

大原 孝

骨補填材を用いた上顎洞底挙上術同時インプラント植立の イヌ前頭洞における実験的研究

日高 豊彦 渡辺 孝夫 佐藤 淳一

鶴見大学歯学部口腔外科学系 1 次室

(主任：瀬戸 純一 教授)

* 鶴見大学歯学部口腔顎顔面インプラント科

(長：大谷 孝一 教授)

受付：2025年10月27日 採録：2025年10月27日

要旨：上顎洞底を骨補填材を用いた上顎洞底挙上術同時インプラント植立を行う場合に、骨補填材は咬合刺激の伝達を阻害し、インプラントの初期骨癒着を妨げる可能性がある。本研究では、骨補填材の種類、インプラントの埋入深さ、咬合刺激の伝達率を比較し、最適な方法を検討した。結果、骨補填材の種類によって咬合刺激の伝達率は異なるが、インプラントの埋入深さは咬合刺激の伝達率に大きな影響を与えないことが明らかになった。また、骨補填材の種類によって咬合刺激の伝達率は異なるが、インプラントの埋入深さは咬合刺激の伝達率に大きな影響を与えないことが明らかになった。

実験方法：本研究では、犬の前頭洞に骨補填材を用いた上顎洞底挙上術同時インプラント植立を行った。骨補填材の種類は、骨セメント、骨移植片、骨形成誘導剤の3種類を用いた。インプラントの埋入深さは、5mm、7mm、9mmの3種類を用いた。咬合刺激の伝達率は、咬合圧計を用いて測定した。結果、骨補填材の種類によって咬合刺激の伝達率は異なるが、インプラントの埋入深さは咬合刺激の伝達率に大きな影響を与えないことが明らかになった。

結論：本研究の結果から、骨補填材の種類によって咬合刺激の伝達率は異なるが、インプラントの埋入深さは咬合刺激の伝達率に大きな影響を与えないことが明らかになった。したがって、骨補填材の種類を選択する際には、咬合刺激の伝達率を考慮する必要がある。また、インプラントの埋入深さは咬合刺激の伝達率に大きな影響を与えないため、インプラントの埋入深さを決定する際には、咬合刺激の伝達率を考慮する必要はない。

キーワード：骨補填材、上顎洞底挙上術、インプラント植立、咬合刺激、伝達率

〈原 著〉

骨補填材を用いた上顎洞底挙上術同時インプラント植立の
イヌ前頭洞における実験的研究

日 高 豊 彦 渡 辺 孝 夫 佐 藤 淳 一*

鶴見大学歯学部口腔外科学第一講座

(主任：瀬戸皖一教授)

*鶴見大学歯学部口腔顎顔面インプラント科

(科長：佐藤淳一助教授)

(受付：2004年9月17日, 受理：2004年10月27日)

要旨：上顎臼歯部にインプラント植立を行う場合に、洞底歯槽頂間距離が5 mm 以上でインプラントの初期固定が良好であれば、上顎洞底挙上術、骨補填材填塞、インプラント植立を同時に行う1回法、5 mm 未満の場合には上顎洞底挙上術、骨補填材填塞後にインプラント植立を行う2回法が一般的に行われている。最近、患者の負担を軽減し、適応の拡大を図る目的で、洞底歯槽頂間距離が3 mm 未満の場合にも1回法を行う報告が見られるようになった。そこで洞底歯槽頂間距離が3 mm 未満の場合に、上顎洞底挙上術、骨補填材による骨造成、インプラント植立を同時に行うことでインプラントを支持するのに十分な骨性結合が得られるかどうかについて検討を行った。

実験方法はイヌ前頭洞に上顎洞底挙上術に準じた骨窓を形成、洞粘膜剝離後挙上スペースに骨補填材を填塞、同時に前頭洞壁既存骨にインプラント植立を行い、より臨床に近い型で実験を行った。20頭のビーグル犬にインプラントはスクリュー型純チタンインプラント（ノーベルバイオケア社製、スウェーデン）、骨補填材にはスポンジ状コラーゲン（高研社提供、日本）、ウシ焼成骨（高研社提供、日本）、ウシ焼成骨とコラーゲンの複合材（ボーンジェクト™、高研社製、日本）を用い、これらの補填材を用いなかった対照群を加え、総計4群（n = 2）について検討した。術後1週、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月および6ヶ月にて屠殺後、研磨切片とし、トルイジンブルー染色後組織学的に検討した。

結果は、それぞれの群における新生骨占有面積の割合（New bone formation rate）は、最大が29.4%から51.4%とインプラント周囲にはある程度の新生骨形成が得られ、洞壁既存骨における骨インプラント接触率（New bone to implant contact rate, 以下IBCRとする）はそれぞれの群の最大が37.9%～44.5%の骨性結合を示したにもかかわらず、挙上スペースにおけるIBCRはそれぞれの群における最大が0.2%～2.2%と、造成新生骨とインプラントの骨性結合はほとんど起こらなかった。これは本実験でのインプラント植立部の既存骨が1.24 mmと極めて薄いことが影響していると考えられる。したがって、既存骨が薄く初期固定が不十分で、機械研磨のインプラントと骨補填材のみで骨造成を行った上顎洞底挙上術の1回法では、上顎洞挙上スペース部の新生骨とインプラントの骨性結合は期待できないと思われた。

索引用語：インプラント、サイナスリフト、イヌ前頭洞、ウシ焼成骨、ボーンジェクト

緒 言

上顎洞底挙上術は、上顎臼歯部の上顎洞底部洞粘膜を剝離挙上し、挙上洞粘膜と上顎洞底部の間にできた空隙（以下、挙上スペースとする）に自家骨¹⁾や人工材料²⁻⁴⁾などの補填材を填塞し、インプラント植立のための骨造成を図る術式である⁵⁻⁸⁾。洞底歯槽頂間距離が5 mm以上でインプラントの初期固定が良好であれば、上顎洞底挙上術、骨補填材填塞、インプラント植立を同時に行う1回法、5 mm未満の場合には上顎洞底挙上術、骨補填材填塞後にインプラント植立を行う2回法が一般的に行われている⁹⁾。最近、上顎洞底挙上術における1回法の信頼性が高まるにつれて¹⁰⁾、従来は適応外とされていた洞底歯槽頂間距離が3 mm未満の薄い症例に対してもその適応が試みられている^{11,12)}。また、早期の骨性結合を獲得するためにヒドロキシアパタイトコーテッドインプラントの使用、インプラントの一次固定源にする目的で骨ブロックやチタンプレートなどを用いる¹³⁾、あるいは頬骨を利用する¹²⁾などの工夫がなされている。しかしながら、そのような症例においても骨性結合が獲得されるかどうか等について、骨性結合に対する組織学的な検索はまだ十分には検討されていないのが現状である。

今回、前頭骨既存骨の厚みが平均1.24 mmのイヌ前頭洞を使用し、上顎洞底挙上術に準じた骨窓を形成、洞粘膜剝離後挙上スペースに骨補填材を填塞、同時に前頭洞壁既存骨にインプラント植立を行う1回法にて、より臨床に近い型で実験を行った。一般に臨床で言われるように上顎洞底と歯槽頂間の距離が3 mm未満の条件下でも、インプラント植立と上顎洞底挙上術、骨補填材による骨造成を行い、同時にインプラントを植立することでインプラントを支持するのに十分な骨性結合が得られるかどうか、および、それに対する補填材の影響について検討を行った。我々が渉猟した限りでは、インプラント植立部位の既存骨高径が3 mm未満の部位で骨補填材を使用した上顎洞底挙上術、インプラント植立を同時に行い、インプラントと骨の接触率について検討を加えた実験系はなかった。

実験材料および方法

1. 実験材料

1) 実験動物

ビーグル犬(年齢4から6歳、雌5頭、雄15頭、体重9.7 kgから15.3 kg、平均10.1 kg)、20頭を用いた。施術部位は、左右前頭洞とし、1実験設定項目の頭数は2 (n=2) とした。

2) 挙上スペースに補填した材料

(1) スポンジ状コラーゲン (高研社提供, 日本)

ウシ真皮から抽出されたI型コラーゲンを架橋結合処理剤としてヘキサメチレンジイソシアナート (以下HMDICとする)を施した後、スポンジ状の形態を付与したもの¹⁴⁾。

(2) ウシ焼成骨 (高研社提供, 日本)

ウシ粉碎骨を1%水酸化ナトリウムと1%過酸化水素の溶液に1時間浸漬した後、100-135°Cで加熱、乾燥、600°Cで2時間、1100°Cで1時間焼成し、顆粒にしたもの。

(3) ウシ焼成骨・コラーゲン複合材¹⁵⁾ (ボーンジェクトTM, 高研社製, 日本, 以下ボーンジェクトとする)

前述のウシ焼成骨とI型コラーゲン溶液を重量比3対2で混合したものである。I型コラーゲン溶液は、ウシ真皮をペプシン処理によって可溶化したI型コラーゲンを、2%磷酸緩衝液により希釈したものである。I型コラーゲン溶液に使われたコラーゲンはスポンジ状コラーゲンに使われた材料と同じであるが、HMDICによる架橋結合処理はしていない。

以上の補填材群と補填材を用いなかった対照群を加え、以下の総計4群について検索した。

I対照群：洞粘膜挙上のみで、挙上スペースに補填材を使用しなかった。

IIコラーゲン群：スポンジ状コラーゲンを填塞した。

IIIウシ焼成骨群：ウシ焼成骨を填塞した。

IVボーンジェクト群：ウシ焼成骨・コラーゲン複合材を填塞した。

3) インプラント

スクリュウ型純チタンインプラント (ノーベルバイオケア社製, スウェーデン)、直径3.75 mm、長さ8.5 mmを用いた。

2. 実験方法

手術方法は、塩酸ケタミン (ケタラールTM, 三共社製, 日本) 筋肉注射、ペントバルビタールナトリウム (ネプタールTM, 大日本製薬社製, 日本) 静脈内注射による全身麻酔および塩酸リドカイン (キシロカインTM, 藤沢薬品社製, 日本) 局所麻酔下で前頭部に皮膚、骨膜切開、剝離し前頭骨を露出、左右前頭洞相当部に骨窓を形成し、そこから洞粘膜を剝離、挙上スペースを形成した。次に骨窓から約3 mm離れたところにインプラントを植立した (図1)。実験群では補填材を填塞、対照群では補填材を填塞せず凝血でスペースが満たされるままにした。填塞量は挙上スペースを最大限満たすようにした。このあと骨膜縫合、皮膚縫合を施し、手術を終了した。術後の観察期間は、術後1週、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月および6ヶ月とした。

