

表情ジワを用いた新たな顔貌定量法 (顔貌解析アルゴリズム) の開発

福岡医療短期大学歯科衛生学科

泉 喜 和 子

In this study, we aim to establish a method for measuring the face by analyzing CT images taken using facial expression wrinkles. First, we focused on the cheek lines to investigate changes in face after surgery, and devised a program that can easily measure these changes. This study evaluated the changes in cheek soft tissue after orthognathic surgery using facial photographs and cephalograms. Cheek soft tissue was defined as the cheek line, which is the contour of the cheek starting from the infraorbital region and continuing to the corners of the mouth on a lateral photograph. Seventy-eight Japanese patients (48 women and 30 men) with skeletal class III underwent maxillary advancement and mandibular setback. The changes in cheek size and the position of the cheek points on the cheek line after surgery were examined experimentally using a previously proposed image analysis software program. The maxillary advancement was 4.4 mm and the mandibular setback was 4.4 mm, and there was no significant sex difference in skeletal movement. The ratio of change in cheek size increased (mean 2.7) and showed an anterior change at the points on the cheek line. The change in cheek point showed a significant sex difference; the upper cheeks were more advanced in men. Cheek changes were positively correlated only with maxillary advancement, and the upper cheek points in men was also showed a correlation. Orthognathic surgery for skeletal class III affected cheek bulge, and maxillary advancement had a greater effect on the cheek line. There were sex differences in the postoperative changes in the cheek line, with the changes in the cheek contour in women increasing radially, whereas the changes in men tended to be similar to skeletal movement.

1. 緒 言

顔面変形 (ゆがみ) に対する顔面骨へのアプローチとして、美容医療におけるコスメティックサージェリー (輪郭形成術) と顎変形症としての顎矯正手術の手法がある。両者には、治療の重点を美しい輪郭とするか、機能的な咬合 (歯並び、咬み合わせ) とするかの違いがみられるが、同じ術式となることが多く、顔面骨の移動によって得られる顔貌変化に対する美しさを無視することはできない。手術は顔面骨に行くことから、顔貌を構成する皮膚組織の変化は付随的に捉えられ、術後の顔貌はX線画像に映し出される側貌の外形線をトレースして顔面骨の移動と平行に変化させるフォトサージェリーによって予測されていた。実際には、皮膚の性質として一定に変化することではなく、性別、年齢、体重など様々な個人差によって左右するため、予測の精度は期待できず、未だに顔貌変化と顔面骨の変化の関係性を示す定量評価は標準化されていない。最近では、3DスキャナーやCT画像の3Dデータによる計測が試みられているが、画像処理にはコストが高く、専門的技術を要することから、予測される術後の顔貌変化については術者の経験に委ねられるのが現状である。

本研究では、口腔外科学と工学の専門家と連携し、表情ジワ (鼻唇溝) を利用して撮影したCT画像から顔貌を構成する皮下組織を検出する新たな顔貌計測法を確立することを目指しており、まず、手術による顔貌の変化についてチークラインに注目し、簡便に測定できるプログラムを考案した。チークラインは顔貌の個性となる要素の一つであり、頬の輪郭は、顔全体の美しさと若々しさを決定する重要な要素である¹⁻³⁾。頬は眼窩下と口角の間に位置し、人間の顔を横から見ると最も広く厚い部分であり、見た目に美しい顔の場合、頬の前内側領域の最も凸状の位置は、角膜の垂線の前にある^{1, 4)}。上顎欠損と骨格性クラス III の患者の多くは、特にアジア人患者で、頬の輪郭が平坦または陥没している⁵⁾。

現在、技術の進歩により、顎変形症手術後の顔面軟組織の変化について、2次元 (2D) 画像解析に加えて3次元 (3D) 画像解析が可能となっている。頬の定義自体の曖昧さと個人差のため、解剖学的根拠に基づいて頬の点を3次元的に定義することは困難である。しかし、2D画像解析は、特別な装置を使わずに頬の輪郭や美的ラインを直接評価するのに適している。本稿では、まず2D顔画像における頬領域の定義について説明する。次に、骨格性クラス III の両顎手術後の頬軟組織の変化を客観的かつ定量的に評価した実験結果を示す。

