



Title	下顎頭吸収症例に対する顎矯正手術後の下顎頭の位置 および骨微細構造特性の変化について
Author(s)	有川, 千尋
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91834
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

学位論文

下顎頭吸収症例に対する顎矯正手術後の
下顎頭の位置および骨微細構造特性の変化について

2023 年 3 月

大阪大学大学院歯学研究科 口腔科学専攻

顎口腔病因病態制御学講座

口腔外科学第一教室

有川千尋

緒言

進行性下顎頭吸収（Progressive Condylar Resorption: PCR）は進行性の下顎頭の形態吸収変化とそれに伴う著明な同部の体積減少と定義され、下顎枝高径の短縮や下顎後退などにより前歯部開咬などを呈する病態であり、特発性下顎頭吸収（Idiopathic Condylar Resorption: ICR）とも言われている。丸岡らの研究班が行った調査によると、我が国の性差は男：女＝1：10 であり、患者年齢分布は、合併疾患もなく特発的な 10 代、20 代を中心とする若年例と、50 代以降の自己免疫疾患併発例との概ね二相性の分布を示している¹。一般的に PCR の原因は不明であるといわれているが、顎矯正手術は、一期的な下顎の前方移動に伴う下顎頭への負担過重などにより PCR 発症原因の 1 つとして指摘されている一方、咬合改善により PCR の治療法の 1 つとしても挙げられており、臨床家を混乱させる一因となっている¹⁻³。

初めて術後下顎頭吸収を報告したのは Phillips らであり、1978 年下顎枝矢状分割術後の両側下顎頭吸収の症例を報告している²。他にも Moore らが、下顎の前方移動後に顎位の後戻りおよび下顎頭吸収が出現することを報告しており、そのリスク因子として、女性、20 歳代から 30 歳代、ハイアングル（オトガイ部の前方成長が乏しく下顎下縁平面角が過大である顎骨形態）、開口時痛や開口障害など術前から顎関節症状を有すること、移動量が大きいこと、また反時計回りの回転（下顎下縁平面角が減少する方向へ下顎骨が回転移動すること）などを挙げている³。さらに Cutbirth らは、下顎の前方移動を行う際、プレートよりもスク

リユーで骨片固定をした方が、より下顎頭吸収のリスクがあると報告している⁴。また上下骨切り術についても術後の下顎頭吸収の報告は複数あり、そのリスク因子として女性、上顎前突、開咬、ハイアングル、術前の下顎頭が関節窩内で後方位にあること、術前より下顎頭骨形態に異常があること、などが挙げられているが、前述のリスク因子に該当する症例において、下顎頭の術前後の位置変化について三次元的に解析した報告はない⁵⁻⁸。

当院でも上下骨切り術の症例数の増加に伴い、術後下顎頭吸収の症例も散見するようになってきた。また矯正医からの依頼より、術前より下顎頭吸収が認められる症例の顎矯正手術も行うようになってきた。過去の文献より術後の下顎頭吸収のリスク因子は、女性、20～30歳代、上顎前突、ハイアングルなどが挙げられているが、リスク因子が重複しているにも関わらず、術後下顎頭吸収の増悪や出現の有無に関して、患者間に差があることに着目した。

そこで前述のリスク因子以外にも原因があるのではないかと考え、術後の下顎頭や近位骨片の位置の変化が術後の下顎頭吸収に影響を及ぼしていないか三次元的に解析、検討することとした。また、丸岡ら「進行性下顎頭吸収の診断基準策定とその治療に関する研究」研究班は患者より採取した血液検体を解析したところ、骨粗鬆症を示唆する骨吸収マーカーである NTX（I 型コラーゲン架橋 N-テロペプチド）や DPD（デオキシピリジノリン）が高値を示し、骨軟骨代謝異常の傾向がみられると報告している¹。以上の報告から、画像上で顎矯正手術を行った症例の下顎頭の微細構造についても解析し、術後下顎頭吸収の増悪や出現の有無との関連性について検討することが重要と考えられる。

そこで本研究は、術前より下顎頭形態に異常を認めた症例および異常を認めなかった症例において上下骨切り術を行った患者に対し 1) 下顎頭の三次元的位置変化、および 2) 下顎頭部の骨微細構造特性について解析し、術後下顎頭吸収の増悪の有無との関係性を明らかにすることとした。

対象と方法

本研究は大阪大学歯学部附属病院倫理審査委員会の承認を得て行った（申請番号：R4 - E3「顎顔面手術における治療の予後に関する研究」）。

対象

当科にて 2021 年 4 月から 2022 年 3 月までに上下顎骨の顎矯正手術（Le Fort I 型骨切り術および下顎枝矢状分割術）を受けた非症候性患者は、90 名（男性 32 名，女性 58 名）であった。一般的に下顎頭吸収のリスク因子であるといわれている「女性」「上顎前突」「ハイアングル症例」に対象を限定したところ、女性 58 名のうち、上顎前突症例は 21 名、下顎前突症例は 18 名、顔面正中基準線より Me までの水平距離が 4 mm 以上であった顎偏位症例は 19 名であり、上顎前突のうち、ハイアングル [FMA 角（フランクフルト平面（FH）と下顎下縁平面（MA）がなす角） ≥ 30 度] 症例は 18 名であった。なお、Iwasawa ら⁹の報告によると、正常咬合および顔貌の一般日本人は FMA 角が中央値 27.28 ± 3.13 度であるため、本研究では 30 度以上をハイアングルとした。さらに、術前から顎関節症症状を認めた 1 名は除外した（図 1）。

それらに対し、術前、術後 1 週間および術後 6 ヶ月に Multi detector CT（以下 MDCT）を撮影し、16-bit の digital imaging and communication in medicine（以下、DICOM）ファイルとして保存された画像を元に解析した。撮影条件は 25×25 cm（LightSpeed VCT, GE Medical Systems, Japan）、ボクセルサイズは $0.48 \times 0.48 \times 0.62$ mm とした。また、術前およ

び術後 1 週間の撮影時にはサージカルスプリントを装着の上、顎間ゴムでの牽引を行ったまま撮影を行い、術後 6 か月の撮影時にはサージカルスプリントと顎間ゴムは装着せず、咬頭嵌合位にて撮影を行った。

対象のうち、術前に MDCT にて下顎頭形態に異常を認めた症例は 15 名（23 側）、正常な下顎頭形態を呈していた症例は 9 名（11 側）であった。術前に下顎頭形態に異常を認めた 15 名（23 側）のうち、術後 6 ヶ月に術後下顎頭吸収を認めたのは 13 側（右側 8 側、左側 5 側）で、全吸収群のうち大きな割合を占めた。なお、骨吸収の基準は術後に、Condylar hypoplasia（下顎頭形成不全）、Condylar hyperplasia（下顎頭過形成）、Articular surface flattening（関節面の平坦化）、Subcortical sclerosis（皮質下硬化）、Subcortical cyst（皮質下嚢胞）、Surface erosion（骨びらん）、Osteophyte（骨棘）、Generalized sclerosis（下顎頭骨硬化）、Loose joint body（緩い関節体）、Deviation in form（形態の偏差）、Body ankylosis（骨強直症）のいずれかを認めるものとし、いずれも該当しない場合を正常と判断した¹⁰。

そこで本研究は、術前に下顎頭形態の異常を認めた上顎前突ハイアングル症例の女性患者 15 名 23 側（年齢： 30.08 ± 6.05 歳、FMA 角： 39.82 ± 5.04 度）を対象とし、術後の下顎頭吸収の増悪の有無を比較した。また、術前に下顎頭形態の異常を認めなかった上顎前突ハイアングル症例の女性患者 9 名 11 側（年齢： 30.72 ± 6.87 歳、FMA 角： 36.36 ± 4.63 度）も同様に解析し、術後の下顎頭吸収の有無で比較した。対象患者の中には、術前に下顎頭形態の異常を

両側に認めていた症例、両側に認めなかった症例、片側には異常を認めていたものの反対側には異常を認めなかった症例が存在した。下顎頭 1 側を 1 個体とし、術前に下顎頭形態の異常を認めた術後吸収なし群(10 側)を【異常変化なし群】、術後吸収あり群(13 側)を【異常増悪群】、術前に下顎頭形態の異常を認めなかった術後吸収なし群(8 側)を【正常変化なし群】、術後吸収あり群(3 側)を【正常吸収群】と分類した。術前に下顎頭形態の異常を認めていた症例および認めていなかった症例についての患者背景を表 1 および表 2 に示す。両群の間に年齢、顎関節症状、手術時間、出血量、SNA 角、SNB 角などに優位な差は認められなかった(表 1、2)。

解析 1 下顎頭の位置変化の解析

1-1. 関節窩に対する下顎頭の位置変化

術前後の関節窩に対する下顎頭の位置を測定し、術後下顎頭吸収との関係性を検討した。SYNAPSE VINCENT® (富士フイルム株式会社, 東京, 日本) を用いて術前及び術後 1 週間に撮影された MDCT 画像を三次元構築し、図 2 に示すように両側の前頭切痕とブレグマの 3 点を基準に重ね合わせを行った後、下顎頭長軸の midpoint と交差する矢状断面を測定断面と設定した。図 3 に示すように、Pullinger と Hollender の測定方法¹¹を参考に、測定断面において関節結節の最下点と耳孔の最下点に対する接線 midpoint を基準点とし、45 度間隔で前後および上方の関節窩と下顎頭の距離の差を測定した。術後 6 か月の MDCT にて下顎頭吸収を認め

た吸収群と非吸収群とで術前後の測定値の偏位量を群間比較し、Student's *t*-test にて統計学的解析を行なった。

1-2. 近位骨片の三次元的位置変化

骨片固定の際に生じる近位骨片の偏位やトルクが、下顎頭吸収に関与するか検討を行うために、術前後の近位骨片の三次元的位置変化について解析した。

まずは、座標系の設定を下記の通り行った。ドルフィン 3D（ジーシーオルソリー社、東京、日本）を用いて術前及び術後 1 週間に撮影された MDCT 画像を三次元構築し、両側の前頭切痕とブレグマの 3 点を基準に重ね合わせを行った後、フランクフルト平面を水平基準面、篩骨鶏冠を通る矢状面を正中基準面と設定した（図 4）。続いて垂直軸を X 軸、水平軸を Y 軸、前後方向の軸を Z 軸と設定し、以下の部位を測定した後、吸収群と非吸収群で群間比較し、Student's *t*-test にて統計学的解析を行なった。

① Gonion（以下、Go）移動距離

上下・内外・前後の二次元距離および三次元距離を測定した。X 軸において上方方向を正の方向、Y 軸において外開き方向を正の方向、Z 軸において前方方向を正の方向とした。（図 5）。

② 下顎枝矢状角の変化量

下顎切痕と下顎下縁の術前後の角度変化を測定した。下顎切痕の最下点を通る前頭断面

にて測定した（図 6）。

③ 下顎頭長軸角の変化量

術前後の下顎頭長軸角の変化量を測定した。右側においては時計回り、左側においては反時計回りの回転を正の回転とした（図 7）。

④ 筋突起-下顎切痕の三次元的位置の変化

Jung J の測定方法を参考に術前後における筋突起-下顎切痕の三次元位置の変化を測定した¹²。筋突起の最上点（CP）と下顎切痕の最下点（SN）を通る線を基準線として設定し、それぞれ X 軸における回転（Yawing）、Z 軸における回転（Pitching）、Z 軸における回転（Rolling）の回転角度を測定した（図 8）。

解析 2 骨梁構造特性解析

骨梁とは、海綿骨内部に見られる荷重方向に従って網目状または線状の構造であり、その数や太さは骨の強度に関与している。解析 2 では、術前後の骨梁構造解析を行い術後の下顎頭吸収との関係性を検討した。

対象は解析 1 と同様、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例の骨格性Ⅱ級の女性患者 15 名 23 側としていたが、吸収群 2 名 4 側は骨梁構造が判別されず測定不可、非吸収群 2 名 4 側は術後 6 ヶ月 MDCT 未撮影のため、それらを除外し、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して【異常変化なし群】8 側・【異常増悪群】8 側、および術前に下顎頭骨形態の異

常を認めなかった症例に関して【正常変化なし群】7側・【正常吸収群】3側を研究対象とした。

術前及び術後6ヶ月のMDCT画像より骨形態計測ソフトウェアTRI/3D-BON（ラトックシステムエンジニアリング, 東京）を用いて下顎切痕の高さまで下顎頭のみを抽出した後、骨の強度に関与している骨梁の数、太さ、連結性を解析するために以下の項目を測定し、術前および術後の測定値を群間比較、Student's *t*-testにて統計学的解析を行なった。

① 骨形態計測学的指標

測定項目は、海綿骨体積密度（BV/TV）、皮質骨体積密度（Cv/Av）、骨梁幅（Tb. Th）、骨梁数（Tb. N）、骨梁間隙（Tb. Sp）とした。BV/TVは組織体積（海綿骨体積＋骨髄体積）における海綿骨体積の割合、Cv/Avは全皮質骨体積における皮質骨体積の割合、Tb. Thは平均化された海綿骨の局所的な厚み、Tb. Nは平均化された海綿骨のmm単位あたりの骨梁数、Tb. Spは海綿骨と海綿骨の間の骨髄空間の局所的な厚みである^{13, 14}。

