

キーワード: crestal bone remodeling, healing abutment, horizontal bone apposition, horizontal offset, implant diameter, platform switching

Peri-implant soft tissue and marginal bone adaptation on implant with non-matching healing abutments: micro-CT analysis

非同一径のヒーリングアバットメントでのインプラント周囲軟組織と辺縁骨の適合:

マイクロCTによる解析

Gary Finelle

Dimitrios E. V. Papadimitriou Andre B. Souza

Negin Katebi

German O. Gallucci Mauricio G. Araujo

Clin Oral Implants Res. 2015;26(4):42-46

目的

(i) 水平的なオフセットのサイズの変化がインプラント周囲粘膜と歯槽骨頂に及ぼす影響
(ii) 口蓋部からのグラフト採取は、粘膜歯肉手術が導入されて異なったヒーリングアバットメント（フレアーvs.ストレート）がインプラント周囲粘膜と歯槽骨頂に及ぼす影響

材料及び方法

材料および方法: 直径 3.5mm と 4.5mm の 2 ピースインプラントを 5 頭のビーグル犬に少なくとも骨縁下 1mm に埋入した。(i) 直径 3.5mm のインプラントでナローヒーリングアバットメント (3.5N) (ii) 直径 4.5mm のインプラントでナローヒーリングアバットメント (4.5N) (ii) 直径 3.5mm のインプラントでワイドヒーリングアバットメント (3.5W) の 3 グループを評価した。治癒 4 ヶ月後、マージナルボーン (MB) からインプラントショルダー (IS) の垂直的距離、IS からインプラントと骨の接触部の垂直的距離、インプラントプラットフォームの骨の成長量の水平的距離を高解像度マイクロ CT (Xradia MicroXCT-200 system) で測定した。

結果

ナローヒーリングアバットメントのインプラントではショルダー上に0~1mmのマージナルボーンが認められたが、3.5W群では平均して-0.5mmを示した。3.5N群では、すべてのインプラントがISの高さにfBICが位置していた。4.5N群では、fBIC-IS間距離はISから根尖側に平均して-0.52mmであった。3.5WC群ではfBIC-IS間距離の平均値は-1.42mmであった。水平的な骨の付着は3.5N群と4.5N群でのみみられた。

結論

水平的なオフセットは骨のリモデリングを抑制する上で最小限の役割を果たしている、一方、粘膜貫通部の形状はマージナルボーンのリモデリングに直接影響する。

チタンインプラント周囲の骨と粘膜の反応については、いくつかの動物実験において研究されている。オッセオインテグレーションが達成されたことを示すX線写真の基準として、補綴後1年間で1mmのマージナルボーンのリモデリングが挙げられる。この現象を検証するために異なる理論が提唱されている。一つの理論はインプラントの冠状部での応力集中に着目している、それに対し歯槽骨頂のリモデリングはインプラントとアバットメントの界面に位置する軟組織内の局所的な炎症によるものとインプラントの骨頂部周囲に軟組織が粘膜バリアー(biologic width)を確保した結果であるという対象的な理論が提唱されている。LazzaraとPorter(2006)はこの生物学的概念を”プラットフォームスイッチング”という名で初めて定義した。彼らの研究によるとインプラントとアバットメントの界面の外縁が水平に内側に位置し、プラットフォームの外縁から離れると、骨頂部のリモデリングは垂直的に変化する。このことはオッセオインテグレーションしたインプラントの近心・遠心部においてX線上で明らかになった。プラットフォームスイッチングの生物学的根拠はプラットフォームとアバットメントの直径を意図的に一致させないことにより、アバットメント周囲の炎症性細胞浸潤を骨頂から離れさせ、炎症性浸潤が周囲の硬・軟組織に直接さらされる180度以下の領域から90度以下の限られた領域に移動するものだと著者は提案する。その後、異なる著者により動物およびヒトでの研究において同様の結果が発表されている。一方でいくつかの動物およびヒトでの実験でプラットフォームスイッチングインプラントとそうでないインプラントにおいて有意差を見出すことができなかった。最終的には近年のあるシステムティックレビューにおいてプラットフォームスイッチングがインプラント周囲の骨に有益な効果をもたらすことが明らかにされ、別の研究においてもプラットフォームスイッチングによりインプラント周囲の骨および軟組織レベルが維持される可能性があることが示されていた。また、その研究において骨縁の吸収量はインプラントとアバットメントのズレと反比例の関係にあることを示している。一方、別のシステムティックレビューではプラットフォームスイッチングコンセプトが骨縁の維持に有効であることを見出すことができなかった。本研究の目的は、イヌにおいて、(i)水平オフセット寸法の変更がインプラント周囲軟組織と骨頂部に及ぼす結果、(ii)異なる形状のヒーリング

