

Title	骨および軟組織造成術を併用した上顎前歯部インプラント治療における唇側組織の経時的定量評価
Author(s)	藤田, 祐也
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61673
rights	This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

骨および軟組織造成術を併用した上顎前歯部インプラント治療における唇側組織の経時的定量評価

大阪大学大学院歯学研究科 口腔科学専攻

顎口腔機能再建学講座 クラウンブリッジ補綴学分野

藤田 祐也

緒言

上顎前歯部インプラント治療においては、機能回復のみならず、審美性回復が強く要求されるため、残存する天然歯列と調和のとれたインプラント体周囲組織を獲得し、それを長期にわたり維持する必要がある。術後の軟組織の退縮を防止し、長期にわたって審美性を維持するためには、インプラント体唇側に十分な厚さの骨および軟組織が存在することが必要であると報告されている(1)(2)。

一般的に歯が欠損すると、それに伴い周囲の骨や軟組織のボリュームが失われることが知られている(3)(4)。そのため、抜歯窩の治癒を待ってインプラント体埋入を行う遅延埋入では、抜歯に伴って生じた吸収量を補償するため、多くの症例でインプラント体埋入時に骨および軟組織造成術が併用されている(5)(6)。

一方、抜歯と同時にインプラント体埋入を行う抜歯即時埋入も広く行われており、同埋入法では抜歯後即時に埋入を行うことで抜歯後の骨吸収が抑制され、術前の粘膜外形の維持に有利であることが報告されている(7)(8)。抜歯即時埋入においても、骨、軟組織の吸収量を最小限にして粘膜外形を維持するため、骨および軟組織造成術が併用されることが少なくない(9)(10)。

しかし、これらの治療方法に対して術前後のインプラント体周囲組織の経時変化を評価した報告は乏しく、埋入術式による骨、軟組織の経時変化の差異に関して明確な見解は得られていない。

現在までに行われているインプラント体唇側組織の経時変化の評価方法には、プローブにより骨、軟組織を直接計測する方法(6) (11)や、模型の重ね合わせにより粘膜外形を計測する方法(12) (13)などがある。しかし、これらの評価法では信頼性や妥当性が低く、測定項目も限定的であるという欠点があり、術前からの骨および軟組織の経時変化を正確に評価することはできなかった。

近年、インプラント体唇側組織の評価方法として、Cone Beam CT（以下CBCT）が用いられる頻度が増加している(14) (15)。口唇を排除してCBCT撮影を行うことで、CBCT画像上で骨のみならず軟組織の評価を行うことも可能であると報告されており、インプラント体唇側骨、軟組織について信頼性と妥当性の高い評価を行うことが可能であることが既に教室の上中らにより示されている(16)。しかしながら、現在までのCBCTを用いた評価法では、埋入されたインプラント体を基準として計測断面を設定していたため、インプラント体が存在しない術前と治療終了時の正確な画像比較は不可能であった。

そこで本研究では、術前および上部構造装着時に撮影を行ったCBCTデータから三次元顎骨モデルを作製し、それらの重ね合わせを行うことで計測断面を設定する手法を考案した。本手法を用いることで術前後のCBCT画像を同一断面で比較することが可能となり、術前から治療終了時までのインプラント体唇側骨および軟組織の経時変化について正確な評価を行うことが可能となった。

本研究の目的は、骨および軟組織造成術を併用した上顎前歯部インプラント治療における唇側組織の術前後の経時変化を定量的に評価することである。

本研究は、大阪大学大学院歯学研究科・歯学部及び歯学部附属病院倫理委員会の承認を受けた上で行った（承認番号 H23-E8 ， H24-E10 ）。

材料と方法

実験 1. 三次元顎骨モデル重ね合わせによるインプラント体周囲組織評価法の信頼性の検討

1. 対象

大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科にて 2012 年 2 月から 2016 年 10 月までに上顎前歯部にインプラント治療を受け、治療終了 1 年後のメンテナンスに来院した患者から無作為に抽出した 10 名の CBCT データを対象とした。

2. 撮影方法

CBCT は Alphard3030（朝日レントゲン工業株式会社，京都）を使用し，撮影条件は表 1 に示すとおりに設定した。撮影時の患者の姿勢は座位とし，インプラント周囲軟組織の描出のために撮影前にインプラント体埋入部位の口腔前庭部にロールワッテを挿入し，上部構造及び軟組織と口唇，頬粘膜が接触しないようにして撮影を行った。

3. 三次元顎骨モデル重ね合わせの精度評価

対象患者の上部構造装着時（以下 T1），メンテナンス時（以下 T2）に撮影を行った CBCT データを抽出し，三次元顎骨モデルの重ね合わせ時に生じる位

置ずれの大きさについて、インプラント体の位置を基準として三次元的に計測を行った。

評価方法は以下の通りである（図1）。

- ① T1, T2 の CBCT データの画像再構築を行い、それぞれの三次元顎骨モデルを作成する。
- ② インプラント体長軸を基準として抽出した T1, T2 の CBCT 断面上で、埋入したインプラント体と同一のインプラントモデル（以下 IM）を CBCT 画像上に写っているインプラント体に重ね合わせて設置する。
- ③ T1, T2 の三次元顎骨モデルの上顎骨内で、左右の眼窩下孔下部および胸骨突起に基準点を設定し、それぞれの顎骨モデルの重ね合わせを行う。
- ④ 重ね合わせを行った顎骨モデル上で IM どうしの位置関係を三次元的に計測する。計測項目は、Base : IM のプラットフォーム中心間の距離（mm）、Apex : IM の先端間の距離（mm）、Angle : IM の長軸どうしのなす角度（°）とする。
- ⑤ 計測は、10 名の患者について 1 名の検者が 4 回ずつ行い、各項目の平均値を求める。

CBCT データの画像再構築および CBCT 画像計測には、デジタル画像診断ソフトウェア Co DiagnostiX（Dental Wings 社、Canada）を用いる。

4. CBCT 画像計測の検者内，検者間信頼性の検討

10名の対象患者の T1 に撮影した CBCT データを抽出し，インプラント体周囲骨および軟組織の距離計測における検者内信頼性，検者間信頼性について，級内相関係数 (Interclass Correlation Coefficient : 以下 ICC) を用いて検討した。

評価方法は以下の通りである。

- ① 抽出した CBCT データ上で，インプラント体の長軸を基準とし，歯列弓の接線と直交する断面を計測用の画像に設定する (図 2)。
- ② 設定した CBCT 画像上でインプラント体唇側骨，軟組織を計測する。計測部位はインプラント体のプラットフォームレベル (PL0)，PL0 より 2 mm 根尖側 (PL2) における骨の厚さ (BW)，軟組織の厚さ (GW) とする。
- ③ 検者 1 名で各測定部位につき 10 回計測を行い，ICC を算出し，検者内信頼性を，測定者 2 名で各測定部位につき 1 回計測を行い，ICC を算出し，検者間信頼性を，それぞれ検討する。

統計解析には SPSS Statistics ver.23 (日本 IBM 社，東京) を用いる。

実験 2. 遅延埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

1. 対象

大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科にて 2012 年 2 月から 2016 年 10 月までに上顎前歯部にインプラント治療を受けた患者のうち、抜歯後 12 週以上経過時に術前の CBCT 撮影が行われた 42 名を対象とし、術前（以下 T0）、T1 に撮影を行った CBCT データを抽出した。

包含基準は、①コニカルコネクション、プラットフォームシフティングを有するインプラント体が埋入されていること、②固定式の上部構造が装着されていることとし、除外基準は、①喫煙者、②糖尿病で加療中の患者(17)(18)とし、両基準を満たした 28 名を本実験の被験者とした。

2. インプラント体周囲組織計測用断面の獲得方法および計測部位

使用した CBCT 装置、デジタル画像診断ソフトウェア、CBCT の撮影方法は実験 1 と同様である。画像診断ソフト上で、以下の手順によりインプラント体周囲組織計測用断面を設定した（図 3）。

- ① T0、T1 に撮影した CBCT データの画像再構築を行い、それぞれの三次元顎骨モデルを作製する。
- ② 埋入されたインプラント体と同一の IM を T1 に撮影した CBCT 画像上のインプラント体に合わせて設置する。

③ T0, T1 の三次元顎骨モデルの上顎骨内で, 左右の眼窩下孔下部および胸骨突起に基準点を設定し, それぞれの顎骨モデルの重ね合わせを行う.

④ 重ね合わせを行った顎骨モデル上で, 設置した IM の長軸を基準とし, 歯列弓の接線と直交する断面を T0, T1 の計測用断面とする.

計測の基準は IM のプラットフォームレベル (PL0), PL0 より 2 mm 根尖側 (PL2) とし, PL0, PL2 における BW, GW を測定部位とし, BW と GW の合計 (TW) で粘膜外形を評価する (図 4). なお, T0 においては実際にはインプラント体は埋入されていないため, IM を基準とした仮想の計測となる.

3. 埋入術式ごとの骨および軟組織の経時的定量評価

行った埋入術式により, 造成術を行わず通常埋入を行った Delayed Placement - No Augmentation 群 (以下 DP-NA 群と略す), 骨造成術を併用した Delayed Placement - Bone Augmentation 群 (以下 DP-BA 群と略す), 骨および軟組織造成術を併用した Delayed Placement - Bone and Soft Tissue Augmentation 群 (以下 DP-BSA 群と略す) に対象患者を分類し, インプラント体唇側骨および軟組織の経時的変化について群間比較を行った.

骨造成術には, 移植材料として非吸収性骨再生用材料 (Bio-Oss®, Geistlich 社, Germany) , バリアメンブレンとして吸収性組織再生用材料 (Bio-Gide®,

Geistlich 社, Germany) を, 軟組織造成術には上顎臼歯部口蓋側より採取した結合組織を, それぞれインプラント体の唇側に位置付けて使用した.

統計解析には SPSS Statistics ver.23 (日本 IBM 社, 東京) を用いた. T0 と T1 間における各計測項目の有意差検定には, Shapiro-Wilk 検定により正規性を確認した上で, paired *t* test を用い, 有意水準は $\alpha = 0.05$ とした.

実験 3. 抜歯即時埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

1. 対象

大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科にて 2012 年 2 月から 2016 年 10 月までに上顎前歯部にインプラント治療を受けた患者のうち, 抜歯当日にインプラント体埋入が行われた 22 名を対象とし, 実験 2 と同様の包含基準, 除外基準を満たした被験者 21 名を選出した. これらの被験者において T0, T1 に撮影を行った CBCT データを抽出し, 本実験の対象とした.

2. インプラント体周囲組織計測用断面の獲得方法および計測部位

使用した CBCT 装置, デジタル画像診断ソフトウェア, CBCT 撮影方法およびインプラント体周囲組織計測用断面の獲得方法は実験 2 と同様である.

