

学位申請論文

下顎枝矢状分割術直後に生じるコンダイラーサグの
三次元評価と関連因子の検討
—Le Fort I 型骨切り術併用症例における
下顎骨前方移動および後方移動別解析—

小見山 裕司

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 機能再生再建科学専攻

歯科矯正学分野

序論

顎変形症に対する外科的矯正治療は、咬合および顔貌の改善を目的として広く行われており、下顎枝矢状分割術 (sagittal split ramus osteotomy; SSRO) は前方移動 (セットフォワード) および後方移動 (セットバック) のいずれにも適用可能な標準的術式として確立している¹⁾。セットフォワードは下顎後退症例、セットバックは下顎前突症例に主として用いられ、移動方向の違いは顎関節や骨片安定性に異なる影響を及ぼす可能性がある。

下顎骨の代表的骨切り術式には SSRO と下顎枝垂直骨切り術 (intraoral vertical ramus osteotomy; IVRO) があり、前者ではプレートやスクリューによる強固な固定を行うのに対し、後者では通常プレート固定を行わない^{2,3)}。また、上顎骨に対しては Le Fort I 型骨切り術 (Le Fort I) が用いられ、多くの場合 SSRO と併用される⁴⁾。顎矯正手術後には顎関節周囲のさまざまな変化が生じ得るが、本研究は中でも下顎頭の位置変化、とくに下顎頭が下方へ偏位するコンダイラーサグ (condylar sag, 以下サグ) に着目する (図 1)。サグは顎矯正手術直後に下顎頭が下方へ移動する現象として知られる。術直後に生じたサグは後戻りを誘発し、その後戻りの結果として咬合の不安定化や前歯部開咬、臼歯関係の乱れ等の臨床的問題をもたらし得ることから、サグは術後の咬合・顎位の安定性に影響し得るリスク因子として報告されており⁵⁻¹⁰⁾、その発生様式と関連因子の解明は術後の咬合の確立と顎機能の改善に直結する重要な課題である。

サグの定義は大きく二つの系統に分けられる。一つは咬合所見に基づく臨床的定義であり、Hall らは IVRO 症例で上下顎間固定解除後の大臼歯部開咬から下顎頭の位置不良を推測し、サグの概念を初めて提唱した⁵⁾。Reyneke and Ferretti は SSRO によるセットフォワード症例を対象に、術中の咬合異常に基づいてサグを定義し、その病態説明ではいずれも下顎頭の下方偏位を想定している⁷⁾。その後の SSRO 研究でも、Politi, Berköz, Shanmugasundaram らがこの基準を踏襲してきた¹¹⁻¹³⁾。しかし、この咬合所見ベースの定義は①下顎頭の位置変化を画像的に直接確認していないこと、②本来セットフォワード単独症例での術中咬合所見を前提とした基準がセットバック症例や Le Fort I 併用症例にも一律に適用されてきたことから^{7,11-13)}、術式や移動方向の違いを十分に反映していないという方法論的限界を有する。

もう一つは、画像所見ベースの定義である。IVRO を対象とした研究では、サグを下顎頭位置の変化そのものとして捉える試みがなされてきた。Rotskoff らは顎関節断層撮影を用いて下顎頭の前下方移動量を mm 単位で計測し、一定距離以上の変位をサグとする数値的閾値を導入した⁶⁾。Rokutanda らは CT による三次元評価を行い、Nagata らは二次元画像解析で 2SD 以上の変位をサグとみなす統計的基準を提示している^{9,10)}。評価方法や閾値の

設定には違いがあるものの、いずれも咬合所見への依存から離れ、下顎頭位置の変化を画像学的に直接定量化した研究群として位置づけられる^{6,9,10)}。

サグの発生頻度についても、術式間で差が報告されている。骨片固定を行わない IVRO では、Rokutanda らが 37% の顎関節にサグを認めたと報告しており⁹⁾、術後に下顎頭が移動しやすいことが示されている。一方、プレート固定を伴う SSRO では頻度は低いとされるものの、Reyneke らの SSRO セットフォワード単独症例や Politi らの Le Fort I 併用セットバック症例において、約 10% 前後にサグが生じたとされている^{7,11)}。このことから、サグは IVRO に特有の現象ではなく、SSRO においても一定の頻度で生じることが示唆される。ただし、IVRO 研究は画像所見ベース^{6,9,10)}、SSRO 研究は咬合所見ベースの定義に依拠することが多く^{7,11-13)}、評価基準が異なるため、術式間で頻度を単純比較するには限界がある。

IVRO では、サグと関連する臨床的・形態的因子として、セットバック量の小ささや術前顎関節症状、関節結節高径や下顎枝角度変化などが報告され^{9,10)}、さらにスプリントによる補正や骨切り線の工夫など、サグを回避・是正する手技的工夫も提案されている^{5,6)}。これらの知見は、サグが偶発的な現象ではなく、術前骨格形態や顎関節症状、術式上の要因と密接に関連することを示唆する^{9,10)}。一方 SSRO に関しては、術中の咬合所見に基づく診断法や固定法の工夫に関する報告が蓄積されているものの^{7,11-13)}、骨格形態や術前顎関節所見とサグとの関連を三次元的に体系化した検討は乏しい。SSRO や上下顎同時移動術症例の下顎頭位置変化やリモデリングを三次元的に評価した報告はいくつか存在するものの^{4,8,14,15)}、「下顎頭の下方偏位量」をサグとして定義し、その関連因子を体系的に検討した研究はない。

そのため本研究の目的は、SSRO 症例におけるサグを咬合所見ではなく画像学的定量評価により捉えること、およびサグと術前顎顔面形態ならびに術前後の三次元的骨片移動量との関連を包括的に検討することの二点とした。具体的には、Rotskoff らが IVRO 症例で示した「下顎頭位置変化に数値的閾値を設ける」という枠組みを SSRO に応用し^{6,10)}、Reyneke らが想定した SSRO におけるサグの本態を下顎頭の下方偏位と捉え直したうえで⁷⁾、下顎頭最上点 (superior condylar point; SupCon) の FH 平面に対する垂直変位量を術前後 CT に基づいて三次元的に定量化し、関連因子を探索することとした。

1. 研究デザインと対象

本研究は、顎変形症の診断の下、岡山大学病院矯正歯科において術前矯正治療を受け、同院口腔顎顔面外科にて Le Fort I および SSRO を施行された患者を対象とした後ろ向き観察研究である。Le Fort I 骨切り術と SSRO を併用した上下顎同時移動術は、本邦における顎変形症手術として汎用される標準的プロトコルの一つであり、本研究では代表的な術式に対象を限定することで結果の臨床的適用範囲を明確にすることを意図した。対象期間は 2020 年 7 月から 2025 年 1 月までとした。先天的形態異常（口唇口蓋裂、各種症候群など）、外科的上顎急速拡大術併用例、術中筋突起切除例、計測に必要なランドマークの欠損例、およびアーチファクト等により計測が困難な例を除外し、同時にオトガイ形成術を併用した症例は含まれていない。なお、本研究の Le Fort I 骨切り術には、非分割症例に加えて分割症例も含まれている。最終的に 36 名（男性 9 名、女性 27 名、平均年齢 28.4 ± 9.5 歳）が解析対象となった（図 2）。解析には画像計測項目に加え、年齢・性別・最大開口量・術前顎関節疼痛および顎関節雑音の有無を用いた。最大開口量は術前診査時に上下顎中切歯切縁間距離として測定し、顎関節疼痛・雑音は問診および顎関節周囲の触診により評価し、二値変数として記録した。本研究の計画および報告は STROBE Statement（Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology）に準拠した¹⁶⁾。

2. 手術手技および術後管理

Le Fort I および SSRO は、いずれも同一施設所属の経験 20 年以上の 2 名の口腔外科医が、施設内で統一された手順に従って施行した。SSRO は全例で Epker による short lingual osteotomy を採用し¹⁷⁾、遠位・近位骨片をチタンプレートでセミリジッドな固定とした。セットバック症例では、下顎枝内側の骨片移動を行うために内側翼突筋附着部を一部剥離し、セットフォワード症例では、内側翼突筋の剥離は行わずに手術を施行した。術中から術後評価まで一貫してサージカルスプリント装着下で管理した。術後 1 週までは顎間固定を併用し、解除後は顎間ゴムによる咬合誘導を行った。

3. CT 撮影および三次元解析

CT は、Aquilion Precision（キヤノンメディカルシステムズ、大田原、日本）を用いて、術前（T1：手術 6～169 日前）および術後（T2：手術 1～9 日後）に撮影した。被験者は仰臥位とし、頭部が FH 平面と平行となるよう位置づけた。T1 は被験者自身の咬合位、T2 は術後スプリント装着下で撮影した。撮影条件は管電圧 120 kV、管電流 250 mA、スライス厚 1 mm など標準的な頭部 CT 条件とし、再構成間隔 0.5 mm のオーバーラップで骨用アルゴリズム

ムにより再構成した。視野（FOV）は 240 mm を基準とし、頭部サイズに応じて微調整した。必要に応じて金属アーチファクト低減を適宜適用した。

三次元解析には ProPlan CMF™（Materialise NV, Leuven, Belgium）を使用し、1 mm 厚に再構成した DICOM データから上下顎骨・頭蓋を含む三次元モデルを作成した。各モデル上で、頭蓋基準点（Or, Po, Na, Ba），下顎頭，上下顎骨および歯（第一大臼歯・中切歯）などの計測点を手動でマーキングした（表 1，図 3）。ついで，FHP，MSP，COP の 3 基準平面を設定した（表 2）^{18,19)}。

これら 3 基準平面を用いて各ランドマークの三次元座標を算出し、2 点間距離，3 点間角度，および線分と基準平面との角度を求めた（図 4）。計測点および計測項目の定義は複数の先行研究を参考に設定した²⁰⁻²²⁾。

本研究で用いた三次元計測変数は、接頭辞・末尾・座標系の組み合わせにより体系的に命名した。接頭辞として，Le_ を長さ，An_ を角度，接頭辞なしを三次元座標成分，2D_ を二次元セファロ計測項目とした。末尾の _Pre は術前の計測値，_Pre_Post は術前後の変化量（術後値-術前値）を表し，セファロ計測項目のみ末尾のないものを初診時の計測値とした。座標系として，_FH は FHP からの垂直距離（下方を正），_MSP_abs は mid-MSP からの左右距離の絶対値，_MSP_Pre_Post は MSP を超えて移動し得る座標成分の変化量（符号付き）を一旦算出したのち絶対値化したもの，_MSP_abs_Pre_Post は術前・術後の MSP からの距離を絶対値化した上で変化量を算出したものとした。_COP は COP からの前後距離（前方を正）を示す。長さを表す Le_ 変数では，「変数名_変数名」を 2 点間の直線距離，「変数名_変数名_FH」を 2 点間の垂直距離，_LR を同名左右ランドマーク間の距離として定義した。角度を表す An_ 変数では，「変数名_変数名_変数名」を三点がなす角度，「変数名_変数名_基準平面」を 2 点を結ぶ直線と基準平面がなす角度として定義した。以上の命名規則により，特記しない限り各変数はランドマーク名と接頭辞・末尾から一意に解釈可能である（表 3）。いずれの計測も同一の矯正専門医が 1 か月間隔で 2 回実施し，長さおよび角度について級内相関係数（intraclass correlation coefficient; ICC）および Dahlberg の誤差を算出した^{23,24)}。

