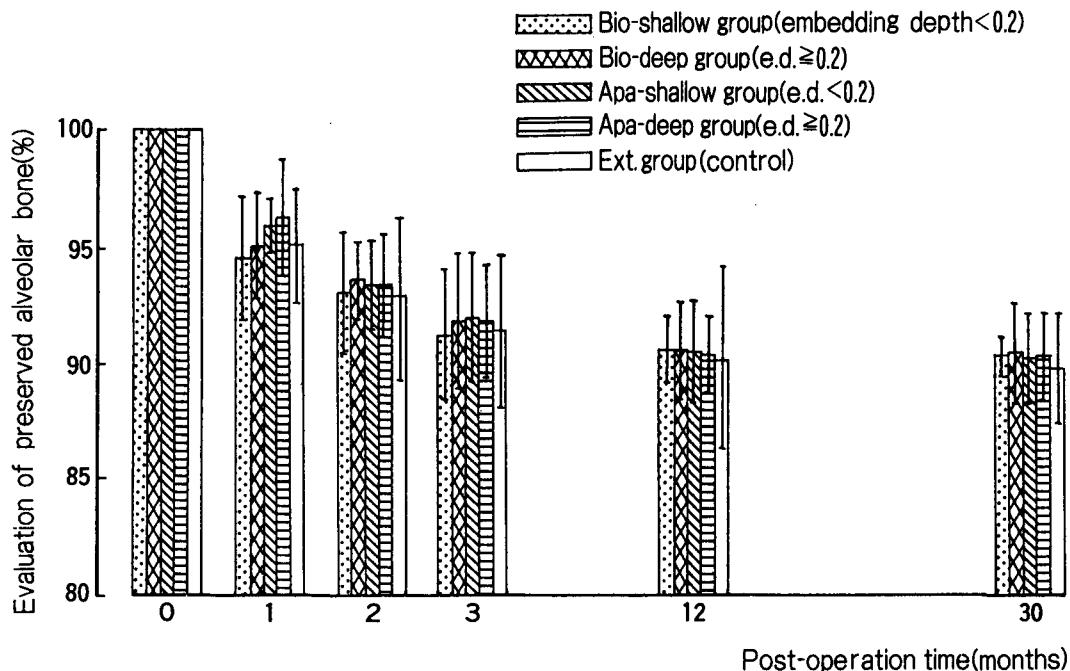


Fig.8 Changes of preserved alveolar bone height after 0 to 30 months where different methods of implantation have been used. It is found to be true that approximately 10% of alveolar bone resorption occurs after extraction. However, no significant difference was observed between the 5 groups.

透過像が認められた。さらに、インプラント体周囲を注意深く観察すると、バイオセラム群と比較してインプラント体に接するエックス線透過像の出現が少なかった。

対照群 (Fig.7) では、抜歯後3カ月までに急激な骨改造所見を示し、3カ月頃から歯槽頂部に明瞭な白線様不透過像が認められた。これ以後30カ月までは、歯槽硬線の消失が進み、同時に抜歯創内はその周囲に比べて骨梁が粗になる傾向を示した。

2) 歯槽骨吸収の経時的变化

インプラント体埋植部、ならびに、非埋植部の歯槽骨の吸収状態を観察するため、エックス線規格写真上に写った歯槽頂から下顎骨下縁までの距離 (Fig.1, A-M) を経時的に計測した。歯槽頂の高さはインプラント埋植直後から3カ月目までは急激に減少し、それ以後は経時的にわずかな減少を示した (Fig.8)。この傾向はいずれの実験群でも同様に認められ、30カ月経過後

では顎堤の高さのおよそ10%の歯槽骨が吸収された。なお、各群間には統計学的に有意差は認められなかった。

3) インプラント体直上の骨被覆幅

エックス線規格写真による経時的観察から、即時埋植インプラント体周囲の治癒過程は、術後約3カ月ごろから安定期に入っていた。

そこで、術後3カ月目に、インプラント体上を被覆する骨様エックス線不透過像の幅をエックス線写真上で計測し、埋植時に設定した埋植深度との相関関係を求めた。Fig.9はバイオセラム、Fig.10はアバタイト埋植例の相関図と回帰直線を示している。それぞれの回帰式ならびに相関係数 (R) は、バイオセラムの場合 $Y = 0.58 X - 0.059$, $R = 0.84$, アバタイトの場合は $Y = 0.52 X - 0.048$, $R = 0.76$ とともに比較的強い正の相関を示した。

また、 $Y = 0$ と回帰式との交点の X 座標を求めると、バイオセラムでは $X = 0.10$, アバタ

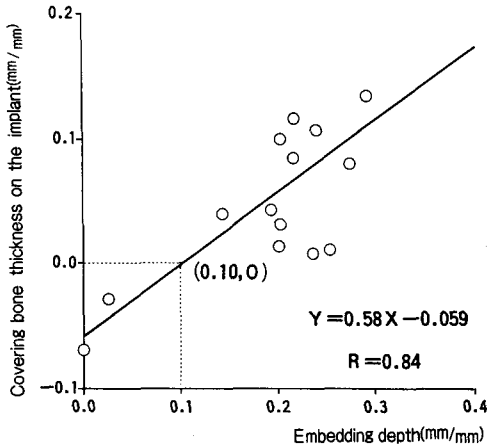


Fig.9 Relation between degree of embedding depth and covering bone thickness on the sapphire implants. It is found that there is statistical correlation between them.

イトでは $X=0.092$ となった。

3. 病理組織学的所見

1) 対照群

3カ月の例では、抜歯創上部は緻密骨で覆われていた。抜歯創内部の骨梁はしだいに粗な状態になり、骨芽細胞が一部の骨髄腔に認められた。12カ月の例では、抜歯創壁の外側に存在していた骨梁の走行は不規則で、細い梁状骨の間隙は脂肪組織で満たされていた (Fig.11a)。

抜歯後30カ月では、顎骨内部の骨梁は粗となり、歯槽頂部は薄い緻密骨で構成されていた。抜歯創壁は消失し、梁状骨に置換され、顎骨内の骨髄腔は脂肪組織により満たされていた。また、骨改造機転の指標となる破骨細胞ならびに骨芽細胞はほとんど認められなかった (Fig.11 b)。

上皮の状態は3カ月目から30カ月目まで著明な変化はなく、その厚さもほぼ均一であった。上皮下には線維性結合組織が密に配列し、好中球、リンパ球などの炎症性細胞浸潤は認められなかった。

2) バイオセラム埋植例

埋植深度0.2未満の浅い群では、3カ月になると (Fig.12a), インプラント体上部を頬舌側から伸びる緻密骨が不完全ながら覆っていた。

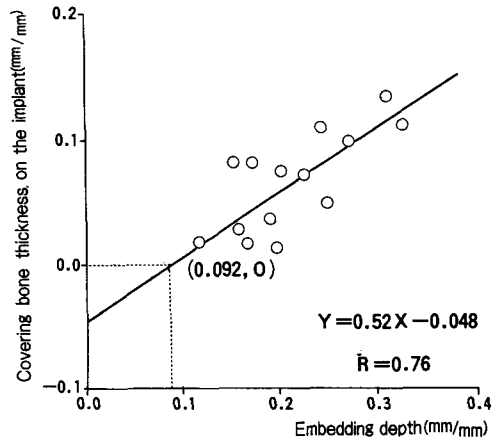


Fig.10 Relation between degree of embedding depth and covering bone thickness on the apatite implants. It is found that there is statistical correlation between them.