2. 方 法

2.1. 対象者

研究対象は福岡歯科大学医科歯科総合病院口腔外科において2018年4月から2022年3月までに反対咬合を呈する



Development of a new method for quantifying facial morphology (facial morphological analysis algorithm) using facial wrinkles

Kiwako Izumi

Department of Dental Hygiene,
Fukuoka College of Health Science

顎変形症（上顎後退・下顎前突）と診断されて顔面形成術（Le Fort I型骨切り術・両側下顎枝矢状分割術）を施行した患者78人とした。手術は同じ口腔外科医（著者）によって、顔面骨の下半分に相当する上下顎骨に行った。頭蓋顔面異常、口唇裂、口蓋裂、顔面外傷などの疾患のある患者は研究から除外した。本研究は、福岡学園倫理審査委員会の承認を得た（承認番号472）。

2.2. 術式と骨の移動量の計測

上下顎骨に行った手術はLe Fort I骨切り術（上顎）と両側下顎枝矢状分割術（下顎）である。（図1）全ての対象者について、上顎に対するLe Fort I骨切り術は梨状口側縁から水平に骨切りを行い、上顎骨片を前方に移動した。下顎に対する両側下顎枝矢状分割術は、下顎小舌上の内側骨切りと大白歯部から下顎角部に至る外側骨切りを行い、歯列を含む下顎骨片を後方に移動した。顎骨移動の手術変化量は、側方頭部X線規格写真を用いて行われるセファロ分析の計測点を利用して評価した。手術による変化量はX方向をフランクフルト平面（FH平面を略す）、Y方向をFH平面の垂線とし、上顎骨の計測点となるA点（前鼻棘の最先端と上顎中切歯間歯槽突起最前点との間の唇側歯槽骨縁

上の最深点）、下顎骨の計測点となるB点（下顎歯槽骨突起最前点とオトガイ隆起の最突出点の間の最深点）の手術前後の変化量を $\Delta A[x]$ 、 $\Delta A[y]$ 、 $\Delta B[x]$ 、 $\Delta B[y]$ として計測した（図2）。すべての計測点の識別と測定は、10年以上の経験をもつ一人の矯正歯科医師によって行われた。

2.3. チークラインの定義と計測法

チークラインはカメラ撮影の条件を定めた側貌写真によって描出され、本研究のために独自で開発した画像解析ソフトウェアプログラムを使用して、チークラインの形状と面積を定量的に測定した。このソフトウェアプログラム^{6,7)}では、側貌写真に描出されるチークラインに沿って5つの固定点を指定でき、これらの5点はチーク点（C1～C5）とし、チーク点を結ぶポリラインをチークライン、チーク点を囲むチークラインの領域をチーク面積と定義した。C1は、チークラインの最上点となる下まぶたの下端とし、C2は、チークライン上のC1とC3の midpoint、C3は、チークラインの前方突出点、C4はチークライン上のC3とC5の midpoint、C5は口角の近くで終わるチークラインの最下点と定義した。このソフトウェアプログラムは、ユーザーにC1とC5をクリックするように求め、他の3点

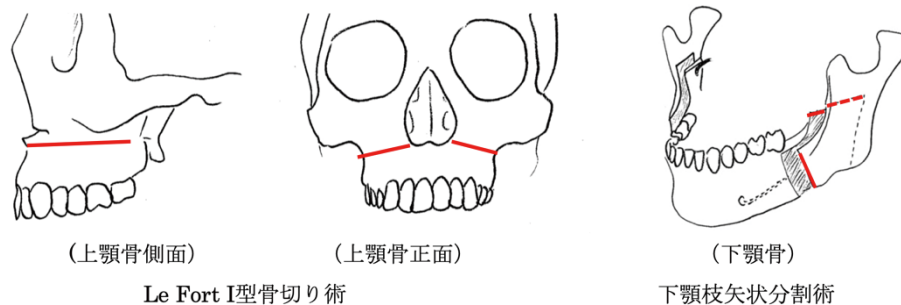
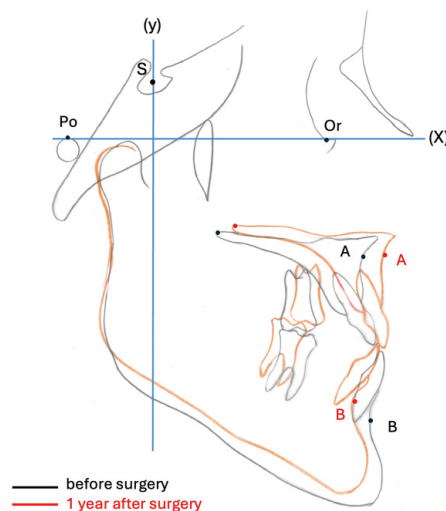


図1 Orthognathic Surgery



(x): FH plane, the horizontal reference line. (y): the vertical reference line.
A: A point. B: B point. PNS: posterior nasal spine.