4. セファログラム解析

側方セファログラムは初診時（T0），術前（T1），術後（T2）に撮影した。被験者は自然頭位で口唇を軽く閉じ，安静呼吸下で撮影し，T1 は被験者自身の咬合位，T2 は術後スプリント装着下とした。撮影には X 線高電圧装置 CX-90SP（朝日レントゲン工業株式会社，京都，日本）を用い，管電圧 80 kV，管電流 80 mA，照射時間 0.2 秒とした。解析は骨格および歯列の指標に限定し，軟組織は評価対象としなかった。

セファログラム解析には Dolphin Imaging (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, USA) を用い、Steiner, Tweed, Ricketts, Downs, Bjork-Jarabak などの標準的な分析法から主要パラメータを選定した。計測はいずれも同一の矯正専門医が 1 か月の間隔で 2 回測定し、長さおよび角度について ICC および Dahlberg 誤差を算出した^{23, 24)}。

5. サグの定義

本研究では、Le Fort I および SSRO を施行した症例を、手術方向（セットフォワード/セットバック）およびサグの有無により分類した。サグは、術前後の下顎頭最上点（superior condylar point: SupCon）の三次元座標を比較し、FH 平面に対する垂直方向の変化量が 1.5 mm 以上の下方移動を示す場合を「サグあり」と定義した。

SupCon 下方変位量の閾値 1.5 mm は、IVRO 症例を対象とした Rotskoff らが 2 mm を超える下方移動を臨床的サグとして扱ったことや、前方移動 1.5 mm を判定基準に含めていることから、下顎頭位置変化の臨床的閾値が概ね 1～2 mm にあると報告されている点を参考に設定した⁶⁾。また、本研究の対象はリジッド固定を伴う SSRO+Le Fort I 症例であり、IVRO と比較して下顎頭変位量は小さいことが想定されるため、2 mm をそのまま適用すると重度サグのみが抽出される可能性があること、さらに本研究における三次元 CT 計測の Dahlberg 誤差がおおむね 0.4 mm であり、1.5 mm がその約 4 倍で測定誤差を十分に上回ることを踏まえ、下方変位 1.5 mm を実質的な位置変化を捉える閾値とした。

6. 症例単位・下顎頭単位での分類と必要症例数

解析は症例単位および下顎頭単位の 2 レベルで行った。症例単位では 1 症例を 1 例としてカウントし、SupCon の下方変位量が 1.5 mm 以上の顎関節を一側以上認める症例を「サグ群」、認めない症例を「非サグ群」とした（図 5）。下顎頭単位では左右の下顎頭を独立して評価し、SupCon の下方変位量が 1.5 mm 以上の顎関節を「サグ側」、それ未満を「非サグ側」とした（図 6）。

また、顎骨移動方向（セットフォワード/セットバック）の分類は、下顎大臼歯の頬側近心咬頭（L6）の前後方向変位量を用いて行った。具体的には、 $\Delta L6 = (\text{術後} - \text{術前})$ を左右別に算出し、下顎頭単位では各側の $\Delta L6$ の符号に基づき、 $\Delta L6 > 0$ を「セットフォワード側」、 $\Delta L6 < 0$ を「セットバック側」と定義した（図 6）。一方、症例単位では左右の $\Delta L6$ の合計（ $\Delta L6R + \Delta L6L$ ）を症例の代表値とし、合計が正の症例を「セットフォワード群」、負の症例を「セットバック群」とした（図 5）。なお、左右で $\Delta L6$ の符号が異なる（セットフォワード側とセットバ

ック側が混在する) 症例が存在するため、下顎頭単位で集計した「セットフォワード側」「セットバック側」の数は、症例単位で分類した各群の症例数の単純な2倍とは一致しない。

必要症例数は Pandis の式に基づき、Rotskoff らが報告した IVRO 術後下顎頭変位の標準偏差 (約 1 mm) と、本研究で臨床的有意差とみなした 1.5 mm を用いて算出した^{6,25)}。その結果、 $\alpha=0.05$ 、検出力 80% の条件では各群 7 例が必要と推定された。本研究では、手術方向 (セットフォワード/セットバック) × サグの有無 (サグ群/非サグ群) の 4 群のうち、セットバック・サグ群のみ 6 例であったが、他の 3 群はいずれも 7 例以上を含み、下顎頭単位の 4 群もすべて 7 顎関節以上であったことから、全体として概ね十分な統計的検出力が確保されていると判断した。

7. 統計解析

統計解析には Python (version 3.11.14, Python Software Foundation) を用い、NumPy (version 2.3.4) , SciPy (version 1.16.3) , pandas (version 2.3.3) , statsmodels (version 0.14.5) , matplotlib (version 3.10.6) などのライブラリを使用した。統計学的有意水準はすべて両側検定で $p < 0.05$ に設定した。サグの有無および SupCon 下方移動量と各形態指標との関連を、症例単位および下顎頭単位の 2 種類の解析単位で検討した。

症例単位の解析では、まず CT による SupCon の術前後変位量のうち、各症例でより下方移動量大きい側を「最大 SupCon 下方移動量 (patient_sag_amount)」として定義し、連続アウトカムとした。手術方向ごとに、SupCon の下方移動量が 1.5 mm 以上の顎関節を一側以上認める症例を「サグ群」、認めない症例を「非サグ群」とし、セットフォワード 17 例およびセットバック 19 例についてそれぞれ 2 群比較を行った。連続変数の群間比較ではマン・ホイットニーの U 検定を用い、効果量として Cohen's d も算出した。サグ発生率を含む二値変数についてはフィッシャーの正確確率検定を用いた。

さらに patient_sag_amount (mm) を従属変数とし、術前形態および術前後変化量を説明変数とする単変量線形回帰解析をセットフォワード群とセットバック群で別々に実施した。説明変数は平均 0、標準偏差 1 に標準化し、1 標準偏差 (1 SD) の増加に対する patient_sag_amount の変化量 [β (per 1 SD)] と 95% 信頼区間 (95%CI) , p 値、決定係数 (R^2) を算出した。単変量解析結果および臨床的妥当性に基づき、セットフォワード群では上顎咬合平面左右傾斜を表す指標と年齢を、セットバック群では下顎骨正中偏位量および下顎平面角を説明変数とする多変量線形回帰モデルを構築し、 β (per 1 SD) , 95%CI, p 値に加え、モデル全体の R^2 および調整 R^2 (Adj. R^2) を算出した。

下顎頭単位の解析では、同一症例内に左右顎関節が含まれることから観測値間の独立性が担保されない可能性を考慮し、症例 ID をランダム切片とする線形混合効果モデル（linear mixed-effects model; LMM）を用いた。まず、各連続変数を従属変数とし、固定効果としてサグの有無（0＝非サグ側，1＝サグ側）を投入した群間比較 LMM を手術方向別に構築し、サグ側と非サグ側の平均値差とその 95%CI, p 値を算出した。

次に、下顎頭最上点の術前後変化量 SupCon_FH_Pre_Post（mm, FH 平面に対する SupCon の垂直方向変化量）を従属変数とし、術前形態および術前後変化量を 1 変数ずつ固定効果として投入する単変量 LMM を手術方向別に構築した。SupCon_FH_Pre_Post は連続量として扱い、症例 ID をランダム切片としてモデル化した。各説明変数は標準化し、1 SD の増加に対する SupCon 下方変位量の変化量（係数 per 1 SD）と 95%CI, p 値を算出した。

サグ発生や下顎頭変位の結果を反映すると考えられる術後形態の計測値は原則として変数から除外し、術前形態と術前後変化量を中心に解析を行った。代表的な線形回帰モデルおよび LMM について残差プロットおよび QQ プロットを用いて線形性と残差の正規性を確認し、これらの仮定からの著明な逸脱がないことを確認した。

8. 倫理的配慮

本研究は、岡山大学臨床研究審査専門委員会の承認（承認番号：研 2406-010）を得て実施した。CT およびセファログラムはいずれも診療目的で撮影されたものであり、研究のための追加の放射線被ばくは生じていない。後向き研究の特性に従い、研究概要を院内に公開し、研究参加を望まない患者がオプトアウトできるよう配慮した。

結果

1. 対象の概要

本研究の解析対象は、2020年7月から2025年1月の間に岡山大学病院矯正歯科で術前矯正治療を受け、同院口腔顎顔面外科にて Le Fort I 骨切り術および下顎枝矢状分割術（SSRO）を施行された36名（男性9名、女性27名、平均年齢 28.4 ± 9.5 歳）であった。評価は症例単位（36 症例）および下顎頭単位（左右計 72 関節）で行い、手術方向（セットフォワード／セットバック）とサグの有無により、それぞれ4群に分類した。なお、Le Fort I の分割様式別では、セットフォワード群およびセットバック群のいずれにおいても、分割の有無によるサグ発生率（症例単位）および SupCon の下方変位量に有意差は認められなかった（いずれも $p > 0.05$ ）。

2. 計測信頼性

3DCT 計測では、角度の ICC は平均 0.98（0.89–1.00）、距離の ICC は平均 0.98（0.83–1.00）であり、Dahlberg 誤差はそれぞれ 0.93° （ 0.19 – 2.85° ）、 0.36 mm（ 0.11 – 1.12 mm）と小さく、術前後の三次元形態変化を評価するうえで高い測定者内信頼性が確認された。側方セファログラム計測でも、角度の ICC は平均 0.97（0.84–1.00）、距離の ICC は平均 0.98（0.89–1.00）であり、Dahlberg 誤差は 0.76° （ 0.18 – 1.83° ）、 0.53 mm（ 0.11 – 1.09 mm）で、多くの項目が 1° または 1 mm 未満に収まり、二次元形態評価として実用上十分な再現性を示した。

3. サグ発生率

SupCon 下方変位量に基づいて定義したサグの症例単位の発生率は、セットフォワード群で 7/17 例（41.2%：両側 4 例、片側 3 例）、セットバック群で 6/19 例（31.6%：両側 1 例、片側 5 例）であり、両群間に有意差は認められなかった（ $p = 0.73$ ，図 5）。下顎頭単位では、セットフォワード群で 9/32 関節（28.1%）、セットバック群で 9/40 関節（22.5%）にサグを認めたが、こちらも手術方向による有意差はなかった（ $p = 0.60$ ，図 6）。

4. 症例単位の解析

4-1. 群間比較（サグ群 vs 非サグ群）

セットフォワード群（ $n = 17$ ）では、サグ群で下顎頭最上点左右間距離の術前後変化量が非サグ群より有意に大きく、サグ群の年齢は非サグ群に比べ有意に若年であった（表 4）。セットバック群（ $n = 19$ ）では、サグ群で Pog の COP に対する位置をはじめとするオトガイ部、上顎骨および上下顎前歯の COP に対する位置がより後方位を示し、術前最大開口量が小さく、年齢も非サグ群に比べ有意に低かった（表 5）。