アバットメント（フレアデザイン対ストレートデザイン）が異なる粘膜貫通部のデザインによりインプラント周囲軟組織と骨頂部に及ぼす影響を評価することである。

材料及び方法

本研究はブラジル・パラナ州マリンガ大学とハーバード大学歯学部で実施された2施設共同動物実験である。ブラジル・マリンガ州立大学の倫理委員会は研究プロトコルを承認した。また、この承認は動物におけるハーバード医療常任委員会およびハーバード大学の研究のための保護局に従って修正され、容認されるものと判断された。3.5mmと4.5mmの2種類の異なる径の2ピースインプラント（DENTSPLY Implants, Waltham, MA, USA）を骨縁下1mmに埋入した。コニカルモーステーパーのインターナルコネクションによりヒーリングアバットメントのフィクスチャーの位置決めが確保された。本研究に使用したアバットメントはインプラントのショルダー部とほぼ同一径であった。しかし、それらの粘膜貫通部において異なる形状（フレアvs.ストレート）と異なる径であった。このことにより水平方向のオフセットが生じ、段階的に水平方向に変異することになった。これらのインプラント直径とヒーリングアバットメントの形状の組み合わせにより、(i)直径3.5mm ナローヒーリングアバットメント(3.5N) (ii)直径4.5mm ナローヒーリングアバットメント(4.5N) (iii)直径3.5mm ワイドヒーリングアバットメントの3つのグループとなった。

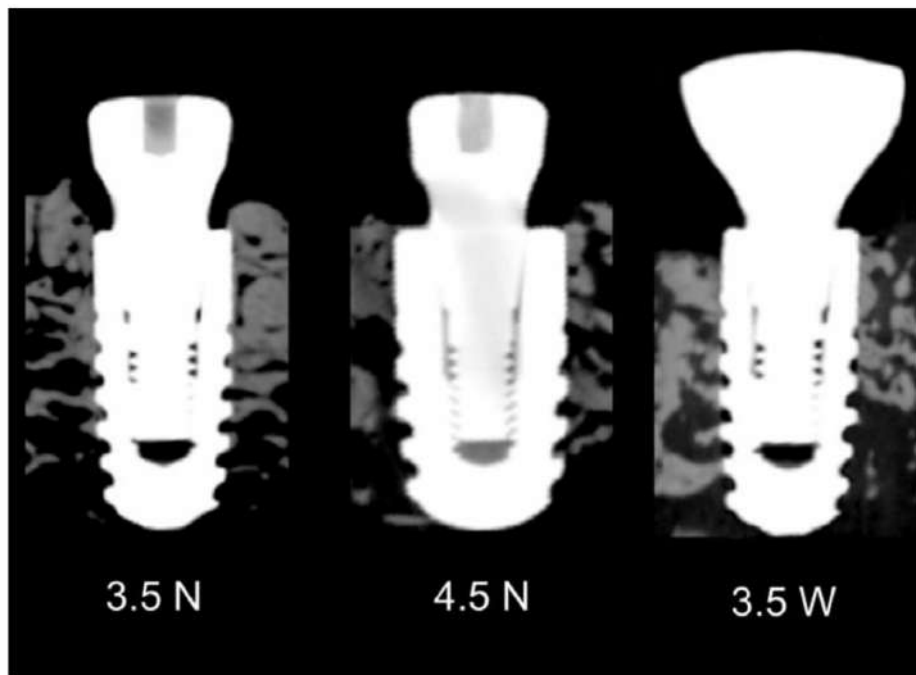


Fig. 1. Mesio-distal section from computed microtomography representing implants of each group: 3.5N, 3.5W, 4.5N. 3.5N, 3.5-mm-diameter implant, 8-mm-length, narrow healing abutment; 3.5W, 3.5-mm-diameter implant, 8-mm-length, wide healing abutment; 4.5N, 4.5-mm-diameter implant, 8-mm-length, narrow healing abutment.