図2 Measurement of traced cephalograms in the study

(C2、C3、C4) を自動的に提供します。次に、ユーザーはC2、C3、C4の水平方向とC3の垂直方向を手動で調整して、顔の写真の頬のラインの形状の視覚化が可能となる(図3A、B)。手術による変化は手術の1か月前(T0)と手術の1年後(T1)に撮影した側貌写真を用いて、C2、C3、C4の水平位置(C2[x]、C3[x]、C4[x])、およびC3の垂直位置(C3[y])と面積がピクセル数で自動的に計算された。患者間の顔の大きさのばらつきを標準化するために、頬の大きさと頬のポイントは、それぞれ外眼角(E)とイヤード中心(Er)の間の距離と距離の二乗で除算された。手術後の頬の大きさと頬のポイントの変化は、術後の値と術前の値の比(T1/T0)で評価された。すべての手動タスクは1人の検査官によって実行された。

2. 4. チークラインの評価

チークラインの術後変化は、顎骨移動のほか、皮膚特性に関与する、年齢、BMI (Body Mass Index)、性別との関連性を統計的に評価した。データは、JMP ソフトウェアプログラム (Windows 版 ver.12.2.0、JMP Inc. 東京 日本) を使用して分析した。Mann-Whitney U 検定にて、顎骨とチークラインの術後変化に対する性差を分析した。チークラインの形状評価は、C2[x]、C3[x]、C4[x] を多重比較 Tukey 検定にて比較した ($P < 0.05$)。C2[x]、C3[x]、C4[x]、C3[y] と年齢、BMI および顎骨の術後変化との関連性を調べるために、対応する各ペアについてピアソン相関検定を行った ($P < 0.05$)。

