

加熱によるデンタルインプラント除去法の有効性検証

河村篤志^{1,2} 荒井良明² 秋葉陽介¹ 長澤麻沙子¹ 高嶋真樹子^{1,2} 魚島勝美¹

新潟大学大学院医歯学総合研究科 生体歯科補綴学分野¹

新潟大学医歯学総合病院 顎関節治療部²

【抄録】

緒言：近年インプラント治療が補綴治療の選択肢の一つとして広く受け入れられているが、インプラント周囲炎やインプラント体破折などにより、インプラントの除去が必要となる症例が増加している。しかし部分的にでもオッセオインテグレーションが残存するインプラントの除去には、専用の除去器具や切削器具を用いた周囲骨の削除などの外科処置が必要となることが多く、大きな侵襲を伴う。また、除去後の骨欠損拡大によりインプラント再埋入を含めた再補綴治療が困難になることもある。インプラント体を加熱して周囲骨にダメージを与え、低いカウンタートルクでインプラントを除去する方法が有効であるとの報告もある。しかしその効果や機序については未だ明らかになっていない。

目的：本研究の目的は、インプラント体の加熱によって、インプラント周囲骨にダメージを与え、低いカウンタートルクでインプラント体を低侵襲かつ最小限の骨欠損で除去する方法の有効性と除去トルクの低下機構についてラットモデルを用いて組織学的に解明することである。

材料と方法：実験にはラット上顎インプラントモデルを用いた。4週齢 Wistar 系雄性ラットの上顎両側第一・第二臼歯を抜歯し、4週間の抜歯窩治癒後に、上顎両側に $\phi 1.8 \times 2\text{mm}$ の純チタン製インプラントを埋入した。6週の治癒期間後、粘膜を剥離してインプラント体を露出させ、内腔表面を電気メスにて加熱後、インプラント内面の温度を測定し、閉創した。加熱後、3・7・14日後のインプラント除去トルクを計測・解析し、同時にサンプル採取し、組織学的観察を行った。

結果：非加熱群ではインプラントと周囲骨との間に緊密にオッセオインテグレーションが確立しており、除去の際にインプラント体が破折して除去トルクが計測できなかった。一方、加熱後には除去が可能となり、加熱7・14日後では3日後と比較して有意に除去トルクが減少した。除去インプラント体には一層の骨組織が付着していた。また組織学的には、加熱後経時的にインプラント周囲の骨小腔空胞化範囲が拡大し、それに伴って周囲骨髓腔

の毛細血管拡張と破骨細胞の遊走、骨吸収が観察された。

結論：インプラント体の加熱によって一定期間後の除去トルク減少が認められ、本法の有効性が示唆された。除去トルクの減少はオッセオインテグレーションの直接的な破壊ではなく、インプラント周囲骨小腔の空洞化に引き続いて起こる骨吸収によるものと考えられた。今後は除去後の治癒モデルについても観察を行い、ヒト臨床応用に向けた適切な加熱時間など各種条件の設定が必要と考えられる。

【緒言】

近年デンタルインプラントはインプラント体の種類や埋入場所に関わらず 90-97%といった高い成功率が報告されており (Berglundh, et al. 2002, Jung, et al. 2012, Romeo & Storelli 2012)、予知性の高い欠損補綴治療として普及している。一方、感染により周囲骨の吸収が進行しているインプラントや、破折が認められるインプラント、審美的に理想的ではない位置に埋入されたインプラントなど、除去が必要となるインプラント体も増加している。更に近年、インプラント補綴治療をした患者が高齢化し、加齢に伴う口腔内や全身状態、精神状態の変化により口腔内に存在するインプラントの管理が困難になった場合、インプラント体の積極的な除去が必要となる場合も増加している(神田, et al. 2014)。

インプラントの除去に際し、部分的にでもオッセオインテグレーションが残存している場合は大きな外科的侵襲を伴うことが多い。インプラント体の除去方法として、周囲骨を削除する方法と、専用ラチェットで高いカウンタートルクをかける方法に分類される (Froum, et al. 2011, Stajcic, et al. 2015)。周囲骨の削除方法は、高速回転バー、トレフィンバー、超音波切削器具、レーザーを使用する方法が報告されているが、周囲粘膜を翻転し、周囲骨を切削器具の厚み以上に、約 1.5~2mm 削除する結果となるため、多くのデメリットが存在する。これは除去に多くの時間がかかること、除去器具がインプラント体に接触し創部へ金属削片の残留などの危険性があること、多くの場合 3 壁性の大きな骨欠損が残留すること、などであり (Stajcic, Stojcev Stajcic, Kalanovic, Dinic, Divekar & Rodic 2015)、高齢患者には大きな負担となる。一方、高いカウンタートルクをかける方法は、種々の専用除去キットが開発されており、粘膜を翻転する必要もなく、除去が可能であった場合の外科的侵襲は最も少ないと考えられている。しかし、この除去キットが使用できる症例は、上部構造が外せて、破折が無い症例に限られる。また、使用中にインプラント体が破折する症例や、最大トルクをかけても除去ができない症例も多く、骨削除を組み合わせることで除去に至る症例が多い。したがってこの方法にも大きな外科的侵襲を伴うことが