4-2. 単変量線形回帰

セットフォワード群では、上顎第一大臼歯ならびに下顎第一大臼歯の左右垂直的位置差の術前後変化量が大きい、すなわち上下顎の咬合平面左右傾斜（カント）の修正量が大きい症例ほど、症例単位の最大 SupCon 下方変位量（patient_sag_amount）が増大する有意な正の関連を示した。また、Menton（Me）を含む下顎骨正中の術前後移動量や、左右下顎頭最外側点間距離の拡大量もサグ量と正の関連を示し、一方で年齢は patient_sag_amount と有意な負の関連を認めた（表 6）。

セットバック群では、術前の下顎骨正中偏位量（Me の MSP からの距離）が大きいほど、patient_sag_amount が増大していた。さらに、PNS および Pog の COP に対する距離が小さい、すなわち上下顎骨がより後方位を示す症例ほどサグ量が大きく、初診時の下顎下縁平面角および Y-axis 角が大きい高角症例でも SupCon 下方変位量との有意な正の関連を認めた（表 7）。

4-3. 多変量線形回帰

多変量線形回帰解析では、セットフォワード群において、術前の上顎カントと年齢がいずれも patient_sag_amount と独立して有意な関連を示し、上顎カントが大きく若年であるほど最大 SupCon 下方変位量が増大する傾向が認められた。本モデルの決定係数は $R^2 = 0.56$ （調整 $R^2 = 0.50$ ）であり、2 因子でサグ量の約半分が説明された（表 8）。

セットバック群では、術前の下顎骨正中偏位量と下顎下縁平面角が patient_sag_amount と独立して有意な正の関連を示し、正中偏位が大きく高角傾向が強い症例ほど最大 SupCon 下方移動量が増大していた。本モデルの決定係数は $R^2 = 0.47$ （調整 $R^2 = 0.40$ ）であり、これら 2 因子でサグ量の約半分が説明された（表 9）。

5. 下顎頭単位の解析

5-1. 群間比較（LMM：サグ側 vs 非サグ側）

セットフォワード側においてサグ側顎関節は非サグ側に比べ、下顎頭前頭面の MeCon-SupCon-LaCon 角および術前後の下顎頭外側変位量がいずれも有意に大きく、下顎頭頂が前頭面でより鈍角な輪郭を示し、下顎頭外側移動が特徴的であった（表 10）。

セットバック側では、サグ側顎関節で下顎頭最上点と筋突起最上点を結ぶ線から下顎切痕最下点までの距離が非サグ側より短く、下顎切痕がより浅い形態を示した。また、下顎枝の矢状面および前頭面での傾斜変化はサグ側で有意に大きく、下顎枝が矢状面では反時計回りに回転し、前頭面では内側方向へ傾斜する傾向を認めた。さらに、下顎頭の内側変位量および下顎角部の前方・外側方向への変位量もサグ側で大きく、サグ側では下顎頭の内側移動

および下顎角の前方・外側移動と、下顎枝の反時計回り回転および内側傾斜が組み合わさった変位パターンを呈していた（表 11）。

5-2. SupCon 下方移動量との関連（単変量 LMM）

セットフォワード側において、下顎頭前頭面形態を示す MeCon-SupCon-LaCon 角が大きい顎関節ほど SupCon の下方変位量が増大する有意な正の関連を認めた。一方、MeCon と LaCon の垂直的位置の差を表す指標では、内外側の高さ差が小さい顎関節ほど SupCon の下方変位量大きい負の関連を示した。すなわち、前頭面で MeCon-SupCon-LaCon 角が大きく、かつ MeCon と LaCon の垂直的位置の差が小さい、より平坦に近い下顎頭形態を示す顎関節ほど、SupCon の下方移動量が増大する傾向が認められた。さらに、下顎頭の前方移動量や最外側点の外側変位量大きい顎関節では SupCon の下方移動量が増大していた（表 12）。

セットバック側では、顎関節から下顎枝までの FH 平面に対する垂直位置が高い傾向を示した。また、顎関節と下顎角との距離が短い形態ほど SupCon の下方移動量大きい負の関連を示し、下顎枝高が相対的に短い症例でサグ量が増大する傾向が認められた。また、下顎角部や下顎骨体部および上下第一大臼歯が COP に対してより後方に位置するほど下顎頭の下方移動量が大きく、上下顎骨の後方位が一貫してサグと関連していた。さらに、浅い下顎切痕形態、短い筋突起長、FH 平面に対してより垂直に近い下顎枝傾斜、術前後における下顎枝の反時計回りの回転および下顎角の前方移動、前頭面での内側傾斜回転も SupCon 下方変位量の増大と有意に関連していた（表 13）。なお、既報の IVRO 研究でリスク因子として挙げられたセットバック量および術前顎関節症状については、本研究における SupCon の下方移動量とは明確な関連を認めなかった。

1. 先行研究との比較

先行研究において、IVRO では術後早期 CT による評価で 37% の顎関節にサグが認められたとの報告がある一方⁹⁾、SSRO では咬合異常を伴う「臨床的サグ」に限れば頻度はおおむね 1 割前後とされてきた^{7,11)}。本研究では咬合異常の有無を問わず SupCon の下方移動に基づきサグを判定した結果、サグはセットフォワード症例・セットバック症例のいずれにおいても約 3～4 割の症例、約 2～3 割の顎関節で認められた。定義や評価時期が異なるため術式間で頻度を単純比較することはできないものの、少なくとも本研究の条件下では、SSRO+Le Fort I においてもサグが一定の頻度で生じていることが示された。

関連因子に関して、IVRO を対象とした報告では、Le Fort I による上顎カント修正（2 mm 以上）の有無に加え、遠位骨片セットバック量や術前顎関節症状、関節結節高径などがサグあるいは下顎頭変位と関連することが示されている^{9,10)}。本研究でも、上顎カントとその修正量はセットフォワード症例において SupCon の下方移動と関連しており、Le Fort I を伴う症例では、下顎の術式にかかわらず、上顎カントとその修正操作がサグ発生に関与しうる点で、先行研究と整合的であった。一方で、IVRO で関連因子候補として挙げられた遠位骨片セットバック量や術前顎関節症状、関節結節高径などは、本研究の SSRO+Le Fort I 症例では明確な関連を示さず、代わって高角骨格や下顎骨正中偏位などがサグと関連する因子として認められた。つまり、Le Fort I を併用した上下顎同時移動術では、上顎カント関連の指標は IVRO と SSRO に共通して関与しうるものの、それ以外の関連因子の構成は両者で大きく異なっていた。

下顎頭の移動方向に関しては、IVRO では前下方から前下外側への移動が報告されているのに対し⁶⁾、本研究のセットフォワード症例でも SupCon の下方移動とともに下顎頭の前外側移動がみられ、IVRO における変位様式と一定の共通点を有していた。一方、セットバック症例では、下顎枝の反時計回り回転および内側傾斜と、それに伴う下顎頭の内側移動および下顎角の前方・外側移動という変位パターンが特徴的であり、IVRO の変位様式とは異なっていた。以上より、IVRO と SSRO+Le Fort I では、一部の背景因子（上顎カント関連）や下顎頭の変位方向（セットフォワードでの前外側移動）に共通性を認める一方、多くの関連因子や変位様式は相違点が大きく、IVRO の知見を SSRO にそのまま適用することはできないと考えられる。以下では、SSRO+Le Fort I 症例におけるセットフォワードおよびセットバック別の結果に焦点を当てて、メカニズムと臨床的意義を検討する。

2. セットフォワード症例におけるサグ関連因子とメカニズム

セットフォワード症例では、上顎カントや上下顎カント修正量および術前後の下顎正中移動量が大きく、前頭面で下顎頭頂が平坦化した下顎頭形態を示し、年齢が若い症例ほど SupCon の下方移動量が増大していた。

上顎カントは、下顎枝高や下顎体長、下顎位と有意に関連することが報告されており、下顎骨形態および下顎の空間的位置と関連する形態的指標とされる²⁶⁾。本研究では、Le Fort I による上下顎カント修正量や下顎骨正中移動量も SupCon 下方移動量と関連していたことから、骨格非対称を是正するための遠位骨片の左右の移動量の差や、術中の骨片適合・プレート固定のわずかな違いなどが重なり、顎関節での下顎頭位置の変化にも影響した可能性がある。

本研究で観察されたような平坦化した下顎頭形態は、加齢や咬合条件の変化、顎関節症状の有無などに応じたりモデリングや退行性変化の一形態として報告されている^{27,28)}。さらに、術前に関節面の平坦化などの形態異常を認める顎関節では、術後早期に下顎頭の骨吸収や形態変化の進行を示す例が多いと報告されている²⁹⁾。これらの知見は、平坦化を含む術前の下顎頭形態変化を有する顎関節では、すでにリモデリングや変性の既往を持つ関節であり、術後の荷重変化や軽度の位置ずれが重なった際に、下顎頭の位置変化や吸収が生じやすい素地を有している可能性を示唆する。

また、若年ほど SupCon の下方移動量が多い傾向は、顎矯正手術後の下顎頭吸収において若年がリスク因子候補とされている系統的レビューの所見とも方向性が一致し³⁰⁾、若年での顎関節の不安定性を示していると考えられる。同様の傾向はセットバック症例でもサグ群が非サグ群より若年であった点にもみられており、年齢は手術方向に共通する宿主背景因子の一つと考えられる。一方で、年齢は顎変形症の重症度や手術適応のタイミングとも関連し得るため、本研究の結果のみから、若年であること自体を独立した因果因子と断定することはできない。

3. セットバック症例におけるサグ関連因子とメカニズム

セットバック症例では、高角傾向、上下顎骨の後方位、矢状面での下顎枝の直立傾向、下顎枝の高位、短い下顎枝高、短い筋突起長、浅い下顎切痕、大きな下顎骨正中偏位、および小さな最大開口量を認める症例ほど、SupCon の下方移動量が大きく、サグを生じやすい傾向が認められた。

垂直的骨格パターンと顎顔面・顎関節形態との関連について、高角症例では、上下顎骨が前頭蓋底に対して後方位にあり、下顎枝が矢状面でより直立し、下顎頭および筋突起が高位に位置する形態パターンが示されており

³¹⁾、下顎枝高が短いことも報告されている^{32,33)}。また、高角パターンを伴う長顔症例では短い筋突起長が報告されており³⁴⁾、浅い下顎切痕も筋突起領域の低形成という観点から近い傾向を示すと解釈しうる。一方で、筋突起長と顔面型・骨格分類との関連を認めなかった報告もあることから³⁵⁾、筋突起低形成は高角骨格にしばしば併存しうるものの、その普遍性についてはなお議論の余地がある。これらを総合すると、本研究でサグと関連した「上下顎骨の後方位」「矢状面での下顎枝の直立傾向」「顎関節から下顎枝の高位」「短い下顎枝高」「短い筋突起長」「浅い下顎切痕」という6つの形態的特徴は、高角骨格に併存しやすい下顎枝・顎関節形態のパターンとして解釈しうる。

顎矯正手術後の下顎頭位置変化や下顎頭吸収に関して、高角傾向や短い下顎枝高などの垂直的骨格特徴が、上下顎同時移動術を含むSSRO後における下顎頭吸収・後戻りのリスク因子候補として繰り返し報告されている⁸⁾。本研究のセットバック症例においても、高角傾向や短い下顎枝高を有する症例ほどサグの発生頻度が高かったことは、高角骨格が下顎頭の術後安定性に不利な骨格的背景となりうるという従来の見解と方向性が一致する。