② 三次元的骨梁構造指標

測定項目は骨パターンファクター（TBPf）および骨構造指標（SMI）とした。TBPfおよびSMIは骨梁構造を三次元的に評価する指標であり、TBPfは骨梁の凹凸、SMIは骨梁の形状を評価する。図9のような概念で算出され、例えば「TBPf>0、SMI≒4」の場合、骨梁の形状は球状を示し、いずれも値が小さくなるほど、棒状、板状、格子状と骨質は密になると判断される¹⁵。

結果

解析 1 下顎頭の位置変化の解析

1-1. 関節窩に対する下顎頭の位置変化

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、【異常変化なし群】では関節窩と下顎頭前方部との距離は術前後と比較し平均 $0.30 \pm 0.10\text{mm}$ 増加傾向にあり、上方部との距離は平均 $0.47 \pm 0.25\text{mm}$ 増加傾向にあり、後方部との距離は平均 $0.05 \pm 0.27\text{mm}$ 減少傾向にあった。

それに対し【異常増悪群】では前方部との距離は平均 $0.37 \pm 0.11\text{mm}$ 増加傾向にあり、上方部との距離は平均 $0.48 \pm 0.27\text{mm}$ 増加傾向にあり、後方部との距離は平均 $0.30 \pm 0.15\text{mm}$ 増加傾向にあった。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例において、【正常変化なし群】では関節窩と下顎頭前方部との距離は術前後と比較し平均 $0.15 \pm 0.09\text{mm}$ 増加傾向にあり、上方部との距離は平均 $0.57 \pm 0.25\text{mm}$ 増加傾向にあり、後方部との距離は平均 $0.47 \pm 0.25\text{mm}$ 増加傾向にあった。それに対し【正常吸収群】では前方部との距離は平均 $0.80 \pm 0.41\text{mm}$ 増加傾向にあり、上方部との距離は平均 $0.06 \pm 0.37\text{mm}$ 減少傾向にあり、後方部との距離は平均 $0.26 \pm 0.31\text{mm}$ 減少傾向にあった（図 10）。以上の結果より、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、術後の骨変化の有無に関わらず、関節窩に対する下顎頭の位置が後下方に変位傾向にあることが明らかとなった。しかしその差はごくわずかで有意差もなかった。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例において、【正常変化なし群】の下顎頭は関節窩に対し前下方に変位傾向にあり、【正常吸収群】の下顎頭は後方

に変位傾向にあることが明らかとなったが、これも両群に有意差は認めなかった。

1-2. 近位骨片の三次元的位置変化

① Go 移動距離

三次元距離に関して、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において【異常変化なし群】では平均 $3.68 \pm 0.57\text{mm}$ 、【異常増悪群】では平均 $3.48 \pm 0.41\text{mm}$ となり、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例において【正常変化なし群】では平均 $3.85 \pm 0.74\text{mm}$ 、【正常吸収群】では平均 $6.7 \pm 2.05\text{mm}$ となり、いずれも有意な差は認めなかった。しかし、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、Y 軸において【異常変化なし群】では平均 $1.68 \pm 0.52\text{mm}$ 、【異常増悪群】では平均 $-0.23 \pm 0.51\text{mm}$ と前者は正の値、後者は負の値を示し有意な差を認めた ($p < 0.05$)。以上の結果より、Go は術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、【異常変化なし群】は外側へ、【異常増悪群】は内側へ変位していることが明らかとなった (図 11)。

② 下顎枝矢状角の変化量

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、【異常変化なし群】は平均 3.85 ± 0.84 度、【異常増悪群】では平均 0.56 ± 1.11 度と有意な差を認めた ($p < 0.05$)。術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、【異常増悪群】と比較し【異常変化なし群】では、下顎切痕を中心に下顎下縁が大きく外側へ変位していることが明らかとなった (図 12)。

③ 下顎頭長軸角の変化量

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において【異常変化なし群】は平均 0.10 ± 1.48 度とほぼ角度変化を認めず、【異常増悪群】は平均 1.46 ± 1.79 度と角度の増加を認めた。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例において【正常変化なし群】は平均 0.85 ± 1.63 度、【正常吸収群】は平均 0.43 ± 2.78 度と角度の増加を認めた。いずれも有意な差は認めなかった。以上の結果より、下顎頭が右側は時計回り、左側は反時計回りの回転傾向にあることを示した (図 13)。

④ 筋突起-下顎切痕の三次元的位置の変化

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、Yawing において【異常変化なし群】では平均 -2.81 ± 0.82 度、【異常増悪群】では平均 1.16 ± 1.28 度と、【異常変化なし群】は負の回転、【異常増悪群】は正の回転を示し有意な差を認めた ($p < 0.05$)。Rolling においては【異常変化なし群】では平均 -2.24 ± 1.24 度、【異常増悪群】では平均 3.49 ± 2.35 度と前者は負の回転、後者は正の回転を示し有意な差を認めた ($p < 0.05$)。以上の結果より、X 軸を中心に【異常変化なし群】は内側へ、【異常増悪群】は外側へ変位しており、Z 軸を中心に【異常変化なし群】は内側へ、【異常増悪群】は外側へ変位していることが明らかとなった (図 14)。

また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例に関して、Pitching において【正常変化なし群】では平均 2.68 ± 0.77 度、【正常吸収群】では平均 6.73 ± 0.94 度と有意な差を

認めた ($p<0.05$)。以上の結果より、前者と比較し後者は近位骨片が大きく反時計回りの回転していることが明らかとなった (図 15)。

解析 2 骨梁構造特性解析

① 骨形態計測学的指標

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例・認めなかった症例いずれにおいても、非吸収群と比較し吸収群の下顎頭における海綿骨体積密度 (BV/TV) は高値を示し、特に術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、術前において【異常変化なし群】は平均 $21.79 \pm 2.92\%$ 、【異常増悪群】は平均 $38.80 \pm 6.24\%$ と有意な差を認めた ($p<0.05$)。また、術後においても【異常変化なし群】は平均 $20.80 \pm 4.04\%$ 、【異常増悪群】は平均 $46.65 \pm 7.82\%$ と有意な差を認め ($p<0.05$)、【異常増悪群】の平均値は術後に増加した (図 16)。術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例・認めなかった症例いずれにおいても、非吸収群と比較し吸収群において、骨梁幅 (Tb. Th) は太く、骨梁数 (Tb. N) は多く、骨梁間隙 (Tb. Sp) は狭い傾向にあった。特に、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において術後、骨梁幅 (Tb. Th) に関して【異常変化なし群】は平均 $539.14 \pm 51.31 \mu\text{m}$ 、【異常増悪群】は平均 $833.92 \pm 62.03 \mu\text{m}$ と有意な差を認めた ($p<0.05$)。骨梁数 (Tb. N) に関しても【異常変化なし群】は平均 $0.33 \pm 0.05/\text{mm}$ 、【異常増悪群】は平均 $0.55 \pm 0.08/\text{mm}$ と有意な差を認めた ($p<0.05$)。以上の結果より、【異常変化なし群】と比較し【異常増悪群】は、術後に骨梁幅 (Tb. Th) が太く骨

梁数(Tb. N)が多くなり、骨梁間隙(Tb. Sp)が狭くなる結果となった(図 17)。

② 三次元的骨梁構造指標

TBPf に関して、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例では、術前において【異常変化なし群】は平均 0.33 ± 0.12 、【異常増悪群】は平均 0.37 ± 0.16 、術後において【異常変化なし群】は平均 0.54 ± 0.16 、【異常増悪群】は平均 0.11 ± 0.17 となった。術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例では、術前において【正常変化なし群】は平均 0.57 ± 0.42 、【正常吸収群】は平均 0.28 ± 0.69 、術後において【正常変化なし群】は平均 0.43 ± 0.26 、【正常吸収群】は平均 -0.10 ± 0.63 となった。また、SMI に関して、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例では、術前において【異常変化なし群】は平均 2.61 ± 0.08 、【異常増悪群】は平均 2.75 ± 0.11 、術後において【異常変化なし群】は平均 2.63 ± 0.07 、【異常増悪群】は平均 2.83 ± 0.14 となった。術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例では、術前において【正常変化なし群】は平均 2.41 ± 0.10 、【正常吸収群】は平均 2.90 ± 0.16 、術後において【正常変化なし群】は平均 2.58 ± 0.12 、【正常吸収群】は平均 2.58 ± 0.16 となった。以上の結果より、術前および術後において【正常吸収群】の骨梁構造は格子状から棒状の形態であることが示唆され、【異常変化なし群】、【異常増悪群】、【正常変化なし群】においては板状から棒状の形態であることが示唆された(図 18)。

考察

本研究では、術前より下顎頭形態の異常を認め上下骨切り術を行った症例に対し、術後下顎頭吸収を引き起こす原因を探るために、1) 下顎頭の位置変化、および 2) 下顎頭部の骨微細構造特性について解析し、術後の下顎頭吸収との関係性を検索した。解析は、当院の症例で下顎頭吸収が多く認められた女性の上顎前突かつハイアングルに限定しておこなったため、対象患者数は少なくなったが、より細かい解析が可能となった。各解析結果に対する考察を以下に述べる。

解析 1 下顎頭の位置変化の解析

Chen らは、下顎前方移動術を受けた患者を対象に術前および術後 3～5 日に CBCT 撮影を行い、関節窩に対する下顎頭位置の測定を行ったところ、下顎頭が吸収した症例では術直後に下顎頭が後下方へ変位したと報告しているが、本研究の結果では術後の骨変化別の両群に有意差はなく、過去の報告と異なる結果となった¹⁶。彼らは術後の下顎頭の原因として、術中操作の影響で顎関節内浮腫が生じ、下顎頭位置が後下方へ変位する可能性を述べているが、本研究の症例では手術時間や出血量に有意差はなく、両群に浮腫による差はなかったものと思われる。

それに対し骨片固定の際に生じる近位骨片の偏位やトルクが、下顎頭吸収に関与するか検討を行うために、術前後の近位骨片の三次元的位置変化について解析したところ、図 19 に

示す通り、術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、水平断においては下顎切痕を中心に【異常変化なし群】は内側へ、【異常増悪群】は外側へ近位骨片前縁が変位し、前頭断においては下顎切痕を中心に【異常変化なし群】は内側へ、【異常増悪群】は外側へ近位骨片下縁が変位することが明らかとなった。すなわち、【異常増悪群】の下顎頭は内側に変位傾向にあるということである。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例に関して、【正常変化なし群】と比較し【正常吸収群】では、近位骨片は大きく反時計回りの回転をしていることが明らかとなった。骨片固定において、近位骨片の反時計回りの回転、特に関節突起頸部が後方へ傾く方向の回転は、下顎頭吸収の危険因子と考えられている¹⁷。本研究においても術前に下顎頭形態に異常を認めなかった症例では、【正常吸収群】に反時計回りの回転を示し、危険因子に当てはまる結果となった。

上顎前突症例は、もともと下顎前突症例と比較して下顎頭が小さい¹⁸。つまり、上顎前突症例で特に術前から骨形態に異常（吸収）を認めた症例は、下顎頭が小さいために関節窩に對してより遊びが多く、関節窩内での位置が不安定となる傾向にある。よって術中に下顎の中心位が取りにくいために、関節窩内での下顎頭の位置が変化しやすく、術後に下顎頭の吸収を生じる可能性が示唆された。

また上顎前突症例では、図 20 に示すように遠位骨片が前方移動する際、骨片干渉が生じやすく、骨片干渉が生じると干渉部位を中心に近位骨片前縁は外側へ変位、下顎頭は内側へ変位する。【異常変化なし群】では適切な中心位への誘導により下顎頭の内側変位は修正され

たが、【異常増悪群】の下顎頭は適切な位置へ修正できず、下顎頭吸収を生じた可能性が示唆される。ちなみに当院では、術中に下顎頭を中心位へ誘導する際、簡易法を用いており、徒手にて近位骨片を関節窩内の後上方に誘導したのち、マーキングした下顎枝前縁と上顎第一大臼歯の buccal tube との距離および方向が骨切り前と同じになるように調整している¹⁹。

解析 2 骨梁構造特性解析

解析 2 では、術前後の骨梁構造解析を行い、術後の下顎頭吸収との関係性を検討した。結果より、【異常増悪群】は【異常変化なし群】に比べて術前から下顎頭の海綿骨体積密度（海綿骨体積/組織体積）が高く、術後はさらにその傾向が高くなることが明らかとなった。また、骨梁幅および骨梁数も術後は有意に増大し、海綿骨体積密度の増加と一致した。それに対し、術前に下顎頭の形態異常を認めなかった【正常変化なし群】および【正常吸収群】では、いずれの検討項目においても有意差は認めなかったが、【正常吸収群】に骨の緻密化が進んでいるという傾向は認められた。