すべての動物実験は「鶴見大学歯学部動物実験指針」に従って実施した。

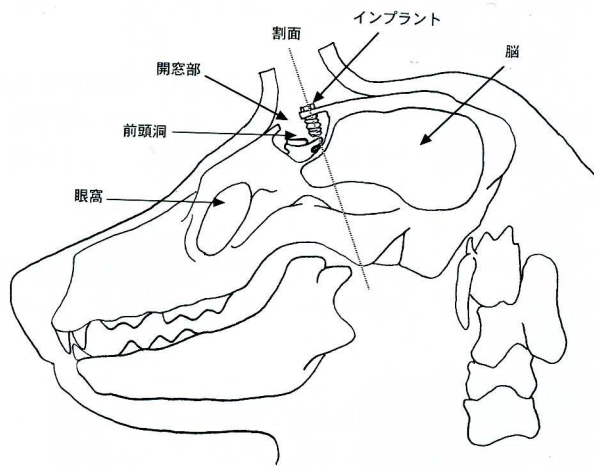


図1 挙上スペース形成後、インプラントを植立したイヌ前頭洞の模式図

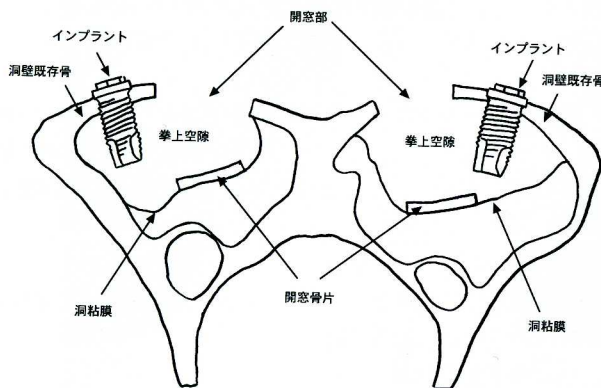


図2 約8mm幅に前額断した前頭洞の模式図

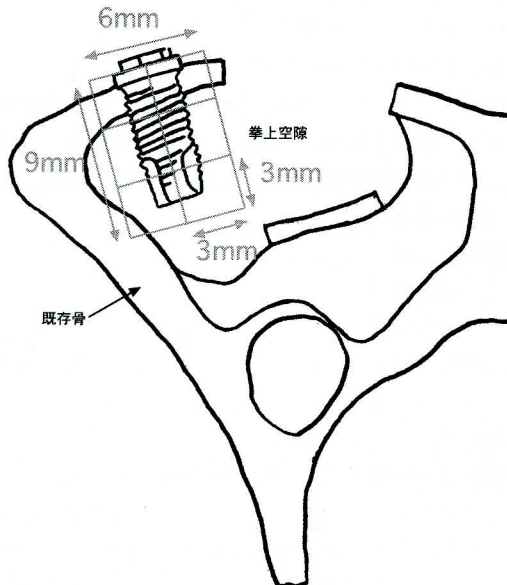


図3 計測範囲の模式図

3. 非脱灰研磨標本の作製

塩酸ケタミン (ケタラール™, 三共社製, 日本) 5 ml を下肢に筋注後, 上肢内側静脈にペントバルビタールナトリウム (ネンプタール™, 大日本製薬社製, 日本) を徐々に静注, 生食水で脱血, 屠殺し, 10% 中性ホルマリン液で灌流固定した. 次いで, 左右前頭洞を含む頭蓋骨をブロック状に切り出し, 10% 中性ホルマリン液にて固定した. 固定完了した前頭洞ブロックを埋入インプラントより前方 2 mm 及び後方 2 mm のところで約 8 mm 幅に前額断した (図 2). インプラントを含む小ブロックを通常法に従い脱水, 脱脂, TECHNOVIT 7200 VLC 樹脂包埋し, 試料をアクリル板に接着, 薄切機 (MG 3000, EXACT 社製, ドイツ) および研磨機 (MG 4000, EXACT 社製, ドイツ) にて薄切, 研磨し, 染色, 封入後, 光学顕微鏡にて観察した. 染色は塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色を行った.

4. 観察方法

形態計測については, 非脱灰標本をシャーカステンに置き, 光学カメラ (OM-2, オリンパス光学工業株式会社製, 日本), 接写レンズ (105 mm マクロレンズ, KIRON 社製, 日本) にて倍率 1.3 倍でカラーリバーサルフィルム (プロビア, ISO 100, フジフィルム株式会社製, 日本) で撮影, これらのスライドをスライドスキャナー (LS-2000 COOLSCAN III, 株式会社ニコン社製, 日本) にて, 画像ソフト (Adobe Photoshop 4.0, Adobe Systems Incorporated 製, アメリカ) を使いコンピューター (Power Macintosh G 3, Apple Computer Inc. 製, アメリカ) に保存した. 次いで, 分析ソフト (NIH Image) を使用して算出した. 計測範囲はインプラントを中心として, 6 mm × 9 mm 相当の長方形枠を設定し, これらを計測範囲とした (図 3, 4).

骨性結合部はインプラントと骨の接している部位と, 両者の間に細胞, 組織等が認められない部位とした.

(1) 前頭洞壁骨厚径の測定

インプラント正中を中心として 3 mm 幅の内側および外側の洞壁骨厚径を測定し, その平均値を算出した.

(2) 前頭洞挙上面積における新生骨面積の割合 (NBR)

前述の分析ソフト (NIH Image) を使い, 計測範囲での挙上スペースにおける前頭洞面積における新生骨面積の割合: New bone formation rate (以下 NBR とする) を算出した.

(3) 骨インプラント接触率 (IBCR)

前述の顕微鏡所見を参考に分析ソフト (NIH Image) を使用して, 計測範囲におけるインプラント外形, 新生骨部の骨とインプラント接触部, 洞壁既存骨部の骨とインプラント接触部の長さを計測した. これらから, インプラント

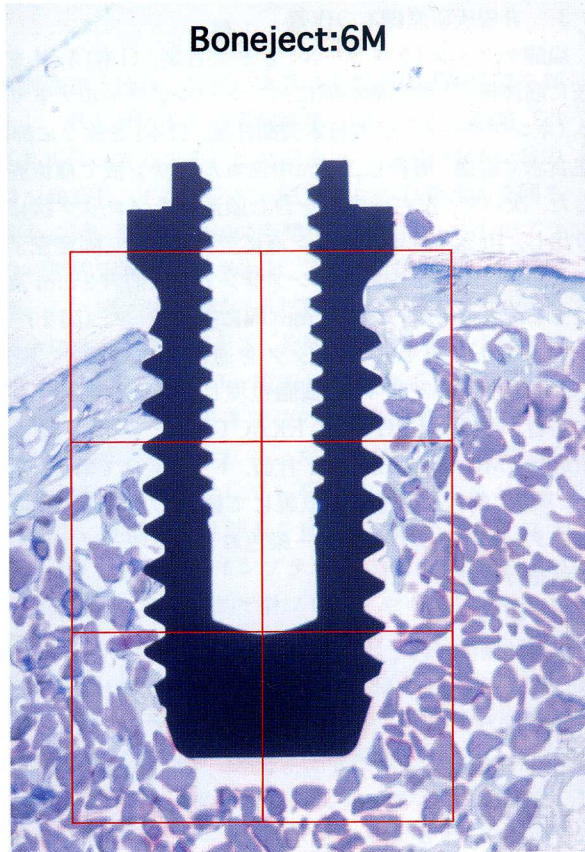


図4 計測に用いた画像

外形の長さに対する洞壁既存骨部および新生骨部の接触率：New bone to implant contact rate (以下 IBCR とする) を算出した。

結 果

1. 組織学的所見

術後1週

1) 対照群

挙上スペースは結合組織で満たされていた (図5・I)。

(1) 洞壁既存骨部

既存骨とインプラント表面との間に一層の結合組織が介在し、骨組織がインプラント表面に接触する像は観察されなかった (図5・I a, b)。

(2) 挙上スペース部

挙上スペース内のインプラント周囲に骨組織は全く観察されなかった (図5・I c, d)。挙上組織は一層の上皮組織、上皮結合組織および骨膜と思われる数層の線維性結合組織からなっていた (図5・I d)。

2) コラーゲン群

挙上スペースはコラーゲンスポンジ構造物を含む滲出物

が充満していた (図5・II)。

(1) 洞壁既存骨部

インプラントと洞壁既存骨との間に結合組織が介在し、骨組織がインプラント表面に接触する像は全く観察されず、既存骨表面では多数の吸収窩が観察された (図5・II a, b)。

(2) 挙上スペース部

インプラント周囲にはコラーゲンスポンジ構造物を含む滲出物がみられ、新生骨は全く観察されなかった (図5・II c, d)。

3) ウシ焼成骨群

挙上スペースには多数のウシ焼成骨顆粒が充満していた (図5・III)。

(1) 洞壁既存骨部

大部分は断端部とインプラントの間に一層の結合組織が観察されたが、一部、既存骨とインプラントが接触していた (図5・III a, b)。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨表面にわずかに新生骨梁がみられた (図5・III b)。インプラント周囲にはウシ焼成骨顆粒を含む凝血が観察されたものの、新生骨は観察されなかった (図5・III c, d)。

4) ボーンジェクト群

挙上スペースは多数のウシ焼成骨顆粒が充満し、洞内全体を占めていた (図5・IV)。

(1) 洞壁既存骨部

断端部骨組織とインプラントが、一部インプラント体に接触していた (図5 IV a, b)。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨表面から少量の新生骨梁が増殖していた (図5 IV b)。インプラント周囲に多数のウシ焼成骨顆粒を含む凝血が観察された。一部のウシ焼成骨顆粒の周囲に線維性結合組織が観察されたものの、新生骨は観察されなかった (図5 IV c, d)。