しかし、この群の同じ3カ月目の例でも、症例によっては、Fig.12bのように比較的厚めの骨が不完全ながらインプラント体上部を覆う場合もみられた。しかしながら、このような例では、不完全な骨の被覆状態は30カ月を経過しても変化することなく、骨組織がインプラント体上部を完全に被覆することはなかった。一方、埋植深度が深い場合、インプラント体上部への骨の被覆は著明で、30カ月例では、Fig.12cに示すように、インプラント体直上部は線維性結合組織を介して、周囲歯槽骨頂と連続した新生骨によって完全に被覆されていた。

インプラント体表面には、観察期間を通じてインプラント体のほぼ全周にわたり、薄い線維性結合組織の形成が認められ、その走行はインプラント体にほぼ平行であった (Figs.13a, b)。しかし、線維性結合組織の介在があってもインプラント体の排出傾向は認められなかった。この線維性結合組織の被膜は、Fig.14aのように埋植深度の深い例では、インプラント体の全周におよんでいた。一方、Fig.14bのように埋植深度の浅い例では、インプラント体の隅角部が骨に覆われない場合があり、この場合は、インプラント体表面に緻密骨が直に接していた。このように、埋植条件の違いにより線維性結合組

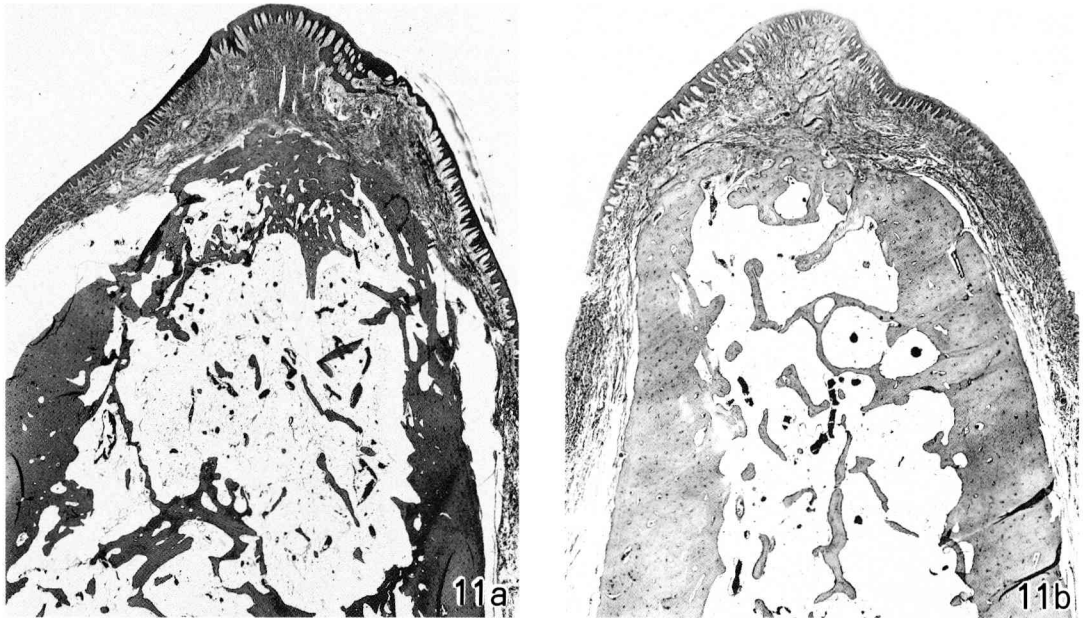


Fig.11 Microscopic photographs of edentulous jaw bone after extraction
 11a : shows the preservation of alveolar bone proper at 12 months after extraction, H. E. stain, $\times 10$. 11b : shows the disappearance of alveolar bone proper at 30 months after extraction, and the loss of the trabecular bone, H. E. stain, $\times 10$.



Fig.12 Microscopic photographs of jaw bone with sapphire implant (Bio.).
 12a : shows upper end of implant (e.d. = 0.18) incompletely covered with newly formed bone extending from buccal and lingual side at 3 months after implantation, ground section, $\times 10$. 12b : shows upper end of implant (e.d. = 0.19) incompletely covered with thicker newly formed bone extending from buccal and lingual side at 3 months after implantation, ground section, $\times 10$. 12c : shows thin connective tissue layer interfacing implant surface, and upper end of implant (e.d. = 0.24) is completely covered with thick newly formed compact bone (e.d. = 0.24) at 30 months, ground section, $\times 10$.

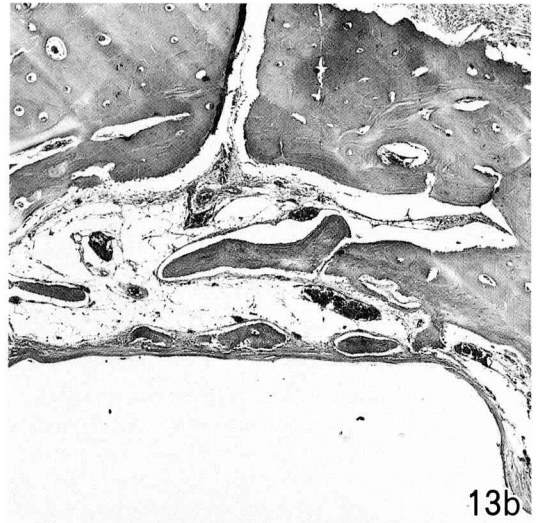
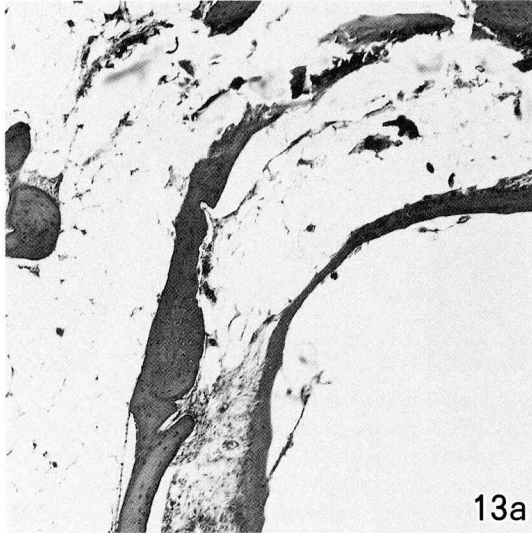


Fig.13 Microscopic photographs of newly formed bone around sapphire implant (Bio.). 13a : shows upper end of implant (e.d.=0.23) covered with connective tissue layer under the cancellous bone (e.d.=0.23) after 12 months, H.E. stain, $\times 10$. 13b : shows lateral side of implant almost always covered with thin connective tissue layer, 30 months after, H. E. stain, $\times 10$.

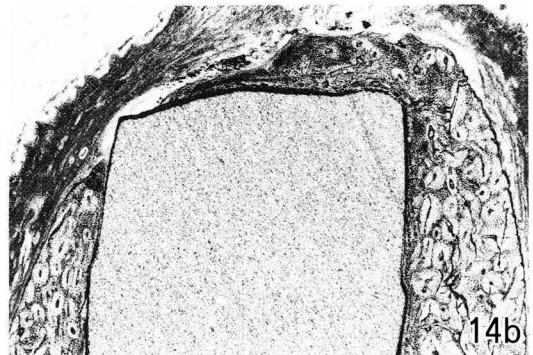


Fig.14 Comparison of healing between different embedding methods of sapphire implantation. 14a : shows upper end of deeply embedded implant (e.d.=0.29) covered with thin connective tissue layer under the cancellous bone at 30 months, ground section, $\times 10$. 14b : shows upper end of implant except corner is covered with newly formed compact bone without connective tissue layer on the surface of the implant (e.d.=0.19) at 12 months, ground section, $\times 10$.