顎関節内部障害の観点からも、高角傾向と顎関節の不安定性との関連が示唆されている。関節円板転位を有する症例では、下顎枝高が短く、下顎平面角が大きい症例が多いことが報告されており³⁶⁾、高角かつ短い下顎枝高を背景とする顎顔面形態では、下顎頭および関節円板の位置が荷重条件の変化に応じて変化しやすい関節構造をもつと考えられる。一方、本研究では術前に記録された顎関節症状（関節雑音や疼痛）の有無はサグの有無と有意な関連を示さなかった。ただし、本研究では顎関節内部障害の有無をMRIや詳細な機能検査で評価しておらず、無症候性の円板転位や下顎頭リモデリングの存在は否定できない。この点を踏まえると、本研究でサグと関連した高角傾向および短い下顎枝高は、既報で下顎頭吸収や円板転位のリスク背景とされる骨格パターンと方向性としては一致するものの、本研究のデータだけから顎関節内部障害との直接的な関連を結論づけることはできない。顎関節内部構造の評価を含めた今後の検証が必要である。

最大開口量は顎関節包や靱帯の伸展性だけでなく、高角傾向および下顎枝の傾斜といった顎顔面形態にも影響されることが報告されている^{37,40)}。本研究ではサグと関連したセットバック症例で、高角傾向および矢状面での下顎枝の直立傾向を示していたことから、サグ群における最大開口量の低下は、顎関節周囲軟部組織の要因に加えて、このような下顎枝の傾斜が構造的に最大開口時の下顎切歯の移動量を制限している可能性も考えられる。ただし、最大開口量は顎関節障害のない一般集団においても個人差が大きく^{37,38)}、本研究のデータのみから小さな最大開口量をサグのリスク因子や顎関節の不安定性と結び付けることはできず、その解釈には慎重を要する。

下顎骨正中偏位を有する症例では、偏位側と非偏位側で下顎頭体積に左右差が認められることが報告されており⁴¹⁾、こうした関節レベルの左右差が存在する可能性がある。また、下顎骨正中偏位を有するセットバック症例において、左右で遠位骨片の移動量が異なると、下顎頭の回転が左右で異なることが報告されており^{20, 42)}、その結果として非対称な荷重条件が生じ、下顎頭の変位に影響を与える可能性がある。本研究では偏位側顎関節と非偏位側顎関節のいずれでサグが生じたかまでは個別に検討しておらず、下顎骨正中偏位とサグ発生側との対応関係については今後の検証が必要である。なお、本研究の施設ではセットバック症例で内側翼突筋付着部の一部を剥離しており、下顎角の内側を支持する筋の拘束が一時的に減弱することで、下顎角が外側へ移動しやすい条件となり、サグ側での近位骨片の移動に影響している可能性も考えられる。

4. セットフォワードとセットバックにおけるサグ関連因子の解釈

セットフォワード症例では、平坦化した下顎頭形態という位置変化が生じやすい顎関節を背景として、上顎カントとその修正、下顎骨正中移動といった因子が、術前後に左右非対称な骨片移動と荷重条件をもたらすことで、サグ側顎関節における前外側移動型の下顎頭下方移動が生じやすいと考えられる。

一方、セットバック症例では、高角骨格や短い下顎枝高といった骨格形態に加え、下顎骨正中偏位に伴う顎骨・顎関節レベルの左右差が存在し、これらが術前から位置変化が生じやすい顎関節環境を形成していると考えられる。このような背景のもとで、術前後の左右非対称な骨片移動と荷重条件が加わることで、サグ側近位骨片の反時計回りの回転および内側傾斜を介した下顎頭下方移動が生じやすいと解釈される。

以上を踏まえると、SSRO+Le Fort Iにおけるサグは、いずれも「下顎頭の位置変化が生じやすい顎関節の形態的・力学的条件」と「骨格・咬合の左右非対称に起因する非対称な骨片移動と荷重条件」、さらに「プレート固定などの手術操作」が重なった結果として生じる多因子性病態と理解できる。

5. 臨床的意義

本研究で示された、骨格パターンや下顎枝・顎関節形態、術前最大開口量などサグと関連する因子の多くは、セファログラムや術前 CT、術前診査で把握可能であり、上下顎同時移動術症例の術前リスク評価に組み入れることで、サグ発生リスクの術前把握に役立つと考えられる。ただし、現時点では予測因子候補にとどまり、明確なカットオフ値や因果関係が確立されたわけではない点に留意が必要である。そのため、本研究の結果のみから、サグリスクを理由にセットバック量や上顎カント修正量を制限するといった具体的な手術計画の変更を推奨できる段階に

はない。一方で、サグ発生リスクが高いと考えられる症例では、骨片固定時に下顎頭が過度に低位化していないかを慎重に確認し、下顎枝の回転を助長しにくいプレート配置・固定様式を検討することが妥当と考えられる。また、術後の咬合や顎関節の変化の可能性を踏まえ、開咬や臼歯関係の変化の有無を意識した術後フォローを行うことが望ましい。

6. 限界と今後

本研究は単一施設における後ろ向き観察研究であり、術前後 CT 画像とカルテ記録に依拠している。本研究には、以下に述べるようないくつかの方法論的限界がある。

第一に、術前後の顎骨・歯列の三次元的移動量は、術中に意図された骨片移動とサグを含む予期せぬ変位が重なった「結果」であり、両者を完全に分離できない。将来的には、既報の 3D モデル重ね合わせやバーチャルサージカルプランニングに基づく術前計画と術後 CT 実測値との差分評価の枠組み^{14,43,44)}を応用し、「予定骨片移動量」と実測変位との差からサグに起因する変位成分をより厳密に抽出する必要がある。

第二に、症例数および検出力制約がある。本研究は 36 例をセットフォワード 17 例・セットバック 19 例に分けて解析しており、一部群では事前に想定した必要症例数を満たしていない。そのため、推定された効果量や p 値は症例数の影響を受けやすく、多変量解析も説明変数を限定した探索的モデルにとどまる。本研究で得られた関連は仮説生成的所見として扱い、今後より大規模な前向き研究による検証が必要である。さらに、本研究では症例数が限られており、サグを片側例と両側例に分けた層別解析は行っていない。そのため、本研究で示したサグ関連因子や変位様式が片側サグと両側サグでどの程度共通するのか、あるいはそれぞれに特有の条件が存在するのかについては判断できず、症例数を蓄積したうえでの検討が必要である。

第三に、サグの定義および測定条件にも限界がある。本研究では SupCon の垂直移動量に基づきサグを画像学的に定義したが、これは病態の一側面を抽出したものであり、サグの全体像を完全に表現するものではない。また、術前後とも咬合位で撮影された CT を用いており、咬合接触による下顎頭誘導の影響を完全には排除できない。特に高角傾向や下顎後退傾向を有する症例では、Centric Relation (CR) と咬頭嵌合位との不一致が大きくなりやすいことが報告されており^{45,46)}、本研究条件下では下顎頭位置のばらつきを過小評価している可能性がある。さらに、下顎頭安定位の指標として CR 位を用いる方法も考えられるが、CR の定義や記録法については歴史的に多くの変遷があり、Glossary of Prosthodontic Terms に複数の定義が併記されていることや、専門家を対象とした調査でも

いずれの定義にも十分な支持が集まらないことが報告されている⁴⁷⁻⁴⁹⁾。また、特定の CR 顎位が生理学的に優れた状態を反映するというエビデンスもなお限定的であり、CR 概念の妥当性には批判的な見解も示されている⁵⁰⁾。このような概念上・方法論上の問題に加え、本研究は術前後の咬合位 CT 画像を用いた後ろ向き研究であり、全症例において CR 顎位を再現性高く記録・適用することは現実的ではなかった。そのため、本研究では日常診療で再現性が高く、実際の術前・術後咬合状態を直接反映する咬合位（最大嵌合位）で撮影された CT に基づき下顎頭位置を評価した。

第四に、本研究では咀嚼筋機能や関節円板位置、ブラキシズムなどの機能的因子を評価しておらず、形態因子と機能因子の交絡を十分に統制できていない。顎矯正手術後の下顎頭位置変化やリモデリングには、咬合力の大きさ・方向、筋活動パターン、円板・靱帯の状態などの動的要因も関与しうることが報告されており^{8,51)}、今後は MRI による関節内部構造や筋機能評価、咬合力測定を組み合わせた検討が求められる。

第五に、対象は日本人成人の SSRO+Le Fort I による上下顎同時移動術症例に限定されており、他人種や SSRO 単独症例、固定法・術後管理が異なる施設への一般化には慎重を要する^{52,53)}。本研究で示されたサグの頻度や関連因子は、上下顎同時移動術特有の病態を反映している可能性が高く、今後は SSRO 単独症例や他の下顎枝骨切り術との比較研究を通じて、術式間のサグメカニズムの異同を検証する必要がある。また、本研究の Le Fort I には、非分割症例に加え、分割症例も含まれている。分割の有無とサグの有無および SupCon の下方移動量との関連を検討したが、有意な差は認められなかったことから、本研究の範囲では、分割 Le Fort I の併用がサグ発生に及ぼす影響は相対的に小さい可能性が示唆される。ただし、症例数には限りがあり、分割・非分割の比率も十分とはいえないため、小さな効果や分割様式・拡大量の違いを検出できていない可能性は否定できない。さらに、本研究の施設では、セットバック症例では咬筋に加えて内側翼突筋付着部の一部を剥離し、セットフォワード症例では内側翼突筋の剥離は行っておらず、両群の比較にはこうした術式・筋操作の違いも含まれている。本研究の設計上、手術方向と内側翼突筋に対する操作の程度を切り離して検討することはできず、筋付着の処理方法や剥離範囲がサグの発生頻度や変位様式にどの程度関与しているかについては、今後、術式要因として系統的に評価していく必要がある。

第六に、本研究のアウトカム評価は術後約 5 日時点の CT による下顎頭位置のみであり、その後に生じうる開咬や顎関節症状、下顎頭の長期的な骨性リモデリングとの関連は評価していない。顎矯正手術後の下顎頭位置変化やリモデリングと、開咬・顎関節症状・骨格安定性との関係を数か月～数年にわたり追跡した報告も存在するが²¹⁾

⁵⁴⁾ , 今回定義した画像学的サグが長期の咬合・顎関節機能にどの程度影響するかを明らかにするためには, 矯正治療介入も含めた長期フォローアップを伴う前向き研究が不可欠である。

結論

本研究は, SSRO+Le Fort I 併用による上下顎同時移動術直後に生じるサグを, 術前後 CT に基づく三次元計測により客観的に評価する枠組みとして提示した。移動方向別の解析から, サグは単一の要因で説明される現象ではなく, 顎関節の形態的・力学的背景, 骨片移動に伴う荷重環境, 固定操作などが重なって発現する多因子性の病態であり, その表れ方はセットフォワードとセットバックで異なる可能性が示唆された。これらの知見は, 上下顎同時移動術におけるサグを術直後の下顎頭位置変化として整理し, 術前のリスク把握から術中の近位骨片管理・固定, 術後経過観察の重点化までを一連で具体化するための基盤となる。今後は, 長期経過および顎関節機能との関連を前向きに検証し, 本研究で示された知見の臨床的影響と適切な対応指針を明確化する必要がある。

謝辞

稿を終えるにあたり, 懇篤なる御指導と御校閲を承りました岡山大学学術研究院医歯薬学域歯科矯正学分野上岡寛教授に深甚なる謝意を表します。また, 懇切なる御校閲と本研究の遂行に際し, 御指導をいただきました岡山大学学術研究院医歯薬学域歯科矯正学分野河野加奈助教, 岡山大学学術研究院医歯薬学域口腔顎顔面外科学分野の伊原本聰一郎教授に謹んで感謝の意を表します。最後に本研究を行うにあたり, 多くの御援助と御協力をいただきました岡山大学大学院医歯薬学総合研究科歯科矯正学分野並びに岡山大学学術研究院医歯薬学域口腔顎顔面外科学分野の先生方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Patel PK, Novia MV. The surgical tools: the LeFort I, bilateral sagittal split osteotomy of the mandible, and the osseous genioplasty. Clin Plast Surg. 2007; 34(3): 447-475.
- 2) Ghali GE, Sikes JW Jr. Intraoral vertical ramus osteotomy as the preferred treatment for mandibular prognathism. J Oral Maxillofac Surg. 2000; 58(3): 313-315.
- 3) Kuik K, De Ruiter MHT, De Lange J, Hoekema A. Fixation methods in sagittal split ramus osteotomy: a systematic review on in vitro biomechanical assessments. Int J Oral Maxillofac Surg. 2019; 48(1): 56-70.