術後1ヶ月

1) 対照群

(1) 洞壁既存骨部

洞壁既存骨断端に新生骨が増殖していたが、ほとんどインプラントと接触していなかった (図6・I)。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨貫通部周囲で、既存骨より増殖する新生骨が観察されたが、インプラントの間に線維性結合組織が介在し、骨性結合を示す所見は観察されなかった (図6・I a, b)。その他の大部分のインプラント表面でも骨性結合を示す所見は観察されず、結合組織と接触していた (図6・I c,

1週

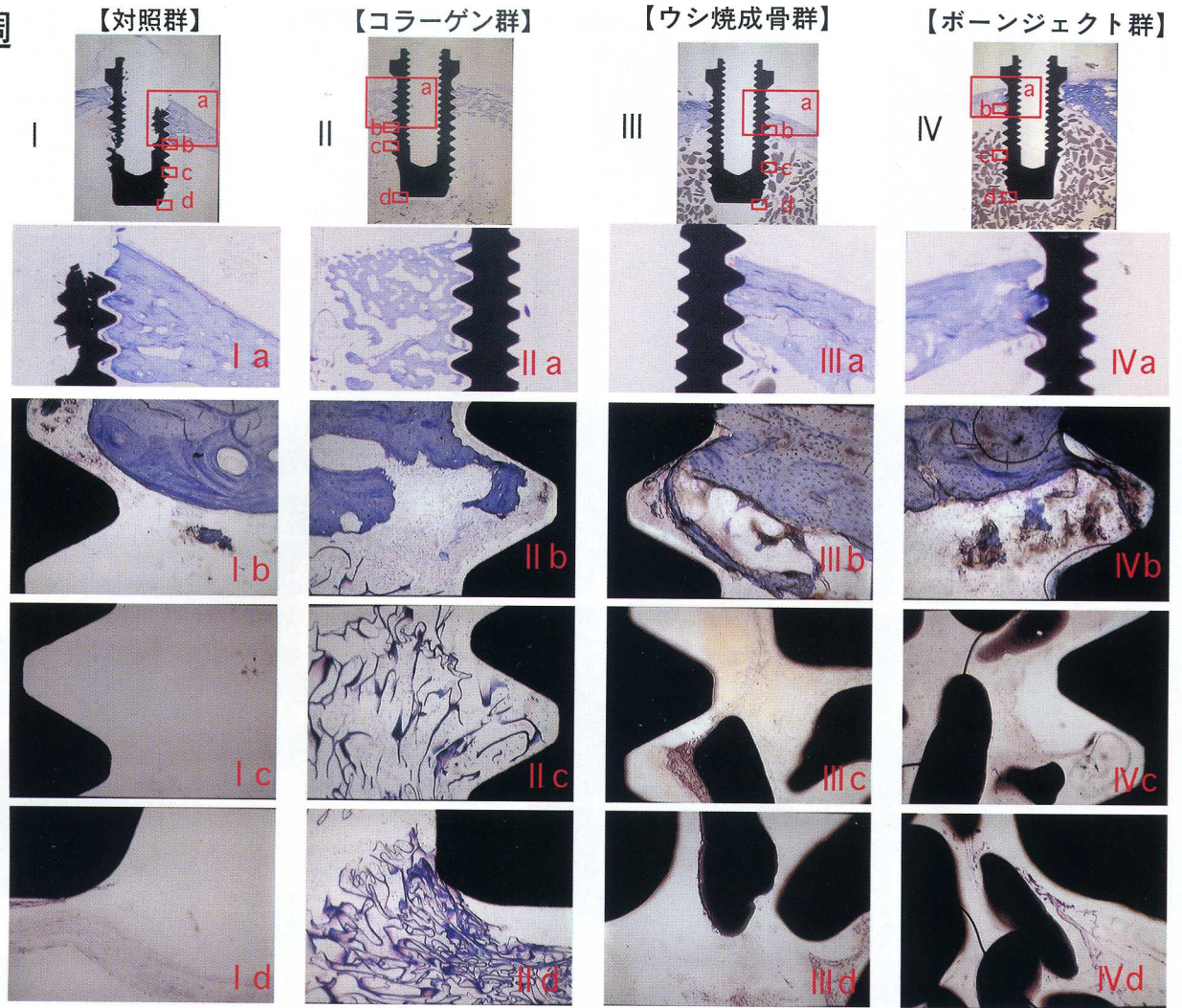


図5 術後1週の組織像（非脱灰標本，塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色）

d).

2) コラーゲン群

(1) 洞壁既存骨部

インプラント貫通部の洞壁既存骨断端とインプラントの間は線維性結合組織が観察された。一部、新生した骨組織がインプラント表面に接触し、僅かながら骨性結合を示す部位が観察された（図6・II a, b）。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨より増殖する新生骨はほとんど観察されず、インプラント周囲とは結合組織と接合していた（図6・II c, d）。

3) ウシ焼成骨群

(1) 洞壁既存骨部

断端部既存骨組織がインプラントと接触する部分がほと

んど観察されなかった（図6・III a, b）。

(2) 挙上スペース部

新生骨は洞壁既存骨表面より増殖し、インプラントの中央部付近まで達していた（図6・III b, c）。インプラント貫通部インプラント周囲には洞壁既存骨表面より増殖する新生骨が観察され、一部、インプラントと接触した所見が観察された（図6・III b）。しかし、インプラントの中央部および尖端部では、インプラント周囲には多数のウシ焼成骨顆粒を含む線維性結合組織が観察されるのみで、骨組織は観察されなかった（図6・III c, d）。

4) ボーンジェクト群

(1) 洞壁既存骨部

インプラント貫通部の洞壁既存骨断端では、インプラントの表面に接触する骨組織がほとんど観察されなかった

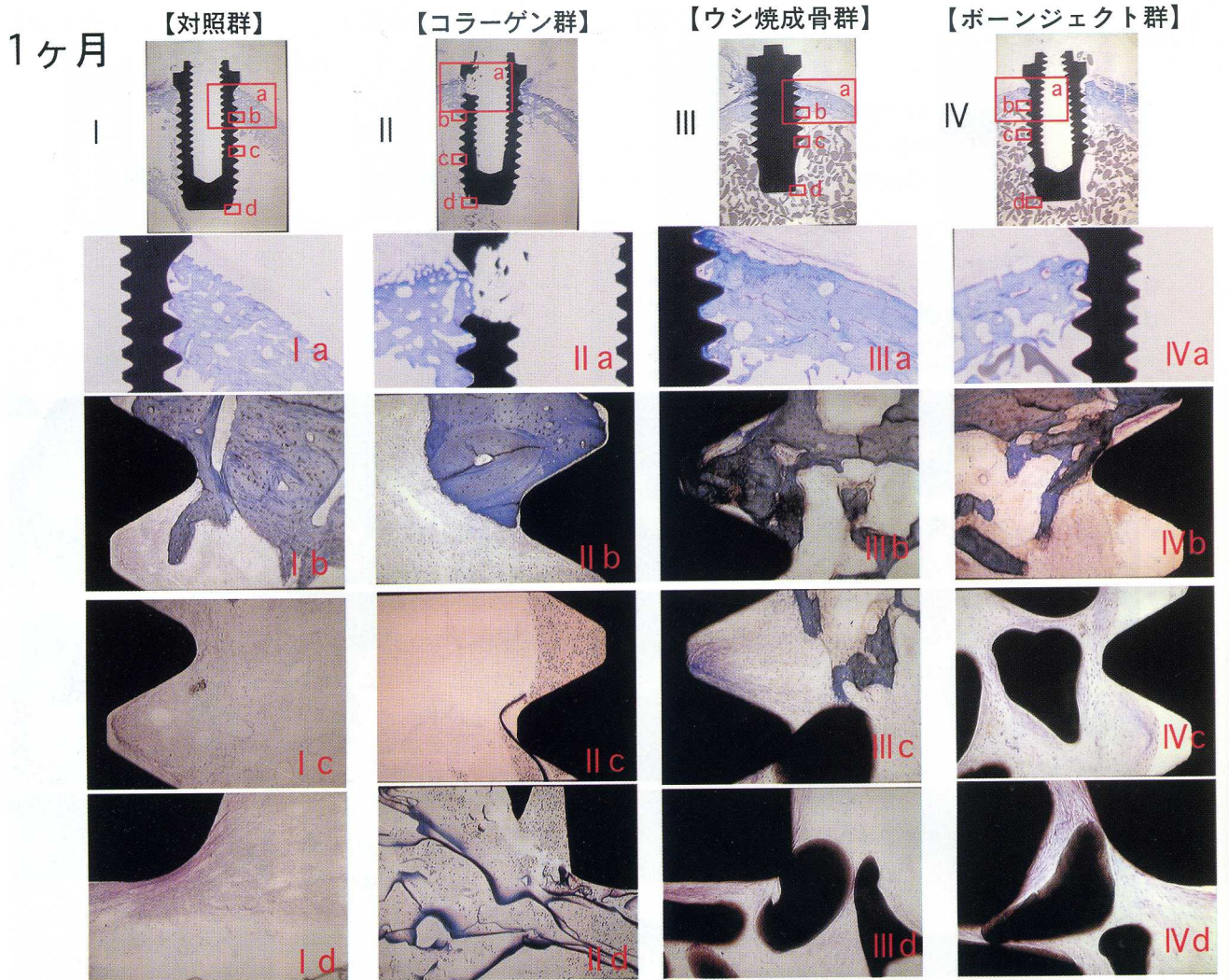


図6 術後1ヶ月の組織像（非脱灰標本，塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色）

(図6・IV a, b).