織の出現度合いが異っていた。インプラント体上部を覆う新生骨は、経過とともに梁状骨ならびに緻密骨に成熟し、骨芽細胞などの骨改造に関与する細胞はごく一部に観察できるのみであった。

3) アパタイト埋植例

Fig.15a は、埋植深度が浅い3カ月目の状態

を示す。インプラント体上部には、歯槽骨縁から連続して緻密骨が増生し、完全に被覆していた。しかし、同時期のものでも、症例によってはFig.15bのように完全な骨被覆が得られない場合もみられた。一方、インプラント体の周囲には、線維性結合組織の存在が認められず、ほぼ全周にわたって新生骨が直に接する状態が観察

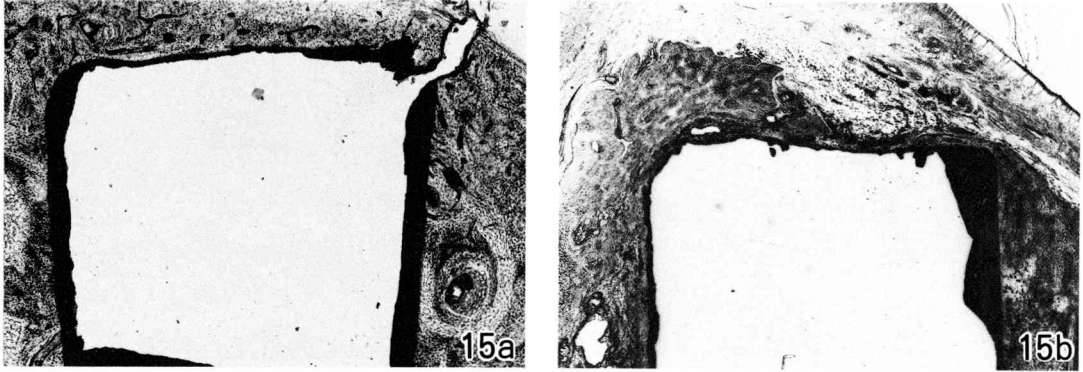


Fig.15 Microscopic photographs of jaw bone with apatite implant (Apa.). 15a, 15b are apatite implant (Apa.) cases at 3 months after implantation. Upper end of implant in Fig.15a (e.d.=0.19) completely covered with newly formed compact bone, but the case of Fig.15b (e.d.=0.16) is incompletely covered with bone. In both cases newly formed bone attaches to implant surface, ground section, $\times 16$.

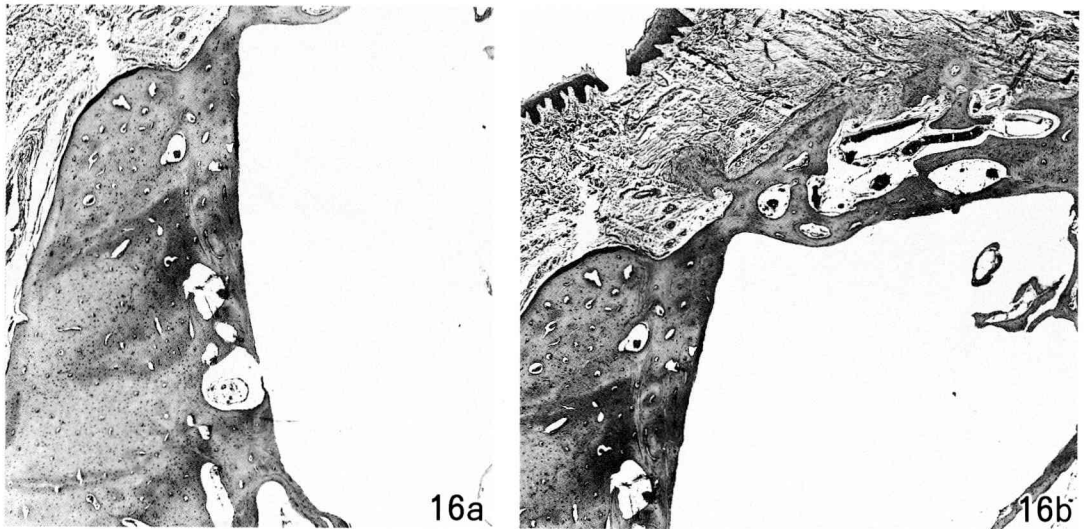


Fig.16 Microscopic photographs of newly formed bone around apatite implant (Apa.). Lateral side of implant (16a) and upper end of implant (16b) are contacted with newly formed bone without connective tissue layer at 30 months after implantation, H. E. stain, $\times 20$.

され、この状態は30カ月の観察期間を通じて変化がなかった (Figs.16a, b)。また、同じく30カ月を経過した例でも、Fig.17aのようにインプラント体を浅く埋植した例では、その隅角部が新生骨で被覆されず、Fig.17bのように深く埋植した例では、インプラント体上部は新生の梁状骨によって完全に覆われ、埋植深度によ

て骨被覆状態に違いが認められた。

4. Contact microradiogram 所見

1) 顕微鏡所見

天然歯群 (Fig.18) では、抜歯創壁を構成する骨組織が歯根の外形に添って取り囲んでいるのが明瞭に認められた。この骨組織は、厚さが不均一で、その内部には、ハバース層板が認め

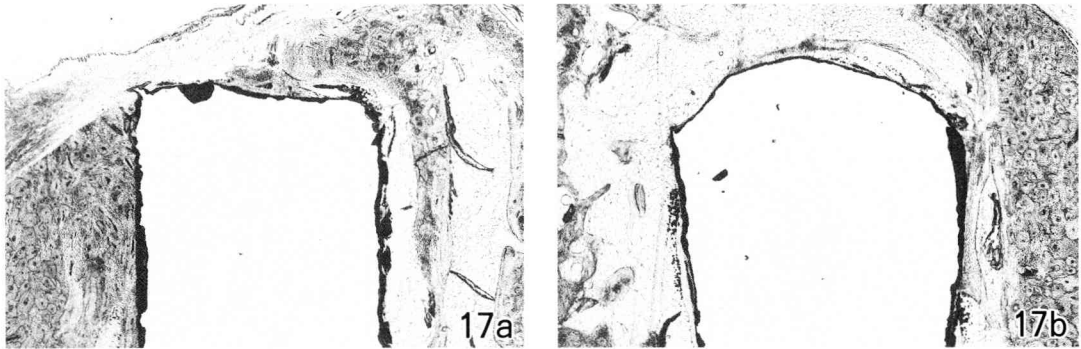


Fig.17 Comparison of healing between embedding methods of apatite implantation. Shallowly embedded (e.d.=0.18) apatite implant with square shaped top (17a) is incompletely covered with compact bone at 30 months. Deeply embedded (e.d.=0.31) apatite implant with round shaped top (17b) is completely covered with trabecular bone or fatty marrow at 30 months. In both methods newly formed bone contacted with implant surface without connective tissue layer.