- 4) Ueki K, Moroi A, Tsutsui T, Hiraide R, Takayama A, Saito Y, Sato M, Baba N, Tsunoda T, Hotta A, Yoshizawa K. Time-course change in temporomandibular joint space after advancement and setback mandibular osteotomy with Le Fort I osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018; 46(4): 679-687.
- 5) Hall HD, McKenna SJ. Further refinement and evaluation of intraoral vertical ramus osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 1987; 45(8): 684-688.
- 6) Rotskoff KS, Herbosa EG, Nickels B. Correction of condylar displacement following intraoral vertical ramus osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 1991; 49(4): 366-372.
- 7) Reyneke JP, Ferretti C. Intraoperative diagnosis of condylar sag after bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2002; 40(4): 285-292.
- 8) Ueki K, Moroi A, Sotobori M, Ishihara Y, Marukawa K, Takatsuka S, Yoshizawa K, Kato K, Kawashiri S. A hypothesis on the desired postoperative position of the condyle in orthognathic surgery: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012; 114(5): 567-576.
- 9) Rokutanda S, Yamada SI, Yanamoto S, Sakamoto H, Omori K, Rokutanda H, Yoshimi T, Fujishita A, Morita Y, Yoshida N, Umeda M. Predisposing conditions for condylar sag after intraoral vertical ramus osteotomy. *Sci Rep.* 2021; 11: 10463.
- 10) Nagata Y, Moritani N, Amano K, Arimura Y, Nakatsuji K, Kato S, Mikami A, Matsumura T, Iida S. Mandibular condylar displacement and the associated factors following intraoral vertical ramus osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol.* 2023; 35(5): 390-396.
- 11) Politi M, Toro C, Costa F, Polini F, Robiony M. Intraoperative awakening of the patient during orthognathic surgery: a method to prevent the condylar sag. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007; 65(1): 109-114.
- 12) Berköz Ö, Karaali S, Kozanoğlu E, Akalın BE, Çeri A, Barış Ş, Marşan G, Cura N, Emekli U. The relationship between fixation method and early central condylar sagging after bilateral sagittal split ramus osteotomy in orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020; 48(10): 928-932.
- 13) Shanmugasundaram S, Sneha P, Prasad TG, Raja VBK. Efficacy of sagittal split fix plates with adjustable slider for intra-operative identification and correction of condylar sag in sagittal split osteotomy – a pilot study. *J Maxillofac Oral Surg.* 2022; 21(4): 1291-1295.
- 14) Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, Proffit WR, Turvey T. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005; 34(6): 369-375.

- 15) Kim YJ, Oh KM, Hong JS, Lee JH, Kim HM, Reyes M, Cevidanes LH, Park YH. Do patients treated with bimaxillary surgery have more stable condylar positions than those who have undergone single-jaw surgery? *J Oral Maxillofac Surg.* 2012; 70(9): 2143-2152.
- 16) von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP; STROBE Initiative. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol.* 2008; 61(4): 344-349.
- 17) Epker BN. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg.* 1977; 35(2): 157-159.
- 18) Kim KS, Son WS, Park SB, Kim SS, Kim YI. Relationship between chin deviation and the position and morphology of the mandible in individuals with a unilateral cleft lip and palate. *Korean J Orthod.* 2013; 43(4): 168-177.
- 19) An S, Lee JY, Chung CJ, Kim KH. Comparison of different midsagittal plane configurations for evaluating craniofacial asymmetry by expert preference. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017; 152(6): 788-797.
- 20) Baek SH, Kim TK, Kim MJ. Is there any difference in the condylar position and angulation after asymmetric mandibular setback? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 101(2): 155-163.
- 21) Tyan S, Kim HH, Park KH, Kim SJ, Kim KA, Ahn HW. Sequential changes of postoperative condylar position in patients with facial asymmetry. *Angle Orthod.* 2017; 87(2): 260-268.
- 22) Marques FBC, Siqueira de Lima L, Coqueiro RDS, Pithon MM, Ruellas ACO, Maciel JVB, Nojima MDCG. Cone-beam computed tomography study of mandibular morphology and tooth compensation in asymmetrical patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023; 164(2): 265-275.
- 23) Dahlberg G. *Statistical Methods for Medical and Biological Students.* London, George Allen & Unwin, 1940.
- 24) Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull.* 1979; 86(2): 420-426.
- 25) Pandis N. Sample calculations for comparison of 2 means. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012; 141(4): 519-521.
- 26) Coro JC, Velasquez RL, Coro IM, Wheeler TT, McGorray SP, Sato S. Relationship of maxillary 3-dimensional posterior occlusal plane to mandibular spatial position and morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016; 150(1): 140-152.
- 27) Yalcin ED, Ararat E. Cone-beam computed tomography study of mandibular condylar morphology. *J Craniofac Surg.* 2019; 30(8): 2621-2624.
- 28) Lobo F, Tolentino ES, Iwaki LCV, Walewski LÂ, Takeshita WM, Chicarelli M. Imaginology tridimensional study of temporomandibular joint osseous components according to sagittal skeletal relationship, sex, and age. *J Craniofac Surg.* 2019; 30(5): 1462-1465.

- 29) Miyagawa K, Arikawa C, Hayashi K, Seki S, Yokota Y, Harada K, Tanaka S, Isomura ET. Bone microstructural characteristics or positional changes of condyle head affect short-term condyle head resorption after orthognathic surgery. *Sci Rep*. 2024; 14: 14269.
- 30) Togninalli D, Antonarakis GS, Schatz JP. Condylar resorption following mandibular advancement or bimaxillary osteotomies: a systematic review of systematic reviews. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2022; 123(6): e948-e955.
- 31) Knigge RP, McNulty KP, Oh H, Hardin AM, Leary EV, Duren DL, Valiathan M, Sherwood RJ. Geometric morphometric analysis of growth patterns among facial types. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021; 160(3): 430-441.
- 32) Gionhaku N, Lowe AA. Relationship between jaw muscle volume and craniofacial form. *J Dent Res*. 1989; 68(5): 805-809.
- 33) van Spronsen PH, Weijs WA, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B. Jaw muscle orientation and moment arms of long-face and normal adults. *J Dent Res*. 1996; 75(6): 1372-1380.
- 34) He S, Gu D, Jiang C, Yi Y, Su X, Fan Z, Min L, Yang X, Liu C. Three-dimensional measurement of the coronoid process and structural consistency analysis in patients with long-face morphology. *BMC Oral Health*. 2025; 25: 1456.
- 35) Gomes AF, Nejaim Y, Brasil DM, Groppo FC, Ferreira Caria PH, Haiter Neto F. Assessment of volume and height of the coronoid process in patients with different facial types and skeletal classes: a cone-beam computed tomography study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2015; 73(7): 1395.e1-1395.e5.
- 36) Osama A, Musa M, Zhang HJ, Zheng CD, Nasih M, Ren YH, Wang S. Impact of craniofacial skeletal characteristics on temporomandibular joint's articular disc position in temporomandibular disorders. *Sci Rep*. 2025; 15: 22090.
- 37) Dijkstra PU, Hof AL, Stegenga B, de Bont LG. Influence of mandibular length on mouth opening. *J Oral Rehabil*. 1999; 26(2): 117-122.
- 38) Fukui T, Tsuruta M, Murata K, Wakimoto Y, Tokiwa H, Kuwahara Y. Correlation between facial morphology, mouth opening ability, and condylar movement during opening–closing jaw movements in female adults with normal occlusion. *Eur J Orthod*. 2002; 24(4): 327-336.
- 39) Farella M, Iodice G, Michelotti A, Leonardi R. The relationship between vertical craniofacial morphology and the sagittal path of mandibular movements. *J Oral Rehabil*. 2005; 32(12): 857-862.
- 40) Kataoka T, Kawanabe N, Shiraga N, Hashimoto T, Deguchi T, Miyawaki S, Takano-Yamamoto T, Yamashiro T. The influence of craniofacial morphology on mandibular border movements. *Cranio*. 2013; 31(1): 14-22.
- 41) Chou ST, Wang JL, Chen SC, Pan CY, Chen CM, Tseng YC. Correlation between facial asymmetry of skeletal class III jaw relationship and morphology of the temporomandibular joint: a cone-beam computed tomography study. *J Dent Sci*. 2023; 18(3): 1031-1041.

- 42) Lim SY, Jiang T, Oh MH, Kook MS, Cho JH, Hwang HS. Cone-beam computed tomography evaluation on the changes in condylar long axis according to asymmetric setback in sagittal split ramus osteotomy patients. *Angle Orthod.* 2017; 87(2): 254-259.
- 43) Alkhayer A, Piffkó J, Lippold C, Segatto E. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review. *Head Face Med.* 2020; 16: 34.
- 44) Tonin RH, Iwaki Filho L, Yamashita AL, Ferraz FWDS, Tolentino ES, Previdelli ITDS, Brum B, Iwaki LCV. Accuracy of 3D virtual surgical planning for maxillary positioning and orientation in orthognathic surgery. *Orthod Craniofac Res.* 2020; 23(2): 229-236.
- 45) Girardot RA Jr. Comparison of condylar position in hyperdivergent and hypodivergent facial skeletal types. *Angle Orthod.* 2001; 71(4): 240-246.
- 46) Lim WH, Choi B, Lee JY, Ahn SJ. Dentofacial characteristics in orthodontic patients with centric relation–maximum intercuspation discrepancy. *Angle Orthod.* 2014; 84(6): 939-945.
- 47) Rinchuse DJ, Kandasamy S. Centric relation: a historical and contemporary orthodontic perspective. *J Am Dent Assoc.* 2006; 137(4): 494-501.
- 48) Goldstein G, Andrawis M, Choi M, Wiens J, Janal MN. A survey to determine agreement regarding the definition of centric relation. *J Prosthet Dent.* 2017; 117(3): 426-429.
- 49) Wiens JP, Goldstein GR, Andrawis M, Choi M, Priebe JW. Defining centric relation. *J Prosthet Dent.* 2018; 120(1): 114-122.
- 50) Zonnenberg AJJ, Türp JC, Greene CS. Centric relation critically revisited – what are the clinical implications? *J Oral Rehabil.* 2021; 48(9): 1050-1055.
- 51) Dicker GJ, Castelijns JA, Tuinzing DB, Stoelinga PJ. Do the changes in muscle mass, muscle direction, and rotations of the condyles that occur after sagittal split advancement osteotomies play a role in the aetiology of progressive condylar resorption? *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015; 44(5): 627-631.
- 52) Miyajima K, McNamara JA Jr, Kimura T, Murata S, Iizuka T. Craniofacial structure of Japanese and European-American adults with normal occlusions and well-balanced faces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996; 110(4): 431-438.
- 53) Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts AL. Comparison of cephalometric norms between Japanese and Caucasian adults in antero-posterior and vertical dimension. *Eur J Orthod.* 2007; 29(5): 493-499.
- 54) Politis C, Van De Vyvere G, Agbaje JO. Condylar resorption after orthognathic surgery. *J Craniofac Surg.* 2019; 30(1): 169-174.