慢性骨髄炎では、骨硬化部位に骨梁の骨質が密に増生、骨髄腔は矮小化されることが分かっている²⁰。【異常増悪群】の下顎頭も同様に骨梁の骨質が密に増生、骨髄腔は矮小化されることから、慢性骨髄炎と類似して血行不良となっている可能性が考えられた。つまり、【異常増悪群】の下顎頭は、術前より骨吸収の前段階である骨の緻密化が起こっており、術後わ

ずかな位置の変化にも反応し、下顎頭に負荷がかかることにより下顎頭吸収を惹起する可能性がある。それに対し【異常変化なし群】では、骨の緻密化がもともと著明ではなく、下顎頭吸収が起こりにくい可能性が示唆された。また、丸岡らは PCR 症例では骨軟骨代謝異常が認められたと報告しており、本研究の結果もそれに関連している可能性はある¹。

以上より、術後の下顎頭吸収の予防策として、干渉部位をよく観察・調整し、下顎頭を関節窩内の適切な位置に誘導することが重要であることが示唆された。しかし、上顎前突症例では図 21 で示すように後方に骨片干渉が生じ、下顎前突症例と比較して口腔内の小さな術野では目視困難であることから干渉部位の特定が困難である。また、術前にすでに下顎頭形態の異常を認める症例は、関節窩に対して下顎頭が小さく位置が不安定で中心位への誘導の難易度も上がるため、術後下顎頭吸収の発症に対して不利なことが予想された。

下顎頭を関節窩内の適切な位置に誘導するための具体的な対策の 1 つとして、下顎枝矢状分割術における内側骨切りを Obwegeser 原法や Dal Pont 法でみられる下顎枝後縁まで及ぶ骨切り線ではなく、Hunsuck と Simpson が有用性を報告した、内側骨切りを下顎小舌後方部までに留める Short lingual osteotomy を選択する方法が挙げられる^{21,22}。この方法では干渉部位は前方寄りになるため、比較的容易に目視が可能となる。また、Obwegeser osteotomy を行った場合、図 22 に示す通り内側翼突筋は遠位骨片に付着するので、骨片移動に伴って内側翼突筋の伸展が起こり、後戻りの原因となるが、Short lingual osteotomy を行った場

合は、内側翼突筋は近位骨片に付着しているため、内側翼突筋に引っ張られて遠位骨片の後戻りを防止することが可能となる。これらより当科においても Short lingual osteotomy が積極的に取り入れられている。しかし、Short lingual osteotomy においても注意点がある。それは、近位骨片の粘膜骨膜弁の剥離を最小限にとどめておかなければ、近位骨片に付着している筋肉や腱膜を剥がしてしまい、下顎頭の垂れ下がり、所謂“Condylar Sag”が生じてしまうということである。付着組織が少なくなった近位骨片は容易に可動し、小さい下顎頭では中心位への誘導が困難となる。

さらに術後の下顎頭吸収の予防策の 2 つ目として、治療開始前に MDCT 撮影を行い、既に下顎頭形態の異常や骨硬化が認められる場合は、患者に対し、事前に術後の下顎頭吸収のリスクの説明を十分に行うこと、外科的矯正治療についてボーダーラインとなる患者には、矯正単独でのカモフラージュ治療など手術を回避する選択肢を提案することも必要かと考えられる。

結論

女性の上顎前突ハイアングル症例では、術前より下顎頭には骨の緻密化が生じている傾向にあり、術後に下顎頭骨吸収を引き起こしやすいと推察される。骨微細構造特性の観点から、関節に負荷をかけないように手術の際に留意する必要があると確認された。また、術中の骨片干渉による関節窩内での下顎頭の内側への変位が新たな危険因子であると確認された。

謝辞

本稿を終えるにあたり、本研究を行う機会を与えて頂き、終始御懇切なる御指導、御鞭撻を受け賜りました大阪大学大学院歯学研究科顎口腔病因病態制御学講座（口腔外科学第一教室）田中晋教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究の立案ならび進行にあたり、終始御教示、御指導いただきました大阪大学大学院歯学研究科顎口腔病因病態制御学講座（口腔外科学第一教室）磯村恵美子准教授に深甚なる謝意を表します。

最後に本研究の円滑な進展のため、特別な御配慮、御協力を頂きました大阪大学大学院歯学研究科顎口腔病因病態制御学講座（口腔外科学第一教室）横田祐介助教、宮川晃和助教、関壮樹助教、原田計眞先生、山田早織先生、松下豊先生ならびに教室員諸兄に深甚なる謝意を表します。

参考文献

1. 丸岡豊. 総括研究報告書: 難治性疾患克服研究事業「進行性下顎頭吸収の診断基準策定とその治療に関する研究」(H22-難治-一般-157)
2. R M Phillips, W H Bell. Atrophy of mandibular condyles after sagittal ramus split osteotomy: report of case. *J Oral Surg.* 1978; 36(1):45-9.
3. Moore KE, Gooris PJ, Stoelinga PJ. The contributing role of condylar resorption to skeletal relapse following mandibular advancement surgery: report of five cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 1991;49(5):448-60.
4. Cutbirth M, Van Sickels JE, Thrash WJ. Condylar resorption after bicortical screw fixation of mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 1998;56(2):178-82; discussion 183.
5. He Z, Ji H, Du W, Xu C, Luo E. Management of condylar resorption before or after orthognathic surgery:A systematic review.*J Craniomaxillofac Surg.* 2019;47(7):1007-1014.
6. Y L Huang, M A Pogrel, L B Kaban. Diagnosis and management of condylar resorption. *J Oral Maxillofac Surg.* 1997;55(2):114-9; discussion 119-20.
7. Soon-Jung Hwang, Piet E Haers, Burkhardt Seifert, Hermann FSailer. Non-surgical risk factors for condylar resorption after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2004; 32, 103-111
8. Bilodeau JE. Retreatment of a patient who presented with condylar resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(1):89-97.
9. Iwasawa T, Moro T, Nakamura K. Tweed triangle and soft-tissue consideration of Japanese with normal occlusion and good facial profile. *Am J Orthod.* 1977;72(2):119-27.
10. Ahmad M, Hollender L, Anderson Q, Kartha K, Ohrbach R, Truelove EL, John MT, Schiffman EL. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders

(RDC/TMD): development of image analysis criteria and examiner reliability for image analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009 ;107(6):844-60.

11. Pullinger A, Hollender L. Variation in condyle-fossa relationships according to different methods of evaluation in tomograms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986;62(6):719-27.
12. Jung J, Kim JH, Lee JW, Ohe JY, Choi BJ. Three-dimensional volumetric analysis of condylar head and glenoid cavity after mandibular advancement. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018;46(9):1470-1475.
13. Parfitt AM, Drezner MK, Glorieux FH, Kanis JA, Malluche H, Meunier PJ, Ott SM, Recker RR. Bone histomorphometry: standardization of nomenclature, symbols, and units. Report of the ASBMR Histomorphometry Nomenclature Committee. *J Bone Miner Res.* 1987;2(6):595-610.
14. 田中伸哉, 他; 骨の組織学的形態計測法における日本語用語 (2014 年改訂追補版). 日骨形態誌. 2015;25, 1-8.
15. Hahn M, Vogel M, Pompesius-Kempa M, Delling G. Trabecular bone pattern factor—a new parameter for simple quantification of bone microarchitecture. *Bone.* 1992;13(4):327-30.
16. Chen S, Lei J, Wang X, Fu KY, Farzad P, Yi B. Short- and long-term changes of condylar position after bilateral sagittal split ramus osteotomy for mandibular advancement in combination with Le Fort I osteotomy evaluated by cone-beam computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(11):1956-66.
17. Hwang SJ, Haers PE, Sailer HF. The role of a posteriorly inclined condylar neck in condylar resorption after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2000;28(2):85-90.
18. Hasebe A, Yamaguchi T, Nakawaki T, Hikita Y, Katayama K, Maki K. Comparison of condylar size among different anteroposterior and vertical skeletal patterns using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2019;89(2):306-311.

19. Ellis E 3rd. Condylar positioning devices for orthognathic surgery: are they necessary? *J Oral Maxillofac Surg.* 1994;52(6):536-52; discussion 552-4.
20. Tanaka R, Hayashi T. Computed tomography findings of chronic osteomyelitis involving the mandible: correlation to histopathological findings. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(2):94-103.
21. 渡邊章;開咬症における顎矯正手術 下顎に対する対応（下顎骨に対する手術、舌縮小など）．日顎誌. 2021
22. 東金由莉 他;Short lingual osteotomy を施行した骨格性下顎前突症症例における術後安定性と内側翼突筋の三次元評価. 日顎誌. 2019;29(4):269-279

図表

表 1 術前に下顎頭形態の異常を認めた上顎前突ハイアングル症例（女性）の患者背景

			非吸収群 (n=10)	吸収群 (n=13)	P 値
年齢 (歳)		Average $\pm$ SD	32.80 $\pm$ 5.11	28.00 $\pm$ 6.06	0.057
		Mean (min, max)	33 (26, 39)	26 (21, 39)	
顎関節症状 (人)	術前		0	0	—
	術後		2 (違和感、開口時痛)	1 (違和感)	
手術時間 (分)		Average $\pm$ SD	233.55 $\pm$ 42.49	218.56 $\pm$ 59.59	0.53
		Mean (min, max)	215.5 (185, 290)	215 (140, 305)	
出血量 (ml)		Average $\pm$ SD	211.66 $\pm$ 103.56	211.25 $\pm$ 88.65	0.99
		Mean (min, max)	190 (90, 450)	182 (90, 380)	
SNA 角(度)	術前	Average $\pm$ SD	81.60 $\pm$ 3.70	83.41 $\pm$ 4.88	0.38
		Mean (min, max)	81 (78, 89)	80 (78, 91)	
	術後	Average $\pm$ SD	82.00 $\pm$ 3.96	83.75 $\pm$ 3.86	0.32
		Mean (min, max)	83 (77, 86)	83 (79, 91)	
	差	Average $\pm$ SD	0.31 $\pm$ 2.00	0.33 $\pm$ 2.70	0.91
		Mean (min, max)	0 (-3, 3)	0 (-4, 4)	
SNB 角(度)	術前	Average $\pm$ SD	73.32 $\pm$ 3.23	75.25 $\pm$ 4.33	0.22
		Mean (min, max)	73 (70, 80)	74 (70, 80)	
	術後	Average $\pm$ SD	75.03 $\pm$ 2.50	77.50 $\pm$ 4.05	0.17
		Mean (min, max)	75 (72, 82)	76 (72, 84)	
	差	Average $\pm$ SD	2.00 $\pm$ 0.07	2.25 $\pm$ 1.91	0.71
		Mean (min, max)	2 (1, 3)	2 (-1, 5)	

表 2 術前に下顎頭形態の異常を認めなかった上顎前突ハイアングル症例（女性）の患者背景

			非吸収群 (n=8)	吸収群 (n=3)	P 値
年齢 (歳)		Average $\pm$ SD	30.62 $\pm$ 6.82	31.00 $\pm$ 8.54	0.94
		Mean (min, max)	32 (21, 39)	32 (22, 39)	
顎関節症状 (人)	術前		0	0	—
	術後		1 (違和感)	1 (違和感)	
手術時間 (分)		Average $\pm$ SD	218.71 $\pm$ 22.09	187.66 $\pm$ 39.24	0.13
		Mean (min, max)	220.5 (188, 251)	199 (144, 220)	
出血量 (ml)		Average $\pm$ SD	243.57 $\pm$ 145.70	101.66 $\pm$ 52.99	0.14
		Mean (min, max)	185 (45, 450)	110 (45, 150)	
SNA 角(度)	術前	Average $\pm$ SD	81.71 $\pm$ 3.03	81.66 $\pm$ 4.72	0.70
		Mean (min, max)	80 (78, 85)	80 (78, 87)	
	術後	Average $\pm$ SD	81.00 $\pm$ 2.38	81.66 $\pm$ 3.21	0.72
		Mean (min, max)	81 (78, 85)	83 (78, 84)	
	差	Average $\pm$ SD	0.28 $\pm$ 2.62	0 $\pm$ 3.00	0.88
		Mean (min, max)	0 (-4, 4)	0 (-3, 3)	
SNB 角(度)	術前	Average $\pm$ SD	73.57 $\pm$ 2.81	73.00 $\pm$ 4.35	0.80
		Mean (min, max)	73 (71, 70)	71 (70, 78)	
	術後	Average $\pm$ SD	74.85 $\pm$ 2.19	76.00 $\pm$ 2.64	0.49
		Mean (min, max)	74 (72, 79)	75 (74, 79)	
	差	Average $\pm$ SD	1.28 $\pm$ 1.38	3.00 $\pm$ 2.00	0.15
		Mean (min, max)	2 (-1, 3)	3 (1, 5)	