各グループのインプラントのマイクロCTにおける近遠心的断面：3.5N,3.5W,4.5N

3.5N,径 3.5mm 高さ 8mm のナローヒーリングアバットメント

3.5W,径 3.5mm 高さ 8mm のワイドヒーリングアバットメント

4.5N,径 4.5mm 高さ 8mm のナローヒーリングアバットメント

本研究では、体重10～12kgの12～15ヶ月のビーグル犬5頭を使用した。犬にケタミン10%を静脈内投与にて麻酔をかけた。下顎小白歯(P1-P4)と第一大臼歯(M1)を抜歯した。2日に1回、歯ブラシと歯磨剤を用いた機械的清掃を実施した。3ヶ月の治癒期間を経て、下顎にそれぞれ3つのフィクスチャーを埋入した(直径:3.5mmまたは4.5mm)。各インプラントのショルダー間の距離は最小で4mmを保った。アバットメント粘膜貫通型でインプラント埋入と同時に接続した。各インプラントにはショルダーの高さに直径2.5mmのヒーリングアバットメントが装着された。インプラントは6ブロックの順列化ブロック無作為化プロトコルを用いて下顎の両側に割り当てられた。各動物には合計6本のインプラントが埋入された(下顎の左側3本、右側3本)。両側のインプラントには、2つのアバットメントデザインのうち1つが装着された。すべてのインプラントの術後X線写真を撮影した。フィクスチャー埋入直後のX線写真は以前記載した手法で標準化した。この時点で12週間のプラークコントロールを開始した。4ヵ月後、犬はケタミンの過量投与と、5%のグルタルアルデヒドと4%のホルムアルデヒドの混合物を含む固定液で頸動脈から灌流され、安楽死させられた(Karnovsky 1965年)。