表 1 計測点の定義

計測点	定義
Or	眼窩下縁最下点
Po	外耳道最上点
Na	前頭鼻骨縫合最前方点
Ba	大後頭孔最前方点
SupCon	下顎頭最上点
LaCon	下顎頭最外側点
MeCon	下顎頭最内側点
CeCon	LaCon と MeCon の 3 次元的中点
PoCon	下顎頭最後方点
ConFos	下顎窩最上点
Em	関節結節最下点
CorPro	筋突起最上点
ManNot	下顎切痕最下点
U1	上顎右側 1 番切縁の最近心点
L1	下顎右側 1 番切縁の最近心点
U6	上顎 6 番頬側近心咬頭頂
L6	下顎 6 番頬側近心咬頭頂
Me	下顎骨正中の最下点
Pog	下顎骨オトガイ部最前方点
LaGo	下顎角最外側点
PoGo	下顎角最後方点
ManFor	下顎孔最下点
MFor	オトガイ孔最下点
MForMid	左右 MFor の中点
InFor	切歯管最後方点
PNS	後鼻棘最後方点

表 2 基準三平面の定義

平面	定義
FHP (フランクフルト平面)	左右の Or と, 左右 Po の中点の 3 点を通る平面
MSP (正中矢状平面)	FHP に直交し, Na および Ba を通る平面
COP (冠状平面)	FHP および MSP に直交し, Ba を通る平面

表 3 例外的な変数名

変数名	定義
age	手術時年齢
maxbiteopen	最大開口量（上下顎切歯間距離）
Le_SupConCorPro_ManNot_Pre	SupCon と CorPro を結ぶ直線に対する ManNot の最短距離
Le_U6_LR_FH_abs_Pre	上顎第 1 大臼歯（U6）の FHP 垂直距離における 左右差（左側-右側）の絶対値
Le_U6_LR_FH_abs_Pre_Post	上顎第 1 大臼歯（U6）の FHP 垂直距離における 左右差（左側-右側）の術前後変化量の絶対値
Le_L6_LR_FH_abs_Pre_Post	下顎第 1 大臼歯（L6）の FHP 垂直距離における 左右差（左側-右側）の術前後変化量の絶対値

表 4 セットフォワード症例における症例単位の群間比較（サグ群 vs 非サグ群）

変数（単位） 変数の説明	非サグ群	サグ群	Cohen's d	p 値	
Pre（術前計測値）					
age (year) 年齢	35.0 ± 8.8	23.3 ± 2.4	-1.68	0.004	**
Pre_Post（術前後計測値）					
Le_SupCon_LR (mm) 左右の下顎頭最上点間距離の 変化量	1.4 ± 3.5	5.1 ± 3.4	1.07	0.040	*

各群の値は平均 ± 標準偏差で示す。

群間比較にはマン・ホイットニーの U 検定を用いた。

有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 5 セットバック症例における症例単位の群間比較（サグ群 vs 非サグ群）

変数（単位） 変数の説明	非サグ群	サグ群	Cohen's d	p 値	
Pre（術前計測値）					
Pog_COP (mm) オトガイ部最突出点の前後的位置	91.0 ± 8.4	81.4 ± 9.9	-1.08	0.036	*
L1_COP (mm) 下顎前歯の前後的位置	97.0 ± 6.6	90.2 ± 4.5	-1.12	0.046	*
U1_COP (mm) 上顎前歯の前後的位置	95.1 ± 5.4	87.7 ± 6.2	-1.32	0.017	*
InFor_COP (mm) 切歯管の前後的位置	77.4 ± 4.6	72.2 ± 3.9	-1.17	0.009	**
PNS_COP (mm) 後鼻棘の前後的位置	42.3 ± 3.4	38.7 ± 1.8	-1.19	0.022	*
maxbiteopen (mm) 最大開口量	52.6 ± 8.7	45.5 ± 8.1	-0.84	0.048	*
age (year) 年齢	29.4 ± 10.6	21.5 ± 6.5	-0.83	0.047	*

各群の値は平均 ± 標準偏差で示す。

群間比較にはマン・ホイットニーの U 検定を用いた。

有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 6 セットフォワード症例における症例単位の単変量線形回帰

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	β (per 1 SD)	95%CI	R ²	p 値	
Pre (術前計測値)						
age (year) 年齢	9.0	-0.69	-1.26 – -0.13	0.28	0.030	*
Pre_Post (術前後計測値)						
Le_U6_LR_FH_abs (mm) 上顎カント修正量	1.6	0.66	0.09 – 1.24	0.25	0.040	*
Le_L6_LR_FH_abs (mm) 下顎カント修正量	1.5	0.91	0.42 – 1.39	0.47	0.002	**
Me_MSP (mm) オトガイ部最下点の水平的位置変化	1.8	0.86	0.35 – 1.37	0.42	0.005	**
Pog_MSP (mm) オトガイ部最突出点の 水平的位置変化	1.5	0.88	0.38 – 1.38	0.44	0.003	**
Le_LaCon_LR (mm) 左右の下顎頭最外側点間距離の 変化量	2.8	0.87	0.37 – 1.37	0.44	0.004	**
Le_SupCon_LR (mm) 左右の下顎頭最上点間距離の 変化量	3.8	0.73	0.17 – 1.29	0.30	0.022	*

SD は説明変数の標準偏差を示す。

有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表7 セットバック症例における症例単位の単変量線形回帰

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	β (per 1 SD)	95%CI	R ²	p 値	
Pre (術前計測値)						
Me_MSP_abs (mm) オトガイ部最下点の 顔面正中に対する水平的位置	3.2	0.41	0.07 – 0.75	0.24	0.032	*
Le_MForMid_MSP (mm) 左右のオトガイ孔の midpoint の 顔面正中に対する水平的位置	2.8	0.40	0.05 – 0.74	0.23	0.038	*
Pog_COP (mm) オトガイ部最突出点の 前後的位置	9.8	-0.40	-0.74 – -0.05	0.23	0.039	*
Me_COP (mm) オトガイ部最下点の前後的位置	10.3	-0.38	-0.73 – -0.03	0.21	0.047	*
PNS_COP (mm) 後鼻棘の前後的位置	3.4	-0.42	-0.76 – -0.07	0.25	0.029	*
U1_COP (mm) 上顎前歯の前後的位置	6.5	-0.38	-0.73 – -0.03	0.21	0.046	*
2D_An_Mp_FH (°) 下顎下縁平面角	8.4	0.39	0.04 – 0.73	0.22	0.045	*
2D_An_Yaxis (°) Y-axis 角	5.4	0.39	0.04 – 0.74	0.22	0.045	*

SD は説明変数の標準偏差を示す。

有意水準 : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 8 セットフォワード症例における症例単位の変量線形回帰

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	β (per 1 SD)	95%CI	R ²	Adj.R ²	p 値	
Pre (術前計測値)							
Le_U6_LR_FH_abs (mm) 上顎カント量	1.2	0.71	0.24 – 1.18	0.56	0.50	0.010	**
age (year) 年齢	9.0	-0.81	-1.27 – -0.34	0.56	0.50	0.004	**

SD は説明変数の標準偏差を示す。

有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 9 セットバック症例における症例単位の多変量線形回帰

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	β (per 1 SD)	95%CI	R ²	Adj.R ²	p 値
Pre (術前計測値)						
Me_MSP_abs (mm) オトガイ部最下点の 顔面正中に対する水平的位置	3.2	0.45	0.15 – 0.75	0.47	0.40	0.009 **
2D_An_Mp_FH (°) 下顎下縁平面角	9.0	0.39	0.09 – 0.69	0.47	0.40	0.020 *

SD は説明変数の標準偏差を示す。

有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

表 10 セットフォワード側における顎関節単位の群間比較（LMM：サグ側 vs 非サグ側）

変数（単位） 変数の説明	非サグ側	サグ側	係数 ¹	95%CI	p 値	
Pre（術前計測値）						
An_MeCon_SupCon_LaCon (°)						
下顎頭最内側点と最上点と 最外側点を結んだ角度	103.9 ± 11.23	113.54 ± 5.41	8.14	2.10 – 14.17	0.008	**
Pre_Post（術前後計測値）						
SupCon_MSP_abs (mm)						
下顎頭最上点の水平的位置変化	0.82 ± 1.96	2.82 ± 2.96	1.95	0.13 – 3.76	0.036	*
MeCon_MSP_abs (mm)						
下顎頭最内側点の水平的位置変化	0.60 ± 1.25	2.31 ± 2.31	1.59	0.18 – 2.99	0.027	*

各側の値は平均 ± 標準偏差で示す。

¹ 係数：LMM におけるサグの有無の固定効果推定値（サグ側 – 非サグ側）。

有意水準：* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

表 11 セットバック側における顎関節単位の群間比較 (LMM：サグ側 vs 非サグ側)

変数 (単位) 変数の説明	非サグ側	サグ側	係数 ¹	95%CI	p 値	
Pre (術前計測値)						
Le_SupConCorPro_ManNot (mm) 下顎頭最上点と筋突起最上点を結ぶ 直線に対する下顎切痕最下点の最短距離	15.95 ± 1.61	13.81 ± 1.35	-1.17	-2.26 – -0.09	0.034	*
Pre_Post (術前後計測値)						
An_PoCon_PoGo_FH (°) 下顎頭最後方点と下顎角最後方点を結んだ 直線と FH 平面がなす角度の変化 (矢状 面)	-0.75 ± 3.09	2.29 ± 4.37	3.50	1.31 – 5.70	0.002	**
An_PoCon_PoGo_FH_Coronal (°) 下顎頭最後方点と下顎角最後方点を結んだ 直線と FH 平面がなす角度の変化 (前頭 面)	4.03 ± 3.41	7.90 ± 5.25	3.87	1.05 – 6.68	0.007	**
PoCon_MSP_abs (mm) 下顎頭最後方点の水平的位置変化	-0.29 ± 1.72	-1.13 ± 3.25	-2.28	-4.39 – -0.17	0.034	*
ManFor_MSP_abs (mm) 下顎孔最下点の水平的位置変化	0.12 ± 1.44	0.80 ± 1.68	1.80	1.01 – 2.59	<0.001	***
PoGo_COP (mm) 下顎角最後方点の前後的位置変化	-0.81 ± 2.91	1.67 ± 3.14	2.54	0.43 – 4.65	0.018	*