PL0, PL2 における, 骨および抜歯窩の幅 (BW), 軟組織の厚さ (GW) を測

定部位に設定し、BW と GW の合計 (TW) で粘膜外形を評価した (図 5)。なお実験 2 と同様に、T0 においては IM を基準とした仮想の計測となる。

3. 埋入術式ごとの骨および軟組織の経時的定量評価

対象患者を、骨造成術を併用した Immediate Placement - Bone Augmentation 群 (以下 IP-BA 群と略す)、骨および軟組織造成術を併用した Immediate Placement - Bone and Soft tissue Augmentation 群 (以下 IP-BSA 群と略す) に分類し、埋入術式ごとのインプラント体唇側骨および軟組織の経時的変化について群間比較した。

各造成術に使用した材料、統計解析方法は実験 2 と同様である。

4. 術前の骨形態の差異による抜歯窩及び骨の経時的定量評価

対象患者を、術前の骨形態により、プラットフォームレベルで唇側に裂開状の骨欠損を認めない Intact Site 群 (以下 IS 群と略す)、骨欠損を認める Dehiscence Site 群 (以下 DS 群と略す) に対象患者を分類した。

T0 の CBCT 画像上で、PL0 での BW を骨の厚さ (BW') と抜歯窩のギャップ幅 (DW) に分けて計測を行い、BW の T0 から T1 の経時変化についてより詳細に評価を行った (図 6)。統計解析方法は実験 2 と同様である。

次に、BW の T0 から T1 の変化量 (Δ BW) と、T0 での DW, BW' および PL0 での歯肉の厚さ (GW) との相関について評価した。統計解析には SPSS Statistics ver.23 (日本 IBM 社, 東京) を用い、Pearson の相関係数により各計測部位の相関関係について評価した。有意水準は $\alpha = 0.05$ とした。

結果

実験 1. 三次元顎骨モデル重ね合わせによるインプラント体周囲組織評価法の信頼性の検討

三次元顎骨モデル重ね合わせ時に生じる誤差の大きさの平均値は、Base: 0.13 ± 0.05 (mm), Angle: 0.07 ± 0.04 (mm), Angle: 0.6 ± 0.3 (°) となった (表 2).

CBCT 画像計測の検者内信頼性については、骨 (BW), 軟組織 (GW) は PL0, PL2 とともに ICC がすべて 0.9 以上となった。また、検者間信頼性についても同様にすべての計測項目において ICC が 0.9 以上となり、CBCT 画像計測は高い検者内、検者間信頼性を有することが示された (表 3)。

実験 2. 遅延埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

対象となったインプラント体 28 本を埋入術式により分類したところ、DP-NA 群が 9 本、DP-BA 群が 10 本、DP-BSA 群が 9 本であった。各群における、男女比、平均年齢、埋入部位、埋入されたインプラント体、T0 から T1 の経過期間、T0 の BW, GW は表 4 に示すとおりである。T0 の BW は、DP-BA 群、DP-BSA 群が、DP-NA 群に比較して PL0 ($P=0.018$), PL2 ($P=0.049$) とともに有意に小さかった。その他の項目で群間に有意差は認めなかった。

BW は、当然ではあるが DP-BA 群の PL0 ($P<0.001$), PL2 ($P<0.001$), DP-BSA 群の PL0 ($P=0.001$), PL2 ($P=0.001$) で、T0 から T1 にかけて有意に増加し、DP-BA 群では PL0, PL2 において平均 1.3 mm, DP-BSA 群では PL0 において平均 1.4 mm, PL2 において平均 1.7 mm の骨 (+骨補填材) の厚さが新たに獲得されていた (表 5, 図 7).

GW は、DP-BSA 群の PL0 ($P<0.001$), PL2 ($P<0.001$) で T0 から T1 にかけて有意に増加し、PL0 において平均 1.4 mm, PL2 において平均 1.2 mm の軟組織の厚さが新たに獲得されていた (表 5, 図 7).

TW は、DP-BA 群で PL0 ($P<0.001$), PL2 ($P<0.001$), DP-BSA 群で PL0 ($P<0.001$), PL2 ($P<0.001$) とともに T0 から T1 にかけて有意に増加し、DP-BA 群では PL0 において平均 1.3 mm, PL2 において平均 1.5 mm, DP-BSA 群では PL0 において平均 2.8 mm, PL2 において平均 2.9 mm の唇側組織の厚さが新たに獲得されていた (図 7).

実験 3. 抜歯即時埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

抽出されたインプラント体 21 本を埋入術式により分類したところ、IP-BA 群が 11 本、IP-BSA 群が 10 本であった。各群における、男女比、平均年齢、埋入部位、埋入されたインプラント体、T0 から T1 の経過期間、T0 の BW, GW は

表 6 に示すとおりで、いずれの項目も群間に有意差を認めなかった。

BW は、IP-BA 群の PL0 ($P=0.028$)、IP-BSA 群の PL0 ($P<0.001$)、PL2 ($P=0.03$) で T0 から T1 にかけて有意に減少し、IP-BA 群では PL0 において平均 0.4 mm、IP-BSA 群では PL0 において平均 0.8 mm、PL2 において平均 0.3 mm 減少していた (表 7, 図 8)。

GW は、IP-BSA 群の PL0 ($P<0.001$)、PL2 ($P<0.001$) で T0 から T1 にかけて有意に増加し、PL0 において平均 1.3 mm、PL2 において平均 1.2 mm の軟組織の厚さが新たに獲得されていた (表 7, 図 8)。

TW は IP-BA 群の PL0 ($P=0.04$) で T0 から T1 にかけて有意に減少し、IP-BSA 群では PL0 ($P=0.011$)、PL2 ($P=0.01$) とともに有意に増加した (図 8)。

次に抽出されたインプラント体 21 本を術前の骨形態により分類したところ、IS 群が 10 本、DS 群が 11 本であった。各群における、男女比、平均年齢、埋入部位、埋入されたインプラント体、T0 から T1 の経過期間、T0 の BW、DW は表 8 に示すとおりである。T0 の DW は IS 群が DS 群に比べて有意に小さかったが、それ以外の項目には有意差を認めなかった。

PL0 における BW は、IS 群 ($P=0.011$)、DS 群 ($P=0.001$) とともに T0 から T1 にかけて有意に減少し、IS 群では平均 0.7 mm、DS 群では平均 0.6 mm 減少していた (表 9, 図 9)。

また、IS 群 ($r=0.733$, $P=0.016$), DS 群 ($r=0.864$, $P=0.001$) ともに \triangleleft
BW と T0 の DW との間に有意な負の相関関係を認めた (表 10).

考 察

長期的な審美性の維持が強く求められる上顎前歯部領域では、抜歯に伴う顎堤の水平的吸収を補償するため、多くの症例でインプラント体埋入に加えて造成術を併用することが必要となる。長期的なインプラント体周囲組織の安定のためには、インプラント体唇側に 1.5 mm 以上の骨が存在することが必要であると報告されており(1)、骨量が不足している多くの場合において骨造成術が併用される。それに加えて、水平的な組織の不足量を補償し、残存する天然歯列と調和した審美的結果を得ることを目的として、軟組織造成術を追加することが推奨されている(19)。

現在までにプローブやデンタルエックス線写真、さらに近年では CBCT を用いることで、インプラント体埋入後の周囲組織の経時変化を評価した研究が数多く行われてきたが(20) (21) (22)、術前から治療終了時にかけての経時変化を評価した報告はきわめて少ない。その原因として、術前後のインプラント体周囲組織の経時変化を正確に評価する手法が現在まで存在しなかったことがあげられる。プローブで直接計測を行うことで術前後の骨もしくは軟組織の評価を行った報告は存在するが(6) (11)、計測の信頼性と妥当性に劣ることや、骨と軟組織を同時に評価することができないといった問題があった。そのため埋入術式ごとにインプラント体周囲骨および軟組織がどのように変化するかについて

は、明確な見解は得られていないのが現状である。

近年インプラント治療では CBCT の普及や画像診断ソフト、CAD/CAM 等の発達により、術前診断から上部構造製作までの治療プロセスのデジタル化が進んでいる(23)(24)(25)。本研究では、CBCT データどうしの重ね合わせを行うことで、従来のインプラント体を基準とした計測方法と異なり、顎骨を基準として計測断面を設定する手法を考案した。それにより術前後の CBCT 画像を同一断面で比較し、骨および軟組織の経時変化について正確な評価を行うことが可能となった。近年進化が目覚ましいデジタル技術を、治療プロセスのみならず、行った治療結果の評価に応用することができたという点は、本研究の特色のひとつである。

本研究では実験 1 において、三次元顎骨モデル重ね合わせの精度および CBCT 画像計測の信頼性について評価を行うことで、それらがきわめて高いことを確認した。CBCT 画像計測の妥当性については先行研究により確認済みである(16)。続いて、実験 2, 3 では術前、上部構造装着時の三次元顎骨モデルの重ね合わせを行うことで、インプラント体唇側骨および軟組織の術前後の経時変化を評価した。

1. 三次元顎骨モデル重ね合わせによるインプラント体周囲組織評価法の信頼

性の検討

インプラント体周囲組織の経時変化の評価に先立ち、三次元顎骨モデル重ね合わせの精度と、CBCT 画像計測の信頼性について検討を行った。

本実験では三次元顎骨モデルの重ね合わせの精度を評価する基準としてインプラント体を用いたため、インプラント体埋入後に撮影された2つのCBCTデータを対象として抽出した。結果は三次元顎骨モデルの重ね合わせ時に、平均で0.07~0.13 mm、最大で0.25 mmの三次元的な位置ずれが生じることが示された。これらの誤差は、実験2および実験3で示されるインプラント体周囲組織の変化量と比較してきわめて小さく、重ね合わせ時の誤差が変化量の計測に及ぼす影響は小さいと判断された。

近年インプラント治療において正確な術前診断やサージカルガイドの作製を目的として、模型データとCBCTデータの重ね合わせが行われる頻度が増加している。それらの重ね合わせの精度を評価した報告では、生じた誤差は0.21~0.32 mm(26)(27)と、本研究で行ったCBCTデータの重ね合わせの数値よりも大きい値が報告されている。模型とCBCTの重ね合わせでは基準点を歯列上に設定するため、重ね合わせ時に欠損歯数やアーチファクトの影響を受けるのに対して、CBCTデータどうしの重ね合わせでは顎骨上に重ね合わせの基準点を設定することができるためそれらの影響を受けにくく、より優れた精度を有し

ていると考えられる。

CBCT 画像上で行う距離計測の信頼性の検討では、すべての計測部位で級内相関係数が 0.9 以上となり、検者内、検者間信頼性は非常に高いことが示された。CBCT は MDCT と比較してコントラスト分解能に劣り、軟組織間のようなエックス線不透過性の違いが少ない組織どうしを区別することは困難とされるが、本研究ではインプラント体と骨、骨と軟組織、軟組織と空気と、エックス線不透過性が大きく異なるものの境界を計測しているため、優れた結果が得られたと考えられる。

その他、本手法に影響を与える因子として、CBCT 画像自体の妥当性があげられる。CBCT 画像上での評価はインプラント治療において広く用いられており、その信頼性、妥当性に問題はないとされている(28)(29)が、一方で装置の種類、被写体の位置づけやモーションアーチファクトによって得られる画像の妥当性が異なるという報告も存在する(30)。本研究では、すべての対象患者に対して撮影装置および撮影条件を統一して撮影を行ったため、撮影の装置や条件の違いが及ぼす影響は考慮に入れる必要がないと考えられる。

本手法を用いてインプラント体周囲組織の計測を行うにあたっては、上記の誤差が含まれる可能性を考慮して評価する必要がある。

2. 遅延埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

抜歯後のインプラント体埋入時期については現在まで様々な分類がなされてきたが、Hammerleらにより埋入時期を Immediate Placement (Type 1), Early Placement (Type 2,3), Late Placement (Type 4) とする分類法が提案され、近年広く用いられている(31)。Type 3は抜歯後 12～16 週経過時に、臨床的もしくはエックス線学的に抜歯窩の骨が顕著に回復した部位への埋入、Type 4は抜歯後 6 か月以上経過後に完全に治癒した部位への埋入と定義されている。抜歯窩の治癒の速さについてはその初期の状態や大きさに依存すると考えられるが、抜歯後の歯槽骨幅の吸収の大部分は抜歯後 12 週以内に起こるという報告もなされており(4)、本研究では抜歯後 12 週以上経過時に CBCT 撮影が行われた患者群を遅延埋入 (Delayed Placement) 群と定義した。