下顎骨を分割し、インプラントとその周囲の軟組織および硬組織からなる組織サンプルをX線マイクロモグラフィー(micro-CT)分析で調べた(図2)。

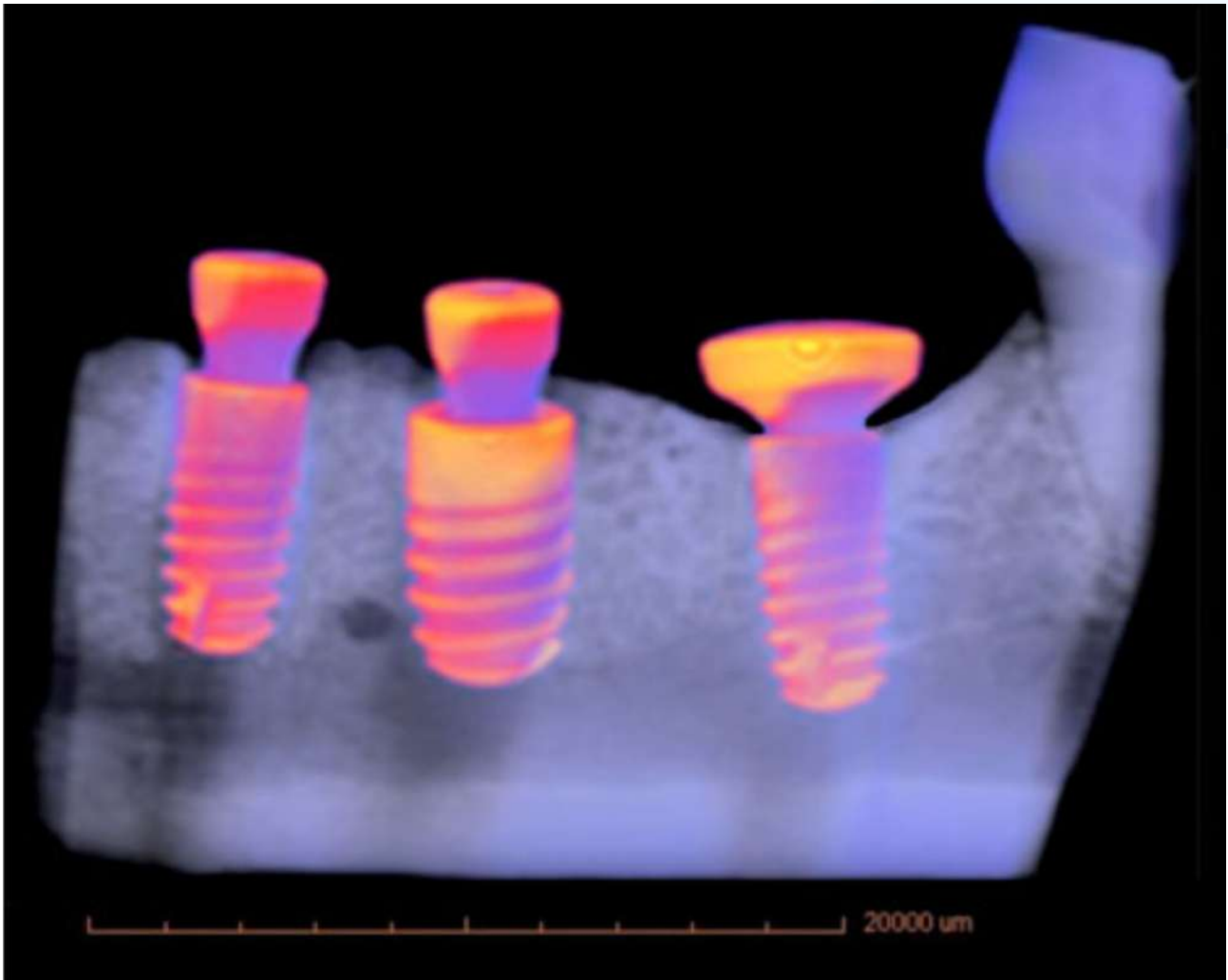


図 2: Xradia スキャナーで生成した 3D 再構成画像 (3D 表示ソフト)

マイクロ CT 画像は、高解像度マイクロ CT 解析(XradiaMicroXCT-200 system, Pleasanton, CA, USA) によって得られた。

画像の取得には以下のパラメータを使用した。：X 線写真の露光時間は 7 秒、360 度回転で 1600 回撮影。線源設定には、80 kV/8 W に設定し、LE#5 フィルタを使用した。光源と検出器は、すべてのサンプルをスキャンするために同じ距離に保たれた。

サンプルの視野を確保するために、光学系は $29.828 \mu\text{m}$ のピクセルサイズになるように設定された。Xradia スキャナーに付属する 3D ビューイングソフトウェアを使用してすべての 3D 画像を生成した。(Carl Zeiss Microscopy GmbH Carl Zeiss Promenade, Jena, Germany) ファイルサイズを小さくし、S/N 比(有効な信号成分(シグナル)と雑音成分(ノイズ)との量の比率)を向上させるため、 2×2 ピクセルビニングで画像を再構成した。各画像について、ウィンドウレベル設定を調整し、jpg 形式で 1 フレームとして保存した。以下のランドマークが測定に使用された。

：インプラントショルダー部 (IS)、辺縁骨骨頂 (MB)、インプラント垂直方向での骨とインプラントの初接触部 (fBIC)、インプラントプラットフォーム上の水平的骨付着部 (HBA) (図 3)。