多い。インプラント除去術後の再補綴治療の必要性や有病高齢患者を対照とすることが多いことを考慮した場合、外科的侵襲を最小限に抑えることが可能なインプラント除去法を開発または選択することが望ましいと考えられる。周囲骨の切削を回避し、低侵襲にインプラント体を除去する方法として、高周波電気メスでインプラント体を加熱し、1~2週間後に除去トルクが減少することで簡単にインプラント体を除去できる方法が報告されている(Joanne Cunliffe 2011, Massei & Szmukler-Moncler 2004)。しかし、その効果や機序については明確となっておらず、エビデンスに基づいた臨床技術として応用するためには、除去トルク減少の機序を解明するためのモデル化を行い、インプラント体加熱効果の検証が必要と考えられる。そこで本研究の目的は、インプラント体の加熱によって、インプラント周囲骨にダメージを与え、低いカウンタートルクでインプラントを低侵襲に除去する方法の有効性を検証するとともに、除去トルクの低下機構についてラットモデルを用いて組織学的に解明することである。

【材料および方法】

・豚大腿骨埋入モデルによるインプラント体加熱温度の検証

まず、市販インプラント体に高周波電気メスにて通電し、インプラント体の温度変化を測定することによってインプラント体が加熱されることを確認するとともに、実験に用いる加熱条件を規定することを目的に、豚大腿骨埋入モデルを使用した予備実験を行った。

純チタン製インプラント (Standard Plus, Straumann, Sweden) $\phi 4.1 \times 8\text{mm}$ 、 10mm 、 12mm を通法に従って新鮮な豚大腿骨に埋入した (Fig.1a, b)。熱電対の端子をインプラント体に接触して温度測定可能となるように、側方からインプラント体に対して垂直に直径 2mm のアクセスホールを先端部に形成した (Fig.1a)。歯科用の高周波電気メスユニット (OPRRER II-F, J.MORITA CORPORATION, Japan) に外科用のシングルワイヤーチップ

プを装着し、日常臨床で通常使用するように“凝固”モードで出力は 5/10 に設定した。

豚大腿骨の試料は 37°C に設定された恒温槽内に固定した。熱電対 (AD-5602A, A&D Company, Japan) をインプラント体のネック部分とアクセスホールを通してインプラント体の先端部に接するように調整した。インプラント体の内面最深部に電気メスの先端部分を 10 秒、20 秒、30 秒間それぞれ接触させ、加熱直後のインプラント体ネック部分および先端部分の温度を計測した (Fig.1b)。

・ラット上顎骨埋入モデルによる除去トルクの測定と組織学的検証

実験には 48 匹の 4 週齢 Wister 系雄性ラットを使用した。実験期間中、ラットはプラスチックケージ内で飼育し、通常の実験動物用飼料と水は自由に摂取できるようにした。本実験は新潟大学動物実験倫理委員会の承認 (251 号 2) を受け、実験動物指針に基づいて行った。

はじめにラット上顎両側第一・第二臼歯を抜歯した。4 週間の抜歯窩治癒後に、低速のハンドピース (500rpm) に装着した $\phi 1.7\text{mm}$ のピーソリマーを使用してインプラント窩の形成を行った。実験群は、 $\phi 1.8\text{mm} \times 2\text{mm}$ の純チタンインプラントを形成したインプラント窩に骨同縁で埋入した。6 週間の治癒期間後、電気メスユニットを上述の予備実験と同じ設定で準備し、インプラント内面に接触させた状態で 10 秒間加熱した。加熱 3、7、14 日後にラット上顎骨を試料として採取し、組織解析群と除去トルク測定群に振り分けた。コントロール群は同じ条件でインプラントを埋入し、6 週間の治癒期間後に試料とした。

組織科学実験

ラット上顎骨組織を採取後、ただちに 10%ホルマリン溶液に 48 時間浸漬固定して、10%ETDA 溶液内で 4 週間脱灰した後インプラント体を取り出した後、通法にしたがってパラフィン包埋し、 $4.5\mu\text{m}$ 厚の矢状断組織切片を作製した。ヘマトキシリン・エオジン (H-E) 染色および TRAP 染色を施して、光学顕微鏡下に観察した。

各サンプルのインプラント近心側における骨小腔空洞化が認められる領域の、インプラント表面からの最も離れた部位への距離および破骨細胞数を計測し、統計処理を行った。

除去トルク計測

除去トルクの計測はラットの屠殺後に行った。ラット上顎骨を剖出し、インプラント体内面に除去器具を取り付けられるようにした。トルクゲージ（測定範囲：1~12Ncm、1目盛：0.2Ncm）（ATG-12CN, Tonichi, Japan）に除去器具を取り付け、インプラントを除去するよう反時計回りの力を加えた。その際、インプラント体の除去に必要な最大トルク（Ncm）を測定し、統計処理を行った。

統計処理

各試料における組織学的計測および除去トルクの統計分析には Mann-Whitney *U* test. を使用し、危険率 5%をもって有意差ありとした。

【結果】

・豚大腿骨埋入モデルによるインプラント体加熱温度

豚大腿骨埋入モデルを用いて、高周波電気メスによる通電後のインプラント体表面温度の検証を行ったところ、通電前は、 $\phi 4.1 \times 8\text{mm}$ のインプラント体では 36.0°C であったのに対し、通電 10 秒後では内面で $54.3 \pm 2.9^\circ\text{C}$ 、先端部で $52.3^\circ\text{C} \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、20 秒後では内面で $67.7 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、先端部で $64.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、30 秒後では内面で $73.7 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、先端部で $72.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$ であった。 $\phi 4.1 \times 10\text{mm}$ のインプラント体は 10 秒後では内面で $49.67 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、先端部で $50.0^\circ\text{C} \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、20 秒後では内面で $54.3 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 、先端部で $52.0 \pm 2.6^\circ\text{C}$ 、30 秒後では内面で $65.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、先端部で $63.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$ であり、 $\phi 4.1 \times 12\text{mm}$ のインプラント体は 10 秒後では内面で $48.0 \pm 1.6^\circ\text{C}$ 、先端部で $48.33^\circ\text{C} \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、20 秒後では内面で $51.5 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、先端部で $50.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、30 秒後では内面で $55.2 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、先端部で $54.3 \pm 1.2^\circ\text{C}$ であった。