対象としたインプラント体はすべてコニカルコネクション、プラットフォームシフティングを有するものとした。コニカルコネクションはアバットメントのマイクロムーブメント、マイクロギャップを減少させることで力学的に頸部骨への応力集中を分散させることが(32)(33)、プラットフォームシフティングはアバットメント連結部のマイクロギャップを内側へ移動させることで臨床的にインプラント周囲骨吸収が抑制されることが(34)(35)、それぞれ報告されており、それらを有するインプラント体を使用することは、長期的な審美性の維

持が強く要求される上顎前歯部領域において特に有効であると考えられる。

本研究で行った骨造成術では移植材料として **Bio-Oss** が、バリアメンブレンとして **Bio-Gide** がそれぞれ使用された。**Bio-Oss** はウシ海綿骨もしくは皮質骨から有機成分を除去することで得られる異種骨であり、優れた骨伝導能を有する。一般的に非吸収性に分類されるが、過去の報告においては吸収速度に差を認めても長期吸収型であることに異論はなく、**Sartori** らは術後 8 か月で 30%、20 か月で 70%が自家骨に置換したと報告している(36) (37)。本研究の T1 においても、既に **Bio-Oss** 内部に新生骨の再生が起こっていると考えられることから、CBCT 画像上で歯槽骨と移植材料を識別することは不可能であり、それらをまとめて **BW** として評価を行った。

バリアメンブレンは非吸収性と吸収性の二つに大別される。チタンメッシュをはじめとする非吸収性メンブレンは、骨欠損が大きい場合に確実なスペースメイキングが行える一方、創哆開による創傷感染と骨再生不良のリスクが高いとされている(38)。吸収性メンブレンは創哆開の際のリスクが低く、メンブレン除去のための二次手術を必要としないといった利点があり、本研究では吸収性メンブレンである **Bio-Gide** が使用された。しかしながら吸収性メンブレンは非吸収性と比較して力学的物性が弱いため、口唇の運動や外的圧力により移植材料の形態維持には不利であり、それらが最終的な骨造成量にも影響を及ぼ

す可能性が考えられる。

術前後で同一の基準で唇側組織を評価するために、評価基準としてインプラント体のプラットフォームを使用し、計測はプラットフォームレベルと、その2 mm 根尖側で行った。これは、審美的結果に強く影響を及ぼすのはより歯冠側の組織の厚さであることと、付着歯肉の範囲内で正確な軟組織の計測を行うことができる部位を評価対象とするためである。

行った埋入術式により対象患者を分類して評価を行ったが、各群の男女比、歯種、インプラント体の種類、T0 から T1 の経過期間等のベースラインデータは3群間で異なっているため、これらの因子あるいは未知の因子が結果を交絡している可能性は否定できない。これらの交絡を十分に防ぐためには、今後症例数をさらに増やした上で多変量解析等の統計解析を行うことが必要であると考えられる。

遅延埋入ではインプラント体埋入時には抜歯に伴う水平的な顎堤吸収がすでに生じており、Chen らは上顎前歯部において抜歯後治癒した顎堤は水平的に2.5 mm 吸収していると報告している(3)。そのため遅延埋入において審美的結果を得るためには、インプラント体埋入に加えて骨および軟組織造成術を併用する必要がある場合が多くみられる。

本研究において、T0 での BW は DP-BA 群、DP-BSA 群が DP-NA 群に比

較して有意に小さく、PL0においてそれぞれ平均 1.1 mm であった。これは術前に唇側の骨の厚さが不足している症例に対して骨造成術が選択されたことを示唆する結果である。T1 には PL0 において DP-BA 群で平均 2.4 mm、DP-BSA 群で平均 2.5 mm の厚さの骨が存在しており、骨造成術を併用することによりインプラント体唇側に十分な骨の厚さが獲得されたことがわかる。

骨造成術により新たに獲得された骨補填材を含む骨の厚さは、PL0 において DP-BA 群は平均 1.3 mm、DP-BSA 群は平均 1.4 mm、PL2 において DP-BA 群は平均 1.3 mm、DP-BSA 群は平均 1.7 mm となった。骨造成術により獲得される水平的な造成量については現在までいくつかの報告がなされており、3.6～5.6 mm の水平的な骨の厚さが獲得されたとの報告がみられる(5) (39)。しかしながらこれらの報告では、非吸収性メンブレンを使用して骨造成術を単独で行った症例において、術前後の骨の厚さをプローブで計測することで評価が行われており、インプラント体埋入と同時に骨造成術を行った場合の水平的な造成量について正確な評価を行った報告は本研究が初めてである。

軟組織造成術により新たに獲得された軟組織の厚さは PL0 で平均 1.4 mm、PL2 で平均 1.2 mm であった。現在までに、アジア人の口蓋粘膜の厚さは 2.0～3.7 mm であることや(40)、軟組織造成術により獲得できる軟組織の厚さについてはプローブを使用した計測により 0.92～1.40 mm であると報告されて

おり(6)(41)(42), 本研究で得られた結果もこれら従来の報告に相違しない.

DP-BA 群の PL0 においては骨造成術により平均 1.3 mm の唇側組織の厚さが獲得されたのに対して, DP-BSA 群の PL0 において骨および軟組織造成術によりそれぞれ平均 1.4 mm の唇側組織の厚さが獲得されており, その比率は 1:1 となった. それらを合計すると, 新たに獲得された唇側組織の厚さは平均 2.8 mm である. この結果は骨造成術と軟組織造成術を併用することで抜歯後の顎堤吸収を補償し, 抜歯前の粘膜外形を回復することができる可能性を示唆している.

同一部位に対して行った骨および軟組織造成術により獲得された組織量について評価を行うことで, それぞれの獲得量の比率について明らかにできたことは, 本研究の新規性であるといえる.

3. 抜歯即時埋入におけるインプラント体唇側組織の経時的定量評価

抜歯即時埋入の優位性については現在まで多数の報告がなされており, 抜歯と同時にインプラント体埋入を行うことで抜歯後の顎堤吸収が最小限に抑制され, 術前の粘膜外形を維持しやすいとされている(43). 遅延埋入では, インプラント体埋入時には抜歯に伴う顎堤吸収の大部分が完了してことを考えると, 術前の粘膜外形を可及的に維持し, 残存する天然歯列と調和のとれた審美的結

果を得るためには抜歯即時埋入が有利であると考えられる。インプラント体の生存率に関して、抜歯即時埋入は遅延埋入と遜色ない結果が得られるという報告もなされている(21)(44)。

抜歯即時埋入に骨造成術を併用することで術後の骨吸収量が抑制されることが報告されている(45)。特に上顎前歯部では天然歯唇側の歯槽骨は薄く、そのほとんどが天然歯と歯根膜を介して結合する束状骨で構成されているため、抜歯後の骨吸収を起こしやすいことが知られている(46)(47)。本実験の対象患者においてもすべてインプラント体埋入と同時に骨造成術が併用されていたため、埋入術式別にみた評価では、骨造成術を併用した IP-BA 群、骨および軟組織造成術を併用した IP-BSA 群の 2 群に分類し、BW, GW, TW について評価を行った。

しかしながら、抜歯即時埋入では T0 の計測断面に抜歯前の歯根が存在しているため、T0 と T1 の BW で計測対象が異なるという問題点がある。そのため、T0 の PL0 における BW を骨の厚さ (BW⁰)、抜歯窩のギャップ幅 (DW) にかけて計測を行うことで、それらの経時変化についてより詳細な評価を行った。

また、術前の唇側歯槽骨の形態により、プラットフォームレベルに唇側の骨が残存する症例と、プラットフォームレベルで唇側の骨に裂開状の欠損を認める症例をそれぞれ IS 群、DS 群に分類した。Chen らは、唇側の骨の裂開状の欠

損は骨造成術により再建できるが、欠損を認める症例は唇側の骨が残存する症例に比較して有意に骨吸収量が大きいと報告している(45)。そこで、本研究においても裂開状の骨欠損の有無が治療結果に及ぼす影響について検討を行った。

その結果、IS 群では、T0 の BW' は平均 1.1 mm であった。上顎前歯部の唇側歯槽骨は臼歯部に比較して薄く、0.68~1.41 mm と報告されている(46)(48)。さらに唇側歯槽骨の大部分は束状骨で形成されているため、抜歯後早期に吸収することはすでに述べた通りである(49)。本研究においても抜歯窩とインプラント体との間のギャップ内に骨補填材の填入が行われたにもかかわらず、IS 群の PL0 において平均 0.7 mm の骨吸収が生じたが、これは抜歯に伴って唇側歯槽骨がギャップ方向へ吸収することが原因のひとつとして考えられる。

DS 群においては、術前に裂開状の骨欠損が存在していたにもかかわらず、T1 にはインプラント体唇側に平均 1.8 mm 以上の十分な厚さの骨が存在していた。これは、インプラント体唇側に裂開状の骨欠損が存在する症例においても、骨補填材によりプラットフォームレベルで十分な厚さの骨が獲得されていることを示しており、抜歯即時埋入は有効である可能性が示唆された。

Δ BW と T0 における各計測項目との相関係数をみると、IS 群、DS 群ともに DW との間に強い負の相関を認めたのに対し、IS 群において BW' と Δ BW には相関を認めなかった。本研究の結果は、唇側骨の吸収量が、残存歯槽骨の厚さよ

りも、その内側に生じる抜歯窩と埋入されたインプラント体とのギャップの大きさにより影響を受けることを示している。

この抜歯即時埋入におけるギャップの大きさが治療結果に及ぼす影響については現在まで様々な議論がなされている。Chen らは抜歯窩のギャップ幅が 2 mm 以下であれば骨造成術を行わなくてもギャップ内は新生骨で満たされると報告している(50)のに対して、Araujo らは残存歯槽骨の内面から新生骨の形成は起きるが、同時に残存歯槽骨の外側からの吸収はギャップの大きさにかかわらず生じると報告している(51)(52)。本研究の結果は、抜歯窩とインプラント体との間の唇側のギャップ幅が大きくなるほど、唇側の骨吸収量が大きくなる傾向を示している。

次に軟組織についてみると、IP-BSA 群では PL0 において平均 1.3 mm、PL2 において平均 1.2 mm の軟組織が新たに獲得されており、抜歯即時埋入においても骨造成術に加えて軟組織造成術を行うことにより唇側軟組織の厚さは有意に増加することが示された。

以上の骨、軟組織の結果を踏まえて粘膜外形の経時変化をみると、IP-BA 群では BW の減少に伴い、TW は PL0 で有意に減少したのに対して、IP-BSA 群では、BW の減少量が GW の獲得量により補償され、TW は PL0、PL2 とともに有意に増加したことが明らかとなった。

以上のように，本研究では抜歯即時埋入における粘膜外形，およびその内部の骨，軟組織の術前後の経時変化について詳細な評価を行うことができた．現在まで行われてきた抜歯即時埋入の評価では，プローブにより骨，抜歯窩のギャップを直接計測することで行われたものがほとんどであり，軟組織や粘膜外形を含めた評価を行った報告は存在しなかった．本研究は，抜歯即時埋入に骨造成術を併用しても唇側骨の吸収を完全に防ぐことはできないという点で過去の報告を裏付けており，さらにその吸収量は軟組織造成術により補償され，術前の粘膜外形が維持されることを新たに示すことができた．