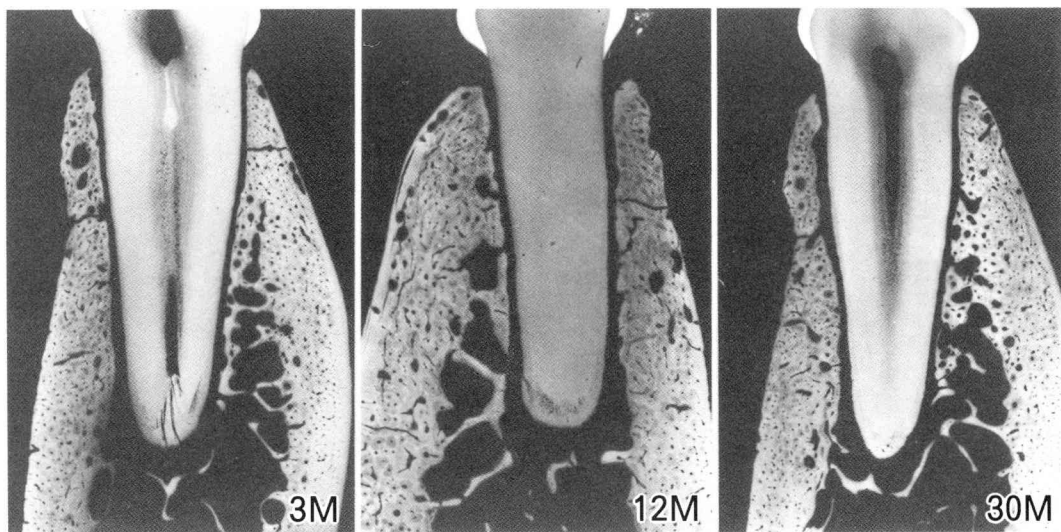


Fig.18 Contact microradiographs of jaw bone with natural tooth shows trabecular bone around root is well maintained at 3, 12 and 30 months after experiment.

られた。また、抜歯創壁を構成する骨から顎骨の外形を構成する緻密骨に向かって、比較的幅の広い梁状骨が伸びていた。顎骨の外形を構成する骨は、大小のハバース層板を有する緻密骨からなり、その内部にところどころ骨髓腔が認められた。天然歯群でのこれらの所見は、経時的な変化は認められずほぼ一定であった。

3カ月目のアパタイト埋植群 (Fig.19-3M) では、インプラント体直上にハバース層板の不明瞭な骨組織が認められた。インプラント体周囲には、その外形にそって接するように一層の骨組織がみられ、これと外側の緻密骨を連絡する多数の梁状骨が認められた。これらの梁状骨の配列は、多少不規則ながら天然歯群のものと類似していた。その後、12カ月、30カ月と経過して

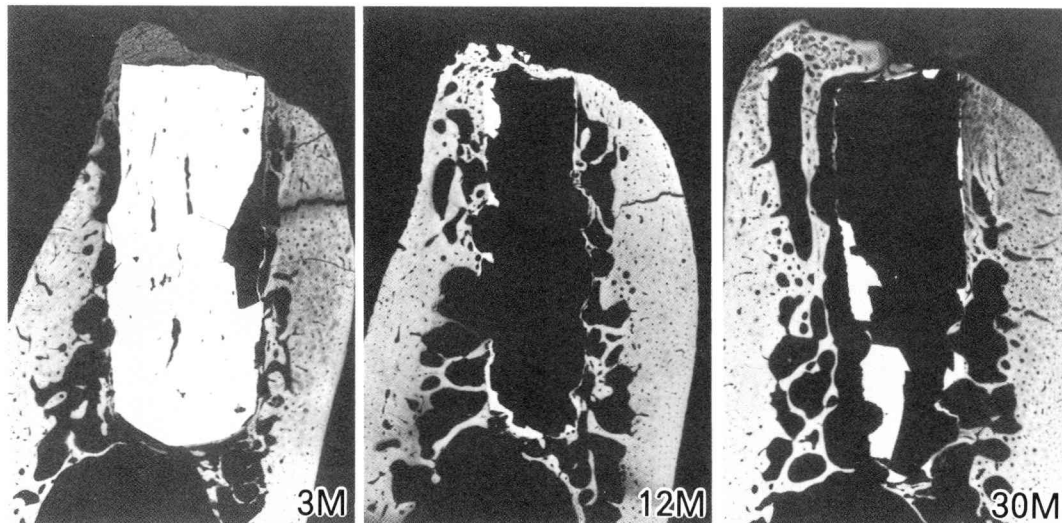


Fig.19 Contact microradiographs of jaw bone with apatite implant at 3, 12 and 30 months after implantation shows the arrangement of trabecular bone around the implant is similar to that of natural tooth case.

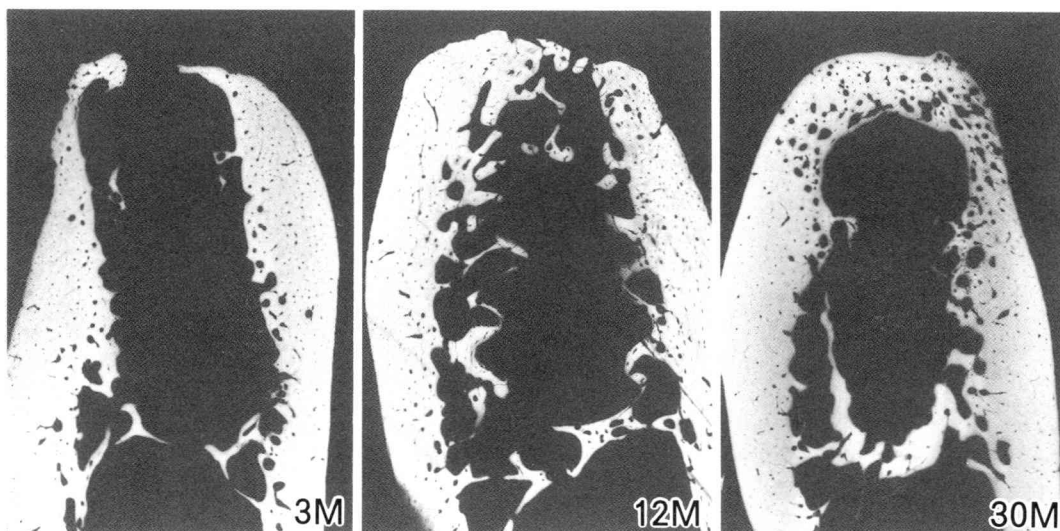


Fig.20 Contact microradiographs of jaw bone with sapphire implant at 3, 12 and 30 months after implantation shows the arrangement of trabecular bone around the implant is similar to that of natural tooth case.

いくにつれて (Figs.19-12M, 30M), インプラント体直上を覆う骨組織はいわゆる成熟度合を増し, 明確なオステオンが多数認められるようになった。インプラント体周囲の骨組織とその外周の既存の骨組織とを連絡する放射状に走行する骨梁は, 術後30カ月後でも存在し, 天然歯群と類

似した様相を呈していた。

バイオセラム埋植群の3カ月例 (Fig.20-3M) では, インプラント体の外側は, アパタイト埋植例に比較して骨梁の少ない厚めの骨組織により取り囲まれており, この骨組織とインプラント体とが接していない例が多かった。12カ月と

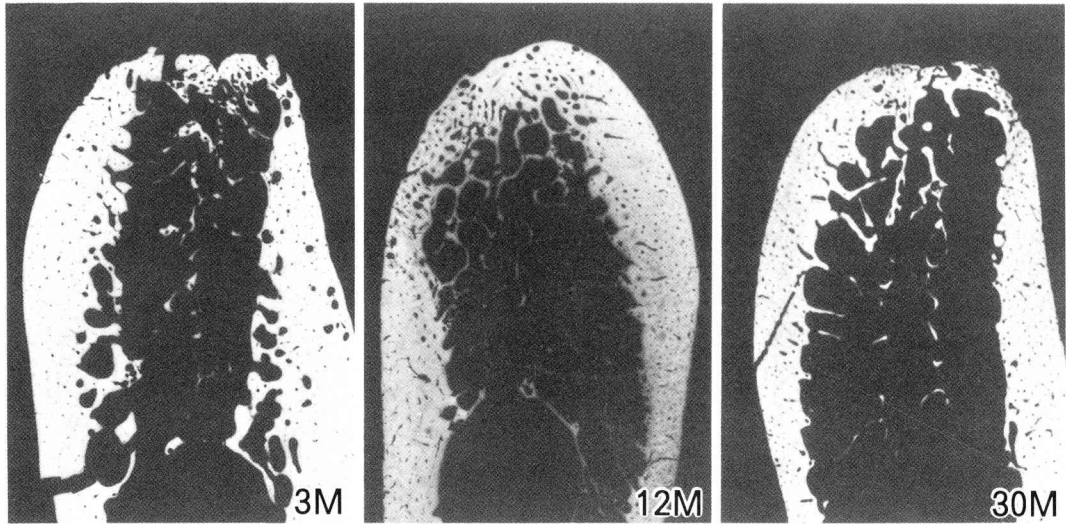


Fig.21 Contact microradiographs of edentulous jaw bone from 3 to 30 months after extraction shows decreasing trabecular bone area.