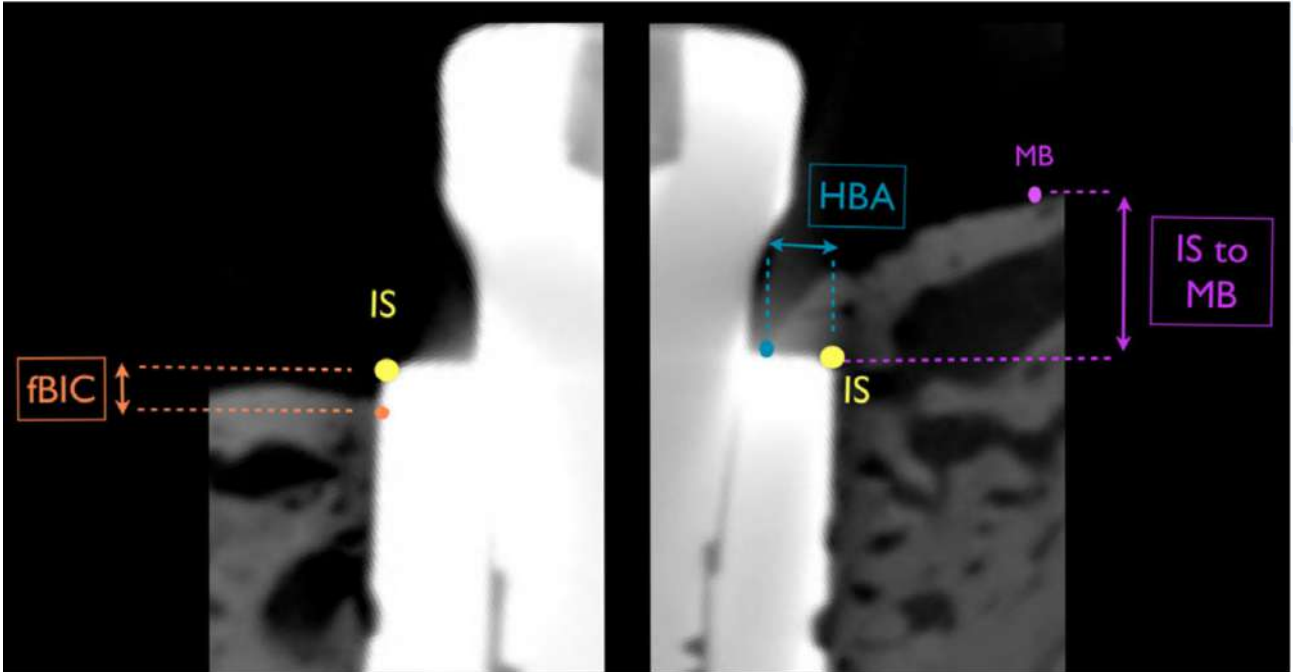


図 3. X線写真の測定に使用したランドマークを示す模式図

IS：インプラントショルダー部、MB：辺縁骨骨頂、fBIC：インプラント垂直方向での骨とインプラントの初接触部、MB-IS：辺縁骨骨頂からインプラントショルダー部までの垂直距離、IS-fBIC：インプラントショルダー部から fBIC までの垂直距離（IS と fBIC が一致する場合、値はゼロとみなす）、HBA：インプラントプラットフォーム上の水平軸における骨付着（インプラントプラットフォーム上に骨形成が観察できない場合は値がゼロとみなされる）。Xradia スキャナーに付属する 3D ビューアーを用いて、各インプラントの近心側と遠心側で以下の測定を行った。MB-IS は骨頂からインプラントショルダー部までの垂直距離、IS-fBIC はインプラントショルダー部から fBIC までの垂直距離（IS と fBIC が一致した場合、値はゼロとみなす）、HBA はインプラントショルダー部で骨が最も内側に成長したプラットフォーム上での水平距離と定義された。記述統計学では、MB-IS、fBIC-IS、HBA の平均値と標準誤差 (SE) を算出するために、近心と遠心の値を合計した。

結果

MB-IS 解析

各群の隣接面 MB の平均値を図 4 に示す。

MB が IS の歯冠側に位置する場合はプラス (+)、IS の根尖側に位置する場合はマイナス (-) とした。

ナローなヒーリングアバットメントのグループ (3.5N と 4.5N) は、それぞれ平均 0.84 mm (SE = 0.13) と 0.29 mm (SE = 0.36) という正の値を示した。ナローヒーリングアバットメントのインプラントでは、インプラントショルダー部から 0~1mm の位置に隣接面 MB が認められ、3.5W グループでは平均値 -0.50mm (SE = 0.30) を示した (表 1)。