抜歯即時埋入ではインプラントの生存率において遅延埋入と遜色のない結果が得られるとする報告がある一方，術後の骨吸収とそれに伴う粘膜退縮が起こりやすいという報告も存在する(14)．本研究の結果より上部構造装着時においてはインプラント体唇側に十分な組織量が獲得されたことが示されたが，その後の経時変化は示されておらず，今後さらに長期的な経時変化を評価することが必要であると思われる．

結 論

三次元顎骨モデルの重ね合わせを用いることで、造成術を併用したインプラント治療における骨および軟組織の術前後の経時変化について評価を行った結果、以下の結論を得た。

1. 術前後のインプラント体唇側骨および軟組織の経時変化について、CBCT画像上で信頼性および妥当性に優れた評価を行うことが可能である。
2. 遅延埋入において、骨および軟組織造成術を併用することで唇側組織の厚さは有意に増加し、プラットフォームレベルにおいて獲得された骨および軟組織の厚さの比率はおよそ 1:1 で、合計で平均 2.8 mm の組織の厚みが獲得される。
3. 抜歯即時埋入において、骨造成術を単独で併用しても唇側の骨は抜歯窩と埋入されたインプラント体との間のギャップの大きさに比例して吸収されるが、さらに軟組織造成術を併用することでその吸収量が補償され、術前の粘膜外形が維持される。

謝 辞

稿を終えるにあたり，本研究の機会を与えていただき，御指導と御高配を賜りました大阪大学大学院歯学研究科歯科補綴学第一教室の矢谷博文教授に対し，深甚なる謝意を表します．

また，本研究の遂行にあたり，終始御懇篤なる御指導と御鞭撻を受け賜りました大阪大学大学院歯学研究科歯科補綴学第一教室の中野環助教，上中彰浩医員に心より感謝申し上げます．

最後に，本研究を行うに際し，多大なる御協力と御助言を頂いた大阪大学大学院歯学研究科歯科補綴学教室の教室員各位に厚く御礼申し上げます．

文献

1. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2005;25(2):113-9.
2. Lee A, Fu JH, Wang HL. Soft tissue biotype affects implant success. *Implant Dent.* 2011;20(3):e38-47.
3. Chen ST, Darby I. The relationship between facial bone wall defects and dimensional alterations of the ridge following flapless tooth extraction in the anterior maxilla. *Clin Oral Implants Res.* 2016.
4. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23(4):313-23.
5. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL. Horizontal ridge augmentation with a resorbable membrane and particulated autogenous bone with or without anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 22 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26(2):404-14.
6. Speroni S, Cicciu M, Maridati P, Grossi GB, Maiorana C. Clinical investigation of mucosal thickness stability after soft tissue grafting around implants: a 3-year retrospective study. *Indian J Dent Res.* 2010;21(4):474-9.
7. Nemcovsky CE, Artzi Z. Comparative study of buccal dehiscence defects in immediate, delayed, and late maxillary implant placement with collagen membranes: clinical healing between placement and second-stage surgery. *J Periodontol.* 2002;73(7):754-61.
8. Covani U, Bortolaia C, Barone A, Sbordone L. Bucco-lingual crestal bone changes after immediate and delayed implant placement. *J*

Periodontol. 2004;75(12):1605-12.

9. Gher ME, Quintero G, Assad D, Monaco E, Richardson AC. Bone grafting and guided bone regeneration for immediate dental implants in humans. *J Periodontol.* 1994;65(9):881-91.
10. Yoshino S, Kan JY, Rungcharassaeng K, Roe P, Lozada JL. Effects of connective tissue grafting on the facial gingival level following single immediate implant placement and provisionalization in the esthetic zone: a 1-year randomized controlled prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(2):432-40.
11. Iorio-Siciliano V, Marzo G, Blasi A, Cafiero C, Mignogna M, Nicolo M. Soft and hard tissue modifications at immediate transmucosal implants (with Laser-Lok microtextured collar) placed into fresh extraction sites: a 6-month prospective study with surgical reentry. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2014;34(4):541-9.
12. Mangano FG, Luongo F, Picciocchi G, Mortellaro C, Park KB, Mangano C. Soft Tissue Stability around Single Implants Inserted to Replace Maxillary Lateral Incisors: A 3D Evaluation. *Int J Dent.* 2016;2016:9393219.
13. Schneider D, Grunder U, Ender A, Hammerle CH, Jung RE. Volume gain and stability of peri-implant tissue following bone and soft tissue augmentation: 1-year results from a prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22(1):28-37.
14. Roe P, Kan JY, Rungcharassaeng K, Caruso JM, Zimmerman G, Mesquida J. Horizontal and vertical dimensional changes of peri-implant facial bone following immediate placement and provisionalization of maxillary anterior single implants: a 1-year cone beam computed tomography study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012;27(2):393-400.
15. Jung RE, Benic GI, Scherrer D, Hammerle CH. Cone beam computed tomography evaluation of regenerated buccal bone 5 years after simultaneous implant placement and guided bone regeneration

- procedures--a randomized, controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(1):28-34.
16. 上中彰浩. Cone Beam CT を用いたインプラント体周囲組織の経時的変化の検討. 博士論文. 2013.
 17. Heitz-Mayfield LJ, Huynh-Ba G. History of treated periodontitis and smoking as risks for implant therapy. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 Suppl:39-68.
 18. Nevins ML, Karimbux NY, Weber HP, Giannobile WV, Fiorellini JP. Wound healing around endosseous implants in experimental diabetes. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1998;13(5):620-9.
 19. Khoury F, Happe A. Soft tissue management in oral implantology: a review of surgical techniques for shaping an esthetic and functional peri-implant soft tissue structure. *Quintessence Int.* 2000;31(7):483-99.
 20. Cooper LF, Raes F, Reside GJ, Garriga JS, Tarrida LG, Wiltfang J, et al. Comparison of radiographic and clinical outcomes following immediate provisionalization of single-tooth dental implants placed in healed alveolar ridges and extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010;25(6):1222-32.
 21. Ross SB, Pette GA, Parker WB, Hardigan P. Gingival margin changes in maxillary anterior sites after single immediate implant placement and provisionalization: a 5-year retrospective study of 47 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(1):127-34.
 22. Kaminaka A, Nakano T, Ono S, Kato T, Yatani H. Cone-Beam Computed Tomography Evaluation of Horizontal and Vertical Dimensional Changes in Buccal Peri-Implant Alveolar Bone and Soft Tissue: A 1-Year Prospective Clinical Study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17 Suppl 2:e576-85.
 23. Meitner SW, Tallents RH. Surgical templates for prosthetically guided implant placement. *J Prosthet Dent.* 2004;92(6):569-74.
 24. Bindl A, Ritter L, Mehl A. Digital 3-D implant planning: Cerec meets

- Galileos. *Int J Comput Dent.* 2010;13(3):221-31.
25. Kolbeck C, Behr M, Rosentritt M, Handel G. Fracture force of tooth-tooth- and implant-tooth-supported all-ceramic fixed partial dentures using titanium vs. customised zirconia implant abutments. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19(10):1049-53.
 26. Rangel FA, Maal TJ, Bronkhorst EM, Breuning KH, Schols JG, Berge SJ, et al. Accuracy and reliability of a novel method for fusion of digital dental casts and Cone Beam Computed Tomography scans. *PLoS One.* 2013;8(3):e59130.
 27. Lin HH, Chiang WC, Lo LJ, Sheng-Pin Hsu S, Wang CH, Wan SY. Artifact-resistant superimposition of digital dental models and cone-beam computed tomography images. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(11):1933-47.
 28. Shiratori LN, Marotti J, Yamanouchi J, Chilvarquer I, Contin I, Tortamano-Neto P. Measurement of buccal bone volume of dental implants by means of cone-beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(7):797-804.
 29. Razavi T, Palmer RM, Davies J, Wilson R, Palmer PJ. Accuracy of measuring the cortical bone thickness adjacent to dental implants using cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(7):718-25.
 30. Nackaerts O, Maes F, Yan H, Couto Souza P, Pauwels R, Jacobs R. Analysis of intensity variability in multislice and cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2011;22(8):873-9.
 31. Hammerle CH, Chen ST, Wilson TG, Jr. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19 Suppl:26-8.
 32. Yamanishi Y, Yamaguchi S, Imazato S, Nakano T, Yatani H. Influences of implant neck design and implant-abutment joint type on peri-implant bone stress and abutment micromovement: three-dimensional

- finite element analysis. *Dent Mater.* 2012;28(11):1126-33.
33. Pessoa RS, Muraru L, Junior EM, Vaz LG, Sloten JV, Duyck J, et al. Influence of implant connection type on the biomechanical environment of immediately placed implants - CT-based nonlinear, three-dimensional finite element analysis. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2010;12(3):219-34.
 34. Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(1):9-17.
 35. Luongo R, Traini T, Guidone PC, Bianco G, Cocchetto R, Celletti R. Hard and soft tissue responses to the platform-switching technique. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2008;28(6):551-7.
 36. Berglundh T, Lindhe J. Healing around implants placed in bone defects treated with Bio-Oss. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res.* 1997;8(2):117-24.
 37. Sartori S, Silvestri M, Forni F, Icaro Cornaglia A, Tesei P, Cattaneo V. Ten-year follow-up in a maxillary sinus augmentation using anorganic bovine bone (Bio-Oss). A case report with histomorphometric evaluation. *Clin Oral Implants Res.* 2003;14(3):369-72.
 38. Simion M, Baldoni M, Rossi P, Zaffe D. A comparative study of the effectiveness of e-PTFE membranes with and without early exposure during the healing period. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1994;14(2):166-80.
 39. Hammerle CH, Jung RE, Yaman D, Lang NP. Ridge augmentation by applying bioresorbable membranes and deproteinized bovine bone mineral: a report of twelve consecutive cases. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19(1):19-25.
 40. Wara-aswapati N, Pitiphat W, Chandrapho N, Rattanayatikul C, Karimbux N. Thickness of palatal masticatory mucosa associated with age. *J Periodontol.* 2001;72(10):1407-12.

41. De Bruyckere T, Eghbali A, Younes F, De Bruyn H, Cosyn J. Horizontal stability of connective tissue grafts at the buccal aspect of single implants: a 1-year prospective case series. *J Clin Periodontol.* 2015;42(9):876-82.
42. Eghbali A, De Bruyn H, Cosyn J, Kerckaert I, Van Hoof T. Ultrasonic Assessment of Mucosal Thickness around Implants: Validity, Reproducibility, and Stability of Connective Tissue Grafts at the Buccal Aspect. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18(1):51-61.
43. Botticelli D, Berglundh T, Lindhe J. Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites. *J Clin Periodontol.* 2004;31(10):820-8.
44. Chen ST, Buser D. Clinical and esthetic outcomes of implants placed in postextraction sites. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 Suppl:186-217.
45. Chen ST, Darby IB, Adams GG, Reynolds EC. A prospective clinical study of bone augmentation techniques at immediate implants. *Clin Oral Implants Res.* 2005;16(2):176-84.
46. Ghassemian M, Nowzari H, Lajolo C, Verdugo F, Pirronti T, D'Addona A. The thickness of facial alveolar bone overlying healthy maxillary anterior teeth. *J Periodontol.* 2012;83(2):187-97.
47. Nowzari H, Molayem S, Chiu CH, Rich SK. Cone beam computed tomographic measurement of maxillary central incisors to determine prevalence of facial alveolar bone width ≥ 2 mm. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(4):595-602.
48. Lee SL, Kim HJ, Son MK, Chung CH. Anthropometric analysis of maxillary anterior buccal bone of Korean adults using cone-beam CT. *J Adv Prosthodont.* 2010;2(3):92-6.
49. Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol.* 2003;30(9):809-18.