(2) 挙上スペース部

インプラント貫通部付近では，既存骨から増殖する新生骨がインプラントと接触した所見が観察された（図7・IV b）。しかし，中間部および先端部では，インプラントに接触する骨組織は全く観察されなかった（図6・IV c, d）。

術後2ヶ月

1) 対照群

(1) 洞壁既存骨部

骨組織がインプラントと一部接触していた（図7・I a, b）。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨から増殖した新生骨が一部でインプラント表面に接触し，骨性結合を示した（図7・I b）。しかし，イン

プラントの中央部あるいは先端部では周囲に骨組織が観察されるものの，インプラントと新生骨の間に線維性結合組織が介在していた（図7・I c, d）。

2) コラーゲン群

(1) 洞壁既存骨部

一部で，断端部骨組織とインプラントとの接触が増大傾向にあった（図7・II a, b）。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨表面から増殖した新生骨がインプラントの中央付近まで観察された。インプラントの洞壁既存骨に近い部分では，新生骨がインプラントに接触する部分が観察されたが，中央部より上の方では線維性結合組織が介在し，骨性結合は観察されなかった（図7・II c, d）。

3) ウシ焼成骨群

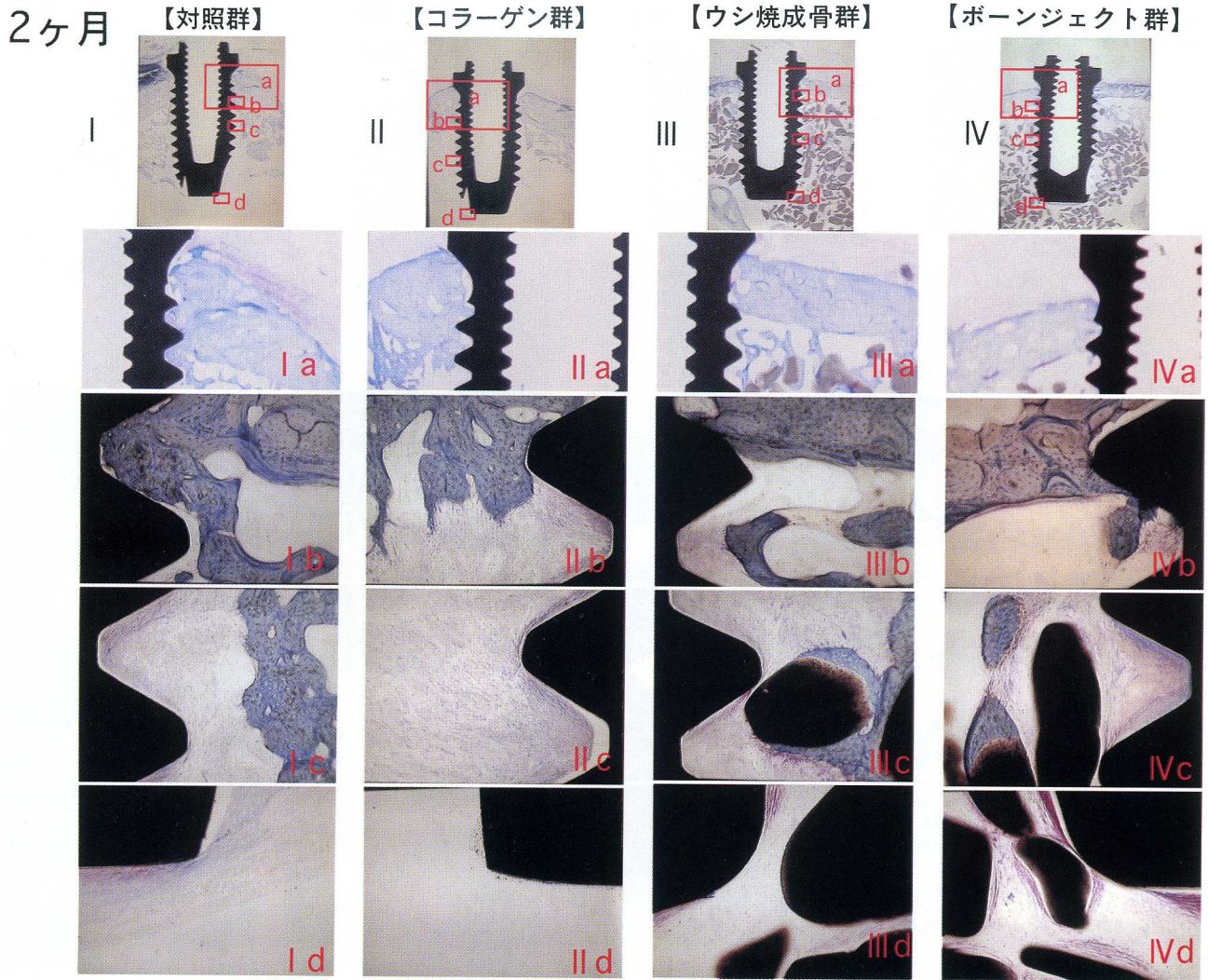


図7 術後2ヶ月の組織像（非脱灰標本，塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色）

(1) 洞壁既存骨部

断端部の骨組織が、一部でインプラント表面に接触していた（図7・III a, b）。

(2) 挙上スペース部

新生骨はインプラントの中間部まで増殖し、周囲に観察されるウシ焼成骨顆粒の表面に形成されたものも観察された（図7・III c）。骨性結合は洞壁既存骨近くの新生骨にわずかに観察された。しかし、中央部より先端では、周囲に顆粒や新生骨があるにもかかわらず、骨組織との間に線維性結合組織が介在し、インプラント体との骨性結合は観察されなかった（図7・III c, d）。

4) ボーンジェクト群

(1) 洞壁既存骨部

既存骨断端から増殖してきた新生骨との間に、インプラ

ントと接触する部分が観察された（図7・IV a, b）。

(2) 挙上スペース部

新生骨は、インプラントの中央部付近まで形成されていた（図7・IV b, c）。新生骨との骨性結合はインプラント貫通部の基部近くで観察された。しかし、それより上の中央部および先端部では、インプラント周囲は線維性結合組織で囲われていた。インプラント体と新生骨との骨性結合は観察されなかった（図7・IV b, c, d）。

術後3ヶ月

1) 対照群

(1) 洞壁既存骨部

断端部の一部でインプラントに接触する骨組織が観察された（図8・I a, b）。

(2) 挙上スペース部

3ヶ月

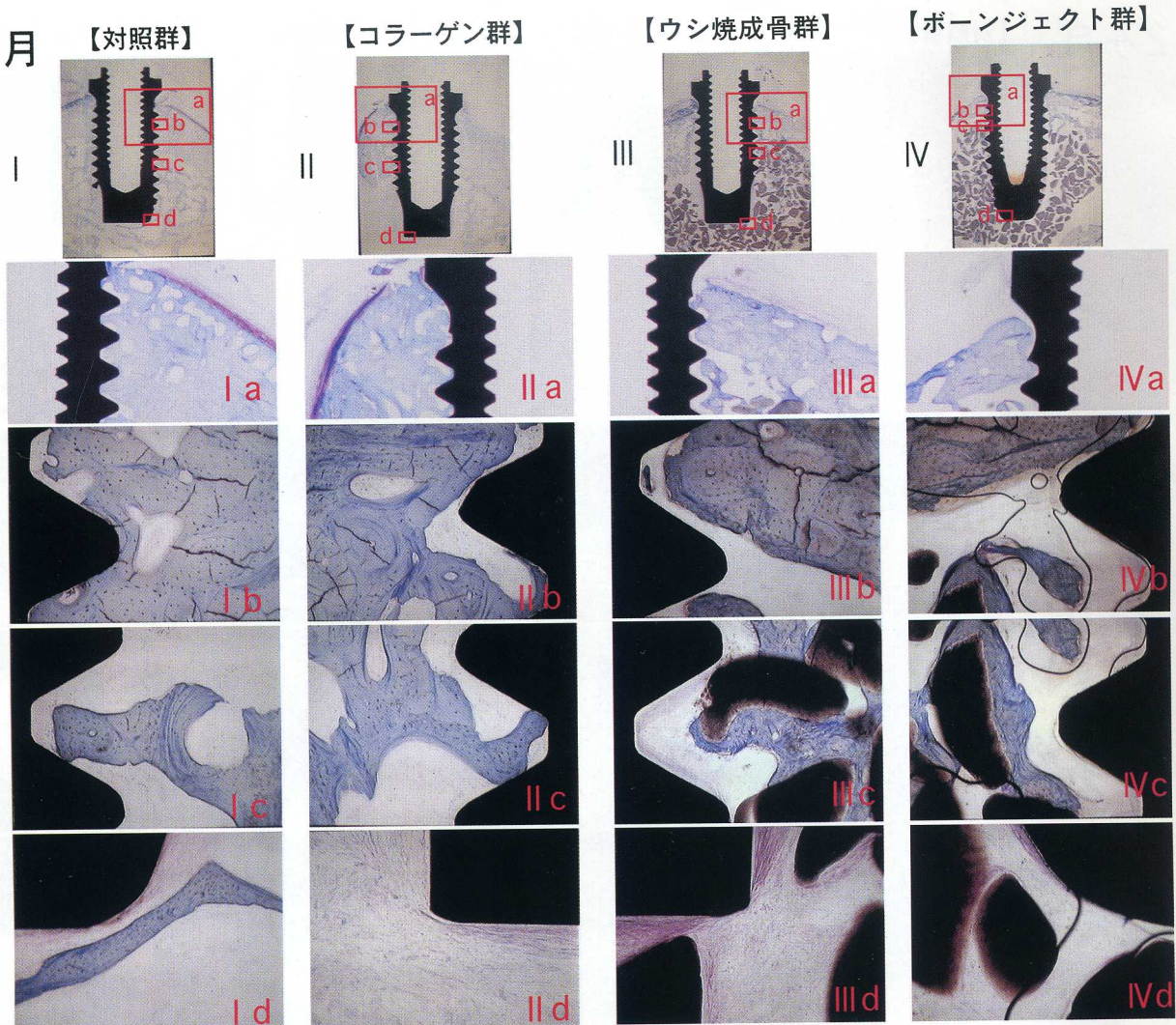


図8 術後3ヶ月の組織像（非脱灰標本，塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色）

洞壁既存骨に近い部分では，増殖してきた新生骨との間に骨性結合が観察された。しかし，中間部から先端部周囲には新生骨梁が観察されるものの，インプラントとの間に線維性結合組織が介在していた（図8・I c, d）。

2) コラーゲン群

(1) 洞壁既存骨部

断端部の一部で骨組織がインプラントと接触していた（図8・II a, b）。

(2) 挙上スペース部

新生骨は，インプラント周囲を取り巻くようにして中間部まで形成されていた。しかし，インプラントとの間には線維性結合組織が介在し，骨性結合はほとんど観察されなかった（図8・II c, d）。