長径によって差が認められたが、電気メスの通電時間が長くなるにつれて、インプラント内面(Fig.2a)および先端部(Fig.2b)での温度上昇が認められた。すべての条件において、インプラント内面温度と先端部温度との間に有意差は認められなかった($p<0.05$)。

・ラット上顎骨埋入モデルによる除去トルクの測定と組織学的分析

ラット 48 匹に対して 96 本のインプラントを埋入し、6 週後にオッセオインテグレーションを維持していたインプラントは 73 本であった。このうち 13 本をコントロール群、60 本を加熱群とし、加熱群を除去トルク計測群と組織切片作成群に振り分けた。熱電対を用いて計測した加熱前のインプラント体内面温度は $36.2\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、加熱直後のインプラント体内面温度は $75.4\pm 8.6^{\circ}\text{C}$ であった。

組織学的所見

埋入 6 週後のコントロール群 (Fig.3a, b, c) では、インプラントスレッド間も新生骨で満たされており (Fig.3b)、また新生骨・既存骨ともに骨小腔内にはヘマトキシリン陽性の骨細胞が認められた (Fig.3b, c)。加熱 3 日後 (Fig.3d, e, f) ではインプラント近傍に骨小腔の空胞化 (Fig.3e, f) と骨髓腔の毛細血管拡張が認められた (Fig. 3f)。また加熱後 7 日 (Fig.3g, h, i)、14 日 (Fig.3j, k, l) においても骨小腔の空洞化が観察された。破骨細胞の同定を目的として、加熱 14 日後の組織切片に対して TRAP 染色を施した。その結果 (Fig.3l)、骨小腔が空洞化したインプラント近傍では破骨細胞は観察されなかったが、インプラントからやや離れた骨髓や軟組織に近い領域では TRAP 陽性の破骨細胞が確認できた。

組織形態計測的解析

高周波電気メスによる加熱の影響範囲を検討する目的で、インプラント表面から最も離れた空洞化骨小腔までの距離を計測した (Fig.4)。埋入 6 週後のコントロール群ではこの距離は $14.9\pm 20.6\ \mu\text{m}$ であり、加熱 3 日後では $1196.6\pm 765.5\ \mu\text{m}$ 、加熱 7 日後では $2154.9\pm 447.4\ \mu\text{m}$ 、加熱 14 日後では $2276.1\pm 274.8\ \mu\text{m}$ と変化し、コントロール群と加熱 3 日

後以降の群で、また加熱 3 日後と加熱 7 日後以降の群では有意差を認めた ($p<0.05$)。

またインプラント周囲骨の破骨細胞数計測の結果 (Fig.5)、埋入 6 週後のコントロール群では 2.8 ± 0.3 個、加熱 3 日後では 2.6 ± 0.7 個、加熱 7 日後では 5.5 ± 1.3 個、加熱 14 日後では 11.6 ± 1.1 個となり、コントロール群および加熱 3 日後と比較して加熱 14 日後では有意に増加していた ($p<0.05$)。

除去トルク計測値

埋入 6 週後のコントロール群では、インプラント周囲の広範囲でオッセオインテグレーションが成立しており、除去の際にインプラント体が破折して除去トルク計測は不可能であった。インプラント加熱群では除去が可能となり、その除去トルクは加熱 3 日後では $9.7\pm 1.3\text{Ncm}$ 、加熱 7 日後では $6.4\pm 1.7\text{Ncm}$ 、加熱 14 日後では $6.7\pm 1.4\text{Ncm}$ と変化し、加熱 3 日後と比較して加熱 7・14 日後では有意に除去トルクの減少を認めた (Fig.6) ($p<0.05$)。

【考察】

これまでのインプラントに関する、基礎、臨床における多くの研究は効率的なオッセオインテグレーションの獲得に関するものが多く、インプラントの成功率向上を意図した研究が主体であった。こうしたインプラント成功率向上に関する研究は一定の成果を示し、現在臨床的にインプラント埋入及び、埋入後のオッセオインテグレーションの獲得を指標とした成功率は 91.3~96.4%といわれている(Muddugangadhar, et al. 2015)。これによってデンタルインプラントは欠損補綴治療の選択肢として広く受け入れられるようになった。しかし、デンタルインプラント治療の普及、埋入患者数及び埋入本数の増加、インプラント長期残存による埋入患者の高齢化等、インプラント成功率向上によってもたらされた成果は同時にデンタルインプラントの非侵襲的除去という新たな課題を歯科臨床の場に創出した。

そこで我々は、Szmukeler-Moncler らが提唱した Thermo-explantation に注目した (Massei & Szmukler-Moncler 2004)。Thermo-explantation は電気メスを使用してインプラント体を低温加熱し、インプラント界面近傍の骨に局所的な bone necrosis を起こすことで、インプラント体を簡単に除去する方法である。Szmukeler-Moncler らは 50 Ncm のカウンタートルクによって除去不可能であった 20 本のインプラント体が、加熱後 2 週間において 30 Ncm 以下で除去可能となり、bone necrosis も $50\ \mu\text{m}$ 程度で、極めて低侵襲であったと報告した。しかし、低温加熱によるインプラントの非侵襲的除去における適切な温度や適切な加温時間等の条件の検索は十分に検討されていない。更に除去トルク低下の機序に関して、組織学的検索は行われていない。本研究はインプラントの低温加熱除去法のモデル化と除去トルク低下機構の組織学的検索を目的として実施した。