50. Chen ST, Wilson TG, Jr., Hammerle CH. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:12-25.
51. Araujo MG, Wennstrom JL, Lindhe J. Modeling of the buccal and lingual bone walls of fresh extraction sites following implant installation. *Clin Oral Implants Res*. 2006;17(6):606-14.
52. Araujo MG, Sukekava F, Wennstrom JL, Lindhe J. Tissue modeling following implant placement in fresh extraction sockets. *Clin Oral Implants Res*. 2006;17(6):615-24.

表 1 患者の CBCT 撮影条件

Field of View (FOV)	104 cm ³ または 833 cm ³
ボクセル値	0.1 mm または 0.2 mm
管電圧	80 kVp
管電流	7 mA
撮影時間	17,000 msec

表 2 三次元顎骨モデル重ね合わせの精度評価

	平均値	標準偏差	最大値	最小値
Base (mm)	0.13	0.05	0.25	0.07
Apex (mm)	0.07	0.04	0.15	0.01
Angle (°)	0.6	0.3	1.0	0

表 3 CBCT 画像計測の検者内，検者間信頼性の検討

計測部位	検者内信頼性 ICC (n=10)	検者間信頼性 ICC (n=10)
PL0 - BW	0.997	0.956
PL0 - GW	0.995	0.908
PL2 - BW	0.997	0.987
PL2 - GW	0.992	0.966

計測部位： 図 2 参照

表 4 遅延埋入における埋入術式別にみた各群のベースライン比較

		DP-NA 群	DP-BA 群	DP-BSA 群	P 値
男女比 (人) [¶]		4:5	7:3	2:7	0.165
年齢 (歳) [§]		55.4 ± 15.3	49.6 ± 20.6	50.7 ± 16.8	0.781
部位 (本) [¶]		7:0:2 *	4:4:1 *	2:4:2 *	0.092
インプラント体 (本) [¶]		4:5 **	1:9 **	5:4 **	0.127
T0 - T1 経過期間 (月) [§]		12.6 ± 5.3	18.3 ± 6.0	18.9 ± 9.6	0.17
T0 - BW [§] (mm)	PL0	2.4 ± 1.0	1.1 ± 0.8	1.1 ± 0.8	0.018
	PL2	2.4 ± 1.1	1.6 ± 0.9	1.3 ± 0.8	0.049
T0 - GW [§] (mm)	PL0	1.7 ± 0.6	2.0 ± 0.3	1.7 ± 0.5	0.381
	PL2	2.0 ± 0.5	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.5	0.847

¶ : χ^2 test (有意水準 $\alpha=0.05$) § : ANOVA (有意水準 $\alpha=0.05$)

* 中切歯 : 側切歯 : 犬歯

** Nobel Biocare 社製 : Straumann 社製

DP : 遅延埋入

NA : 通常埋入, BA : 骨造成術併用, BSA : 骨および軟組織造成併用

PL0, PL2, BW, GW : 図 2 参照

T0 : 術前, T1 : 上部構造装着時

表 5 遅延埋入における埋入術式別にみたインプラント体唇側骨および軟組織の経時変化

DP-NA 群 (n = 9)

計測部位		T0 (mm)	T1 (mm)	P 値
PL0	BW	2.4 ± 1.0	2.1 ± 1.0	0.067
	GW	1.8 ± 0.6	1.7 ± 0.6	0.195
	TW	4.2 ± 1.1	3.9 ± 1.1	0.055
PL2	BW	2.4 ± 1.1	2.2 ± 1.1	0.081
	GW	2.0 ± 0.5	2.0 ± 0.5	0.482
	TW	4.4 ± 1.2	4.3 ± 1.2	0.065

DP-BA 群 (n = 10)

計測部位		T0 (mm)	T1 (mm)	P 値
PL0	BW	1.1 ± 0.8	2.4 ± 1.1	< 0.001
	GW	2.0 ± 0.3	2.0 ± 0.4	0.673
	TW	3.1 ± 0.8	4.4 ± 1.1	< 0.001
PL2	BW	1.6 ± 0.9	2.9 ± 1.2	< 0.001
	GW	1.9 ± 0.4	2.1 ± 0.5	0.255
	TW	3.5 ± 0.9	5.0 ± 1.2	< 0.001

DP-BSA 群 (n = 9)

計測部位		T0 (mm)	T1 (mm)	P 値
PL0	BW	1.1 ± 0.8	2.5 ± 0.6	0.001
	GW	1.7 ± 0.5	3.1 ± 0.8	< 0.001
	TW	2.8 ± 0.8	5.6 ± 1.1	< 0.001
PL2	BW	1.3 ± 0.8	3.0 ± 0.7	0.001
	GW	1.9 ± 0.5	3.1 ± 0.7	< 0.001
	TW	3.2 ± 1.0	6.1 ± 1.0	< 0.001

Paired *t* test (有意水準 α=0.05)

DP : 遅延埋入

NA : 通常埋入, BA : 骨造成術併用, BSA : 骨および軟組織造成

PL0, PL2, BW, GW : 図 2 参照

T0 : 術前, T1 : 上部構造装着時

表 6 抜歯即時埋入における埋入術式別にみた各群のベースライン比較

	IP-BA 群	IP-BSA 群	<i>P</i> 値	
男女比 (人) [¶]	5 : 6	3 : 7	0.466	
年齢 (歳) [§]	52.9 ± 21.1	46.4 ± 14.2	0.444	
部位 (本) [¶]	4 : 6 : 1 *	5 : 4 : 1 *	0.793	
インプラント体 (本) [¶]	11 : 0 **	7 : 3 **	0.09	
T0 - T1 経過期間 (月) [§]	13.5 ± 3.6	19.7 ± 9.5	0.052	
T0 - BW [§] (mm)	PL0	2.3 ± 0.9	2.8 ± 0.5	0.13
	PL2	2.1 ± 1.0	2.4 ± 0.5	0.312
T0 - GW [§] (mm)	PL0	1.4 ± 0.4	1.2 ± 0.3	0.225
	PL2	1.5 ± 0.2	1.3 ± 0.3	0.108

¶ : χ^2 test (有意水準 $\alpha=0.05$) § : Two Sample *t* test (有意水準 $\alpha=0.05$)

* 中切歯 : 側切歯 : 犬歯

** Nobel Biocare 社製 : Straumann 社製

IP : 抜歯即時埋入

BA : 骨造成術併用, BSA : 骨および軟組織造成併用

PL0, PL2, BW, GW : 図 2 参照

T0 : 術前, T1 : 上部構造装着時

表 7 抜歯即時埋入における埋入術式別にみた各群のインプラント体唇側骨および軟組織の経時変化

IP-BA 群 (n=11)

計測部位	T0 (mm)	T1 (mm)	P 値	
PL0	BW	2.3 ± 0.9	1.9 ± 0.5	0.028
	GW	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.3	0.703
	TW	3.7 ± 1.1	3.3 ± 0.6	0.04
PL2	BW	2.1 ± 1.0	2.0 ± 0.6	0.715
	GW	1.5 ± 0.2	1.6 ± 0.3	0.563
	TW	3.6 ± 1.0	3.6 ± 0.7	0.735

IP-BSA 群 (n=10)

計測部位	T0 (mm)	T1 (mm)	P 値	
PL0	BW	2.8 ± 0.5	2.0 ± 0.4	< 0.001
	GW	1.2 ± 0.3	2.5 ± 0.3	< 0.001
	TW	4.0 ± 0.5	4.5 ± 0.5	0.011
PL2	BW	2.4 ± 0.5	2.1 ± 0.4	0.03
	GW	1.3 ± 0.3	2.5 ± 0.3	< 0.001
	TW	3.7 ± 0.6	4.5 ± 0.5	0.001

Paired *t* test (有意水準 α=0.05)

IP : 抜歯即時埋入

BA : 骨造成術併用, BSA : 骨および軟組織造成

PL0, PL2, BW, GW : 図 2 参照

T0 : 術前, T1 : 上部構造装着時

表 8 抜歯即時埋入における術前の骨形態別にみた各群のベースライン比較

	IS 群	DS 群	<i>P</i> 値
男女比 (人) [¶]	4 : 6	4 : 7	0.864
年齢 (歳) [§]	46.0 ± 18.0	53.3 ± 18.1	0.781
部位 (本) [¶]	4 : 5 : 1 *	5 : 5 : 1 *	0.969
インプラント体 (本) [¶]	9 : 1 **	9 : 2 **	0.593
T0 - T1 経過期間 (月) [§]	14.6 ± 4.1	17.3 ± 9.6	0.17
T0 - BW (mm) [§]	2.7 ± 0.8	2.4 ± 0.6	0.389
T0 - DW (mm) [§]	1.6 ± 0.9	2.4 ± 0.6	0.027

¶ : χ^2 test (有意水準 $\alpha=0.05$) § : Two Sample *t* test (有意水準 $\alpha=0.05$)

* 中切歯 : 側切歯 : 犬歯

** Nobel Biocare 社製 : Straumann 社製

IS 群 : 唇側に裂開状の骨欠損を認めない

DS 群 : 唇側に裂開状の骨欠損を認める

BW, DW : 図 6 参照

T0 : 術前, T1 : 上部構造装着時

表 9 抜歯即時埋入における術前の骨形態別にみた各群のインプラント体唇側骨の経時変化

IS 群 (n=10)

	T0 (mm)	T1 (mm)	P 値
DW	1.6 ± 0.9	—	—
BW'	1.1 ± 0.5	—	—
BW	2.7 ± 0.8	2.0 ± 0.5	0.011

DS 群 (n=11)

	T0 (mm)	T1 (mm)	P 値
DW	2.4 ± 0.6	—	—
BW'	—	—	—
BW	2.4 ± 0.6	1.8 ± 0.3	0.001

IS 群：唇側に裂開状の骨欠損を認めない

DS 群：唇側に裂開状の骨欠損を認める

DW, BW', BW：図 6 参照

T0：術前, T1：上部構造装着時

表 10 抜歯即時埋入における T0 の各計測部位と BW の T0 から T1 の変化量 (△) との相関関係

	比較部位		相関係数	P 値
IS 群	DW (T0)	vs △ BW	- 0.733	0.016
	BW' (T0)	vs △ BW	- 0.207	0.567
	GW (T0)	vs △ BW	- 0.102	0.780
DS 群	DW (T0)	vs △ BW	- 0.864	0.001
	BW' (T0)	vs △ BW	- 0.041	0.905

Pearson's product moment correlation coefficient (有意水準 $\alpha=0.05$)