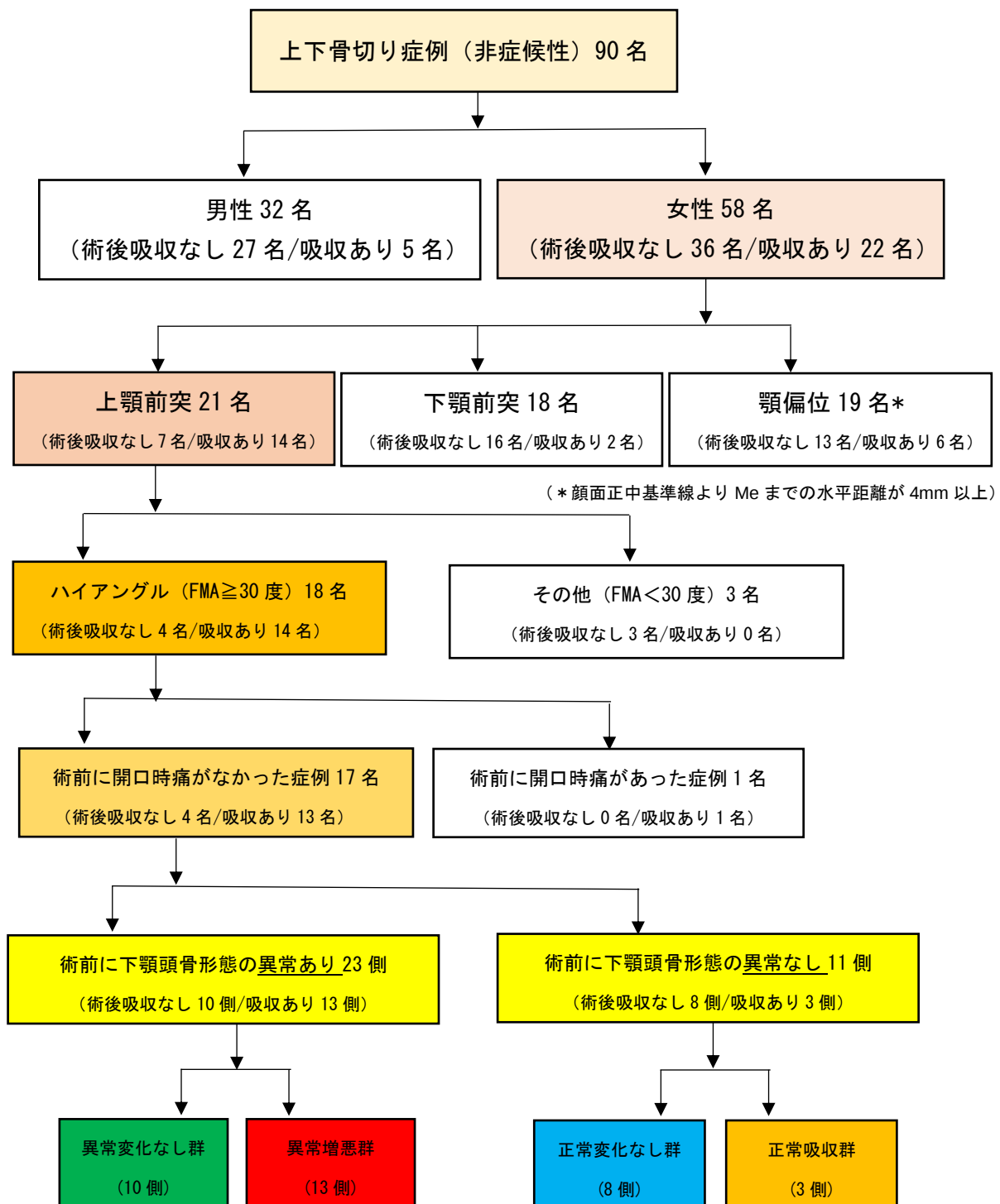


図 1 対象患者選択のフローチャート

患者 90 名（男性 32 名、女性 58 名）のうち、上顎前突ハイアングル症例（FMA $\geq$ 30 度）の女性患者 17 名 34 側の下顎頭を対象とした。対象患者の中には、術前に下顎頭形態の異常を両側に認めていた症例、両側に認めなかった症例、片側には異常を認めていたものの反対側には異常を認めなかった症例が存在した。下顎頭 1 側を 1 個体とし、【異常変化なし群】【異常増悪群】【正常変化なし群】【正常吸収群】と分類した。

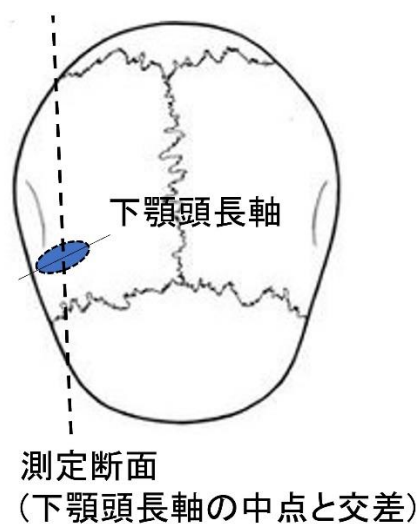
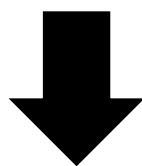
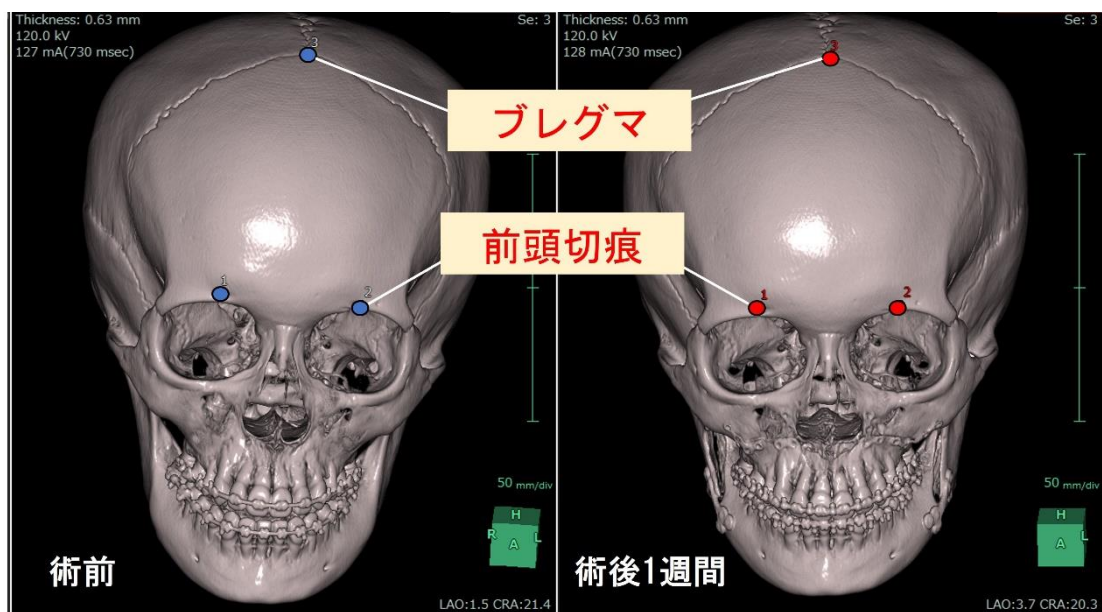


図 2 測定断面の設定

術前及び術後 1 週間に撮影された MDCT 画像を三次元構築し、両側の前頭切痕とブレグマの 3 点を基準に重ね合わせを行った後、下顎頭長軸の midpoint と交差する矢状断面を測定断面と設定した。

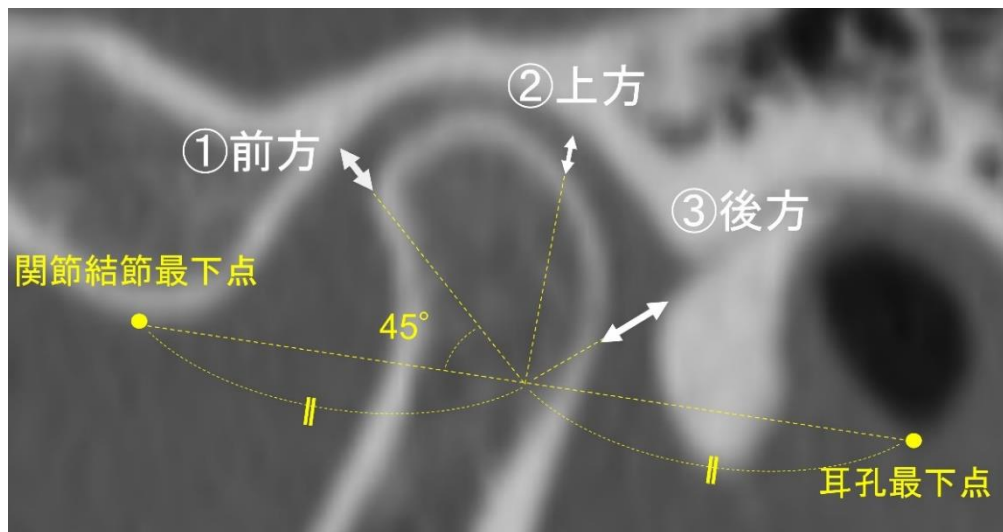


図3 関節窩と下顎頭距離の測定方法

関節結節の最下点および耳孔の最下点に対する接線の中点を基準点とし、45度間隔で前後および上方の関節窩と下顎頭の距離の差を測定した。

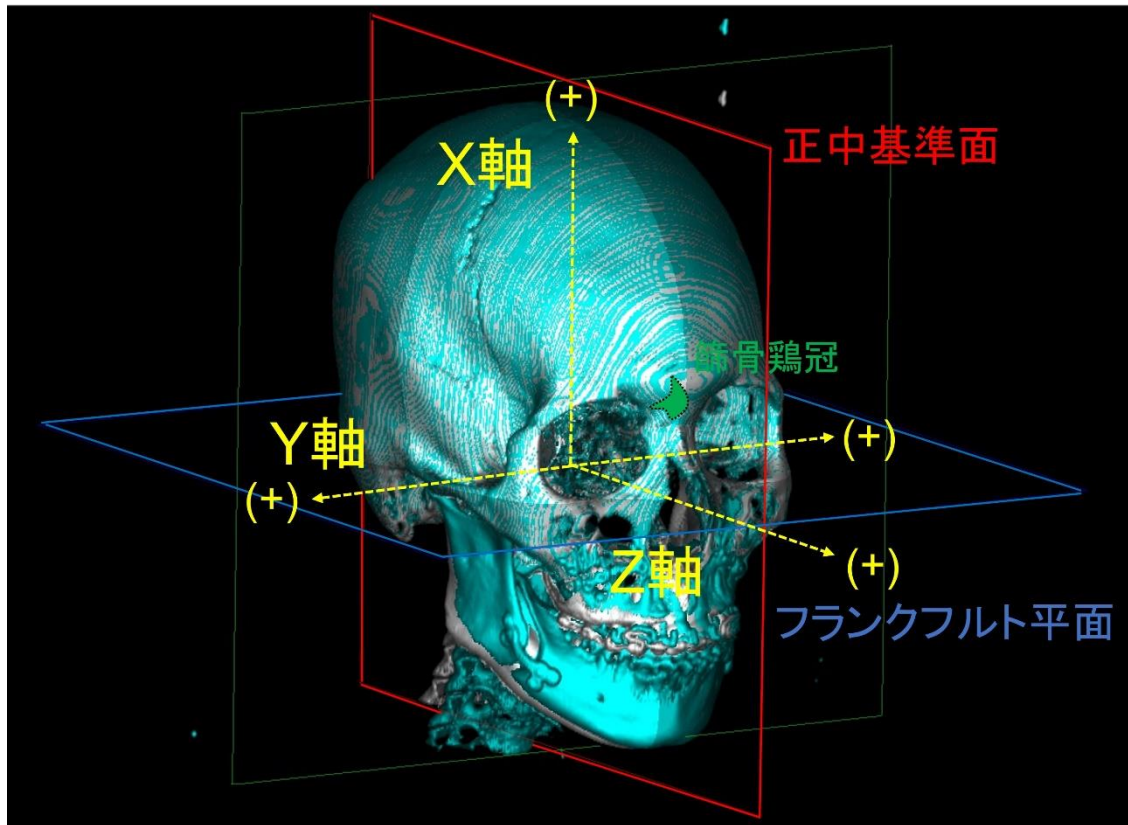


図4 座標系の設定

術前及び術後1週間に撮影されたMDCT画像を三次元構築、両側の前頭切痕とブレグマの3点を基準に重ね合わせを行った後、フランクフルト平面を水平基準面、篩骨鶏冠を通る矢状面を正中基準面と設定した。また、垂直軸をX軸、水平軸をY軸、前後方向の軸をZ軸と設定した。