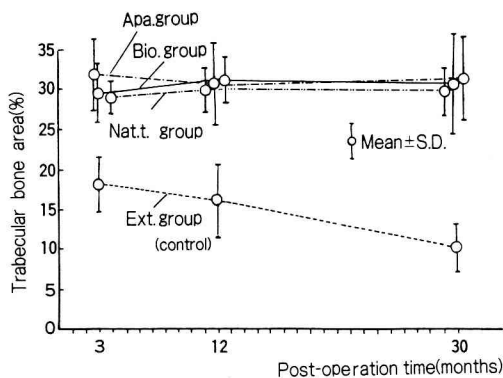


Fig.22 Changes of the trabecular bone area (%). Nat. T. (Natural tooth), Bio. (Sapphire implant) and Apa. (Apatite implant) group are at the approximately 30 % during the experiment, trabecular bone area of Ext. group (control) decreases from 18.3 to 10.7% during 30 months.

30カ月目では、顎骨外形を構成する緻密骨の骨内膜面に向かって梁状骨が不規則に伸びているのが認められるが、アパタイト埋植例に比較して梁状骨の形成は少なく、緻密性の骨によって覆われるのがバイオセラム埋植群の特徴である (Figs.20-12M, 30M)。

対照の抜歯群 (Fig.21) では、3カ月目になると、抜歯創壁を構成する骨が以然として観察

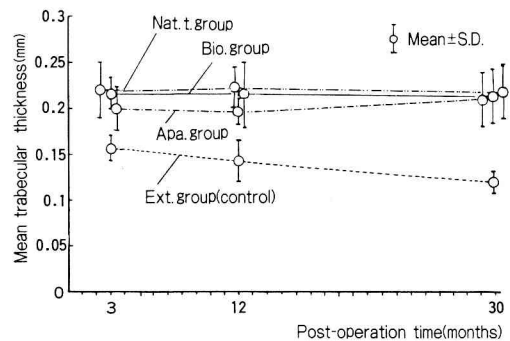


Fig.23 Changes of the mean trabecular bone thickness (mm). Nat. T. (Natural tooth), Bio. (Sapphire implant) and Apa. (Apatite implant) group are at approximately 0.21mm during the experiment, trabecular bone thickness of Ext. group (control) decreases from 0.16 to 0.12mm during 30 months.

できるが、抜歯創内は粗と化していた。12カ月、30カ月と経過していくにしたがって、抜歯創壁を構成していた骨も消失し、顎骨内部の梁状骨の発達はあまりみられなかった。外側の緻密骨の構造は、同時期のインプラント体埋植群ときわめて類似の構造を示していた。

2) 骨梁密度の経時的推移

天然歯群、バイオセラム群、アパタイト群、対照の抜歯群の4群において、インプラント体

周囲を覆う梁状骨の経時的变化を客観的に観察するために、CMRから骨梁密度を求めた。

その結果、バイオセラム群、アパタイト群では、3カ月、12カ月、30カ月と経過しても、インプラント体周囲の梁状骨の骨梁密度はほぼ30%前後と一定値を保ち、天然歯群と同様の傾向を示した。しかも、これら3群間には、いずれの時期においても有意差が認められなかった。これに対し、対照の抜歯群では、3カ月目が18.3%、12カ月目が15.1%、30カ月目が10.7%と減少傾向を示し、他の3群に比して5%の危険率で有意差が認められた (Fig.22)。

3) 平均骨梁幅の経時的推移

CMR所見より、各群間において梁状骨の幅の違いが示唆されたため、客観的に検討した。

その結果、バイオセラム群と天然歯群では、骨梁幅の平均値が、いずれの時期においても約0.21mmとほぼ同じであった。また、アパタイト群でも、それよりやや低い値を示すが、前述2群との間には有意差はみられなかった。これに対し、対照の抜歯群では、3カ月目において0.16mmで、他の3群と比較して有意に低く、その後も僅かな減少傾向をもって推移することがわかった (Fig.23)。

考 察

1. インプラント体埋植法と歯槽骨の吸収

インプラント体埋植後の抜歯創治癒過程は、インプラント材の種類、埋植条件の違いによる差は認められず、抜歯後3カ月目で、創口は消失し、顎堤は丸みをおびていくぶん吸収した状態を呈した。これは、前田¹⁷⁾による抜歯創の肉眼的観察と類似した経過をたどった。

一方、エックス線的に観察した歯槽骨の吸収は、インプラント体埋植の有無、インプラント材の種類、および、埋植深度の差異にかかわらず、3カ月目までは急激に生じ、30カ月经過後には、顎骨全体の高さの約10%が吸収した。なお、各群間には有意差は認められなかった。奥野¹²⁾は、イヌの上顎について抜歯後の顎堤の面積変化を観察し、第1大臼歯部では24カ月で10

%前後の吸収があるとしている。また、雨森²⁰⁾は、イヌの下顎について抜歯後の顎骨の高さを観察し、第一大臼歯部で約7%の歯槽骨吸収を認めている。これらの結果と比較すると、本実験における各条件群での歯槽骨吸収は、即時埋植インプラントの有無にかかわらず、正常な抜歯創の治癒過程にともなう必然的な歯槽骨吸収量にほぼ等しい結果が得られた。

さらに、本実験では、埋植深度とインプラント体上部を被覆する骨幅の相関を求め、病理組織学的に検索した。インプラント体の埋植の深さに関しては、抜歯創の大きさにより治癒過程での歯槽骨の吸収量が異なるので、インプラント体上部への新生骨の被覆幅を検討するには、抜歯創の個体差を考慮する必要があった。そこで、本実験では、歯根長を基準として抜歯創の個体差を補正する埋植深度²⁰⁾という指標を導入し、即時埋植インプラント法における適正な埋植深度の設定法を検討した。その結果、抜歯後の歯槽骨吸収が、非機能圧下ではインプラント体の埋植にはあまり影響を受けずに、一定量だけ生じることがわかった。また、埋植深度が深くなるにともなって、被覆骨の幅が増加する傾向がみられ、埋植深度0.1程度に浅く埋植した場合には骨被覆が全く得られず、埋植深度と被覆骨幅の間に比較強い正の相関が認められた。したがって、埋植深度に応じてインプラント体上部を被覆する骨幅の予測がある程度可能となることが示唆された。

Campbell²¹⁾によれば、義歯未装着者の顎堤吸収は明らかに少ないとされている。また、中沢ら¹⁸⁾は、抜歯後そのまま放置しておけば、歯槽骨はその外形に関するかぎり、治癒機転に際しての吸収以外に変化をこうむらないとしている。これらの報告では、非機能圧下では歯槽骨吸収が少ないことを示しているだけでなく、抜歯後の治癒過程に生じる必然的な歯槽骨吸収を示唆している。つまり、インプラント体上縁を歯槽骨縁上に位置させた場合は、インプラント体上部には新生骨の被覆は起こらず、逆に治癒過程で歯槽骨は吸収し、インプラント体を単