IS 群：唇側に裂開状の骨欠損を認めない

DS 群：唇側に裂開状の骨欠損を認める

BW, BW', DW, GW：図 5, 6 参照

T0：術前, T1：上部構造装着時

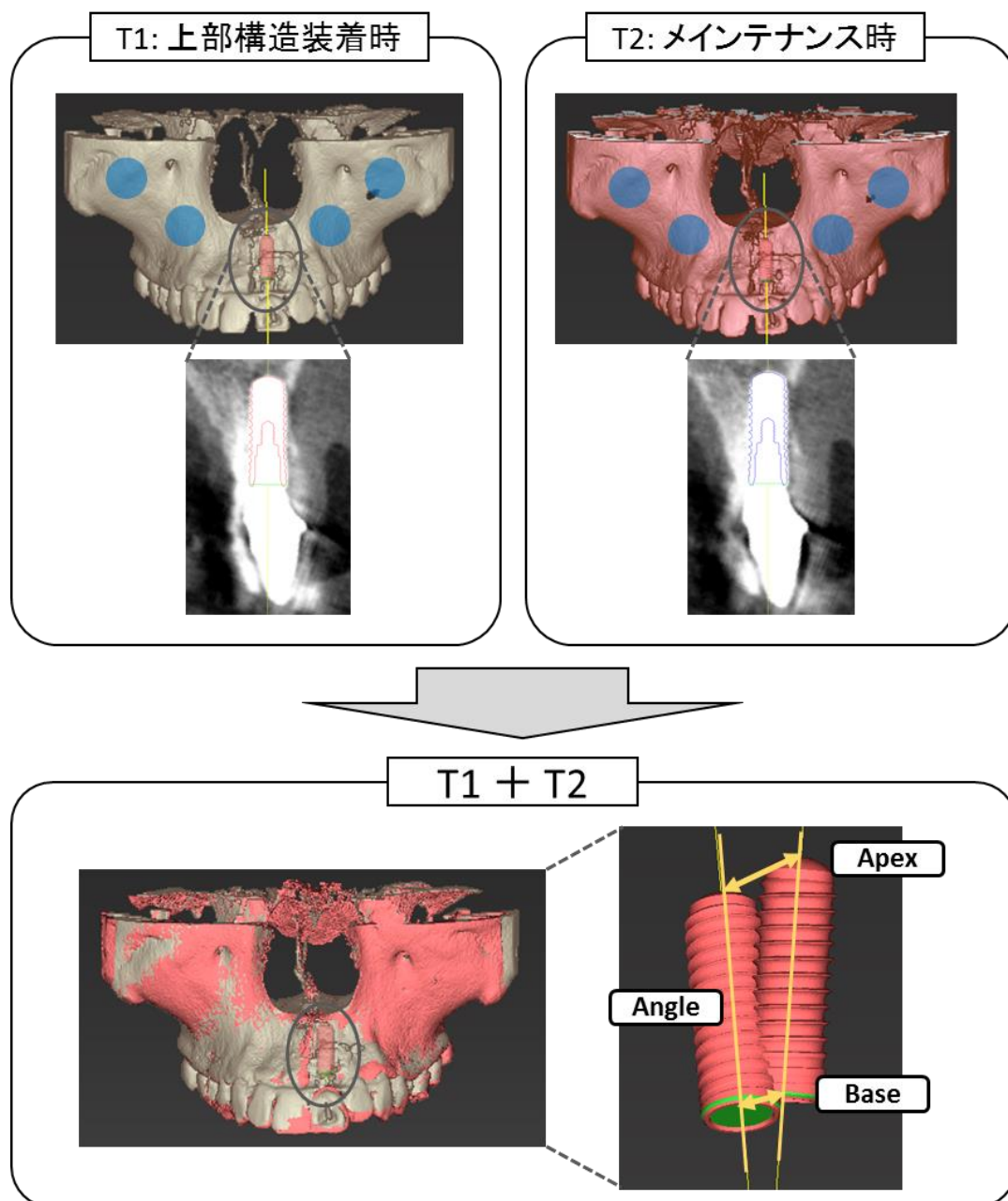


図1 三次元顎骨モデルの精度評価方法および測定部位

T1, T2 の CBCT 断面上でインプラント体に合わせてインプラントモデルを設置する。

上顎骨内で左右の眼窩下孔下部および胸骨突起に重ね合わせの基準点を設定し、T1, T2 の三次元顎骨モデルの重ね合わせを行う。

重ね合わせを行った顎骨モデル上で、IM どちらの位置関係について計測を行う。

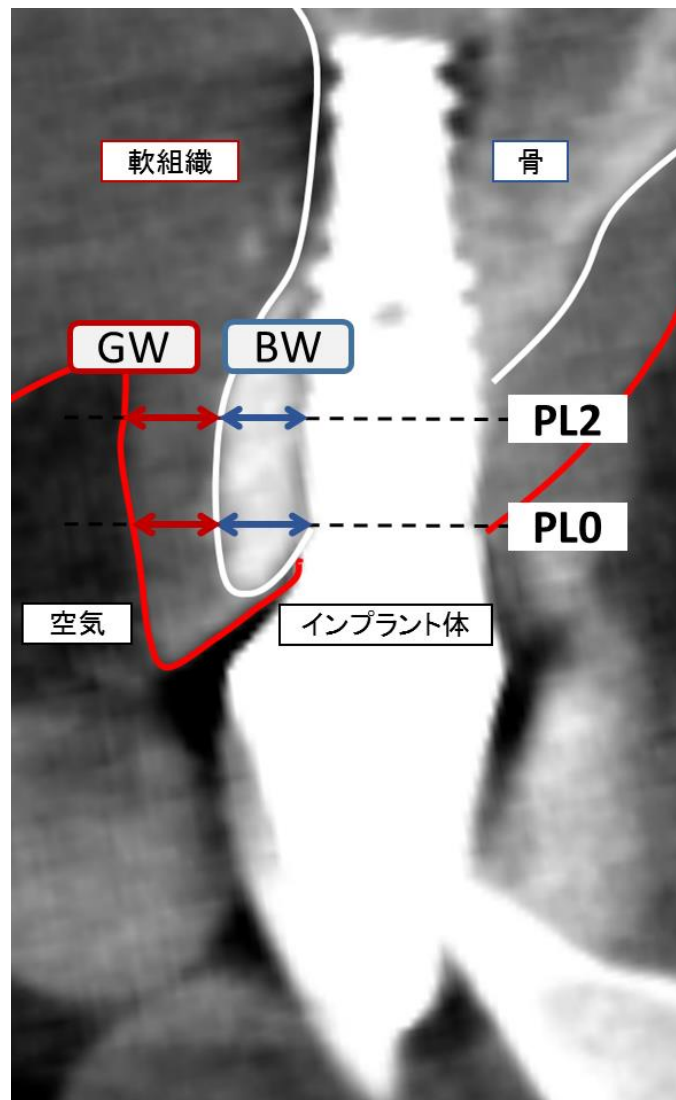


図 2 インプラント体周囲組織計測用断面および計測部位

PL0 : プラットフォームレベル

PL2 : PL0 より 2 mm 下方

BW : 骨の厚さ

GW : 軟組織の厚さ

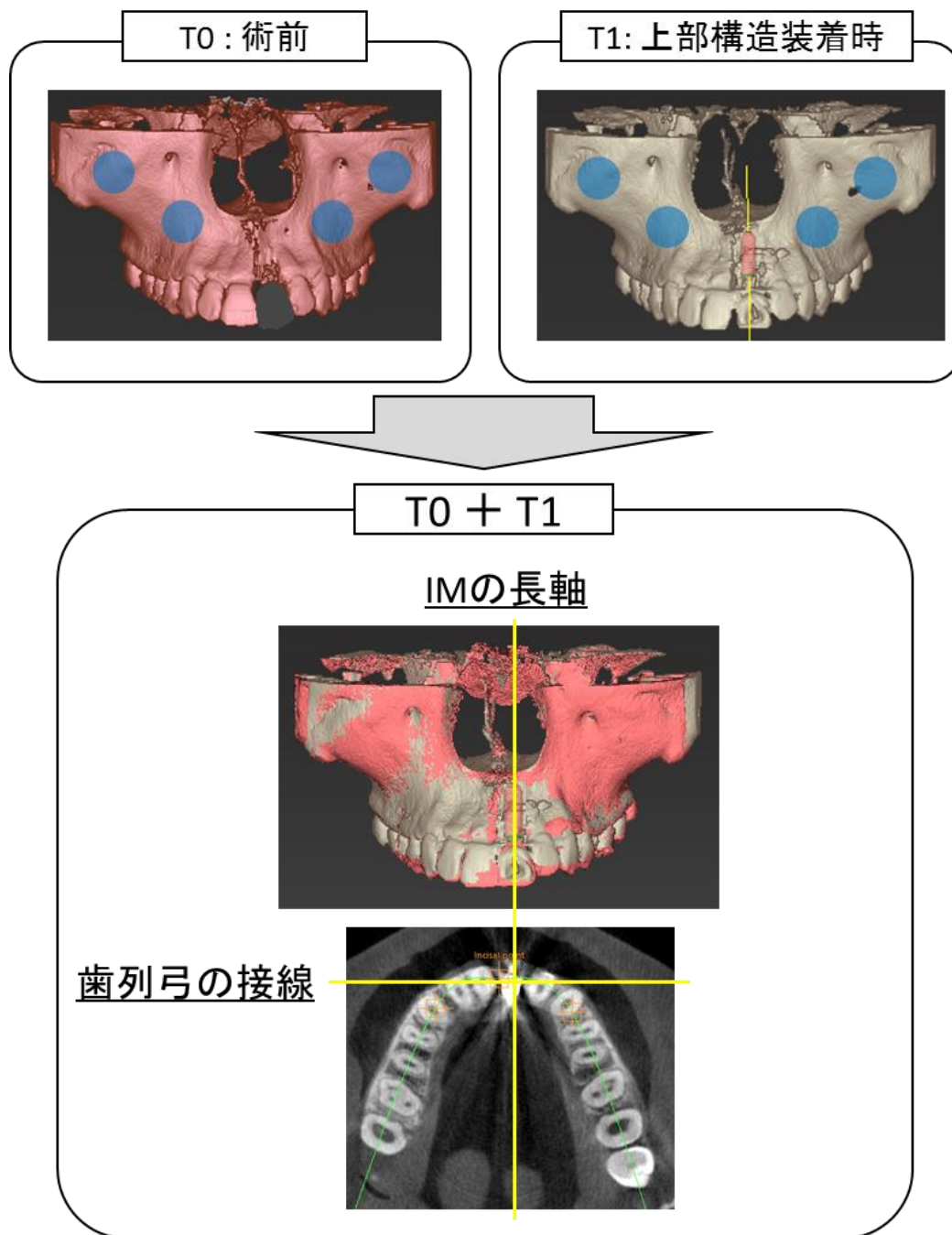


図 3 術前，上部構造装着時のインプラント体周囲組織計測用断面の獲得方法

上顎骨内で左右の眼窩下孔下部および胸骨突起に重ね合わせの基準点を設定し，T0，T1の三次元顎骨モデルの重ね合わせを行う。
 重ね合わせを行った顎骨モデル上で，IMの長軸を基準として歯列弓の接線と直交する断面を計測用の断面に設定する。