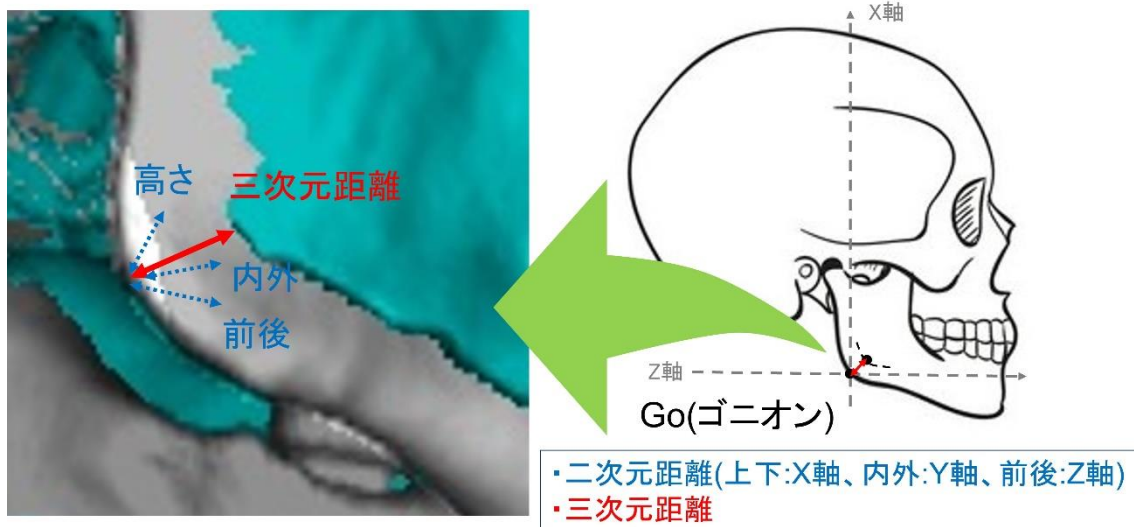


図5 ゴニオン移動距離の測定方法

三次元移動距離およびX軸、Y軸、Z軸における移動距離（上下、内外、前後）の二次元移動距離を測定した。

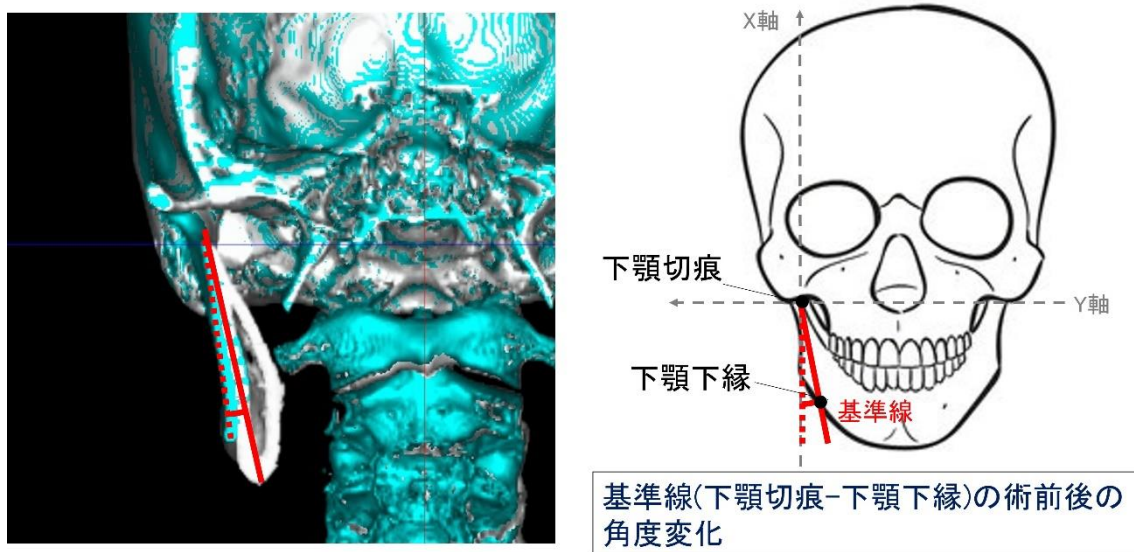
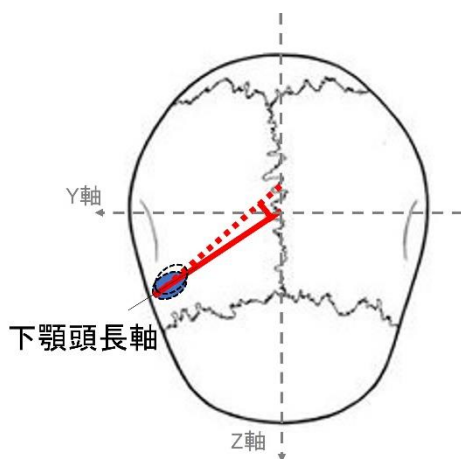
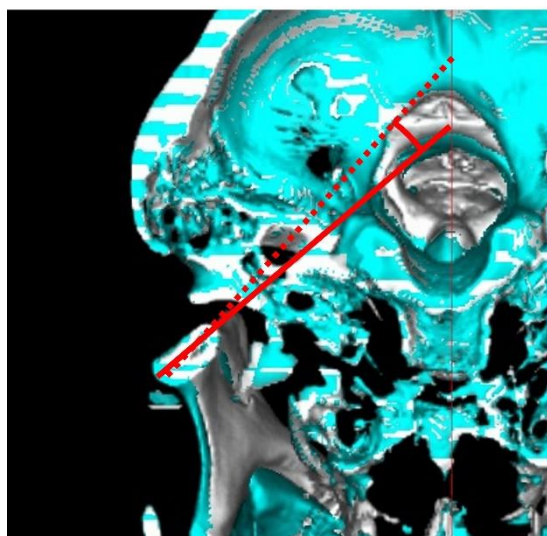


図6 下顎枝矢状角の変化量の測定方法

下顎切痕と下顎下縁の術前後の角度変化を測定した。



術前後の下顎頭長軸の角度変化
(右:時計回り、左:反時計回りを正の回転)

図7 下顎頭長軸角の変化量の測定方法

術前後の下顎頭長軸角の変化量を測定した。右側においては時計回り、左側においては反時計回りの回転を正の回転とした。

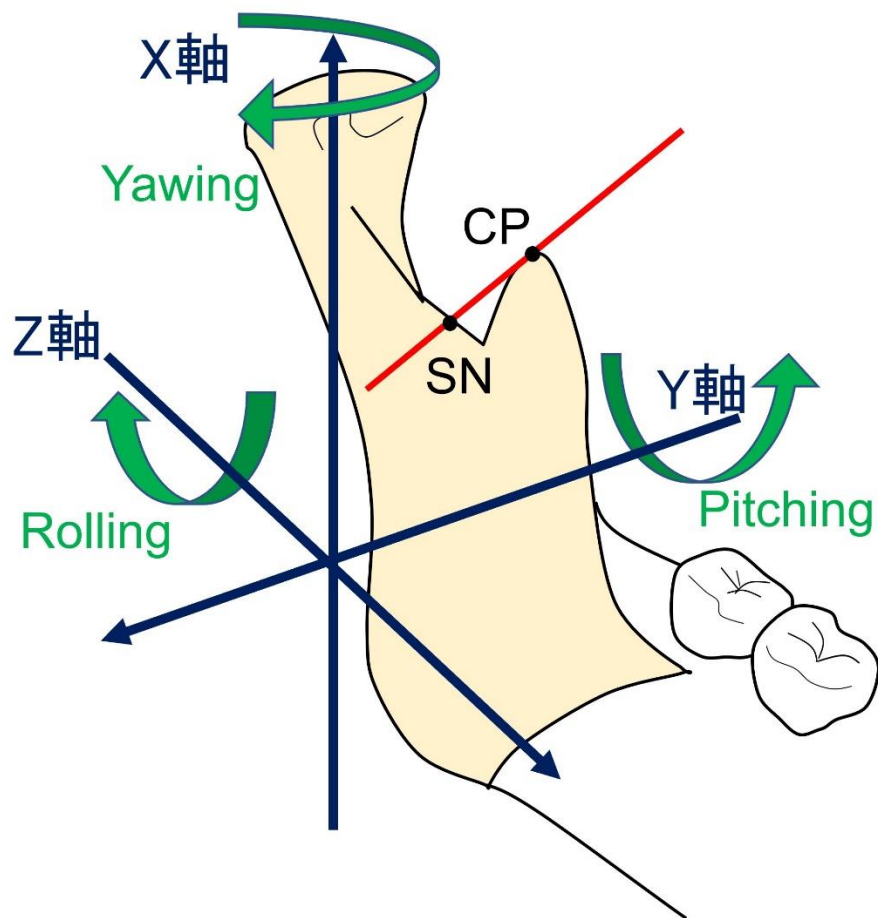


図 8 筋突起-下顎切痕の三次元的回転の測定方法

筋突起の最上点 (CP) と下顎切痕の最下点 (SN) を通る線を基準線とし、ヨーイング (X 軸)、ピッチング (Y 軸)、ローリング (Z 軸) の回転角度を測定した。

- ・ **骨構造指標 (SMI)** : 骨梁の形状
- ・ **骨パターンファクター (TBPf)** : 骨梁の凹凸

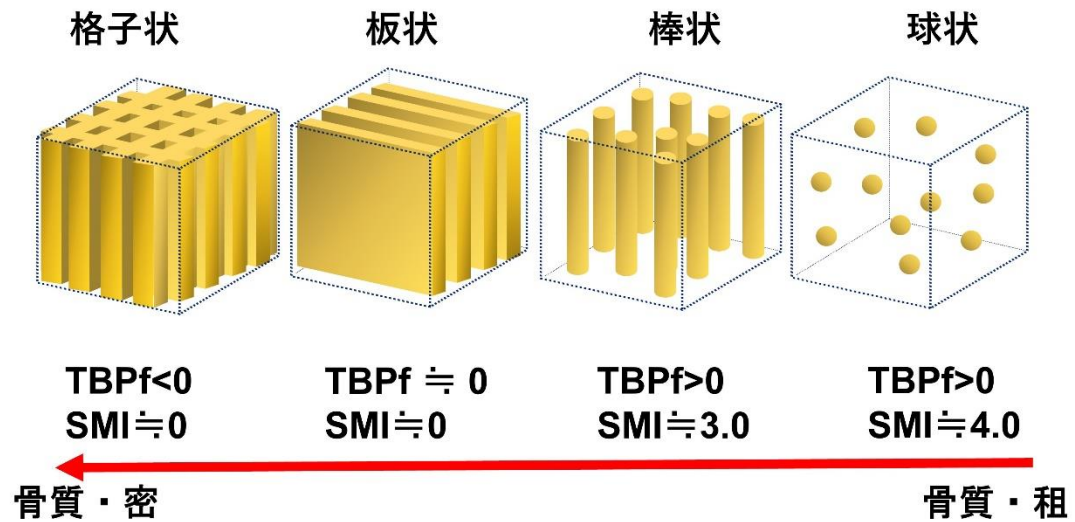


図9 三次元的骨量構造指標

TBPf は骨梁の凹凸、SMI は骨梁の形状を評価する。いずれも値が小さくなれば骨質は密になると判断される。

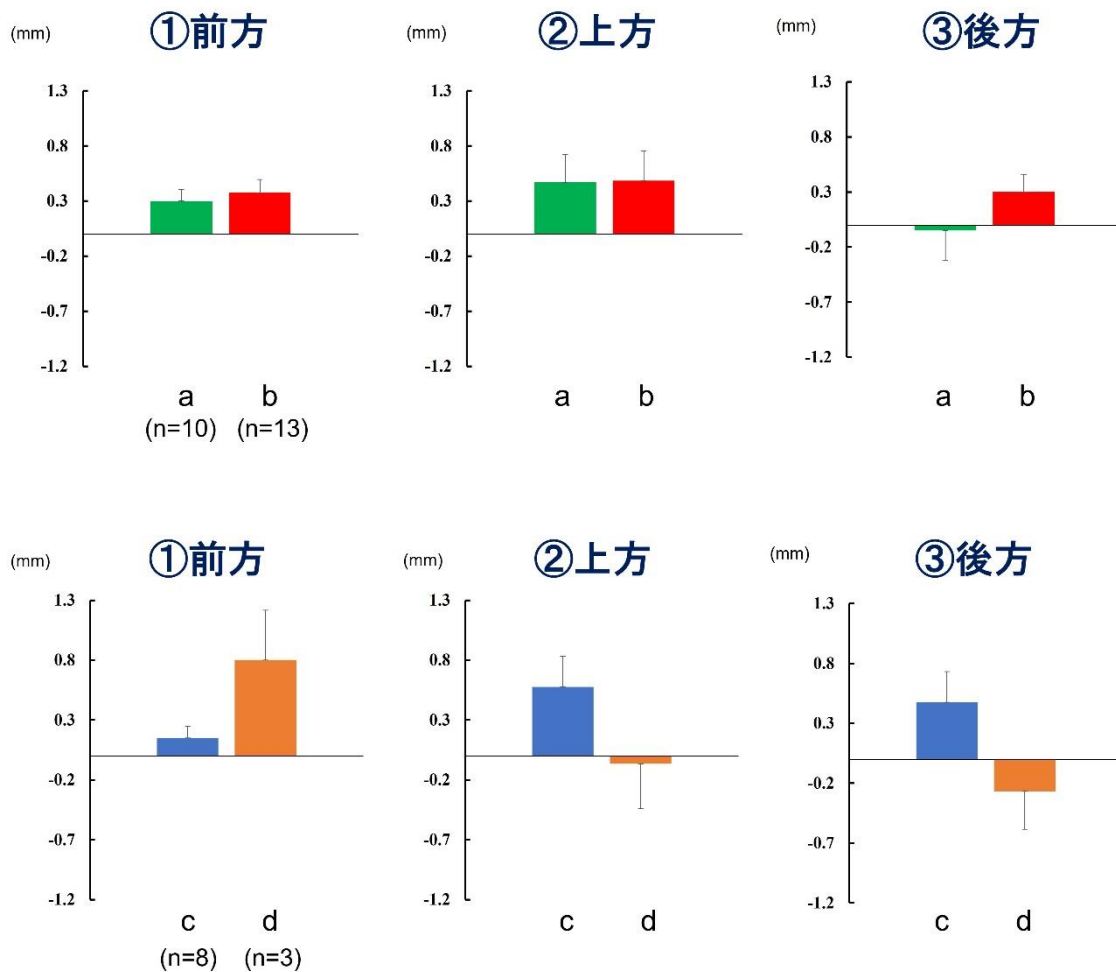


図 10 関節窩-下顎頭距離の変化量

(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例（上段）において、異常変化なし群(a)および異常増悪群(b)ともに関節窩に対する下顎頭の位置が後下方に変位傾向にあることが明らかとなった。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例（下段）において、正常変化なし群(c)の下顎頭は関節窩に対し前下方に変位傾向にあり、正常吸収群(d)の下顎頭は後方に変位傾向にあることが明らかとなった。