組織の温度が生理的な限界を超えて上昇すると、組織の損傷やネクロシスが起こることとは広く知られている。骨組織に対する 47°C 以下の熱刺激では、周囲脂肪細胞の傷害は認めるものの、骨組織自体は損傷を受けないとされている (Eriksson & Albrektsson 1983)。しかし、 47°C 以上の熱刺激では血管の消失や骨吸収が観察され、 53°C 以上で不可逆性の骨組織損傷が起こる。また熱刺激が 60°C 以上になると、骨組織のネクロシスが起こるとされている (Eriksson, et al. 1982)。

高周波電気メスによる加熱の機序は、組織に高周波電流を流すことでその接触抵抗によりジュール熱が発生し、この発生した熱で切開作用や凝固作用を生じさせることである。これまでのインプラント体を加熱した研究では、インプラントネック部分に 70°C 1 秒間の熱刺激を与えた場合、加熱部位から 4.54mm 離れた組織で 47°C 、 10mm 離れた組織で 37°C を示し、インプラント体の温度勾配を認めたと報告されている (Wong, et al. 2001)。一方我々の予備実験では、最も長い $\phi 4.1 \times 12\text{mm}$ のインプラント体でも 10 秒間の通電で内面温度が $48.0 \pm 1.6^\circ\text{C}$ 、先端部温度が $48.33^\circ\text{C} \pm 1.2^\circ\text{C}$ とその差に有意差が認められず、インプ

ラント体がほぼ均一に加熱されていると考えられた。このことから、高周波電気メスはインプラント体を均一に加熱する器具として適切と考えられた。インプラントと高周波電気メスの関係について調べた過去の研究では、1 秒間の通電で 10°C以上の温度上昇が観察されたと報告されている(Wilcox, et al. 2001)。この報告では試料を室温下で固定しているが、実際の口腔内組織は血流によって常に 36°C程度で灌流冷却されている状態であり、恒温槽内で固定した我々の豚大腿骨モデルの方が実際の口腔内の状況を反映していると考えられる。また、今回使用したすべてのインプラント体の内面および先端部で 10 秒間の通電後に 47°C以上の温度上昇が認められたことから、今回のラット上顎モデルでの実験では加熱時間を 10 秒間と設定した。

ラット上顎骨にインプラントを埋入した場合、処置 1 日後にはドリリングや埋入の影響で骨小腔の空洞化が認められるが、その範囲は処置 5 日後から次第に減少すると報告されている(Fujii, et al. 1998)。今回の実験における組織学的解析では、インプラント埋入 6 週後に骨小腔空洞化範囲は $14.9 \pm 20.6 \mu\text{m}$ であった。これはインプラント埋入による空洞化であると考えられる。一方、インプラント体の加熱後には、経時的にインプラント周囲の骨小腔空洞化範囲が拡大していることが示された。この骨小腔空洞化範囲の拡大の原因として、高周波電気メスの使用による加熱と通電が考えられる。さらに周囲骨髓腔の毛細血管拡張と破骨細胞の遊走、骨吸収も観察され、組織学的変化に伴って、除去トルク解析においても計測値の減少が認められた。組織学的観察では、インプラントのスレッド周囲にも骨小腔空洞化が観測されたが、その近傍で破骨細胞の遊走は観察されなかった。これらの組織学的観察より、除去トルクの減少は直接的なオッセオインテグレーションの破壊ではなく、インプラント周囲の骨髓や軟組織に近い領域に起こる骨吸収によるものと考えられた。

今回の実験では、加熱 14 日後の骨小腔空洞化範囲が $2276.1 \pm 274.8 \mu\text{m}$ と切削器具で除

去する際の骨削除量と同程度の範囲で観察されたが、加熱直後のインプラント体の温度が $75.4 \pm 8.6^{\circ}\text{C}$ であったことを考えると、高周波電気メスの出力が大きすぎた、もしくは通電時間が長すぎた可能性がある。つまり温度設定が不適切な場合には、かえって広範な骨の破壊・吸収が起こると考えられ、低侵襲なインプラント除去を行うためには詳細な加熱条件の設定が重要であることが示唆された。今後は高周波電気メスの出力や時間を変化させ、除去トルクの減少に有効かつ最低限のインプラント体温度変化を起こすための条件を検索することが非常に重要である。また臨床的には除去後の骨治癒も重要であることから、今後は除去後の治癒モデル作成も行い、除去後の治癒過程を観察することで、臨床的に有用な加熱条件の詳細な設定が可能であると考えられる。また、実際の臨床で除去が必要なインプラントに対して研究成果を反映した条件で加熱し、除去トルクの測定や除去後の治癒過程を観察することによって、本法の有効性が検証できると考えられる。これにより、高齢者の在宅での低侵襲なインプラント除去の可能性等が考えられ、超高齢社会のインプラント治療における重要な環境整備の一環となり得る。

【結論】

骨切削を回避した低侵襲なインプラント除去法の確立のため、電気メスによるインプラント加熱の効果について検証した。高周波電気メスを使用することで、インプラント体の均一な加熱が可能となり、またそれによって一定期間後のインプラント周囲での破骨細胞による骨吸収および除去トルクの減少が認められた。除去トルクの減少はインプラントと骨界面でのオッセオインテグレーションの直接的な破壊ではなく、インプラント周囲骨小腔の空洞化に引き続いて起こる骨吸収によるものと考えられた。今後は除去後の治癒モデルの作成と治癒機転の詳細な観察を行い、除去後の骨形態を良好に保つことができるか否かを検証する必要がある。また低温加熱によるインプラントの非侵襲的除去における適切

な温度や適切な加温時間等の条件を検索し、実際の臨床における比較検討を行うことで、
本法の更なる改善が可能となると考える。

【参考文献】

Berglundh, T., Persson, L. & Klinge, B. (2002) A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years. *Journal of Clinical Periodontology* **29 Suppl 3**: 197-212; discussion 232-193.