に歯槽粘膜が覆ったみかけ上の顎堤の膨隆となる可能性が強いことを示している。したがって、即時埋植インプラント法の臨床応用に際して、インプラント体上部が新生骨により被覆された健康な顎堤を得るためには、本実験の結果で示すように、適切な埋植深度を考慮する必要があると考えられた。また、本実験で総合的に得られた所見は、インプラント体上部の骨被覆をエックス線的に診断する際の参考となるものと考えらる。

2. 即時埋植インプラント体周囲および上部の骨動態

インプラント体周囲の骨動態については、金田⁶⁴⁾、小木曾⁶⁵⁾らのアパタイトに関するイヌを使用した研究や、杉本⁶⁶⁾のバイオセラムに関するサルを使用した研究など、歯科インプラントに関し種々の検討がなされている。小木曾²⁰⁾はアパタイトと骨の結合力を測定した実験後の電顕所見より、アパタイトと骨組織が直に癒着すると述べている。また、杉本⁶⁶⁾は、バイオセラムではインプラント体表面に骨組織が直に接する場合と、線維性結合組織が介在する場合とを認めている。一方、即時インプラントに関しては塩田⁶⁷⁾のアパタイトをイヌに、磯村⁶⁸⁾のバイオセラムをラットに使用した報告がある。彼らの報告によれば、インプラント体埋植後2~4週間でアパタイト表面には新生骨の形成が、また、バイオセラム表面には薄い線維性結合組織を介して新生骨の形成が認められ、通常の歯科インプラントに比べてわずかに治癒機転が遅延する傾向にあるものの、歯根膜の存在がインプラント体周囲の治癒過程にそれほど大きく影響しないことが示されている^{67, 68)}。本実験の場合、埋植3カ月目のバイオセラム表面には、一部に骨組織が直に接する所見を認めたが、大部分はその表面が薄い線維性結合組織の被膜により覆われていた。この状態は、観察期間中のいずれの時期にも認められた。また、エックス線写真上に一度出現したインプラント体周囲の透過像は、消失することなく30カ月の観察期間を通じ

て認められた。一方、アパタイトの表面には3カ月目で新生骨の形成を認め、線維性結合組織の介在はまれであった。この状態は、30カ月の観察期間を通じて認められた。この結果は、即時埋植インプラント法が、通常の歯科インプラント法に近い治癒経過を示し、歯根膜の存在する抜歯創にインプラント体を埋植しても悪影響がないことを示唆している。

インプラント体直上の骨被覆状態に注目すると、埋植深度が浅い例では、インプラント材の種類に関係なく、新生骨がインプラント体上部を不完全に被覆する所見が得られた。しかし、インプラント体表面を部分的に覆う新生骨は、インプラント体と直に接していることが多かった。また、埋植深度0.2前後の例ではインプラント体隅角部の一部が骨に被覆されず、この状態はエックス線写真では正確に診断することはできなかった。インプラント体埋植3カ月以後の経時的エックス線規格写真ならびに病理組織標本から総合的に判断すると、3カ月目においてもインプラント体上部の骨被覆が不完全な場合は、その状態が30カ月を経過しても変化せず、インプラント体上部に完全な骨被覆が得られることはないと考えられた。したがって、完全な骨被覆を得るには、インプラント体埋植時の埋植深度を的確に設定するほか、インプラント体隅角部に丸みを持たせることも必要であると考えられた。

一方、埋植深度が深い例では、インプラント体直上部を新生梁状骨が覆い、インプラント体上縁が顎骨内部に埋植されている状態を呈した。この場合、バイオセラムでは、インプラント体とその上部ならびに周囲に形成された梁状骨との間に、線維性被膜が介在する所見が観察された。しかし、アパタイトでは、インプラント体上部ならびに周囲には梁状骨が直に接する所見が得られた。これらのことから、深く埋植した場合、インプラント体周囲にはインプラント材の種類によっては線維性結合組織が介在するものもあるが、頬舌側の歯槽骨縁から伸びた新生骨が完全に癒合し、インプラント体上

部ならびに周囲は全て新生骨で被覆されるものと考えられた。

Shererら⁶⁰⁾は、durapatite 顆粒の抜歯創内埋植実験から、骨性癒着をするといわれるアパタイトであっても、上皮結合組織中に顆粒が残留した場合には、周囲が線維性結合組織で被包され、新生骨の形成がみられなかったと報告している。このことは、本実験の結果とも一致し、生体親和性を有するアパタイトであっても粘膜下結合組織に覆われるのみでは骨が形成され難いことを示唆している。したがって、即時埋植インプラント法において、インプラント体上部あるいは周囲に新生骨の被覆を得るためには、まず、抜歯創の形態に類似した固体のインプラント体を抜歯創壁にしっかりと適合させて埋植することが必要である。さらに、抜歯後、必然的に骨吸収が起こると予想される歯槽骨縁の位置を考慮して、埋植深度を最低でも0.2以上とし、隅角部に組織障害を起させないためにインプラント体隅角部に丸みを持たせる必要があると考えられた。

3. 即時埋植インプラント法と顎骨の構造

インプラント体周囲を含む広範囲にわたる顎骨構造の骨動態をCMRで観察した。骨梁の観察に際し、画像解析装置によるCMR解析を行う試みは、整形外科領域でも応用されており、インプラント体周囲の骨梁密度あるいは平均骨梁幅の客観的・定量的評価に有効な手段と考える。本実験では、骨形態計測^{61, 62)}に広く用いられている骨梁の占める面積比や、骨幅の近似的な値を示す指標を求め、数値間の相対的比較を行った。その結果、バイオセラム、アパタイト両群のインプラント体周囲には、線維性被膜の有無にかかわらず、骨梁密度、平均骨梁幅が維持された。これらの骨梁は、3, 12, 30カ月を経過しても天然歯群と同様にインプラント体周囲に認められ、顎骨外形の緻密骨に向かって放射状に伸びていた。しかし、抜歯群では、抜歯創内はもちろん、その周囲にあった骨梁は経時的に消失し、顎骨内部の骨梁全体が粗と化して

いた。また、インプラント体上部あるいは抜歯創創口部には、30カ月経過しても緻密骨が存在し、既存の緻密骨と連続して顎骨外形を形成していた。大野¹³⁾は、Micro-radiographyを用いて天然歯と抜歯創との比較を行い、天然歯の場合、固有歯槽骨と支持歯槽骨は6カ月の観察期間中維持されたが、抜歯創では固有歯槽骨ならびにその周囲の梁状骨が吸収し、6カ月の観察期間中、顎骨内部の多孔化が進行したと報告している。また、抜歯創創口部では、治癒過程で添加された新生骨の緻密化が、6カ月まで活発に進行しているとも述べている。また、橋本⁶⁰⁾、三羽⁶¹⁾は、それぞれバイオセラム、アパタイトに関して機能圧負荷時のインプラント体周囲の状況を検討し、バイオセラムでは疎性結合組織が多少厚くなり、アパタイトでは表面の骨組織が厚くなる所見を観察している。

本実験では、非機能圧下においてもインプラント体周囲には骨梁密度にして30%前後の骨梁が維持され、機能圧下の天然歯に類似した状態が得られた。この結果は、他の報告に類を見ない。インプラント体周囲の骨梁密度の維持の意義については推測の域を脱し得ないが、一つには、インプラント体を埋植したことにより応力の伝達が顎骨内部まで及び、その反応として骨梁が密に配列されたと考えられる。また、異物に対する反応として、インプラント体周囲を骨が囲繞したとも解釈できる。いずれにしても、骨梁が維持されることは、義歯装着時においても機能圧に対する何らかの効果が期待できる可能性があり、今後さらに検討していく必要があると考える。