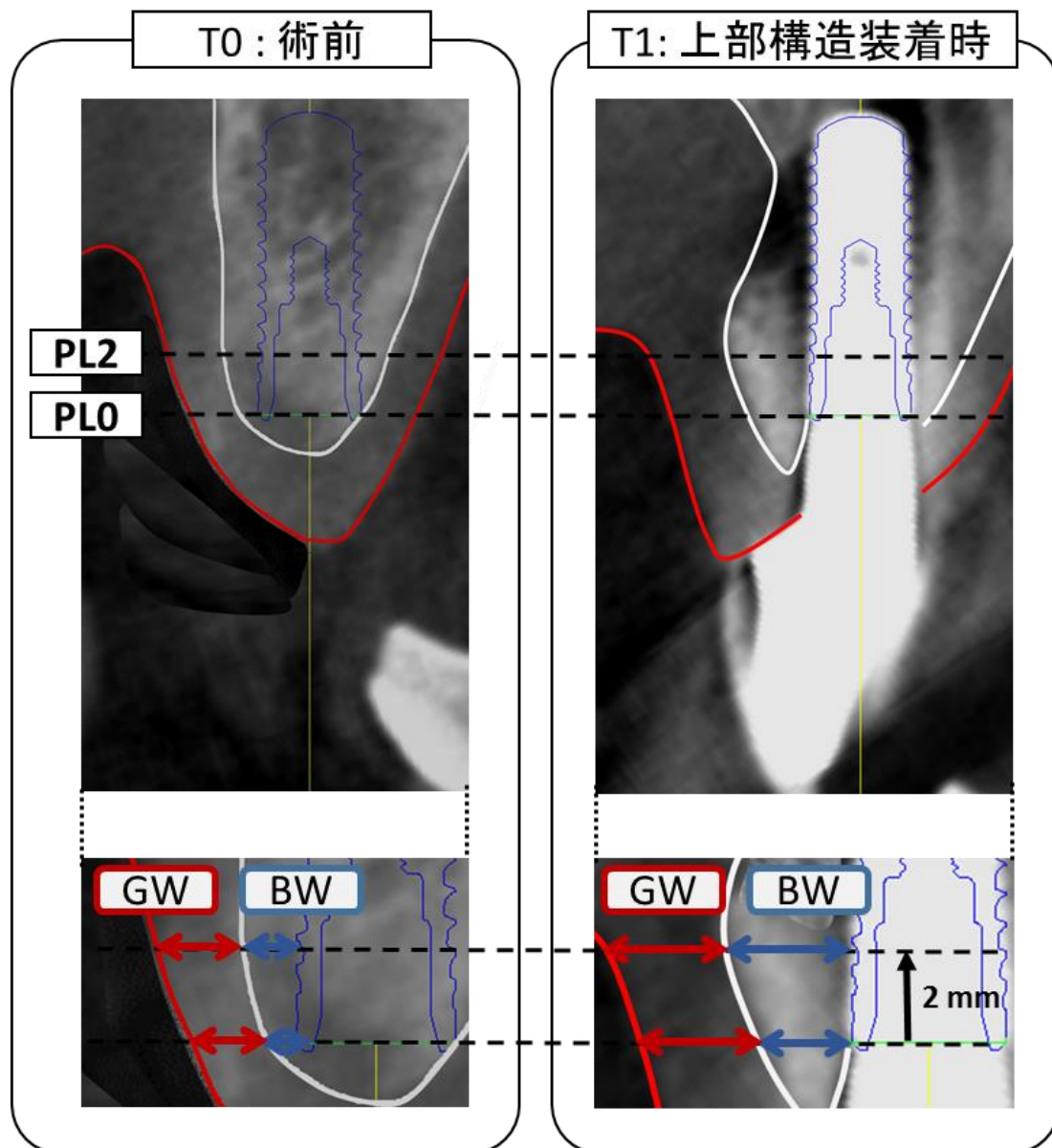


図 4 遅延埋入における術前，上部構造装着時の計測用断面および計測部位

PL0 : プラットフォームレベル

PL2 : PL0 より 2 mm 根尖側

BW : 骨の厚さ

GW : 軟組織の厚さ

TW : BW と GW の合計

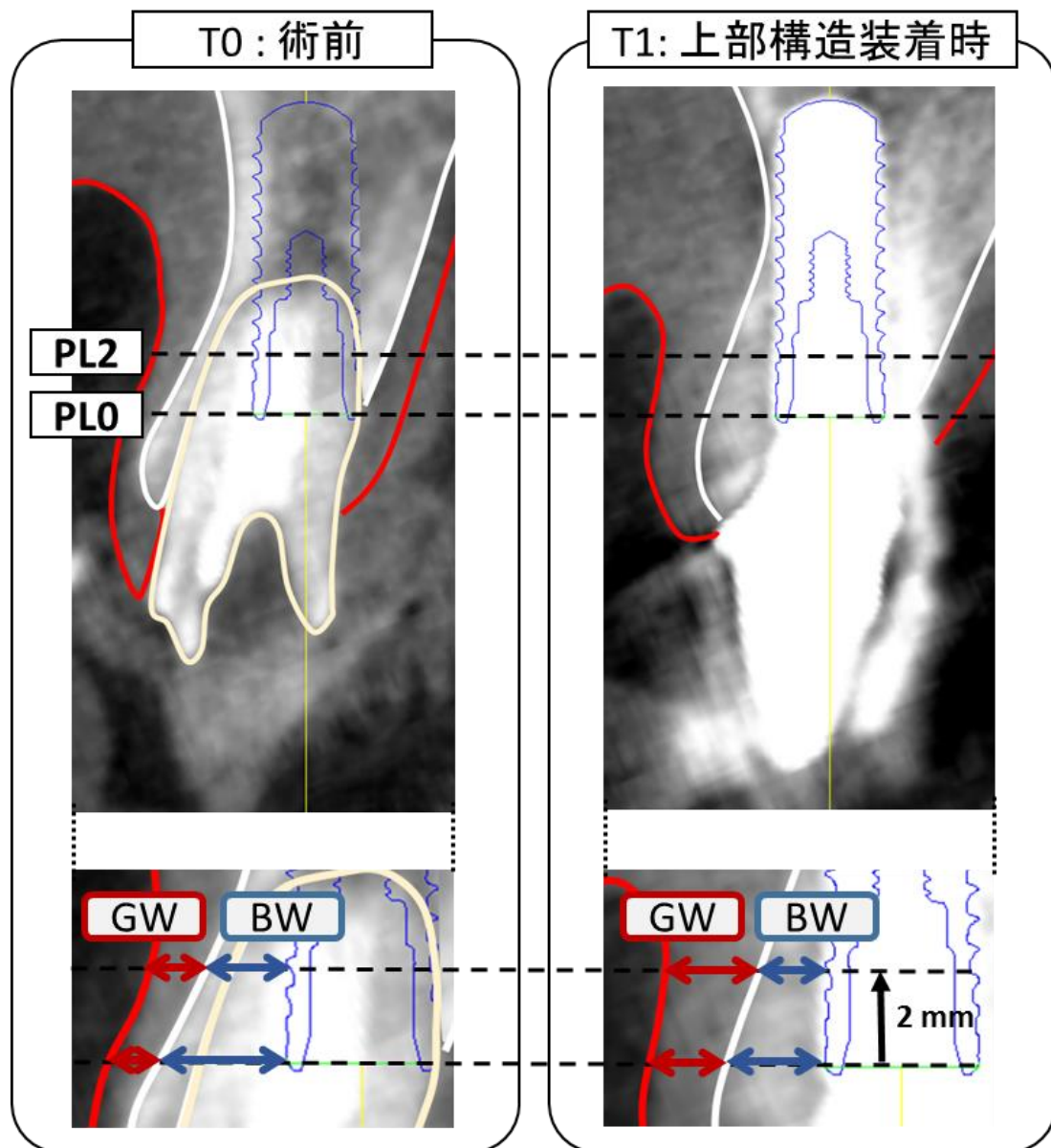


図 5 抜歯即時埋入における術前，上部構造装着時の計測用断面および計測部位

PL0 : プラットフォームレベル

PL2 : PL0 より 2 mm 根尖側

BW : 骨および抜歯窩の幅

GW : 軟組織の厚さ

TW : BW と GW の合計

T0 : 術前

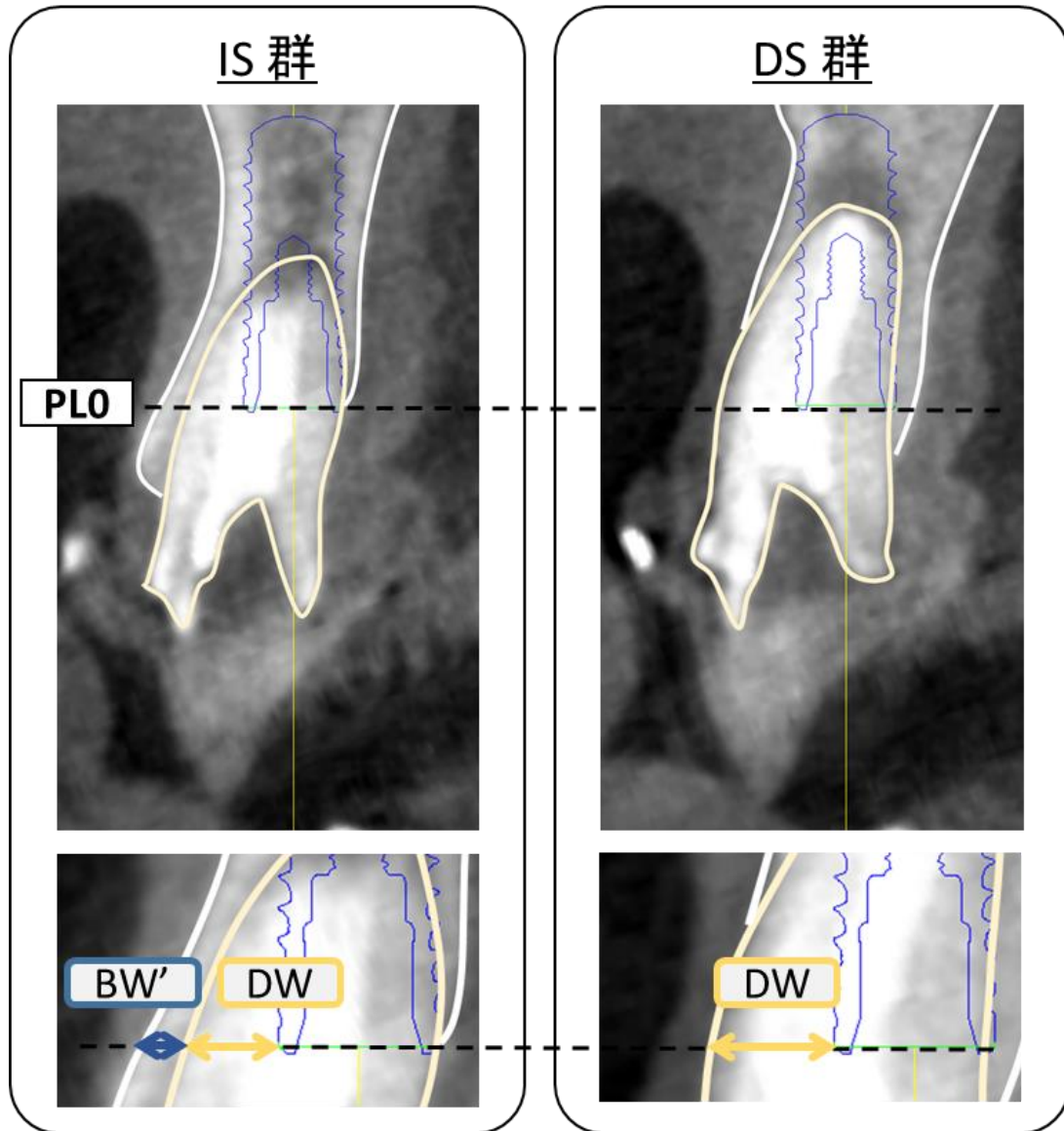


図 6 抜歯即時埋入における術前の骨形態別にみた各群の術前の計測用断面および計測部位

IS 群 : 唇側に裂開状の骨欠損を認めない

DS 群 : 唇側に裂開状の骨欠損を認める

PL0 : プラットフォームレベル

BW' : 骨の厚さ

DW : インプラント体と抜歯窩のギャップ幅

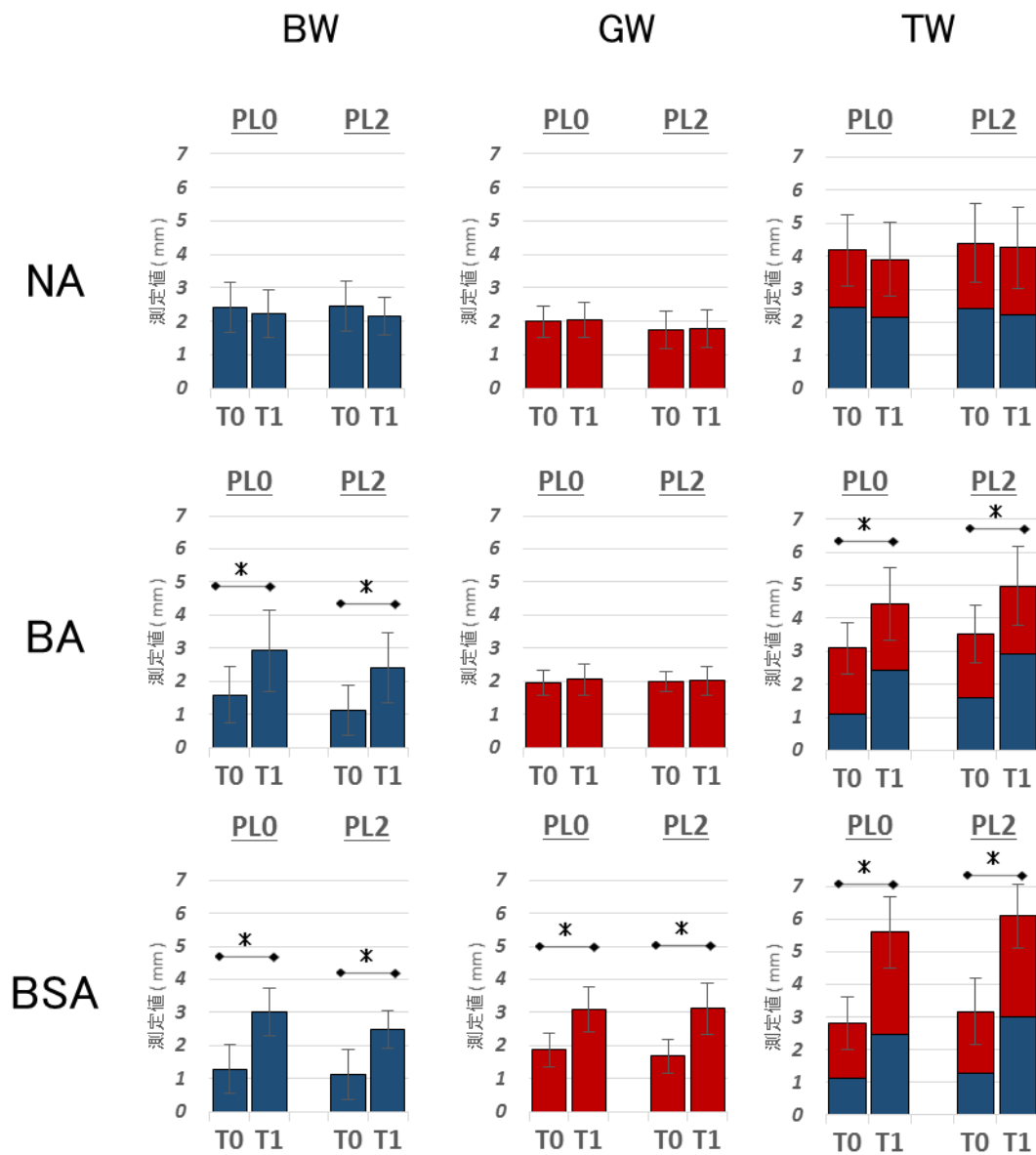


図7 遅延埋入における埋入術式別にみた各群のインプラント体唇側組織の経時変化

BW : 骨の厚さ GW : 軟組織の厚さ TW : BW+GW

NA : 通常埋入 BA : 骨造成術併用 BSA : 骨および軟組織造成術併用