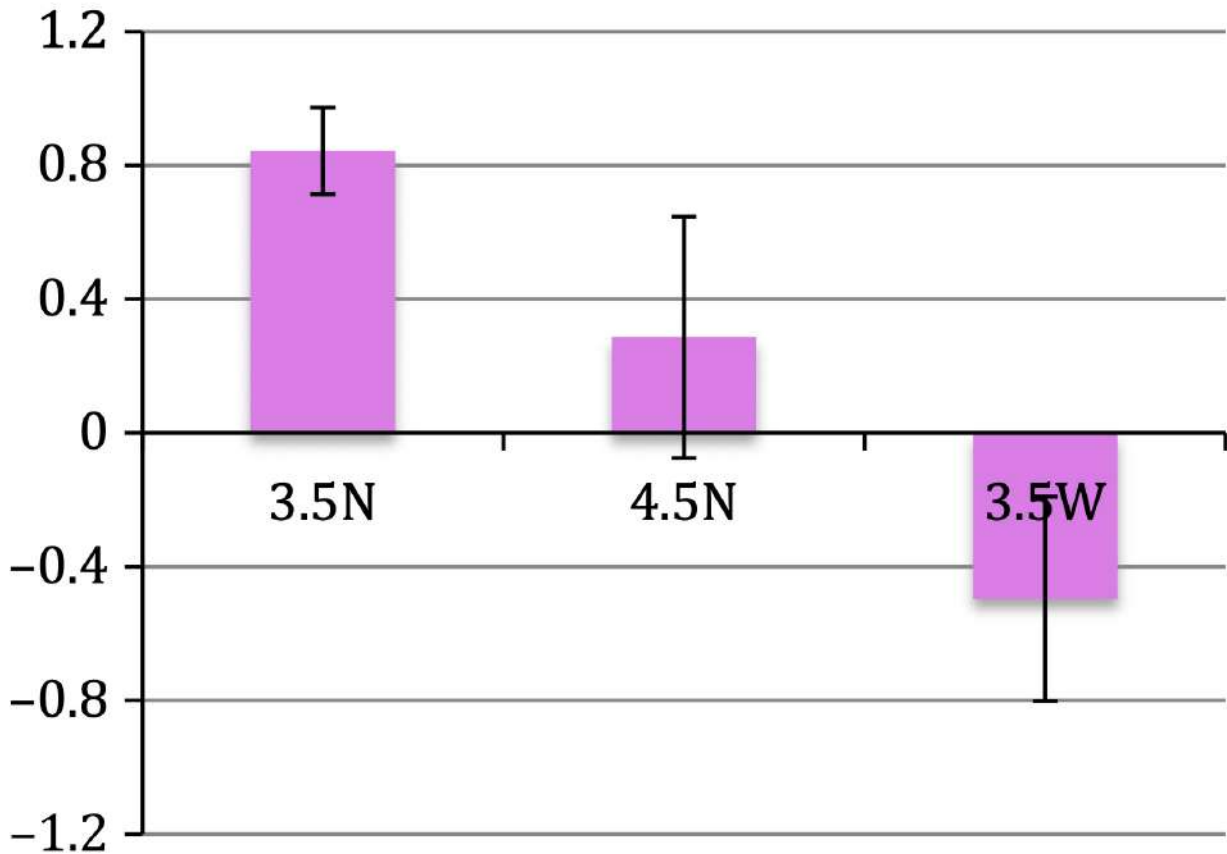


図 4. 各群における隣接面骨縁からインプラントショルダー部までの距離 (MB-IS) の平均値 (mm)。

3.5N：直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、ナローヒーリングアバットメント

3.5W：直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、ワイドヒーリングアバットメント

4.5N：直径 4.5mm、長さ 8mm、ナローヒーリングアバットメント

データは平均 (カラーバー) #標準偏差 (SE) (黒線) で表示される。

表 1. MB から IS、IS から fBIC、IS から HBA の近心および遠心の平均値 (単位：mm)

	N	Mean MB to IS	Mean IS to fBIC	Mean HBA
3.5NC	6	0.84 mm (0.13)	0.00 mm (0)	0.17 mm (0.05)
4.5NC	12	0.29 mm (0.36)	-0.52 mm (0.27)	0.18 mm (0.07)
3.5WC	6	-0.50 mm (0.30)	-1.42 mm (0.34)	0.00 mm (0)

Data are expressed as mean ± standard errors (SE).

データは平均値#標準誤差(SE)で表した。

fBIC-IS 解析の場合

fBIC-IS の平均値を Fig.5 に記載した。fBIC が IS レベルにある場合は 0、fBIC が IS より先端側にある場合はマイナス (-) とした。3.5N 群では、すべてのインプラントで IS レベルに fBIC が存在した。4.5N 群では、fBIC-IS 間距離の平均値は 0.52mm (SE=0.27) であった。3.5WC 群では、fBIC-IS 距離の平均は -1.42mm (SE=0.34) であった (表 1)。