結 論

今回、顎堤の保全を目的とした即時埋植インプラント法に関し、雑種成犬(推定年齢4歳前後)における埋植インプラント体周囲の骨動態について検討した。術後30カ月におよぶエックス線学的ならびに病理組織学的検索の結果以下の結論を得た。

1. 即時埋植インプラント法を応用することに

より、非機能圧下では本来消失していく顎骨内部の骨梁がインプラント体周囲に残存し、即時埋植インプラントが顎骨内部構造の維持に役立つ可能性が示唆された。

2. インプラント体埋植後3カ月目に、インプラント体上部の骨被覆が不完全な場合は、その状態が30カ月を経過しても変化せず、インプラント体上部への完全な骨被覆は得られなかった。したがって、生体親和性のあるインプラント材であっても粘膜下結合組織に覆われるのみでは骨が形成され難いと考えられた。
3. 埋植深度と新生骨被覆幅との間には正の相関が認められ、即時埋植インプラント体上部に完全な骨被覆を得るためには、埋植深度を最低でも0.2以上とし、インプラント体隅角部に丸みを持たせる必要があると考えられた。
4. 抜歯後の治癒過程にともなう必然的な歯槽骨吸収は、即時埋植インプラント法を応用しても防止することができないように思われた。
5. 本研究で著者の考案したエックス線規格写真撮影法とその原理は、インプラント体周囲の骨動態の把握に有効であると考えられた。

Abstract : An experimental study was carried out to evaluate the effectiveness of alveolar bone preservation of submerged-root implants, immediately after tooth extraction in dogs. The mandibular bilateral first molar was extracted, under general anesthesia, and two types of implant materials (single-crystal sapphire and solid hydroxyapatite) were embedded at various depths in the extraction sockets. The animals were sacrificed at 3, 12 and 30 months after the start of the experiment. On some occasions, during the experiment, standardized radiography was employed to evaluate the bone modelling around the implant. The radiographs were taken at the start of the experiment and at intervals of 1, 2, 3, 12 and 30 months. The results were as follows :

Radiographical investigation revealed that the 2-types of implants were well retained in the jaw bone throughout the experimental periods, but no statistically significant difference in the height of the alveolar bone was observed between the 2-types when compared with the controls. When the implants were embedded with their tops at 20% of the depth of the socket, they became completely covered with newly formed bone. The significant differences were histopathologically observed. The single-crystal sapphire implants were surrounded by a thin fibrous connective tissue layer, while the solid hydroxyapatite implants were surrounded by newly formed bone no connective tissue layer. During the 3 months from its beginning, contact-microradiographs showed newly formed trabecular bone developing around the implants. This architecture of bone structure was maintained throughout the experimental periods and was similar to that of normal alveolar bone.

謝 辞

稿を終るにあたり、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました恩師岩手医科大学歯学部歯科補綴学第一講座田中久敏教授に深甚なる謝意を表します。また丁寧な御教授、御校閲を賜りました岩手医科大学歯学部口腔病理学講座鈴木鍾美教授ならびに第二口腔解剖学講座名和橙黄雄教授に深く感謝の意を表します。本研究にたいして数多くの御援助と御助言とを賜りました口腔病理学講座武田泰典講師、歯科薬理学講座吉田熙講師に衷心より謝意を捧げます。さらに、種々の御協力を賜りました岩手医科大学歯学部歯科補綴学第一講座の医局員各位に心から感謝いたします。

本論文の要旨の一部は、昭和60年6月、第73回日本補綴歯科学会学術大会、昭和60年11月、岩手医科大学歯学会第11回総会、ならびに昭和62年5月、第77回日本補綴歯科学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) Atwood, D. A. : Postextraction changes in the adult mandible as illustrated by micro-radiographs of midsagittal sectional serial cephalometric roentgenograms. *J. Prosthet. Dent.* 13 : 810-824, 1963.
- 2) Tallgren, A. : The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers : a mixed longitudinal study covering 25years. *J. Prosthet. Dent.* 27 : 120-132, 1972.
- 3) Atwood, D. A. and Coy, W. A. : Clinical, cephalometric and densitometric study of reduction of residual ridges. *J. Prosthet. Dent.* 26 : 280-299, 1971.
- 4) Sobolik, C. F. : Alveolar bone resorption. *J. Prosthet. Dent.* 10 : 612-619, 1960.
- 5) Boucher, C. O., Hickey, J. C. and Zarb, G. A. : Prosthodontic treatment for edentulous patients, 7th ed., The C. V. Mosby Company, St. Louis, 1975.
- 6) Atwood, D. A. : Some clinical factor to rate of resorption of residual ridges. *J. Prosthet. Dent.* 12 : 441-450, 1962.
- 7) Atwood, D. A. : Reduction of residual ridges : A major oral disease entity. *J. Prosthet. Dent.* 26 : 266-277, 1971.
- 8) Carlsson, G. E., Bergman, B. and Hedegård, B. : Changes in contour of the maxilla alveolar process under immediate denture. *Acta. Odont. Scand.* 25 : 21-44, 1967.
- 9) 松元 誠 : 下顎大白歯および小臼歯欠損後の下顎骨の形態学的変化 (I), *口病誌*, 28 : 271-290, 1961.
- 10) 松元 誠 : 下顎大白歯および小臼歯欠損後の下顎骨の形態学的変化 (II), *口病誌*, 29 : 242-254, 1962.
- 11) 松元 誠 : 下顎大白歯および小臼歯欠損後の下顎骨の形態学的変化 (III), *口病誌*, 30 : 30-50, 1963.
- 12) 奥野正孝 : 上顎歯抜去後の顎骨の形態変化および下顎歯の位置的变化に関する実験的研究, *補綴誌*, 12 : 308-336, 1968.
- 13) 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 : 839-868, 1973.
- 14) 水谷 紘 : 歯槽骨の吸収——補綴の立場から見たその実態と対応——, *日本歯科医師会雑誌*, 37 : 353-359, 1984.
- 15) 水谷 紘 : 歯牙欠損後の顎堤の形態変化ならびに残存歯の変化——サルによる実験的研究——, *補綴誌*, 17 : 275-296, 1973.
- 16) 村田睦男 : 抜歯後歯槽骨の変化に関する補綴学的研究, *口科誌*, 14 : 204-213, 1965.
- 17) 前田睦男 : 抜歯後の治癒過程に関する補綴学的考察, *歯科医学*, 29 : 16-38, 1966.
- 18) 中沢 勇, 岡 宏 : 抜歯後の顎堤の形態変化, *歯界展望*, 33 : 79-87, 1969.
- 19) 池田恒彦 : 最近における抜歯創の治癒機転に関する研究の総説, *歯科学報*, 70 : 1270-1281, 1970.
- 20) 雨森 洋 : 歯の欠損による頭蓋骨の形態変化に関する実験的研究, *口病誌*, 32 : 1-60, 1965.
- 21) Urist, M. R., Delange, R. J. and Finerman, G. A. M. : Bone cell differentiation and growth factors. *Science*. 220 : 680-686, 1983.
- 22) Urist, M. R., Huo, Y. K., Brownell, A. G., Hohl, W. M., Buyske, J., Litzke, A., Tempst, P., Hunkapiller, M. and Delange, R. J. : Purification of bovine bone morphogenetic protein by hydroxyapatite chromatography. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 81 : 371-375, 1984.
- 23) 高岡邦夫 : 骨形成——骨形成因子からみて——
日整会誌, 59 : 327-337, 1985.
- 24) 清水正春, 逸見征行 : 歯槽骨の吸収と再生の生化学, *日整会誌*, 38 : 905-910, 1985.
- 25) 小澤英治 : 硬組織の石灰化と吸収に関する最近の話題, *電子顕微鏡による研究*, *日本歯科医師会雑誌*, 36 : 1143-1152, 1984.
- 26) Lam, R. V. and Poon, K. Y. : Acrylic resin root implants : A preliminary report. *J. Prosthet. Dent.* 19 : 506-513, 1968.
- 27) Lam, R. V. and Poon, K. Y. : Acrylic resin root implants : A continuing report. *J. Prosthet. Dent.* 22 : 657-662, 1969.
- 28) Lam, R. V. : Effect of root implants on resorption of residual ridges. *J. Prosthet. Dent.* 27 : 311-323, 1972.
- 29) 中村正明, 川原春幸 : 生体修復用セラミックスとその周囲組織, *病態生理*, 3 : 390-396, 1984.
- 30) 川原春幸 : より確かなセラミックス・インプラント, *補綴臨床*, 16 : 3-19, 1983.
- 31) 向井博邦 : 顎骨内埋入金属の周囲組織への影響に関する実験的研究, *歯学*, 64 : 996-1014, 1977.
- 32) Jarcho, M. : Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics. *Clin. Orthoped.* 157 : 259-278, 1981.
- 33) 川原春行 : 生体用金属材料の毒性, *金属*, 50 : 45-50, 1980.
- 34) 小木曾誠 : アパタイト・インプラントについての考え方, *紫耀*, 31 : 1-10, 1983.
- 35) Denissen, H. W. and de Groot, K. : Immediate dental root implants from synthetic dense calcium hydroxylapatite. *J. Prosthet. Dent.* 42 : 551-556, 1979.
- 36) Quinn, J. H. and Kent, J. N. : Alveolar ridge maintenance with solid nonporous hydroxylapatite root implants. *Oral Surg.* 58 : 511-521, 1984.
- 37) Denissen, H. W., Veldhuis, A. A. H.,