PL0 : プラットフォームレベル PL2 : PL0 より 2 mm 根尖側

T0 : 術前 T1 : 上部構造装着時

Paired *t* test * : $P < 0.01$

Error bar : Standard deviation

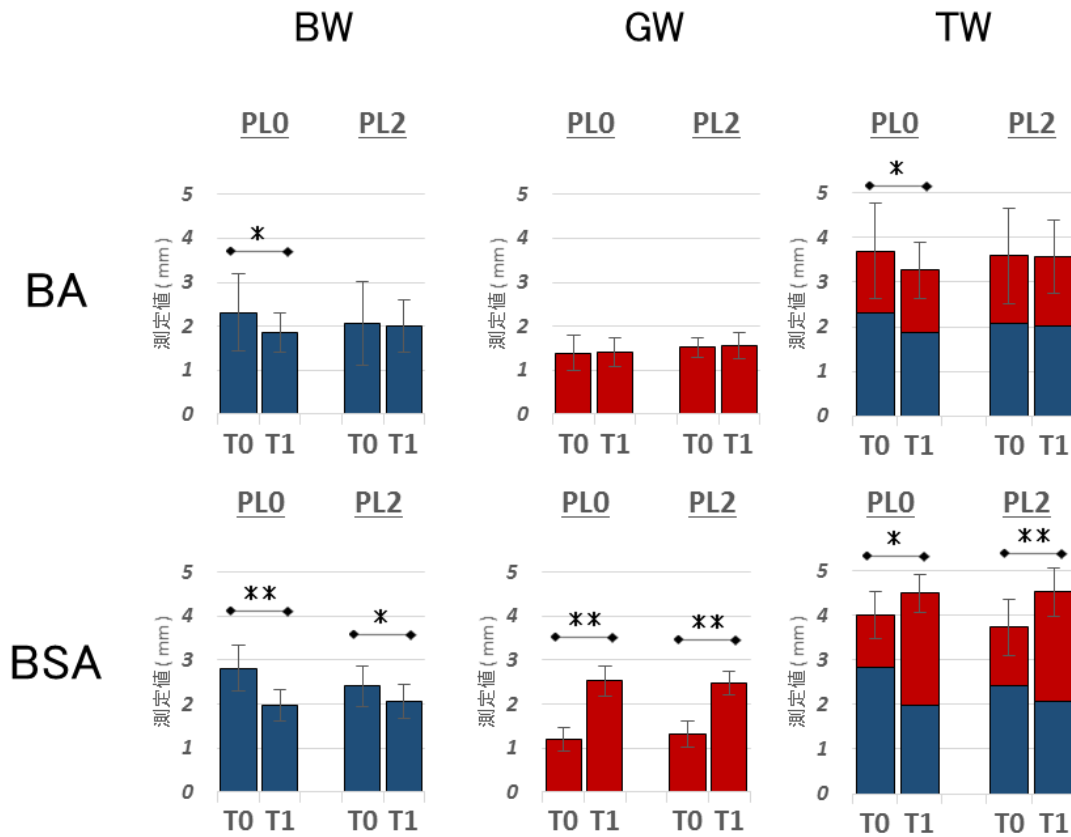


図8 抜歯即時埋入における埋入術式別にみた各群のインプラント体唇側組織の経時変化

BW：骨および抜歯窩の幅 GW：軟組織の厚さ TW：BW+GW

BA：骨造成術併用 BSA：骨および軟組織造成術併用

PL0：プラットフォームレベル PL2：PL0より2mm下方

T0：術前 T1：上部構造装着時

Paired *t* test ** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

Error bar : Standard deviation

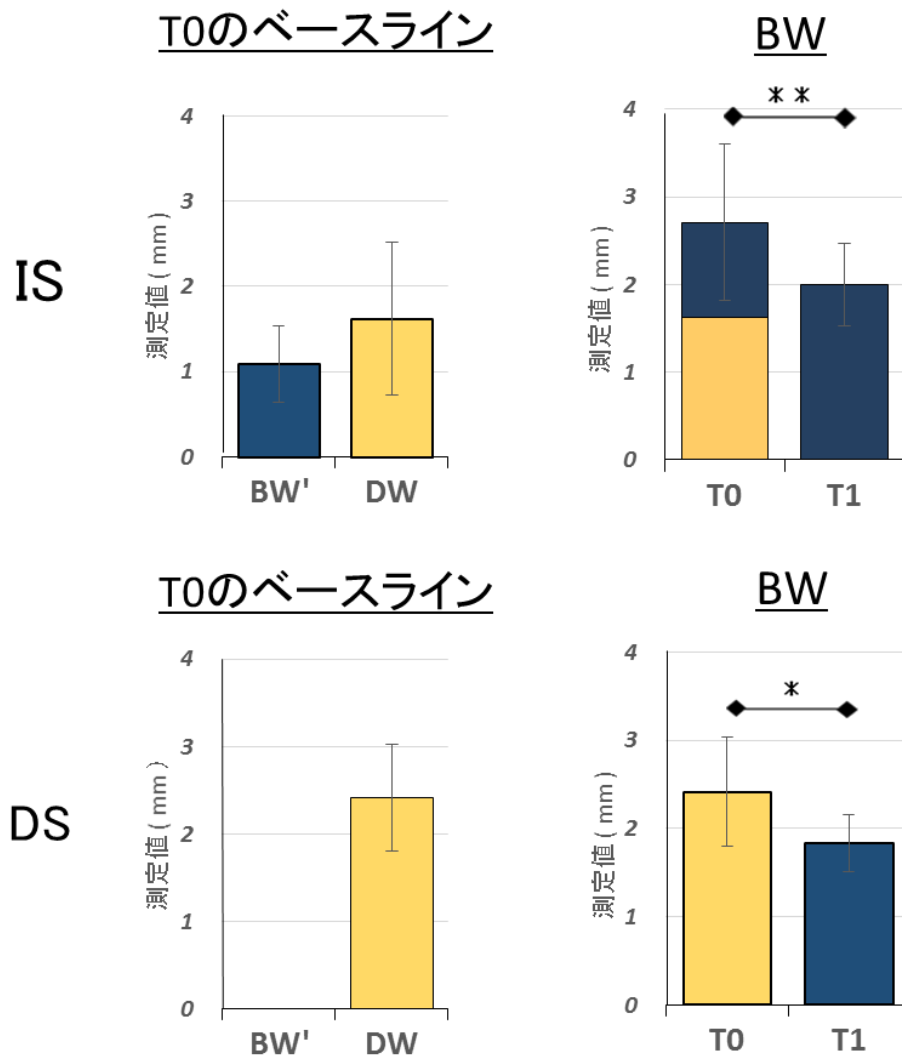


図 9 抜歯即時埋入における術前の骨形態別に見た各群のインプラント体唇側骨および抜歯窩の経時変化

BW' : 骨の厚さ DW : 抜歯窩の幅 BW : BW'+DW

IS : 唇側骨の裂開なし DS : 唇側骨の裂開あり

T0 : 術前

Paired *t* test ** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

Error bar : Standard deviation