3) ウシ焼成骨群

(1) 洞壁既存骨部

断端部骨組織の一部でインプラントと接触する所見が観察された（図8・III a, b）。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨より新生骨が増殖し，インプラント中間部付近まで新生骨が観察された。新生骨はウシ焼成骨顆粒を包むように増殖していた。周囲に新生骨がみられにもかかわらず，新生骨とインプラントの間には線維性結合組織が介在していた（図8・III c, d）。

4) ボーンジェクト群

(1) 洞壁既存骨部

既存骨断端の一部で，骨組織がインプラント表面に接触する所見が観察された（図8・IV a, b）。

(2) 挙上スペース部

6ヶ月

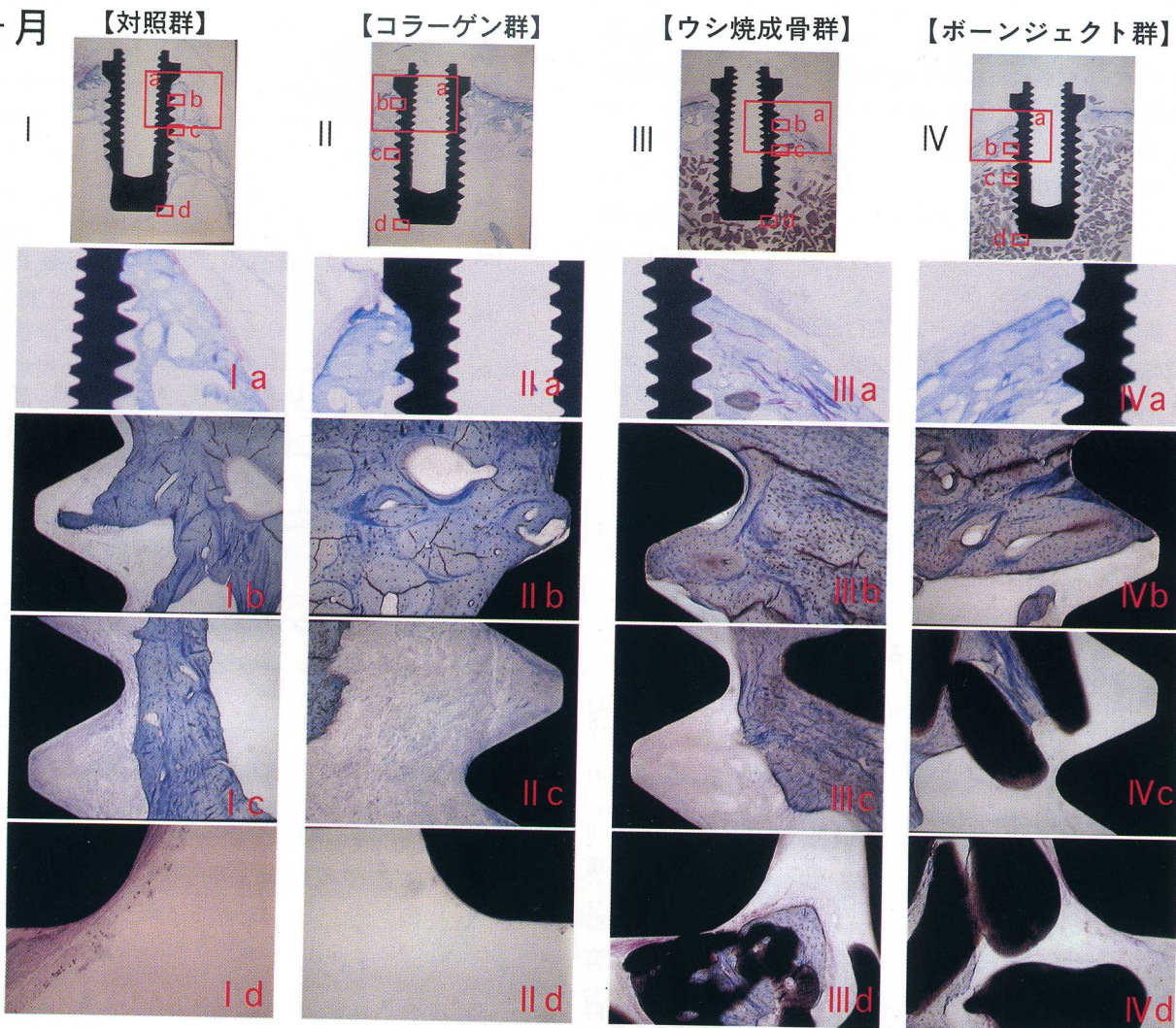


図9 術後6ヶ月の組織像（非脱灰標本，塩基性フクシン・メチレンブルー染色およびトルイジンブルー染色）

インプラント周囲に骨組織が観察されたにもかかわらず，インプラント周囲には線維性結合組織が介在していた（図8・IV c, d）。

術後6ヶ月

対照群

(1) 洞壁既存骨部

断端の一部で骨組織がインプラント表面に接触していた。大部分は線維性結合組織が介在していた（図9・I a, b）。

(2) 挙上スペース部

新生骨骨梁は，太く，成熟した像を示した。インプラント周囲に新生骨が観察されるものの，インプラントとの間には線維性結合組織が介在しており，骨性結合は観察されなかった（図9・I c, d）。

2) コラーゲン群

(1) 洞壁既存骨部

一部で断端部の骨組織がインプラント表面に接触していた（図9・II a, b）。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨に近い部分では，新生骨がインプラントに接触した像が観察されたが，中央部から先端部では線維性結合組織が介在していた（図9・II b, c）。

3) ウシ焼成骨群

(1) 洞壁既存骨部

一部で骨組織がインプラントに接触する所見が観察された。

(2) 挙上スペース部

洞壁既存骨に近い部分では新生骨とインプラントの骨性

結合が観察された。しかし、中央部から先端にかけて、インプラント周囲には線維性結合組織が介在し、骨性結合は観察されなかった (図9・III b, c, d)。

4) ボーンジェクト群

(1) 洞壁既存骨部

一部で骨組織がインプラントと接触していた (図9・IV a, b)。

(2) 拳上スペース部

新生骨はインプラントの先端付近まで増殖していた。洞壁既存骨付近の新生骨がインプラントに接触している所見が観察された (図9 IVa, b)。しかし、大部分は線維性結合組織で囲まれていた (図9-IVc, d)。

2. 洞壁既存骨厚径

洞壁既存骨の厚径は平均1.24 mmで、4群間に差は認められなかった。

3. 拳上スペースにおける新生骨のNBR (図10)

術後1週

対照群0.0%, コラーゲン群0.0%, ウシ焼成骨群2.8%, ボーンジェクト群0.8%であった。

術後1ヶ月

対照群18.1%, コラーゲン群3.6%, ウシ焼成骨群7.0%, ボーンジェクト群5.1%であった。対照群が急速に増加したのに対し、他の3群は増加の速度が緩やかであった。

術後2ヶ月

対照群18.2%, コラーゲン群14.1%, ウシ焼成骨群20.1%, ボーンジェクト群29.4%であった。対照群は術後1ヶ月に対し変化は少なかったが、他の3群は、術後1ヶ月に対し急速に増加し、特にボーンジェクト群は全期間を通じて最大値を示した。

術後3ヶ月

対照群51.4%, コラーゲン群31.8%, ウシ焼成骨群29.0%, ボーンジェクト群27.6%であった。対照群およびコラーゲン群は術後2ヶ月に対し急速に増加し、全期間で最大値を示した。一方、ウシ焼成骨群はわずかに増加し、ボーンジェクト群は減少した。

術後6ヶ月

対照群21.6%, コラーゲン群12.8%, ウシ焼成骨群30.6%, ボーンジェクト群23.2%であった。対照群およびコラーゲン群はそれぞれ術後3ヶ月に対し急速に減少した。これに対しウシ焼成骨群はわずかに増加し、ボーンジェクト群は23.2%と減少したが、前月からの増減幅はわずかであった。

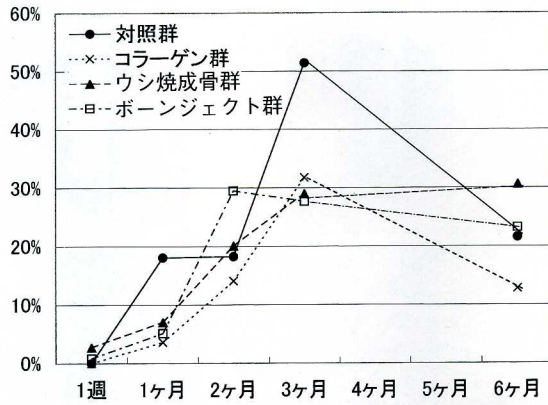


図10 拳上スペースにおける新生骨の骨量 (NBR)

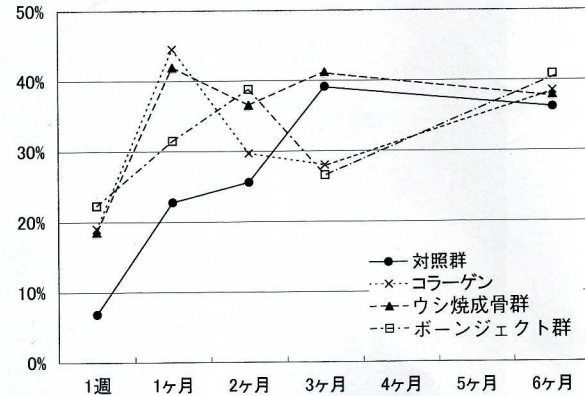


図11 洞壁既存骨とインプラントの接触率 (IBCR)

4. 洞壁既存骨とインプラントのIBCR (図11)

術後1週

対照群6.8%, コラーゲン群19.0%, ウシ焼成骨群18.6%, ボーンジェクト群22.3%であった。対照群のみ低値であった。

術後1ヶ月

対照群22.8%, コラーゲン群44.5%, ウシ焼成骨群41.9%, ボーンジェクト群31.5%であった。全群とも術後1週に対し急速に増加した。

術後2ヶ月

対照群25.6%, コラーゲン群29.7%, ウシ焼成骨群36.6%, ボーンジェクト群38.8%であった。対照群およびボーンジェクト群は増加し、コラーゲン群およびウシ焼成骨群は減少した。