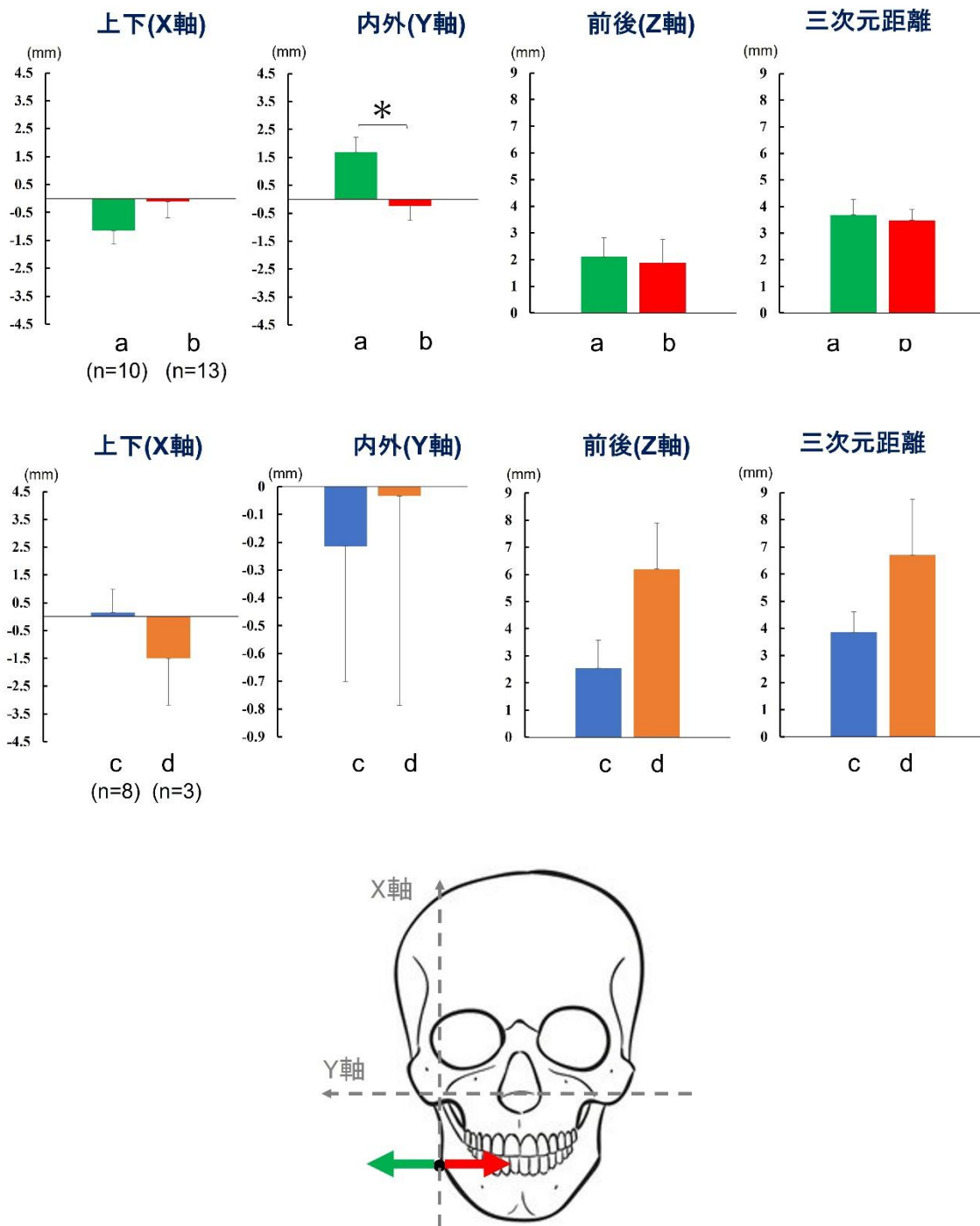


図 11 Go 三次元変位の比較

(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

Go は術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、異常変化なし群 (緑矢印) は外側へ、異常増悪群 (赤矢印) は内側へ変位していることが明らかとなった。

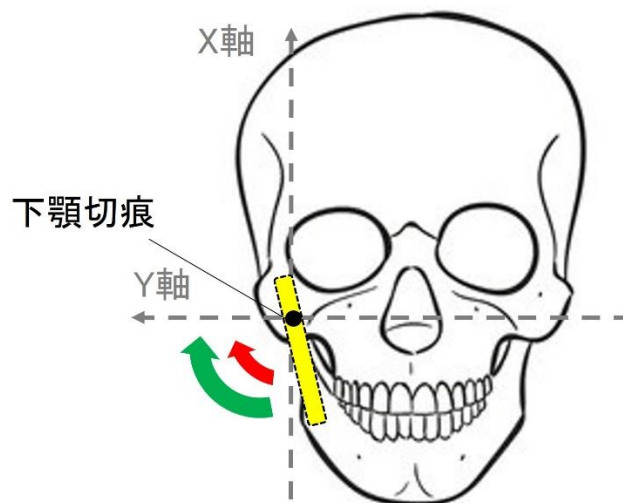
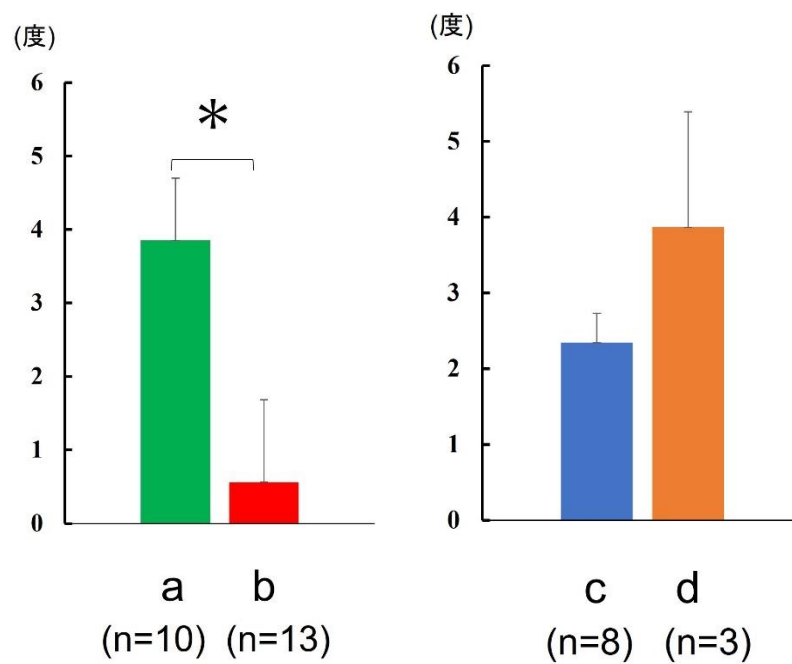


図 12 下顎枝矢状角の変化量の比較

(a:異常変化なし群, b:異常増悪群, c:正常変化なし群, d:正常吸収群)

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例において、異常増悪群(赤矢印)と比較し異常変化なし群(緑矢印)では、下顎切痕を中心に下顎下縁が大きく外側へ変位していることが明らかとなった

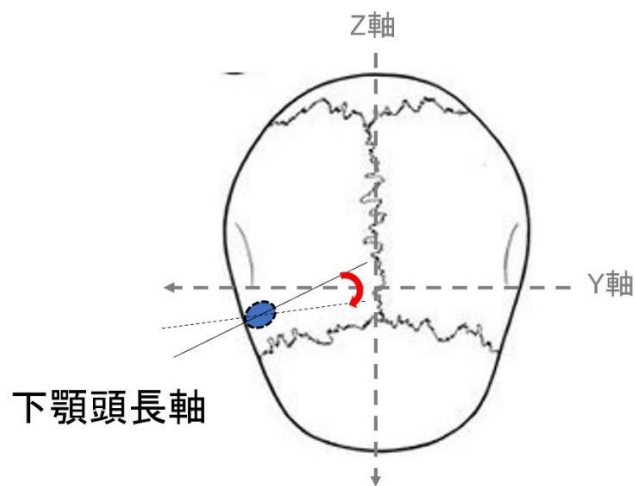
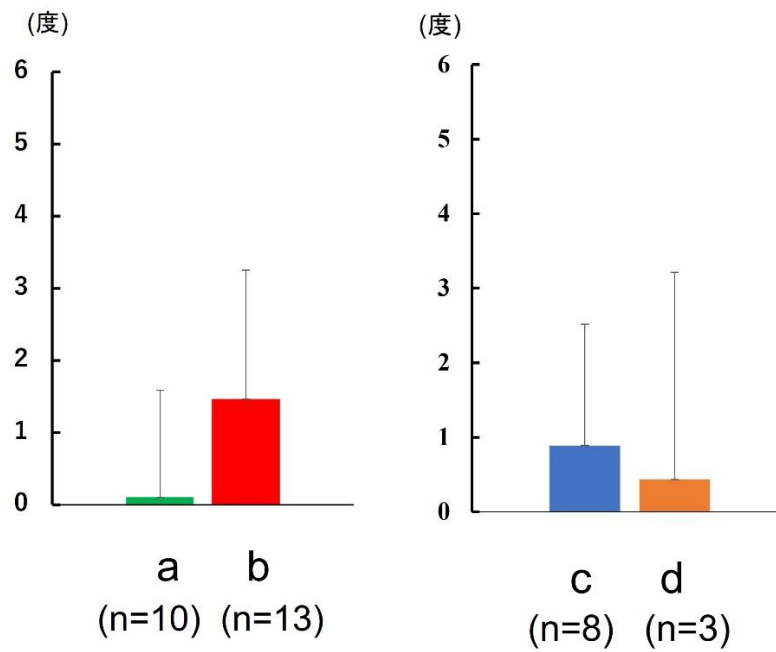


図 13 下顎頭長軸角の変化量の比較

(a:異常変化なし群, b:異常増悪群, c:正常変化なし群, d:正常吸収群)