Eriksson, A., Albrektsson, T., Grane, B. & McQueen, D. (1982) Thermal injury to bone. A vital-microscopic description of heat effects. *Int J Oral Surg* **11**: 115-121.

Eriksson, A. R. & Albrektsson, T. (1983) Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* **50**: 101-107.

Froum, S., Yamanaka, T., Cho, S. C., Kelly, R., St James, S. & Elian, N. (2011) Techniques to remove a failed integrated implant. *Compend Contin Educ Dent* **32**: 22-26, 28-30; quiz 31-22.

Fujii, N., Kusakari, H. & Maeda, T. (1998) A histological study on tissue responses to titanium implantation in rat maxilla: The process of epithelial regeneration and bone reaction. *J Periodontol* **69**: 485-495.

Joanne Cunliffe, C. B. (2011) Removal of a dental implant: An unusual case report. *journal of Dental Implants* **1**: 22-25.

Jung, R. E., Zembic, A., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M. & Thoma, D. S. (2012) Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean

follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res* **23 Suppl 6**: 2-21.

Massei, G. & Szmukler-Moncler, S. (2004) Thermo-explantation. A novel approach to remove osseointegrated implants. *European Cells and Materials* **7**: 48.

Muddugangadhar, B. C., Amarnath, G. S., Sonika, R., Chheda, P. S. & Garg, A. (2015) Meta-analysis of failure and survival rate of implant-supported single crowns, fixed partial denture, and implant tooth-supported prostheses. *J Int Oral Health* **7**: 11-17.

Romeo, E. & Storelli, S. (2012) Systematic review of the survival rate and the biological, technical, and aesthetic complications of fixed dental prostheses with cantilevers on implants reported in longitudinal studies with a mean of 5 years follow-up. *Clin Oral Implants Res* **23 Suppl 6**: 39-49.

Stajcic, Z., Stojcev Stajcic, L. J., Kalanovic, M., Dinic, A., Divekar, N. & Rodic, M. (2015) Removal of dental implants: Review of five different techniques. *Int J Oral Maxillofac Surg.*

Wilcox, C. W., Wilwerding, T. M., Watson, P. & Morris, J. T. (2001) Use of electrosurgery and lasers in the presence of dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* **16**: 578-582.

Wong, K., Boyde, A. & Howell, P. G. (2001) A model of temperature transients in dental implants. *Biomaterials* **22**: 2795-2797.

神田, 省., 江原, 雄., 安光, 秀., 大西, 吉., 江原, 大., 桑原, 明., 咲間, 義. & 山上, 哲. (2014) 65 歳以上の患者におけるインプラント治療についての調査. *日本顎咬合学会誌: 咬み合わせの科学* **34**: 225-230.

【Figure legends】

Fig.1 豚大腿骨埋入モデル

- (a) 豚大腿骨に埋入されたインプラントと温度計測のためのアクセスホール
- (b) インプラント通電部位および温度測定部位

Fig.2 電気メス接触後のインプラント体の温度上昇の観察結果 縦軸：温度(°C)

- (a) インプラント内面の表面温度
- (b) インプラント先端部の表面温度

Fig.3 ラット上顎骨インプラント埋入部位の組織像

- (a, b, c) 埋入 6 週後のコントロール群 (a): ×25 (b): インプラントスレッド周囲 ×100 (c): インプラントから少し離れた部位の骨細胞 ×100
- (d, e, f) 加熱 3 日後 (d): ×25 (e): インプラントスレッド周囲 ×100 (f): 縦線は骨小腔空洞化が認められる領域の境界を示す ×100
- (g, h, i) 加熱 7 日後 (g): ×25 (h): インプラントスレッド周囲 ×100 (i): 縦線は骨小腔空洞化が認められる領域の境界を示す ×100
- (j, k, l) 加熱 14 日後 (j): ×25 (k): インプラントスレッド周囲 ×100 (l): 軟組織に近い領域の TRAP 染色 ×200

Fig.4 骨小腔空洞化が観察される距離 縦軸：インプラントスレッド部分から骨小腔空洞化が認められる限界点までの距離(μm)

Fig.5 インプラント周囲の破骨細胞数 縦軸：インプラント近心に観察された破骨細胞数 (n)