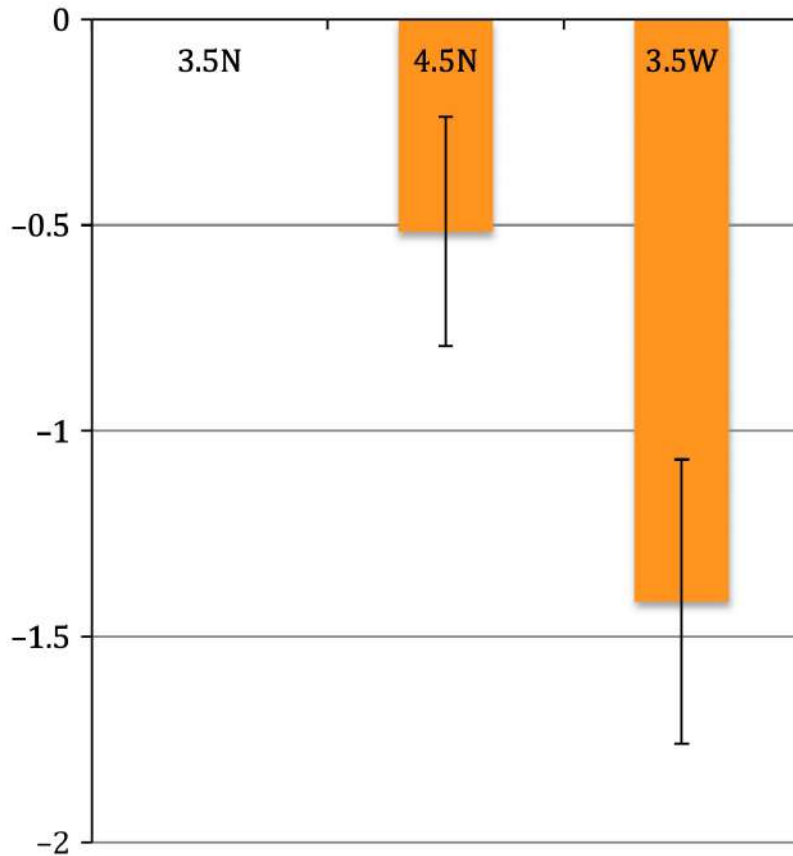


図5. 各グループのインプラントショルダーから骨とインプラントが最初に接触するまでの距離 (IS-fBIC) の平均値 (mm) . 3.5N : 直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、幅狭ヒーリングアバットメント、3.5W : 直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、幅狭ヒーリングアバットメント、4.5N : 直径 4.5mm、長さ 8mm、幅狭ヒーリングアバットメント、データは平均 (カラーバー) # 標準偏差 (SE) (ブラックライン) で表された。

HBA 解析の場合

HBA の平均値は、Fig.6 に報告されている。fBIC が IS または根尖側に認められた場合は 0 値、インプラントショルダーに水平方向の骨付着が認められた場合は正 (+) 値とした。3.5N 群では、隣接面間 HBA の平均値は 0.17mm (SE=0.05) であった。同様に、4.5N グループでは、0.18mm (SE = 0.07) の水平的な骨形成が認められた。逆に、3.5W グループのインプラントは、いずれもプラットフォーム上で水平方向の骨付着が認められなかった (表 1) 。

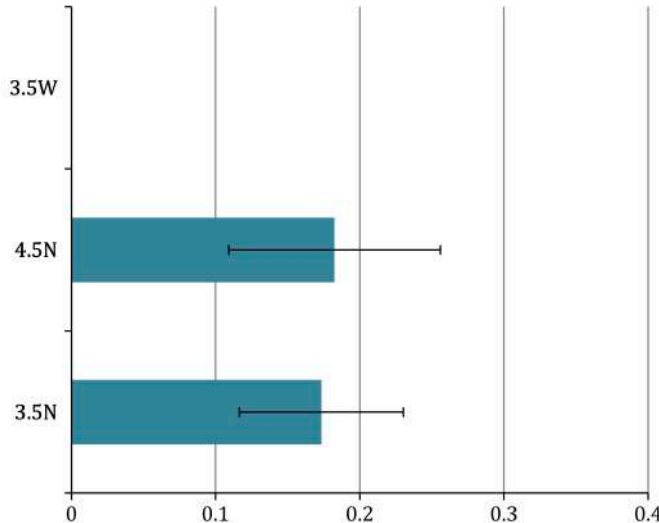


図 6. 各グループの HBA (Horizontal Bone Apposition) の平均値 (mm)
 3.5N : 直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、ナローヒーリングアバットメント
 3.5W : 直径 3.5mm インプラント、長さ 8mm、ワイドヒーリングアバットメント
 4.5N : 直径 4.5mm、長さ 8mm、ナローヒーリングアバットメント
 データは平均 (カラーバー) 標準偏差 (SE) (黒線) で表された。