いずれの群においても、下顎頭長軸角は増加傾向にあった。

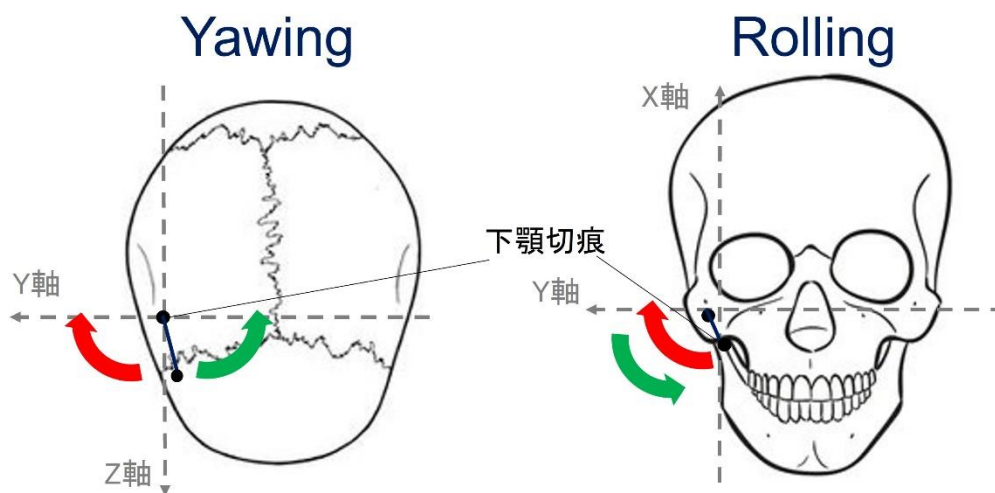
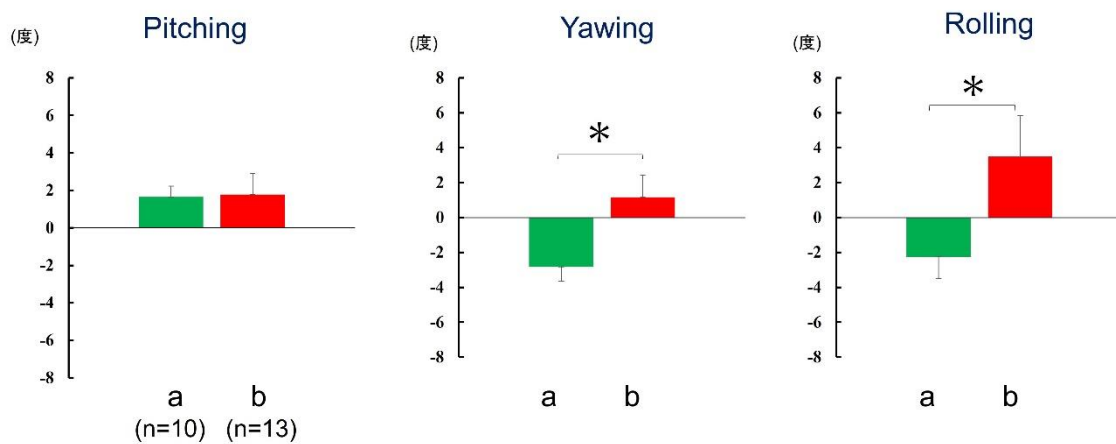


図 14 筋突起-下顎切痕の三次元的回転の比較 (a:異常変化なし群, b:異常増悪群)
術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、X 軸を中心に異常変化なし群(緑矢印)は内側へ、異常増悪群(赤矢印)は外側へ変位しており、Z 軸を中心に異常変化なし群(緑矢印)は内側へ、異常増悪群(赤矢印)は外側へ変位していることが明らかとなった。

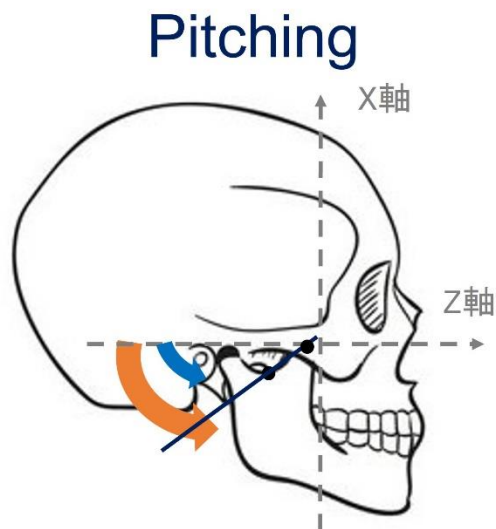
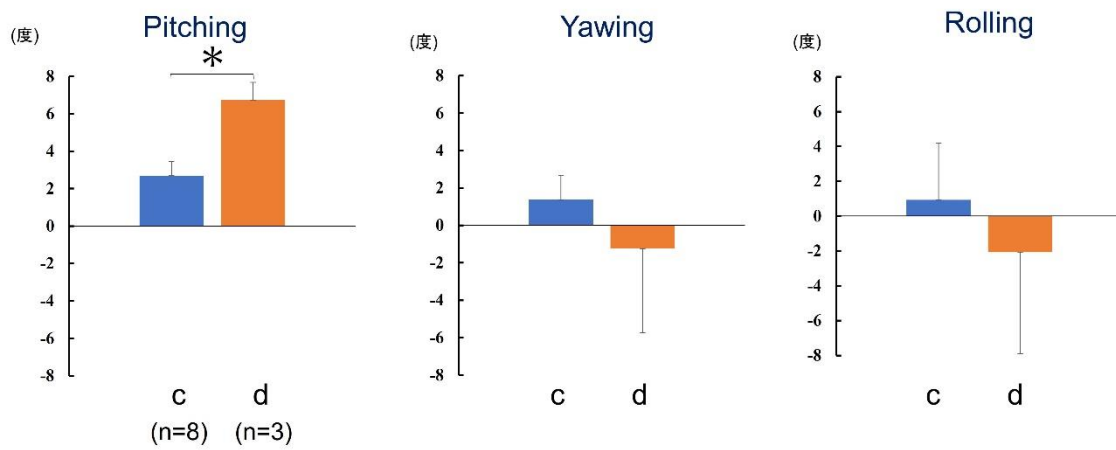
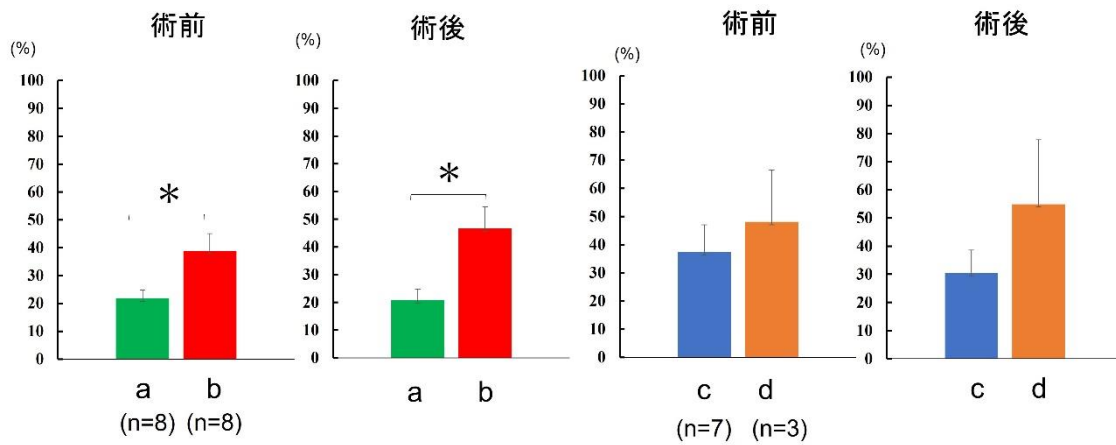


図 15 筋突起-下顎切痕の三次元的回転の比較 (c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)
 術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例に関して、正常変化なし群(青矢印)と比較し正常吸収群(橙色矢印)は近位骨片が大きく反時計回りの回転していることが明らかとなった。

海綿骨体積密度



皮質骨体積密度

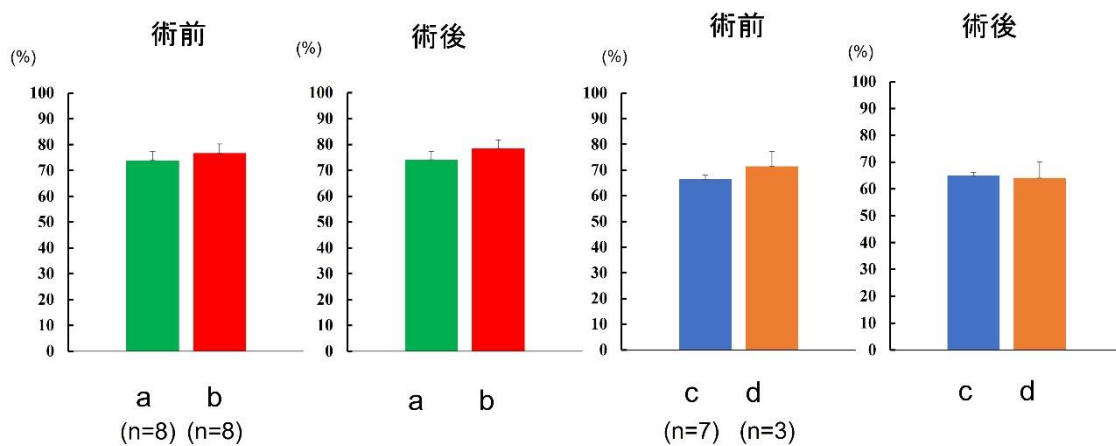
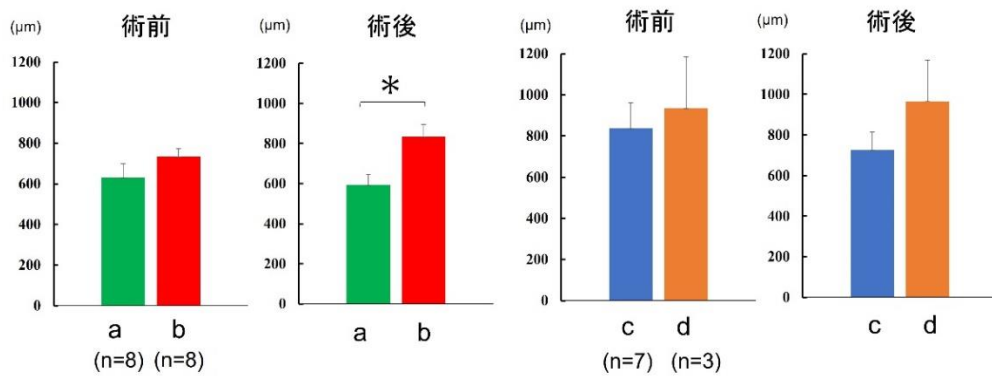


図 16 海綿骨積密度および皮質骨体積密度

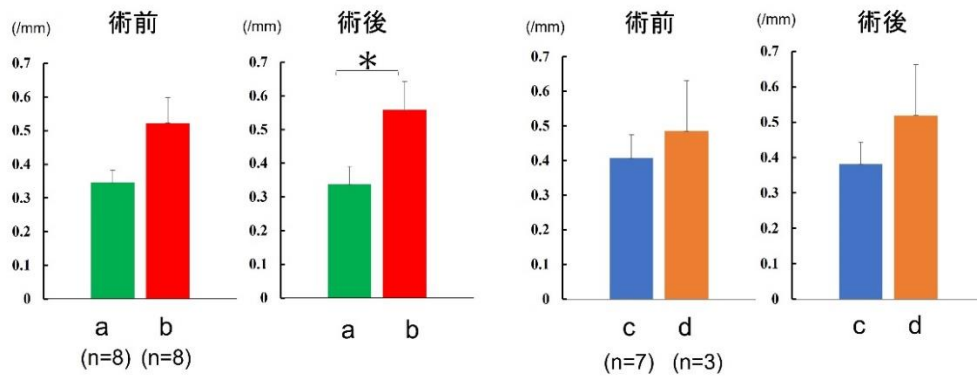
(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

非吸収群と比較し吸収群の下顎頭における骨梁体積密度 (BV/TV) は高値を示し、特に術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、術前後に有意な差を認めた ($p < 0.05$)

骨梁幅



骨梁数



骨梁間隙

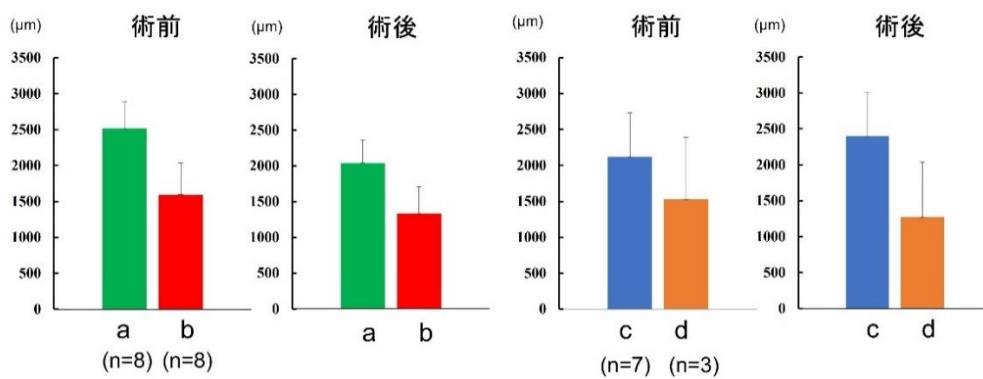
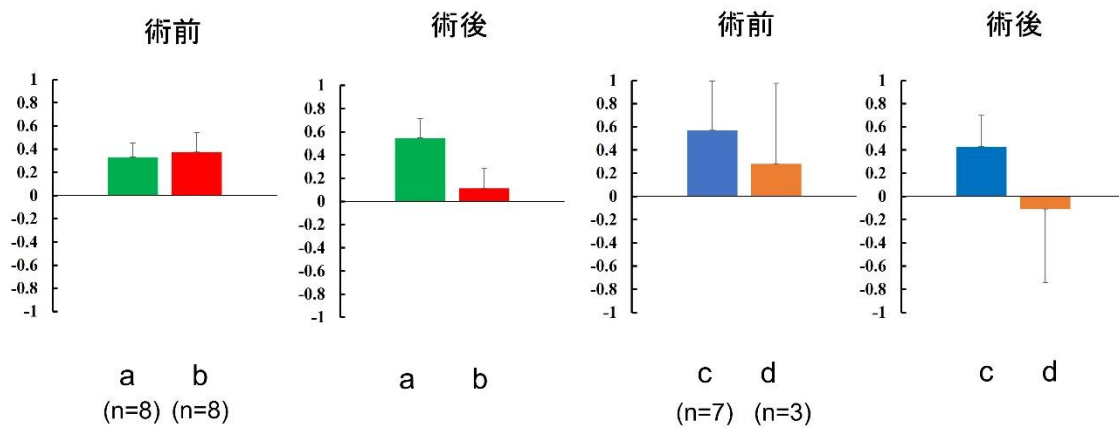