術後3ヶ月

対照群39.1%, コラーゲン群28.0%, ウシ焼成骨群41.3%, ボーンジェクト群26.6%であった。術後2ヶ月に対し増減があるもののその幅はわずかであった。

術後6ヶ月

対照群 36.2%, コラーゲン群 38.5%, ウシ焼成骨群 37.9%, ボーンジェクト群 40.9%であった。全4群の値が40%前後に集まっていた。それらの値は術後3ヶ月に対し増減があるものの、その幅は10%前後の差でわずかであった。

5. 新生骨とインプラントのIBCR (図12)

術後1週

全群 0.0%であった。

術後1ヶ月

対照群 0.0%, コラーゲン群 0.0%, ウシ焼成骨群 0.2%, ボーンジェクト群 0.2%であった。

術後2ヶ月

対照群 0.0%, コラーゲン群 0.0%, ウシ焼成骨群 0.3%, ボーンジェクト群 0.0%であった。

術後3ヶ月

対照群 0.4%, コラーゲン群 0.9%, ウシ焼成骨群 0.5%, ボーンジェクト群 0.3%であった。術後2ヶ月に対し全群が増加していた。

術後6ヶ月

対照群 0.2%, コラーゲン群 0.0%, ウシ焼成骨群 1.3%, ボーンジェクト群 2.2%であった。対照群, コラーゲン群が減少し, ウシ焼成骨群, ボーンジェクト群が増加した。特にボーンジェクト群が全体を通して最も高い値を示したが, 全群の術後1週から術後6ヶ月の全期間で, 新生骨とインプラント接触率は2.2%以下とわずかで, 差は認められなかった。

考 察

1. 実験方法について

IBCRはインプラントに対し骨硬組織が接触する比率を示したもので, 既存骨^{16,17)}だけでなく, 上顎洞底挙上術で造成した新生骨¹⁸⁻²⁰⁾に対しても, 植立したインプラントの骨性結合を組織学的に評価する指標として使われている。Hurzeler, Quinonesらはサル上顎洞に上顎洞底挙上術同時インプラント植立実験を行い, インプラントのIBCRを測定している¹⁸⁻²⁰⁾。今回我々が実験に用いたイヌ前頭洞は, イヌ最大の副鼻腔で, その大きさはおよそ長径14mmあることはすでに報告済みである²¹⁾。本実験での洞壁既存骨の厚径は平均1.24mmであった。ここに長径8.5mmのインプラントを植立すると, インプラント先端は洞内の中ほどに位置づけられ, 臨床における上顎洞底挙上術同時インプラント植立と類似した状況が再現される。このような臨床と同様の実験系は他に見あたらず, 今後上顎洞底挙上

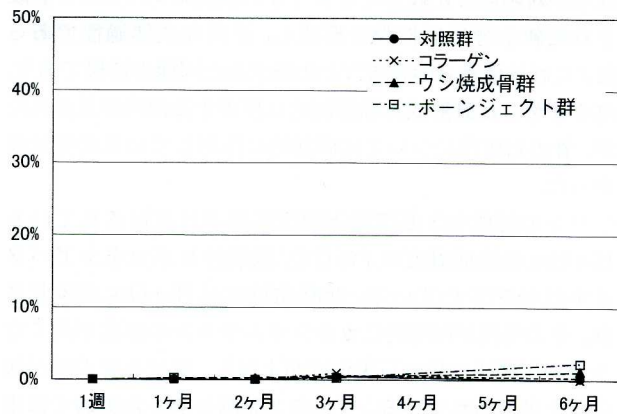


図12 新生骨とインプラントの接触率 (IBCR)

術の臨床実験としては新しい実験系と思われた。

2. 洞挙上スペースにおけるインプラント周囲の新生骨造成と骨補填材について

現在, 実際の臨床における上顎洞底挙上術後の骨造成は, 口腔内や腸骨などからの骨採取による自家骨²²⁻²⁴⁾, ヒト凍結乾燥脱灰骨による他家骨²⁵⁻²⁷⁾, Bio-Oss (Geistlich Biomaterials社製)^{26,28)}, ボーンジェクトのようなウシの焼成骨や Interpore-2000 (Interpore International社製) のような珊瑚を焼成した異種骨^{20,25,29,30)}, 合成ヒドロキシアパタイト^{26,31)}および β -TCP (β -tricalcium phosphate)³²⁾などが骨補填材として利用されている。日本では自家骨が安全で, ある程度の骨造成が可能なることから使用される場合が多いが, 新たな骨採取の手術が必要であるという大きな欠点がある。最近海外ではBio-Ossなどの自己融解型の生体材料が使用され臨床的にも良好な結果が得られている^{27,32,33,34)}。日本では現在, 自己融解型生体材料の歯科適応はなく, ボーンジェクトや Calcitite (Calcitek社製) などの非吸収性のヒドロキシアパタイトのみが使用可能となっている。そこでBio-Ossが優れた骨誘導能を有しているとの報告があることから^{19,26,33)}, ウシ焼成骨とコラーゲン複合材であるボーンジェクト, ウシ焼成骨, コラーゲンについて検討を加えた。

コラーゲンは細胞が増殖分化する時の足場として重要な役割を果たすばかりでなく, 骨形成に対して, 骨の石灰化, 新生骨の伝導能があると言われている¹⁴⁾。しかし, チンパーギーを用いた上顎洞底挙上術と同時にI型コラーゲンを入れた実験では骨の形成量と石灰化度が低下していたと報告しており³⁵⁾, 羊を使った上顎洞底挙上術を行った実験でも反応性の骨形成は観察されたが, 石灰化がおこらなかったと報告している³⁶⁾。今回の筆者らの結果でも新生骨の形

成率が対照群と比較しても良くない傾向にあったが、形成された新生骨は層板骨を形成し、正常な成熟過程であった。これは清水らの報告²¹⁾と比較すると同様の結果であり、コラーゲンは骨形成には抑制的に作用する傾向が見られたが、骨の石灰化については抑制的に作用している所見はなかった。

ウシの焼成骨として最近臨床応用され注目されている Bio-Oss の焼成温度は 740°C で、吸収性ヒドロキシアパタイトに分類されている。骨形成時には Bio-Oss が吸収され、その周囲が局所的にカルシウムやリンの濃度が高くなり骨の伝導能や骨の石灰化度が上昇し、良好な骨造成が起こると考えられている。サルの上顎洞を使った実験では術後 8 ヶ月でインプラントの周囲に Bio-Oss を囲むように新生骨が形成されたことから、上顎洞底挙上術時の骨補填材としては有用であるとされ、Bio-Oss と自家骨を 5:1 の割合で混合し使用すると術後 20 ヶ月で Bio-Oss が完全に骨に置換されていたと報告されている¹⁸⁾。一方、ポーンジェクトはウシの骨を 1100°C の高温で焼成したもので、骨に含まれる無機質成分を含む天然型非吸収性ヒドロキシアパタイトとコラーゲンを含んでいる。清水らのイヌ前頭洞にポーンジェクトとウシ焼成骨を埋入した実験²¹⁾では、術後 3 ヶ月目の新生骨量が最大で、6 ヶ月目で減少傾向を示し、対照群と比較し新生骨形成量に差はなく、ポーンジェクトやウシ焼成骨に新生骨形成を促進する作用はみられなかったと述べている。今回の筆者らの実験も同様の結果であった。この原因としては、今回使用したウシ焼成骨の焼成温度が高く、非吸収性のアパタイトであるためではないかと思われた。

インプラント周囲の NBR は、インプラント表面の限定された計測範囲における挙上面積に対する新生骨の占める割合を示したものであり、補填材を使用した上顎洞底挙上術の臨床例で NBR は 29.52% から 32.23% であったとする報告があった³⁷⁾。本実験のポーンジェクト群では術後 2 ヶ月の 29.4% が、対照群では術後 3 ヶ月の 51.4%、コラーゲン群では術後 3 ヶ月の 31.8%、ウシ焼成骨群では術後 6 ヶ月の 30.6% が最大値で、その程度は対照群術後 3 ヶ月の 51.4% が最も大きく、ポーンジェクト群術後 2 ヶ月の 29.4% が最も小さかった。しかし、術後 6 ヶ月をみると、最大は、ウシ焼成骨群の 30.6%、次いでポーンジェクト群 23.2%、対照群 21.6% と続き、最低はコラーゲン群の 12.8% であった。ポーンジェクト群およびウシ焼成骨群における新生骨量は、術後 3 ヶ月以後、ほぼ同等かわずかの減少に留まっていた。

清水らのイヌ前頭洞粘膜挙上術と骨補填材埋入実験²¹⁾では、対照群とコラーゲン群がウシ焼成骨群、ポーンジェク

ト群と比較し、骨の形成率が良好な結果であった。これは洞既存骨からの新生骨形成量が同じで、洞挙上スペースが対照群とコラーゲン群では確保できず縮小したが、ウシ焼成骨群とポーンジェクト群ではこれらの骨補填材が洞挙上スペースを保持したため、NBR としては対照群とコラーゲン群の方が高い結果となったと考察している。今回の我々の実験では、インプラントを植立し、その周囲の新生骨の面積比率を測定しており、洞挙上スペースの確保という点では各群ともほぼ同様の条件であった。今回得られた NBR は各群とも差がなかったことから、新生骨の形成量に関しては各群とも差がないことが明らかになった。

この結果から、今回我々が使用したウシ焼成骨とポーンジェクトには骨の形成を促進する顕著な効果はないことが推測された。現在、日本で歯科適応がある骨補填材は非吸収性ヒドロキシアパタイトのみであり、今回、実験に使用した材料もこれらの代表的な骨補填材である。したがってこれらの骨補填材を使用しても上顎洞底挙上術の新生骨促進効果は望めず、むしろ臨床的には上顎洞底挙上部に補填したヒドロキシアパタイトが感染し、上顎洞炎を併発した症例も報告されている³⁸⁾。