Fig.6 除去トルクの計測結果 縦軸：除去トルク計測値(Ncm) 範囲、四分位、中央値を示す

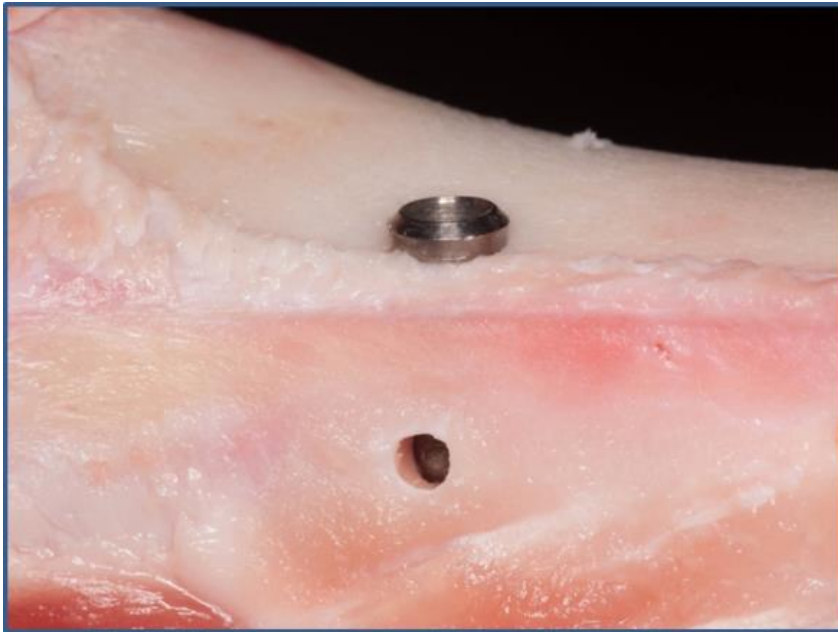
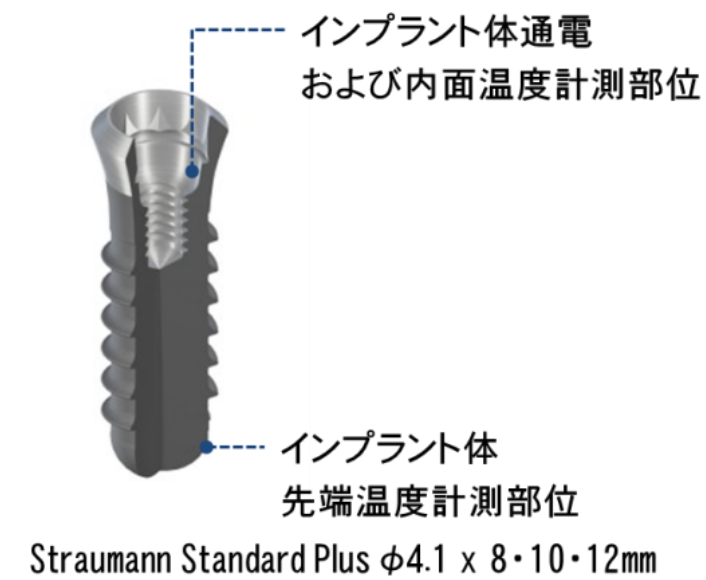


Fig.1 豚大腿骨埋入モデル

(a) 豚大腿骨に埋入されたインプラントと温度計測のためのアクセスホール



(b) インプラント通電部位および温度測定部位

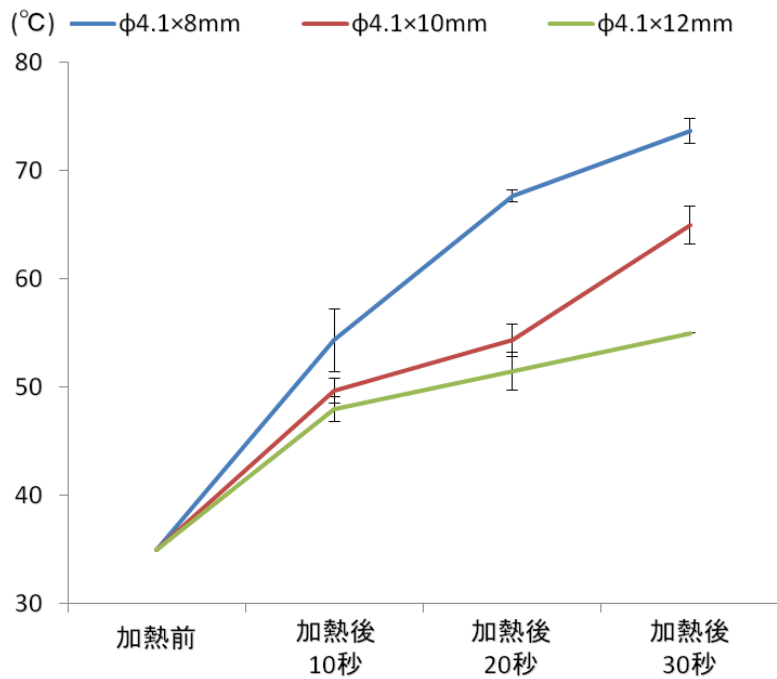
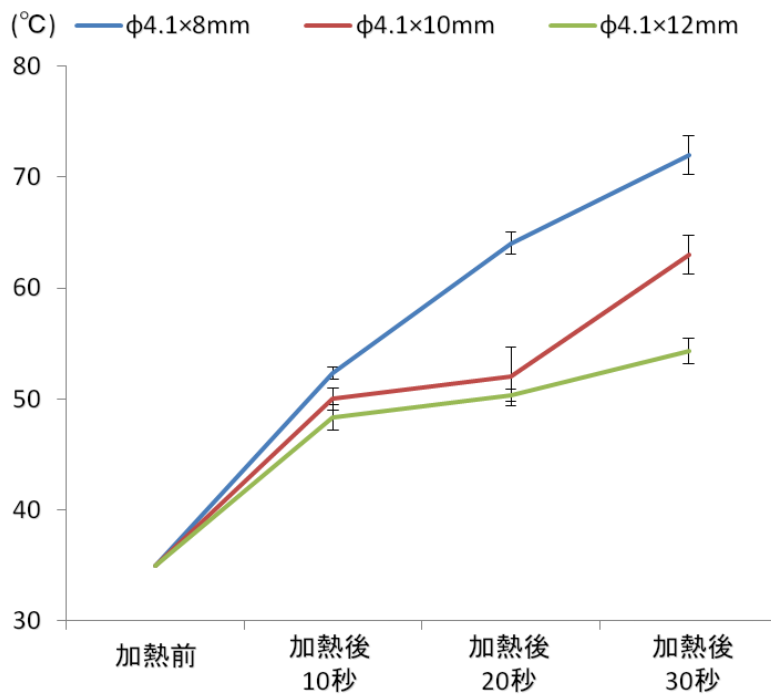