ディスカッション

今回の動物実験の目的は、異なるヒーリングアバットメントと粘膜貫通部のデザイン (形状や直径) が骨頂部に与える影響を評価することである。

プラットフォームスイッチングに関する動物実験を検討したところ、Becker ら (2007) は、当初、7 日、14 日、28 日の時点で、「インプラントショルダー部から長い接合上皮の根尖側への伸長」の平均値は、直径の小さなヒーリングアバットメントのインプラントで著しく低いことを発見した。しかし、治癒 28 日後には、プラットフォームスイッチングしたインプラントとそうでないインプラントとの両インプラントグループで、歯槽骨の頬側面の「インプラントショルダー部から歯槽骨頂」の平均値が有意に増加したことが明らかになった。「インプラントショルダー部からインプラントに接する骨の最頂部まで」と「インプラントショルダー部から歯槽骨の頂部まで」のグループ間の差は有意ではなかった

(Becker et al.2007)。同じ著者が 6 ヶ月の長期追跡調査を行ったところ、両群とも骨のリモデリングは少なく、プラットフォームスイッチングは骨頂部の維持に決定的な重要性を持たないことを発見した (Becker et al.2009)。一方、Farronato ら (2011) は、プラットフォームスイッチングのコンセプトにより、治癒 4 ヶ月後の辺縁骨の吸収が、アバットメントの直径を合わせたインプラントの場合よりも少ないことを発見した (Farronato ら、2011)。別の動物実験では、歯槽堤に対して 3 つの異なる高さに粘膜下または粘膜貫通で埋入されたプラットフォームスイッチングインプラント周囲の骨頂レベルの変化を X 線写真で評価した (Jung et al.2008)。

X線写真の分析では、歯槽堤の高さまたは1mm上に設置されたインプラントでは、骨量の損失はほとんどなく、骨レベルがわずかに上昇することが示された。

最大の骨量減少は、骨頂から1mm下に埋入したインプラントで発生した。

本研究では、MBの隣接面間の高さは、幅の狭いヒーリングアバットメントの方が有意に安定するようであった。

同様に、3.5Nグループのインプラントはショルダー部とfBICが同じ高さであったが、他のグループはより根尖側でfBICを示した(表1)。興味深い所見として、インプラントショルダー部での水平的な骨付着が挙げられる。これは、インプラント直径に関係なく、狭いヒーリングアバットメントを持つインプラントでのみ観察された(3.5Nグループで0.17mm、4.5Nグループで0.18mm)。

一方、ワイドヒーリングアバットメントを装着した直径3.5mmのインプラントでは、プラットフォーム上に水平方向の骨付着が認められました。これらの結果は、インプラントとアバットメントのインターフェイスの形態的な構成によって説明することができる。

インプラントプラットフォームと90°の角度を持つナローヒーリングアバットメントでは、インプラント周囲の生物学的幅の結合組織が入り込むための垂直方向および水平方向のスペースが確保されるためである。そのため、軟組織はインプラントの中心部により近い位置で適応し、アバットメントを垂直方向に移動することで、プラットフォーム上で辺縁骨がインプラントショルダー部を越えて治癒するためのスペースが確保される。

逆に、ワイドヒーリングアバットメントを使用した場合、アバットメントとインプラントショルダーの成す角度が小さくなり、適切なインプラント周囲の生物学的幅を確立するスペースが少なくなる。この場合、インプラント周囲の生物学的幅の適合は、インプラント中心から離れた位置で確立されるため、より多くの辺縁骨のリモデリングが生じます。

Atiehは、辺縁部骨吸収の程度は、インプラントとアバットメントの不一致の程度に反比例することを示唆した(Atieh et al.2010)。

結論

本研究の結果は水平的オフセットの大きさが骨のリモデリングの減少に対する影響は小さいが、粘膜貫通部の構成要素は辺縁骨のリモデリングに直接影響することを示唆するものであった。

論文抄読 松尾 充洋