これらのことから、上顎洞底挙上術に非吸収性ヒドロキシアパタイトのみで骨補填を行う方法は、あまり推奨できる方法ではないと思われた。

3. 前頭洞挙上スペース内のインプラントと新生骨の IBCR について

増殖してきた新生骨に対する IBCR については、Hurzel, Quinones らによるサル上顎洞を使った上顎洞底挙上術の実験報告で、今回の著者の実験設定に似たインプラント同時植立、咬合力の負荷なし、術後 8 ヶ月という条件群での結果²⁰⁾をみると、新生骨での IBCR は 35.9% から 45.8% であった。我々が本実験で得られた新生骨部での IBCR は 0 から 2% 前後で、Hurzel, Quinones らの新生骨 IBCR よりも、著しく低い結果であった。これは本実験でのインプラント植立部の既存骨が 1.24 mm と極めて薄く、ほとんどが皮質骨で、骨伝導能が低い³⁹⁾ためではないかと推測された。薄い既存骨に植立したインプラント先端部は、挙上スペース内で周囲の支持がなく、このことが新生骨における骨性結合の低下に影響した可能性が考えられる。

また、Hurzel, Quinones らの報告では、インプラントにチタンプラズマコーティングインプラントおよびヒドロキシアパタイトコーティングインプラントを使用し、後者の IBCR は有意に高かったと報告している²⁰⁾。このことから、インプラントの表面性状が与える影響についても検討

する必要性があると思われた。

4. イヌ前頭骨との IBCR

歯槽頂と上顎洞底間に3から4mmの骨高径と十分な初期固定があったと考えられる Hurzeler, Quinones らのサル上顎洞を使った上顎洞底挙上術同時インプラント植立の実験では、歯槽部の IBCR は 46.1% から 92.3% であった¹⁹⁾。一方、通常の顎骨に植立したチタンインプラントの IBCR が、植立後 12 年の臨床例で 70~80%⁴⁴⁾、イヌ動物実験にて 4~8 週で 60.18%~66.7%⁴⁵⁾、4~26 週で 58.96%~66.81%⁴⁶⁾、11~12 ヶ月で 30~60%⁴⁷⁾、ウサギ動物実験にて術後 8~24 週で 33.9%~52.1%⁴⁸⁾と、大部分が 50% 以上と報告されている。したがって、十分なインプラント植立部の骨量と初期固定がある上顎洞底挙上術同時インプラント植立では、通常のインプラント植立とほぼ同様の骨性結合が獲得されるものと考えられる。

我々の実験ではインプラント植立時の埋入トルク値は 10 N/cm 以下であった。一般に埋入良好で十分な初期固定が得られたと考えられる、35~45 N/cm の埋入トルク値からすれば、骨性結合が得られる可能性は低い埋入時のトルク値と思われる。しかし、本実験における前頭骨との IBCR をみると、術後 1 ヶ月で、すでに、コラーゲン群および焼成骨群では IBCR が平均 40% 台を示すものもみられた。その後、IBCR は、多少の増減はあるものの 30% から 40% を維持し、術後 6 ヶ月ではいずれの群も 40% 前後を示した。

これらの結果より、初期固定が不十分なインプラント植立を行っても、既存骨との間にはある程度骨性結合が得られる可能性が示唆された。実際のインプラントと骨の接触率がどの程度あれば機能できるのかという臨床的資料はきわめて少ないが、臨床的に 9 年間機能したヒドロキシアパタイトコーテッドインプラントの組織学的評価では 45.6% の骨接触率を示していたと報告されている⁴⁹⁾。したがってインプラント周囲全体が骨に覆われ、今回の実験結果と同様の骨接触率であれば、インプラントが機能できる可能性が示された。また、機械研削とサンドブラスト表面性状のチタンインプラントの骨反応を検討した結果では、3 週以降に有意にサンドブラスト表面性状のチタンインプラントが高い骨性接触率を示したとの報告がある³⁸⁻⁴⁰⁾。このことからインプラント表面が粗面のものを使うことで、さらに高い IBCR が得られることが予測される。

結 語

イヌ前頭洞に洞底挙上術と純チタンインプラント植立術を 1 回法で行い、形成された挙上スペースに補填材を填塞

しなかった群を対照群とし、コラーゲンスポンジ単材、ウシ焼成骨単材、ボーンジェクトを填塞した 3 群を実験群として、これら 4 群の新生骨に対する IBCR を比較し、本術式の骨性結合の確立とそれに対する人工補填材の影響を組織学的に検討した。

1. インプラント周囲における NBR は、全群とも術後 2 ヶ月以降は大きな差は見られず、非吸収性のヒドロキシアパタイトでは新生骨形成を促進する顕著な効果はなかった。
2. 洞壁既存骨とインプラントの IBCR は、術後 1 ヶ月ですでにコラーゲン群とウシ焼成骨群がそれぞれ 44.5%、41.9% と最大値を示し、術後 6 ヶ月の長期でも対照群の 36.2% からボーンジェクト群の 40.9% と 4 群の間に大差は見られなかった。埋入トルク値が 10 N/cm 以下の場合でも、ある程度の IBCR が得られた。
3. 挙上スペースにおける新生骨とインプラントの IBCR は、全群の術後 1 週から 6 ヶ月の全期間で最大がボーンジェクトの 2.2% とわずかであり、4 群の間に差はなく、新生骨と機械研削インプラントの接触はほとんど得られなかった。

謝辞：稿を終えるにあたり、御懇篤なるご指導と御校閲の労を賜りました瀬戸暁一教授に深謝の意を表します。さらに、御高閲を賜りました新井高教授、川崎堅三教授に深甚たる謝意を表します。また、ご援助くださった鶴見大学歯学部口腔外科学第一講座教室員各位に深謝いたします。本研究の遂行に当たり、実験材料を供与された株式会社高研、ノーベルバイオケアジャパン株式会社(順不同)のご好意に感謝いたします。

文 献

- 1) Caroline M, Rajesh R, Philip F, Ian M: Sinus Augmentation Bone Grafts for the Provision of Dental Implants: Report of Clinical Outcome. Int J Oral Maxillofac Implants, 18:3, 377~383, 2003.
- 2) Mats Hallman, Thomas N: Sinus Floor Augmentation with Bovine Hydroxyapatite Mixed with Fibrin Glue and Later Placement of Nonsubmerged Implants: A Retrospective Study in 50 Patients. Int J Oral Maxillofac Implants. 19: 222~227, 2004.
- 3) Wilfried E, Wolfgang S, Hans G: Subantoscopic

- Laterobasal Sinus Floor Augmentation (SALSA) : An Up-to-5-Year Clinical Study. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 17 : 135~143, 2002.
- 4) Pascal V, David J : Maxillary Sinus Grafting with Anorganic Bovine Bone : A Clinical Report of Long-term Results. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 18 : 556~560, 2004.
 - 5) Kim, S. G. : Inadequate implant angulation resulting from oroantral fistula : A case report. *Implant Dent*, 10 : 103~107, 2001.
 - 6) Smiler, D. G. : Comparison of an organic bovine mineral with and without synthetic peptide in a sinus elevation : A case study. *Implant Dent*, 10 : 139~142, 2001.
 - 7) Krauser, J. T., Rohrer, M. D. and Wallace, S. S. : Human histologic and histomorphometric analysis comparing OsteoGaraf/N with pepgen P-15 in the maxillary sinus elevation procedure : a case report. *Implant Dent*, 9 : 298~302, 2000.
 - 8) Dario, L. T., Aschaffenburg, P. H., English, R. J. and Nager, M. C. : Fixed implant rehabilitation of the edentulous maxilla : Clinical guidelines and case reports. part II. *Implant Dent*, 9 : 102~109, 2000.
 - 9) Fugazzotto PA : Maxillary sinus grafting with and without simultaneous implant placement : technical considerations and case reports. *Int J Periodontics Rest Dent*. 14(6) : 544~511, 1994.
 - 10) Marcel G. : Localized Sinus Elevation and Osteocompression with Single-stage Tapered Dental Implants : Technical Note. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 : 431~437, 2004.
 - 11) Michael T. : Osteotome-Mediated Sinus Floor Elevation : A Clinical Report. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 : 266~273, 2004.
 - 12) John G. Boyes-Varley, Dale G. Howes, John F. Lownie, Graham A. Blackbeard : Surgical Modifications to the Branemark Zygomaticus Protocol in Treatment of the Severely Resorbed maxilla : A Clinical Report. *Int J Oral Maxillofacial Implants*, 18 : 2, 232~237, 2003.
 - 13) John Eric Blomqvist, Per Alberius and Sten Isaksson : Retrospective analysis of one-stage maxillary sinus augmentation with endosseous implants. *Int J Oral Maxillofacial Implants*, 11 : 512~521, 1996.
 - 14) 渡邊英継, 佐藤淳一 : bFGF/アテロコラーゲンスポンジ複合体による骨性治癒促進作用に関する実験的研究. *鶴見歯学*, 26 : 66~82, 2000.
 - 15) 仲谷 寛, 原 良成, 宮里明子, 佐藤 聡, 伊藤 弘, 小林 博, 鴨井久一, 菅谷 彰, 杉山裕一, 辻上 弘, 田村利之, 堀 俊雄 : True Bone Ceramic-コラーゲン複合移植材 (KF-300) の垂直的骨欠損への応用に関する臨床研究. *日歯周誌*, 34 : 220~231, 1992.
 - 16) Dennis R, Andrew T, Sew Meng C, Dietmar W. : Interface of Unloaded Titanium Implants in the Iliac Crest, fibula, and Scapula : A Histomorphometric and Biomechanical Study in the Pig. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 19 : 52~58, 2004.
 - 17) Werner Z, Stefan T, Gabor T, Gabor F, Thomas B, Georg W. : Influence of Platelet-rich Plasma on osseous Healing of Dental Implants : A Histologic and Histomorphometric Study in Minipigs. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 18 : 15~22, 2003.
 - 18) Hurzeler, M. B., Quinones, C. R., Kirsch, A., Gloker, C., Schubach, P., Strub, J.R. and Caffesse, R. G. : Maxillary sinus augmentation using different grafting materials and dental implants in monkeys. Part I. Evaluation of anorganic bovine-derived bone matrix. *Clinical Oral Implants Research*, 8 : 476~486, 1997.
 - 19) Hurzeler, M. B., Quinones, C. R., Kirsch, A., Schubach, P., Krausse, A., Strub, J.R. and Caffesse, R. G. : Maxillary sinus augmentation using different grafting materials and dental implants in monkeys. Part III. Evaluation of autogenous bone combined with porous hydroxyapatite. *Clinical Oral Implants Research*, 8 : 401~411, 1997.
 - 20) Quinones, C. R., Hurzeler, M. B., Schubach, P., Arnold, D. R., Strub, J. R. and Caffesse, R. G. : Maxillary sinus augmentation using different grafting materials and dental implants in monkeys. Part IV. Evaluation of hydroxyapatite-coated implants, *Clinical Oral Implants Research*, 8 : 497~505, 1997.
 - 21) 清水晴彦, 渡辺孝夫, 佐藤淳一 : イヌ前頭洞に行った上顎洞底挙上術の実験的研究. *鶴見歯学*, 29(1) : 37~56, 2003.
 - 22) Triplet RG, Schow SR : Autologous bone grafts and endosseous implant : Complementary techniques. *J Oral Maxillofac Surg*, 54 : 486~494, 1996.
 - 23) Block NS, Kent JN : Sinus augmentation for dental implants : The use of autogenous bone. *J Oral Maxillofac Surg*, 55 : 1281~1286, 1997.
 - 24) Nety LF, De Clercq CAS, Abeloos JVS et al : Reconstruction of the severely resorbed maxilla with a combination of sinus augmentation, onlay bone grafting and implants : *J Oral Maxillofac Surg*, 55 : 1373~1401, 1997.
 - 25) Moy PK, Lundgren S, Holmes RE : Maxillary sinus augmentation : Histomorphometric analysis of graft materials for maxillary sinus floor augmentation. *J Oral Maxillofac Surg*, 51 : 857~862, 1993.
 - 26) Wetzel AC, Stich H, caffesse RG : Bone apposition onto oral implants in the sinus area filled with different grafting materials. A histological study in beagle dogs. *Clin Oral Impl Res*, 6 :