各側の値は平均 ± 標準偏差で示す。

¹ 係数：LMM におけるサグの有無の固定効果推定値 (サグ側 – 非サグ側)。

有意水準：* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

表 12 セットフォワード側における顎関節単位の単変量 LMM

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	係数 ¹	Δ (1 SD) ²	95%CI	p 値	
Pre (術前計測値)						
An_MeCon_SupCon_LaCon (°) 下顎頭最内側点と最上点と 最外側点を結んだ角度	10.79	0.045	0.48	0.008 – 0.081	0.017	*
An_MeCon_LaCon_FH (°) 下顎頭最内側点と最外側点を 結んだ直線と FH 平面がなす角度	7.08	-0.072	-0.51	-0.119 – -0.026	0.002	**
Pre_Post (術前後計測値)						
CeCon_COP (mm) 下顎頭中央点の前後的位置変化	1.64	0.323	0.53	0.066 – 0.580	0.014	*
LaCon_COP (mm) 下顎頭最外側点の前後的位置変化	2.07	0.231	0.48	0.036 – 0.426	0.020	*
PoCon_COP (mm) 下顎頭最後方点の前後的位置変化	1.45	0.341	0.5	0.033 – 0.650	0.030	*
CeCon_MSP_abs (mm) 下顎頭中央点の水平的位置変化	1.67	0.362	0.61	0.143 – 0.582	0.001	**
MeCon_MSP_abs (mm) 下顎頭最内側点の水平的位置変化	1.76	0.356	0.63	0.153 – 0.559	<0.001	***
LaCon_MSP_abs (mm) 下顎頭最外側点の水平的位置変化	1.62	0.344	0.56	0.103 – 0.585	0.005	**
PoCon_MSP_abs (mm) 下顎頭最後方点の水平的位置変化	2.04	0.257	0.52	0.062 – 0.452	0.0098	**

SD は説明変数の標準偏差を示す。

¹ 係数：説明変数が 1 単位増加したときの SupCon_FH_Pre_Post (mm) の変化量。

² Δ (1 SD)：説明変数が 1 標準偏差増加したときの SupCon_FH_Pre_Post (mm) の変化量。

有意水準：* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

表 13 セットバック側における顎関節単位の単変量 LMM

説明変数 (単位) 変数の説明	SD	係数 ¹	Δ (1 SD) ²	95%CI	p 値	
Pre (術前計測値)						
SupCon_FH (mm) 下顎頭最上点の垂直的位置	2.34	-0.207	-0.484	-0.311 – -0.103	<0.001	***
Em_FH (mm) 関節結節最下点の垂直的位置	1.87	-0.186	-0.347	-0.335 – -0.036	0.015	*
ConFos_FH (mm) 下顎窩最上点の垂直的位置	2.12	-0.259	-0.549	-0.383 – -0.135	<0.001	***
MeCon_FH (mm) 下顎頭最内側点の垂直的位置	2.96	-0.168	-0.496	-0.249 – -0.086	<0.001	***
LaCon_FH (mm) 下顎頭最外側点の垂直的位置	2.95	-0.172	-0.508	-0.257 – -0.088	<0.001	***
CeCon_FH (mm) 下顎頭中央点の垂直的位置	2.71	-0.198	-0.538	-0.284 – -0.112	<0.001	***
PoCon_FH (mm) 下顎頭最後方点の垂直的位置	3.74	-0.084	-0.314	-0.156 – -0.012	0.023	*
LaGo_FH (mm) 下顎角最外側点の垂直的位置	6.47	-0.071	-0.461	-0.109 – -0.033	<0.001	***
ManNot_FH (mm) 下顎切痕最下点の垂直的位置	3.97	-0.103	-0.41	-0.170 – -0.036	0.003	**
ManFor_FH (mm) 下顎孔最下点の垂直的位置	4.78	-0.073	-0.347	-0.130 – -0.016	0.012	*
Le_LaGo_SupCon_FH (mm) 下顎角最外側点と下顎頭最上点の 垂直的距離	5.44	-0.063	-0.343	-0.112 – -0.014	0.013	*
Le_Em_LaGo (mm) 関節結節最下点と下顎角最外側点間距離	5.57	-0.072	-0.404	-0.119 – -0.026	0.002	**
LaGo_COP (mm) 下顎角最外側点の前後的位置	7.34	-0.053	-0.388	-0.088 – -0.018	0.003	**
PoGo_COP (mm) 下顎角最後方点の前後的位置	5.74	-0.066	-0.377	-0.112 – -0.019	0.006	**
MFor_COP (mm) オトガイ孔最下点の前後的位置	8.77	-0.047	-0.415	-0.077 – -0.018	0.002	**
ManFor_COP (mm) 下顎孔最下点の前後的位置	4.54	-0.085	-0.386	-0.144 – -0.026	0.005	**
L6_COP (mm) 下顎大臼歯の前後的位置	5.86	-0.057	-0.334	-0.103 – -0.011	0.015	*
U6_COP (mm) 上顎大臼歯の前後的位置	4.61	-0.081	-0.373	-0.138 – -0.024	0.006	**
Le_SupConCorPro_ManNot (mm) 下顎頭最上点と筋突起最上点を結ぶ直線に 対する下顎切痕最下点の最短距離	1.79	-0.269	-0.481	-0.406 – -0.133	<0.001	***

An_SupCon_ManNot_CorPro (°)							
下顎頭最上点と下顎切痕最下点と 筋突起最上点を結んだ角度	7.74	0.059	0.454	0.023 – 0.094	0.001	**	
Le_CorPro_ManNot_FH (mm)							
筋突起最上点と下顎切痕最下点との 垂直的距離	3.12	-0.127	-0.397	-0.211 – -0.044	0.003	**	
An_PoCon_PoGo_FH (°)							
下顎頭最後方点と下顎角最後方点を 結んだ直線と FH 平面がなす角度 (矢状面)	6.36	-0.046	-0.292	-0.089 – -0.003	0.036	*	
Pre_Post (術前後計測値)							
An_PoCon_PoGo_FH (°)							
下顎頭最後方点と下顎角最後方点を 結んだ直線と FH 平面がなす角度の変化 (矢状面)	3.6	0.106	0.381	0.030 – 0.182	0.006	**	
An_PoCon_PoGo_FH_Coronal (°)							
下顎頭最後方点と下顎角最後方点を 結んだ直線と FH 平面がなす角度の変化 (前頭面)	4.16	0.08	0.334	0.013 – 0.148	0.020	*	
PoGo_COP (mm)							
下顎角最後方点の前後的位置変化	3.11	0.102	0.316	0.015 – 0.188	0.022	*	
AnRam_COP (mm)							
下顎枝前縁の前後的位置変化	2.53	0.142	0.361	0.038 – 0.247	0.008	**	

SD は説明変数の標準偏差を示す。

¹ 係数：説明変数が 1 単位増加したときの SupCon_FH_Pre_Post (mm) の変化量。

² Δ (1 SD)：説明変数が 1 標準偏差増加したときの SupCon_FH_Pre_Post (mm) の変化量。

有意水準：* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

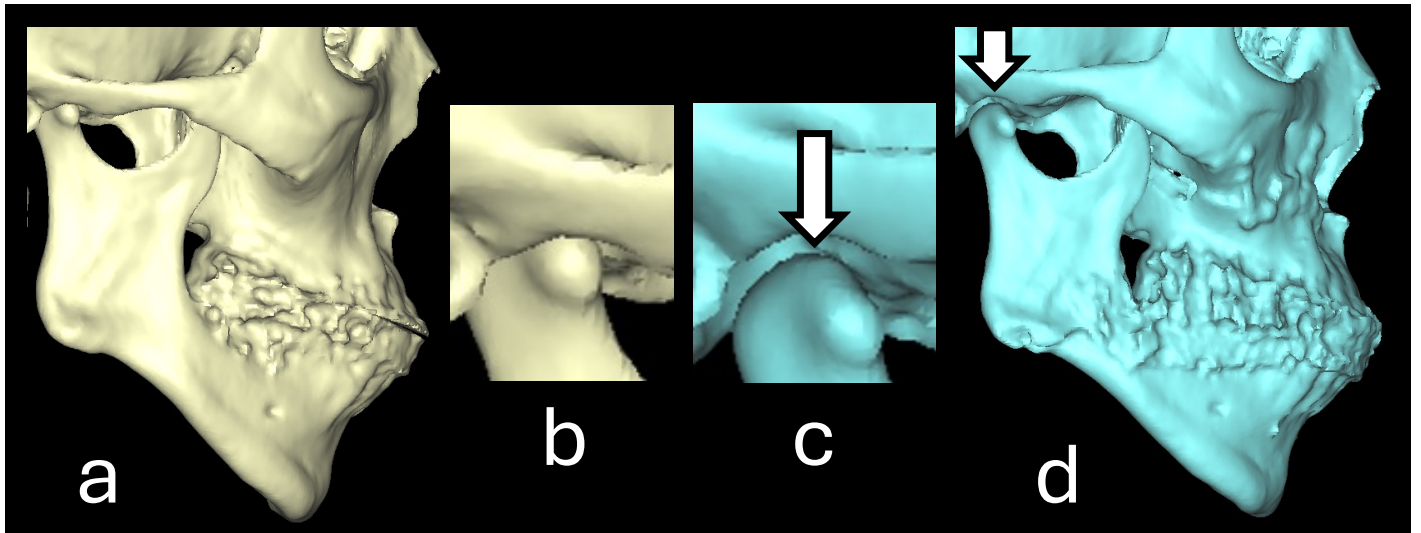


図1 コンダイラーサグ発生症例における術前（a, b）および術直後（c, d）の三次元 CT 像

a：術前の矢状面顎顔面像

b：a に対応する顎関節部拡大像（術前）

c：d に対応する顎関節部拡大像（術直後，サグ発生）

d：術直後の矢状面顎顔面像（サグ発生）

矢印は下顎頭の下方偏位を示す。

岡山大学病院矯正歯科での外科的矯正治療症例
2020年7月～2025年1月
(N = 171人)



術前と術直後のCT撮影を行った患者
(N = 50人)



Le Fort I + SSROを受けた患者
(N = 36人)