Fig.2 電気メス接触後のインプラント体の温度上昇の観察結果 縦軸：温度(°C)
 (a) インプラント内面の表面温度



(b) インプラント先端部の表面温度

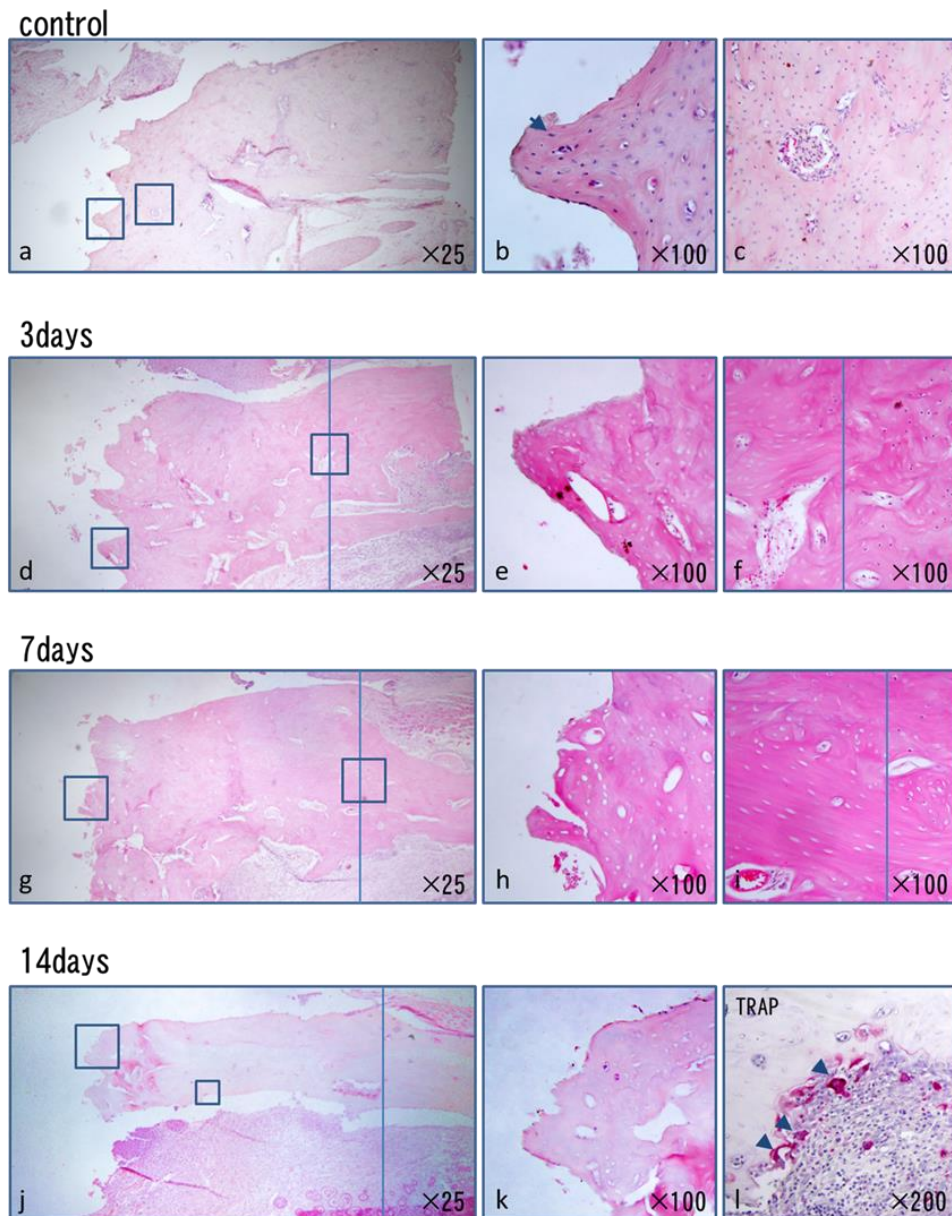


Fig.3 ラット上顎骨インプラント埋入部位の組織像

(a, b, c) 埋入 6 週後のコントロール群 (a): ×25 (b):インプラントスレッド周囲 ×100

(c): インプラントから少し離れた部位の骨細胞 ×100

(d, e, f) 加熱 3 日後 (d): ×25 (e): インプラントスレッド周囲 ×100 (f): 縦線は骨小腔空洞化が認められる領域の境界を示す ×100

(g, h, i) 加熱 7 日後 (g): ×25 (h): インプラントスレッド周囲 ×100 (i): 縦線は骨小腔空洞化が認められる領域の境界を示す ×100