- 155~163, 1995.
- 27) Fugazzotto PA, Vlassis J. Long-term success of sinus augmentation using various surgical approaches and grafting materials. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 13: 52~58, 1998.
- 28) Berglundh T, Linde J: Healing around implants placed in bone defects treated with Bio-oss. An experimental study in the dog. *Clin Oral Impl Res*, 8: 117~124, 1997.
- 29) Huzeler Mb, Quinones CR, Kirsh A, Ackermann KL, Quinones CR. Reconstruction of the severely resorbed maxilla with dental implants in the augmented maxillary sinus: A 5-year clinical investigation. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 11: 466~475, 1996.
- 30) Wheeler SL, Hplmes RE, Calhoun CJ: Six-year clinical and historical study of sinus lift grafts. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 11: 26~34, 1996.
- 31) Wagner JR et al: A 3 1/2-year clinical evaluation of resorbable hydroxyapatite OsteoGen (HA Risorb) used for sinus lift augmentation in conjunction with the insertion of endosseous implants. *J Oral implantol*, 17: 152~1991.
- 32) Ole T. Jensen, Leonard B. Shulman, Michael S. Block, Vincent J. Iacono.: Report of the Sinus Consensus Conference of 1996. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 13: Special Supplement, 1998.
- 33) Hass R, Donath K, Fodinget M, Watzek G, Bovine hydroxyapatite for maxillary sinus grafting: comparative histomorphometric findings in sheep. *Clin Oral Impl Res*, 9: 107~116, 1998.
- 34) Hass R, Mailath G, Dortbudak O, Watzek G: Bovine hydroxyapatite for maxillary sinus augmentation: analysis of interfacial bond strength of dental implants using pull-out tests. *Clin Oral Impl Res*, 9: 117~122, 1998.
- 35) McAllister, B. S., Margolin, M. D., Cogan, A. G., Buck, D., Hollinger and J. O., Lynch S. E.: Eighteen-month radiographic and histologic evaluation of sinus grafting with anorganic bovine bone in the chimpanzee. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 6: 650~652, 1999.
- 36) Nevins My., Kirker-Head C., Nevins Ma., Wozney J. A., Palmer R. and Graham D.: Bone formation in the goat maxillary sinus induced by absorbable collagen sponge implants impregnated with recombinant human bone morphogenetic protein-2. *Int J Periodont Rest Dent*, 16: 9~19, 1996.
- 37) Hans-Dieter J, Bright W: Histomorphometric Analysis of Natural Bone Mineral for Maxillary Sinus Augmentation. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 19: 199~207, 2004.
- 38) 石井宏明, 瀬戸暁一, 松浦正朗, 佐藤淳一, 田中延幸, 清水 一, 笠原英生, 金村弘成: 当科を受診したインプラント経過不良症例の臨床的検討. *日口腔インプラント学誌*, 10: 1, 94~104, 1997.
- 39) Daniel Buser, Christer Dahlin, Robert K Schenk: Guided Bone regeneration in Dentistry, Quintessence Publishing Co Inc, USA, 1992.
- 40) Wennerberg A, Albrektsson T, Andresson B, Kroll JJ: Ahistomorphometric and removal torque study of screw-shaped titanium implants with three different surface topographies. *Clin Oral Implants Res*, 6: 24~30, 1995.
- 41) Adriano P, Licia M, Antonio S, Michele P, Murizio P: Histologic and Histomorphometric Analysis of the Bone Response to Machined and Sandblasted Titanium Implants: An Experimental Study in Rabbits. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 13: 805~810, 1998.
- 42) Ingemar A, Nicola U. Z, Tord B, Ann W, Jan L: Bone and Soft Integration to Titanium Implants with Different Surface Topography: An Experimental Study in the Dog. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 16: 323~332, 2001.
- 43) 赤川安正 監訳: インプラント評価基準の新しいコンセンサス—トロント会議の全容—. クインテッセンス出版, 東京, 2001.
- 44) P. D. Ledermann, R. K. Schenk and D. Buser: Long-lasting osseointegration of immediately loaded, bar-connected TPS screws after 12 years of function: A histologic case report of a 95-Year-Old patient. *Int J Periodont Rest Dent*, 18: 553~563, 1998.
- 45) S. D. Cook and A. M. Rust-Dawicki: Preliminary evaluation of titanium-coated dental implants. *J Oral Implant*. 3: 176~181, 1995.
- 46) S. D. Cook and A. M. Rust-Dawicki: In vivo evaluation of a CSTi dental implant: A healing time course study. *J Oral Implant*, 3: 183~190, 1995.
- 47) Y. Zubery, N. Bichacha, O. Moses and H. Tol: Immediate loading of Modular Transitional implants: A Histologic and Histomorphometric Study in Dogs. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 19: 343~353, 1999.
- 48) L. Rasmusson, N. Meredith, I. H. Cho, L. Sennerby: The influence of simultaneous versus delayed placement on the stability of titanium implants in onlay bone grafts, *Int Oral Maxillofac Surg*, 28: 224~231, 1999.
- 49) Periklis P, Jame L: Histologic evaluation of 9 year-old hydroxyapatite coated cylindrical implant placed in conjunction with a subantral augmentation procedure: A case report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 16: 737~741, 2001.

An experimental study on maxillary sinus floor elevation and simultaneous implant placement into the frontal sinus of dogs using bone substitutes

Toyohiko HIDAKA, Takao WATANABE and Junichi SATA*

*First Department of Oral & Maxillofacial Surgery, Turumi University School of Dental Medicine
(Chief : Prof. Kanichi SETO)*

**Oral & Maxillofacial Implantology, Turumi University School of Dental Medicine
(Chief : Associate Prof. Junichi SATO)*

Key words : implant, sinus lift, frontal sinus of dogs, bovine bone matrix, BONEJECT

When an implant is placed into the upper molar region, one-stage procedure is possible for patients with a sinus floor to alveolar ridge length of more than 5 mm and good implant initial fixation, whereas a two-stage procedure is applied for patients with a sinus floor to alveolar ridge length of less than 5 mm. Maxillary sinus floor elevation, bone substitutes insertion, and implant placement are performed simultaneously in the one-stage procedure, and the implant is placed after maxillary sinus floor elevation and bone augmentation in the two-stage procedure. It has been reported that the one-stage procedure has recently been applied to patients, whose sinus floor to alveolar ridge length is less than 3 mm, to expand the application, and to reduce the burden on the patients. In this study, we investigated whether sufficient osseointegration to support the implant is obtained in cases of a length of less than 3 mm, by performing maxillary sinus floor elevation, bone augmentation by bone substitutes, and simultaneous implant placement.

The experimental procedures were as follows. We performed the experiment under comparative clinical practice conditions making a bone window on the frontal sinus of a dog according to the maxillary sinus floor elevation procedure, followed by detachment of the sinus membrane, insertion of the bone substitutes into the space created by the elevation, and simultaneously placed implant into the bone of the frontal sinus wall. The sample consisted of 20 beagle dogs. The experimental materials were screw-shaped pure tita-

nium implants (Nobel Biocare, Sweden), sponge collagen as bone substitutes (KOKEN, Japan), bovine bone matrix (TBC, KOKEN, Japan), and composite TBC and collagen material (BONEJECT TM, KOKEN, Japan). The control group, in which the bone substitutes were not applied, was added to the experiment a group, and a total 4 groups (n = 2) were investigated. The dogs were sacrificed postoperative by at week 1, and month 1, 2, 3, and 6, followed by preparation ground sections, and staining with toluidine blue.

The results suggested that periimplant new bone formation was obtained to some extent with a maximum new bone formation rate (NBR) at the periimplant area in each group of 29.4% to 51.4%, and osseointegration was observed with a maximum new bone to implant contact rate (IBCR) of the sinus wall bone in each group of 37.9% to 44.5%. However, there was little osseointegration between the new bone and the implant, with a maximum IBCR of the elevation space in each group of 0.2% to 2.2%. This may have resulted from the wafer-thin bone (1.24 mm) of the sinus wall bone.

These results demonstrated that osseointegration between the new bone and the implant in the maxillary sinus elevation space could not be expected in patients with thin bone and poor initial fixation who undergo maxillary sinus floor elevation using only a machine-polished implant, and bone substitutes for bone augmentation.