図2 研究対象症例の選択過程

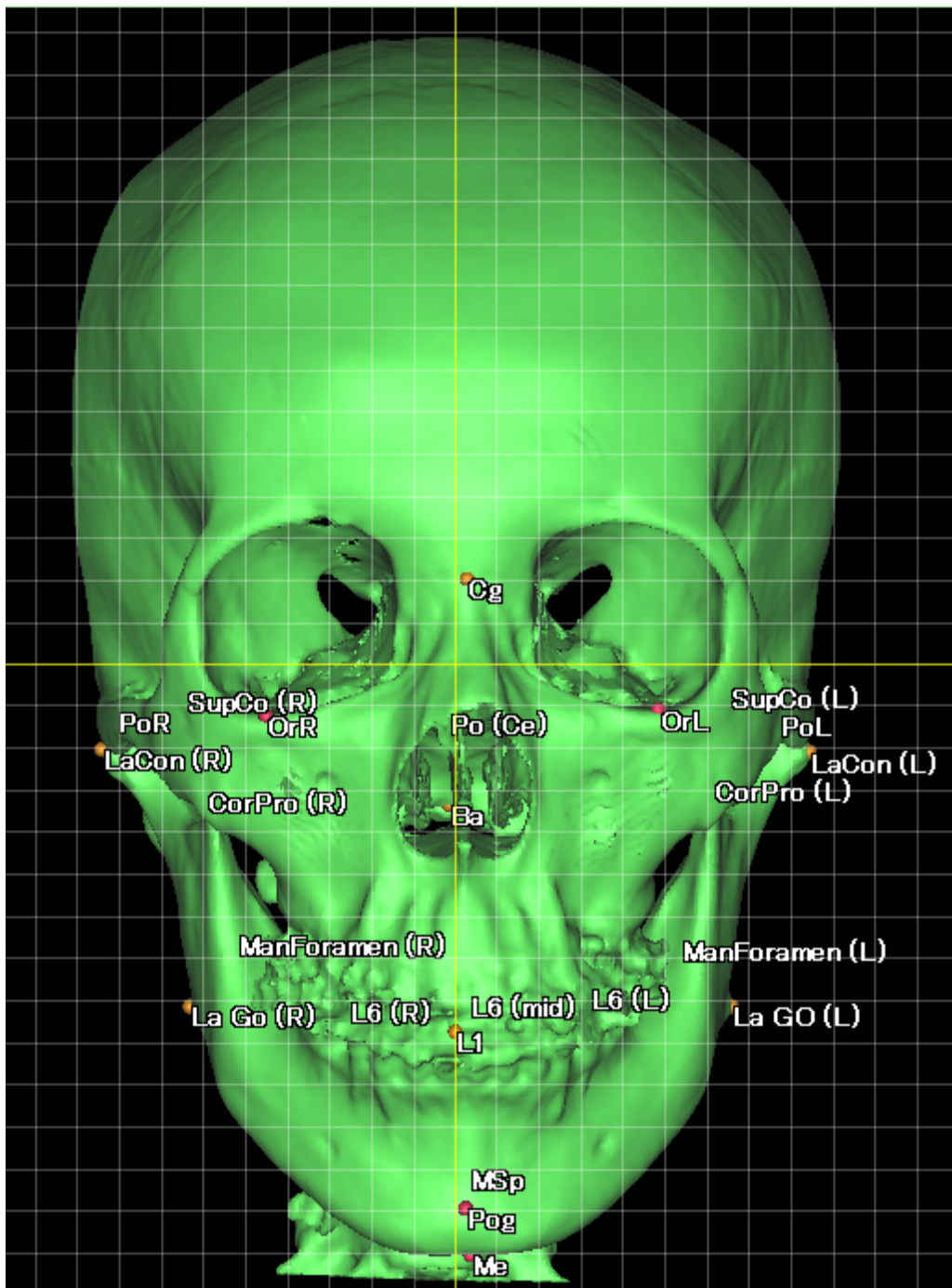


図3 三次元 CT モデル上に設定した計測点

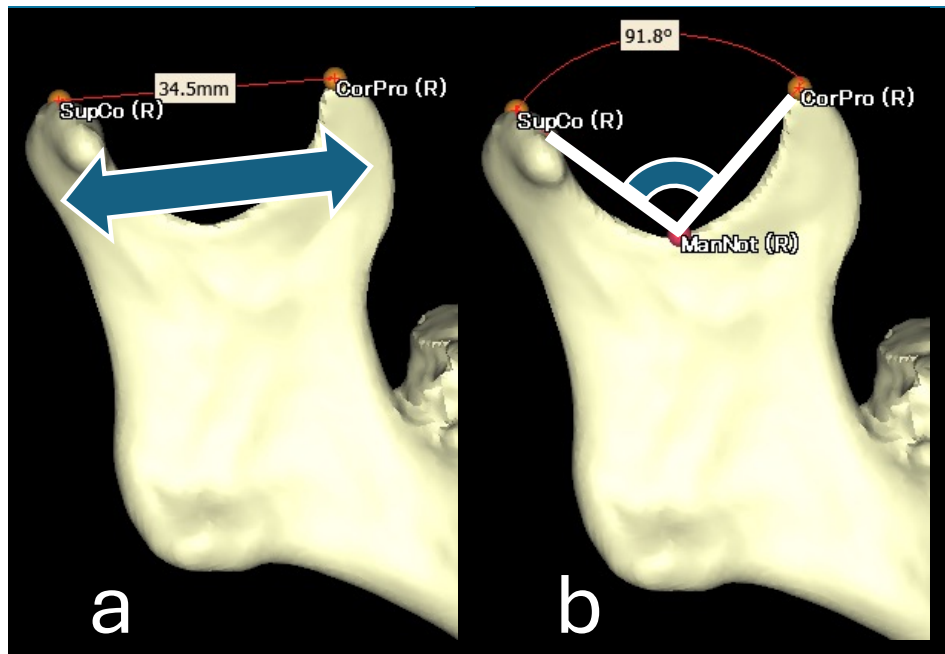


図4 三次元 CT モデル上での線計測および角度計測の一例

a : 3 次元 CT モデル上での線計測の一例 (二点間距離)

b : 3 次元 CT モデル上での角度計測の一例 (三点間距離)

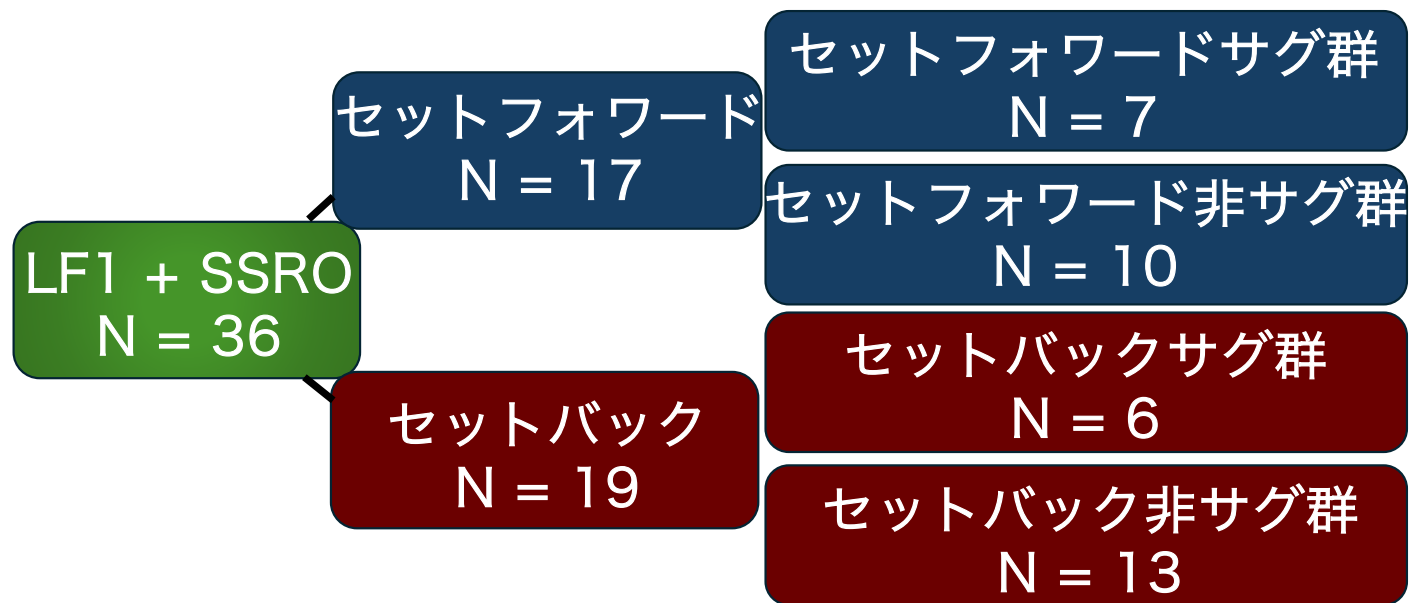


図5 SSRO手術方向およびサグ有無による症例単位での分類（サグ群/非サグ群）

サグ群は両側もしくは片側の下顎頭にサグを認める症例，非サグ群は両側の下顎頭ともにサグを認めない症例とした。

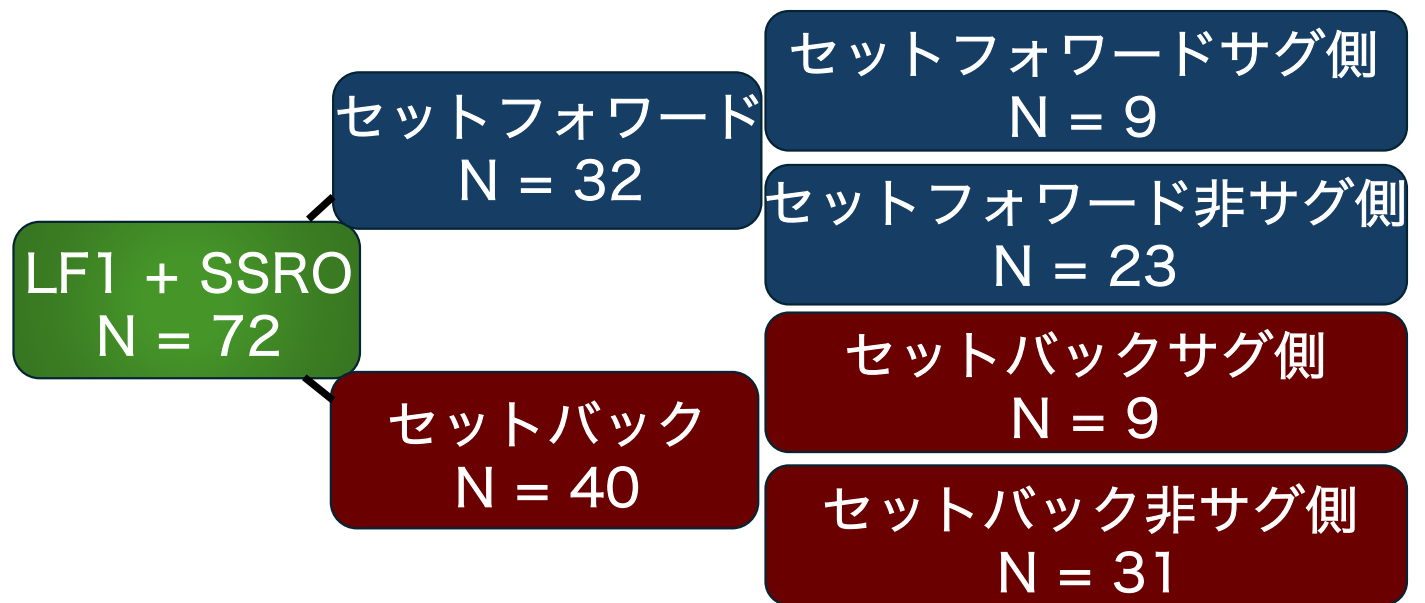


図6 SSRO手術方向およびサグ有無による顎関節単位での分類（サグ側/非サグ側）