- Makkes, P. Ch., van den Hooff, A. and de Groot, K. : Dens apatite implants in priventive dentistry. *Clinical Priventive Dent.* 2 : 23-28, 1980.
- 38) Kangvonkit, P., Matukas, V. J. and Castleberry, C. J. : Clinical evaluation of Durapatite submerged-root implants for alveolar bone preservation. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 15 : 62-71, 1986.
- 39) 柳沢定勝 : 抜歯後の歯槽骨萎縮に対する予防治療——歯槽堤造成法の抜歯窩への適用—— 1. 考え方と臨床応用 (上), 日歯評論, 528 : 49-61, 1986.
- 40) 柳沢定勝 : 抜歯後の歯槽骨萎縮に対する予防治療——歯槽堤造成法の抜歯窩への適用—— 2. 考え方と臨床応用 (下), 日歯評論, 529 : 53-70, 1986.
- 41) 柳沢定勝 : 抜歯後の歯槽骨萎縮に対する予防治療——歯槽堤造成法の抜歯窩への適用—— 1. 基礎的背景 (上), 日歯評論, 530 : 81-91, 1986.
- 42) 柳沢定勝 : 抜歯後の歯槽骨萎縮に対する予防治療——歯槽堤造成法の抜歯窩への適用—— 2. 基礎的背景 (下), 日歯評論, 531 : 56-65, 1987.
- 43) Kent, J. N., Quinn, J. H., Michael, F. Z., Luis, R. G. and Phillip, J. B. : Alveolar ridge augmentation using nonresorbable hydroxylapatite with or without autogenous cancellous bone. *J. Oral. Maxillofac. Surg.* 41 : 629-642, 1983.
- 44) Larsen, H. D., Finger, I. M., Guerra, L. R. and Kent, J. N. : Prosthodontic management of the hydroxylapatite denture patient. : A preliminary report. *J. Prosthet. Dent.* 49 : 461-470, 1983.
- 45) 柳沢定勝, 吉峰一夫, 高田尚美, 小澤俊文, 柳沢いづみ, 若松佳子, 西連寺永康, 佐藤三樹雄, 竹内啓泰, 尾野幹也 : 合成ヒドロキシアパタイトによる歯槽堤造成法, 1. 基礎的背景 (上) (下), 日歯評論, 502 : 99-109, 503 : 83-94, 1984.
- 46) 柳沢定勝, 吉峰一夫, 高橋英司, 高田尚美, 小澤俊文, 柳沢いづみ, 宝生博文, 関根俊夫, 青島健, 五十嵐孝義, 斎藤毅, 西連寺永康 : 合成ヒドロキシアパタイトによる歯槽堤造成法, 2. 臨床応用 (上) (下), 日歯評論, 504 : 69-79, 505 : 74-89, 1984.
- 47) Nery, E. B., Lynch, K. L. and Rooney, G. E. : Alveolar ridge augmentation with tricalcium phosphate ceramic., *J. Prosthet. Dent.* 40 : 668-675, 1978.
- 48) Nery, E. B., Pflughoeft, E. A., Lynch, K. L. and Rooney, G. E. : Functional loading of bioceramic augmented alveolar ridge-A pilot study., *J. Prosthet. Dent.* 43 : 338-343, 1980.
- 49) 長田純一, 岩本一夫, 熊谷啓二, 佐久間基博, 菅原寿樹, 田中久敏 : 即時インプラントによる顎堤保全に関する実験的研究, 第1報 X線の経過観察, 補綴誌, 29 : 116-127, 1985.
- 50) 長田純一, 朴沢弘康, 青田 弘, 熊谷啓二, 遠藤 実, 田中久敏, 武田泰典 : 即時インプラントによる顎堤保全に関する実験的研究 第2報 病理組織所見とX線所見との比較検討, 補綴誌, 30 : 908-919, 1986.
- 51) 高橋栄明編 : 骨形態計測ハンドブック, 第一版, 西村書店, 新潟, 71-79ページ, 1983.
- 52) 宮永 豊, 福林 徹, 立石哲也, 白崎芳夫 : 7. 骨梁構造の定量解析, 高橋栄明編 : 骨形態計測, 医歯薬出版, 東京, 59-67ページ, 1981.
- 53) Campbell, R. L. : A comparative study of the resorption of the alveolar ridges in denture-wearers and non-denture-wearers. *J. A. D. A.* 60 : 143-153, 1960.
- 54) 金田浩之 : Apatite Implant の埋入間隙との関連性に関する観察, 口病誌, 47 : 57-97, 1980.
- 55) 小木曾誠 : アパタイト表面における骨組織形成ならびにその石灰化について, 口病誌, 50 : 1-22, 1983.
- 56) 杉本忠雄 : バイオセラミウムインプラントに関する実験的研究, 九州歯会誌, 38 : 1-25, 1984.
- 57) 塩田 真 : アパタイト・セラミックの即時インプラントの応用に関する実験的研究, 口病誌, 51 : 407-446, 1984.
- 58) 磯村博美 : 顎骨内埋入セラミックの周囲組織への影響に関する実験的研究, インプラント誌, 4 : 49-71, 1982.
- 59) Sherer, A. D., Slighter, R. G., Rothstein, S. S. and Drobeck, H. P. : Evaluation of implanted durapatite particles in fresh extraction sockets to maintain the alveolar ridge in beagle dogs. *J. Prosthet. Dent.* 57 : 331-337, 1987.
- 60) 橋本正毅 : 機能性を負荷した単結晶アルミナセラミックインプラント周囲の組織構造に関する実験的研究, 広歯誌, 17 : 138-153, 1985.
- 61) 三羽敏夫 : アパタイト・セラミック・インプラント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.