図 17 骨梁幅、骨梁数および骨梁間隙

(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

非吸収群と比較し吸収群は術後に骨梁幅(Tb. Th)が太く骨梁数(Tb. N)が多くなり、骨梁間隙(Tb. Sp)が狭くなった。

骨パターンファクター(TBPF)



骨構造指標(SMI)

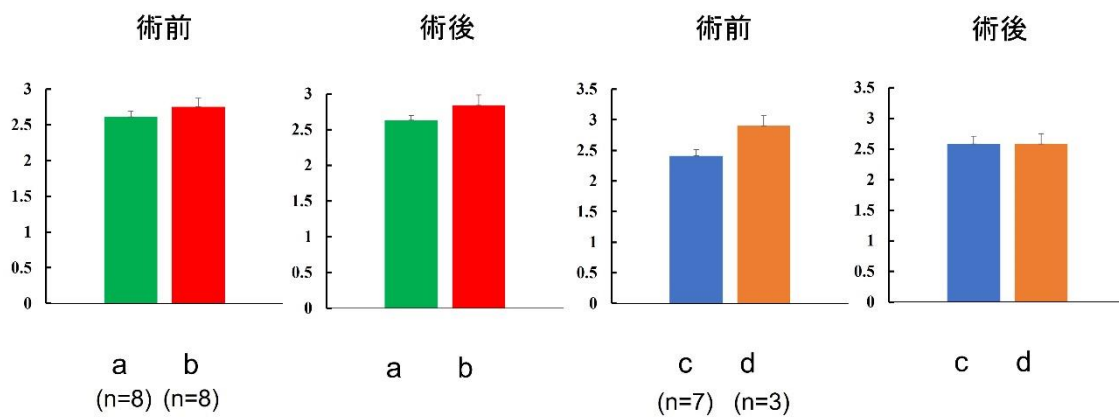


図 18 骨梁構造の形態

(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

術前および術後において両群の骨梁構造は板状から棒状の形態であることが示唆された。

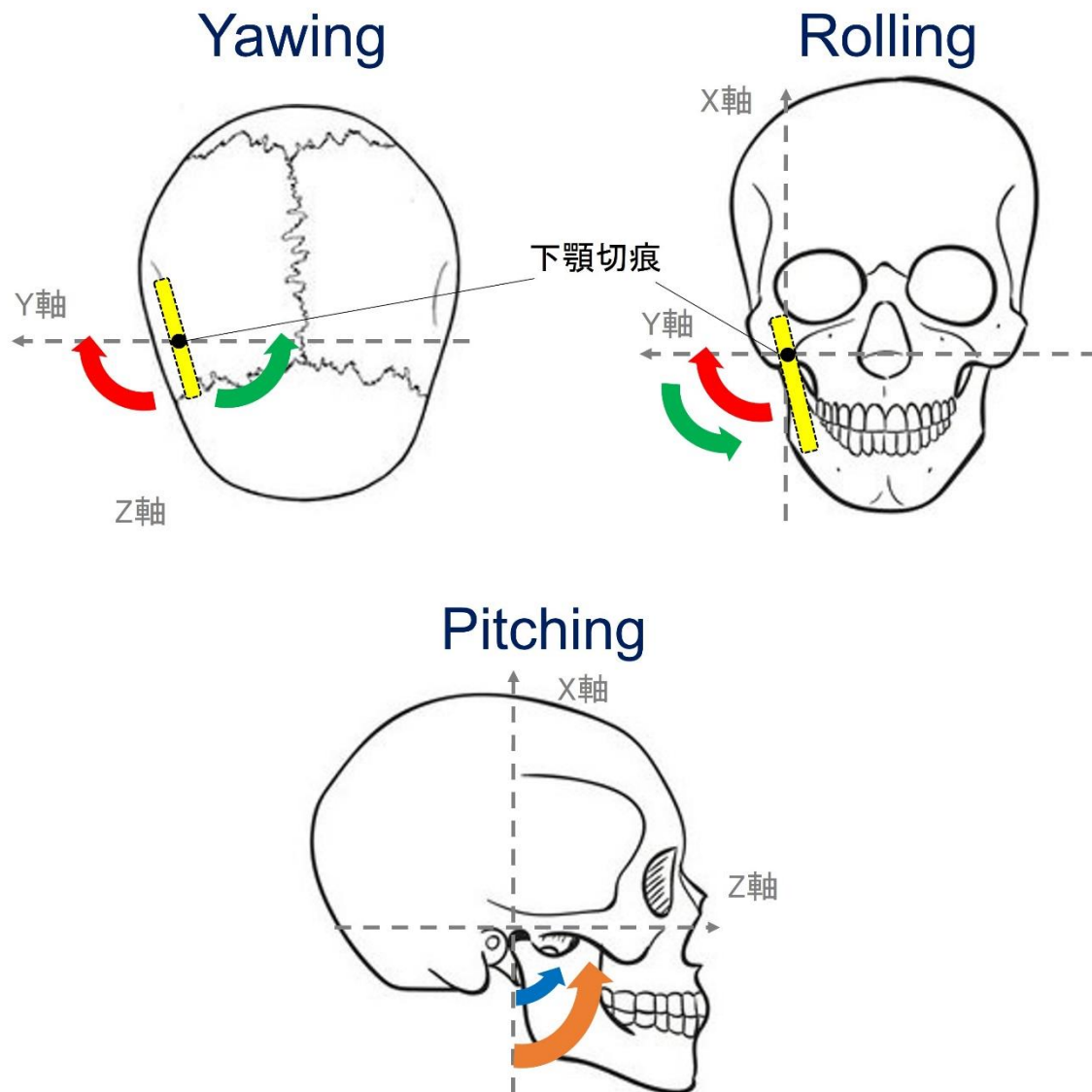


図 19 近位骨片の偏位の比較

(a: 異常変化なし群, b: 異常増悪群, c: 正常変化なし群, d: 正常吸収群)

術前に下顎頭骨形態の異常を認めた症例に関して、水平断においては下顎切痕を中心に非異常変化なし群(緑矢印)は内側へ、異常増悪群(赤矢印)は外側へ近位骨片前縁が変位し、前頭断においては下顎切痕を中心に異常変化なし群(緑矢印)は内側へ、異常増悪群(赤矢印)は外側へ近位骨片下縁が変位することが明らかとなった(上段)。また、術前に下顎頭骨形態の異常を認めなかった症例に関して、正常変化なし群(青矢印)と比較し正常吸収群(橙色矢印)では、近位骨片は大きく反時計回りの回転をしていることが明らかとなった(下段)。

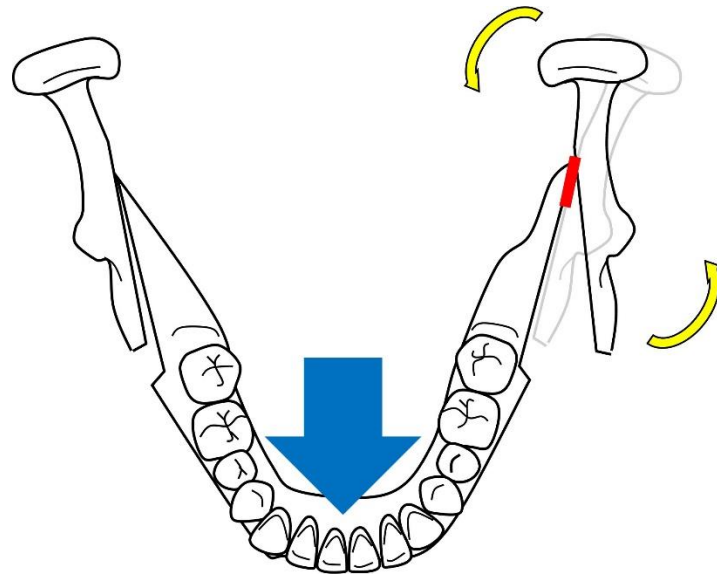


図 20 下顎頭の内側偏位

遠位骨片が前方移動する際、骨片干渉が生じ干渉部位を中心に近位骨片前縁は外側へ変位、下顎頭は内側へ変位する。吸収群の下顎頭は適切な位置へ修正できず、下顎頭吸収を生じた可能性が示唆された。

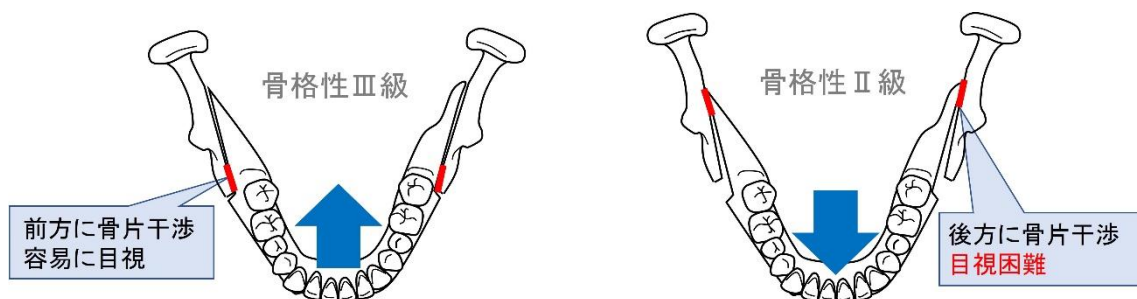


図 21 骨片干渉による影響

骨格性Ⅲ級症例と比較し、骨格性Ⅱ級症例では後方に骨片干渉が生じ、目視困難であることから調整が難しく、また下顎頭が小さくシーティングの難易度も上がるため、骨格性Ⅱ級症例に術後下顎頭吸収の発症が有意に多いことが予想された。

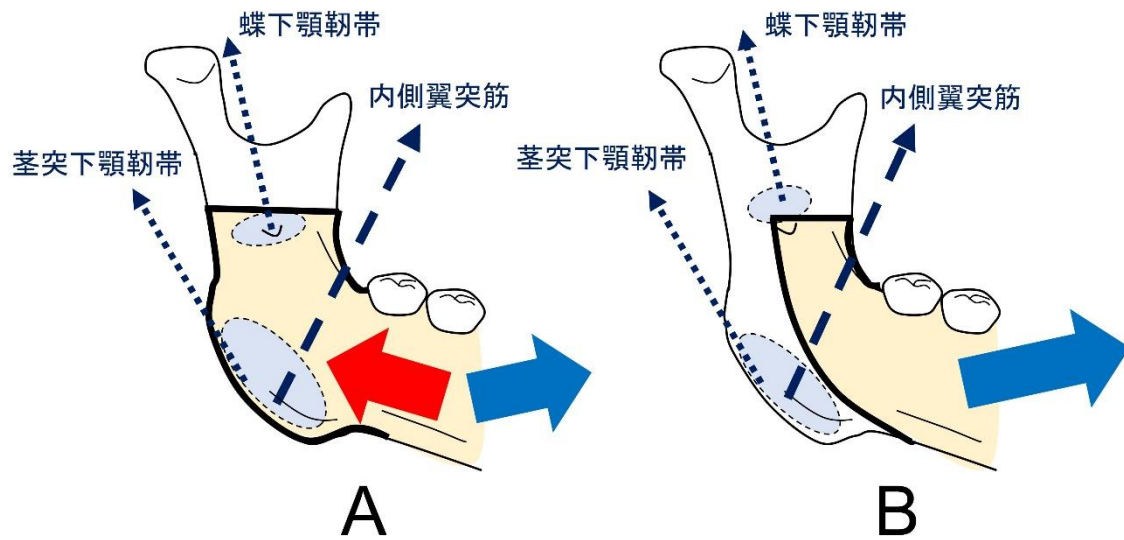


図 22 内側骨切りの種類による後戻りへの影響

A : Obwegeser osteotomy

遠位骨片に内側翼突筋，蝶下顎靱帯，茎突下顎靱帯が付着しているため後戻りしやすい。

B : Short lingual osteotomy

近位骨片に内側翼突筋，蝶下顎靱帯，茎突下顎靱帯が付着しているため Condylar Sag と遠位骨片の後戻り防止となる。