(j, k, l) 加熱 14 日後 (j): ×25 (k): インプラントスレッド周囲 ×100 (l): 軟組織に近い領域の TRAP 染色 ×200

矢印: 骨細胞 矢頭: 破骨細胞

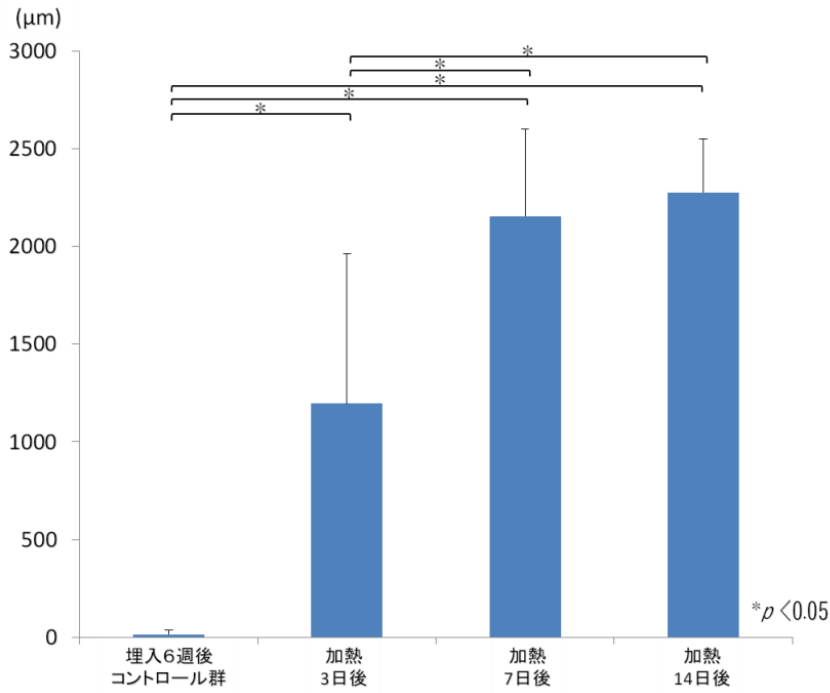


Fig.4 骨小腔空洞化が観察される距離 縦軸：インプラントスレッド部分から骨小腔空洞化が認められる限界点までの距離(μm)

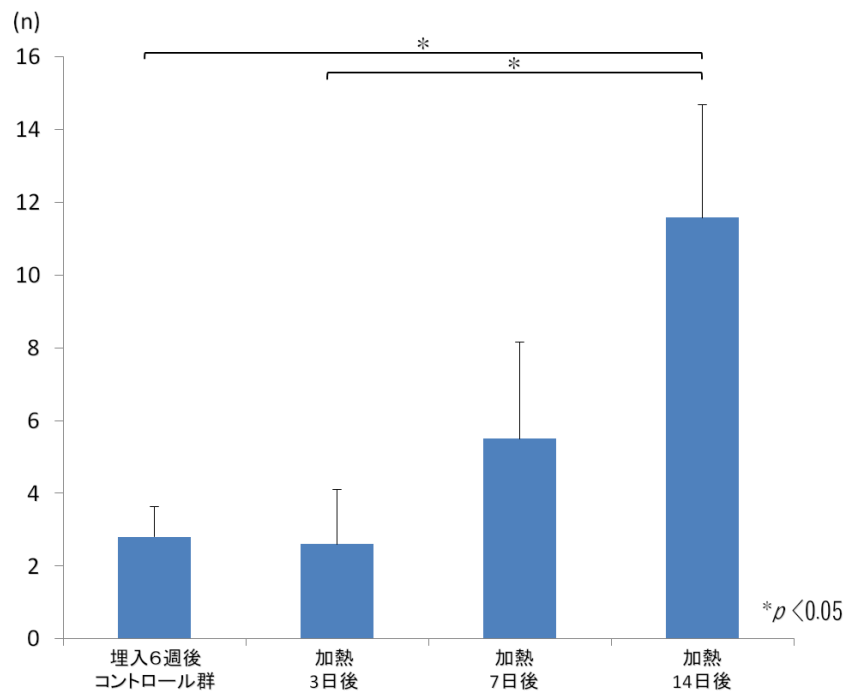


Fig.5 インプラント周囲の破骨細胞数 縦軸：インプラント近心に観察された破骨細胞数(n)

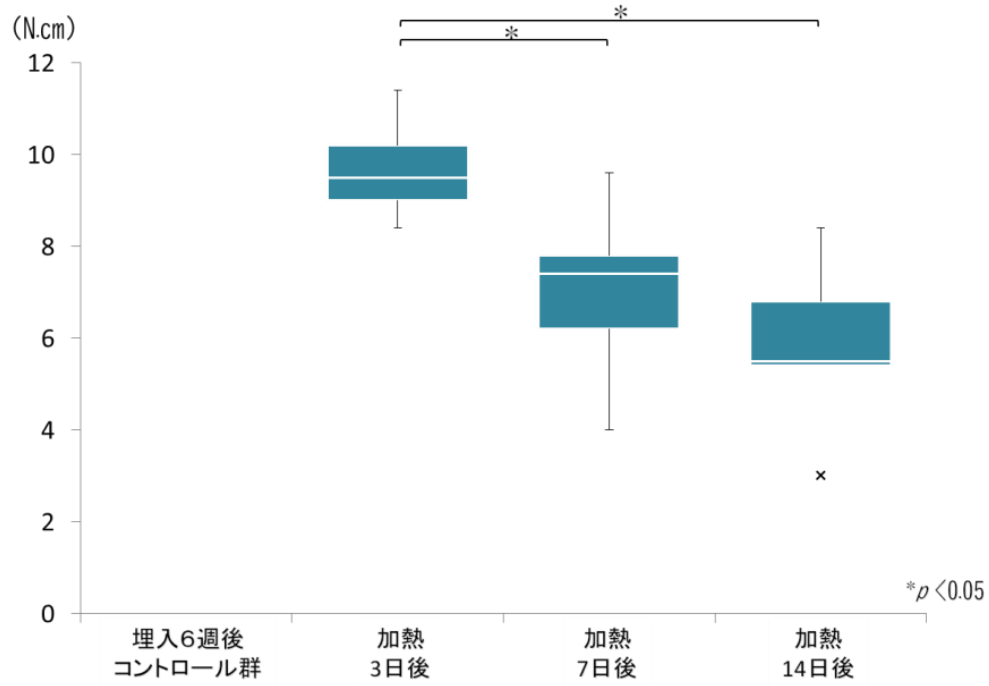


Fig.6 除去トルクの計測結果 縦軸：除去トルク計測値(Ncm) 範囲、四分位、中央値を示す