3. 結 果

対象患者の手術時平均年齢は25.5歳(17～45歳)、全患者の平均BMIは20.8(15.9～23.9)であった。男性30

名(25.9±5.8歳、BMI:21.0±2.5)、女性48名(25.0±8.9歳、BMI:20.7±1.9)であった。

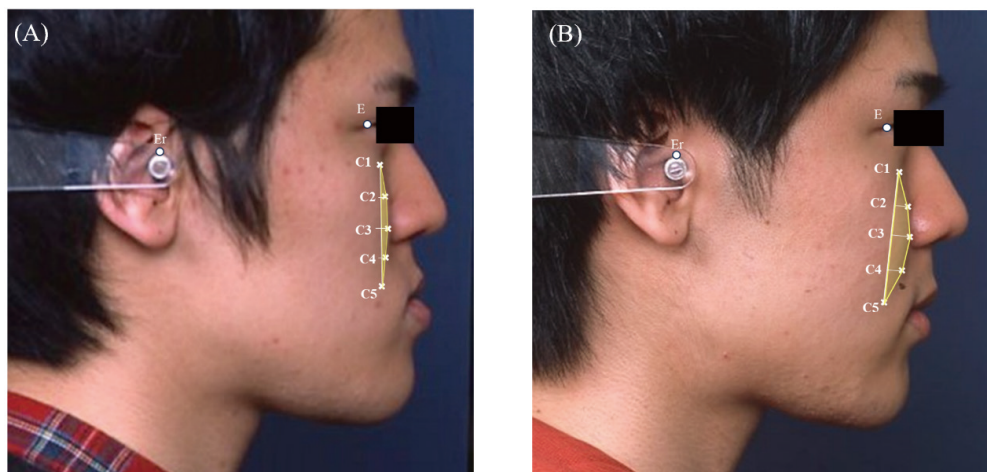
手術による顎骨とチーク点、チーク面積の変化を表に示す(表1)。

上顎骨は前方に 4.4 ± 1.7 mm、上方に 0 ± 1.8 mmに、下顎骨は後方に 4.4 ± 2.5 mm、上方に 4.1 ± 1.9 mmに変化し、有意な性差はなかった。チークラインの突出点(C3)と面積の術後変化について、C3の平均変化率を調査した。頬の大きさの比は 2.7 ± 1.5 (男性: 3.2 ± 1.7 、女性: 2.4 ± 1.1)で、全患者で術後に増加し、統計的に有意な性差が認められた。C3[x]とC3[y]の変化率は前方で 2.0 ± 1.6 、上方で 1.5 ± 1.0 であり、有意な性差は認めず、年齢とBMIとの相関もみられなかった。

チーク点(C2[x]、C3[x]、およびC4[x])の変化比は、女性よりも男性の方が増加した。前述のC3[x]比に加え、前方ではC2[x]比は 3.2 ± 2.5 (男性: 4.0 ± 2.8 、女性: 2.4 ± 1.9)、前方ではC4[x]比は 1.9 ± 1.4 であり、C2[x]で有意な性差が認められた。男性におけるこれらの頬ポイント間の前方変化率は統計的に有意であった(図4)。チーク面積比は $\Delta A[x]$ 、 $\Delta B[y]$ と正の相関を認めた($r=0.39$ 、 $r=0.29$)。C2[x]、C3[x]比は $\Delta A[x]$ と($r=0.33$ 、 $r=0.29$)、C4[x]比は $\Delta B[y]$ と正の相関を認めた($r=0.38$)。

4. 考 察

本研究で行われる顔面形成術は顔面骨の変形、位置異常によって生じる顔面変形を対象にしており、咀嚼障害、構音障害などの機能障害を伴うことが多い。患者の多くは機能回復より、顔貌が整うこと、美しくなることの方に注目する傾向にあり、術後顔貌を確実に予測することは外科医の重要な役割である。頬の輪郭は顔の美しさの要素の一つ



(A) before surgery (B) 1 year after surgery
Er: center of ear rod. E: lateral canthus. C1-C5: points on the cheek line.

図3 Reference points used in the study

表1 Surgical change for the patients

	All (n=78)	Males (n=30)	Females (n=48)	P-value
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	
Change ratios		(range)	(range)	
Cheek size	2.7 $\pm$ 1.5	3.2 $\pm$ 1.7 (1.2 ~ 6.6)	2.4 $\pm$ 1.1 (1.1 ~ 5.4)	0.049*
C2[x]	3.2 $\pm$ 2.5	4.0 $\pm$ 2.8 (0.7 ~ 10.6)	2.4 $\pm$ 1.9 (0.8 ~ 8.7)	0.048*
C3[x]	2.5 $\pm$ 1.6	2.8 $\pm$ 1.7 (0.7 ~ 8.0)	2.2 $\pm$ 1.4 (0.8 ~ 6.7)	0.319
C4[x]	1.9 $\pm$ 1.4	1.7 $\pm$ 0.9 (0.6 ~ 4.3)	1.3 $\pm$ 0.9 (0.6 ~ 5.0)	0.153
C3[y]	1.5 $\pm$ 1.0	1.7 $\pm$ 1.1 (0.8 ~ 8.4)	2.1 $\pm$ 1.6 (0.8 ~ 8.8)	0.394
Skeletal change (mm)		(range)	(range)	
$\Delta A_{[x]}$	4.4 $\pm$ 1.7	3.9 $\pm$ 1.7 (1.0 ~ 7.0)	4.7 $\pm$ 1.5 (1.0 ~ 7.0)	0.124
$\Delta B_{[x]}$	-4.4 $\pm$ 2.5	-5.2 $\pm$ 2.4 (-2.5 ~ -10.0)	-3.6 $\pm$ 2.5 (-1.5 ~ -8.0)	0.055
$\Delta A_{[y]}$	0 $\pm$ 1.8	0.3 $\pm$ 1.5 (-3.0 ~ 5.5)	0.3 $\pm$ 1.8 (-4.0 ~ 5.0)	0.231
$\Delta B_{[y]}$	4.1 $\pm$ 1.9	4.1 $\pm$ 2.0 (2.0 ~ 9.0)	4.3 $\pm$ 2.0 (1.0 ~ 7.0)	0.754

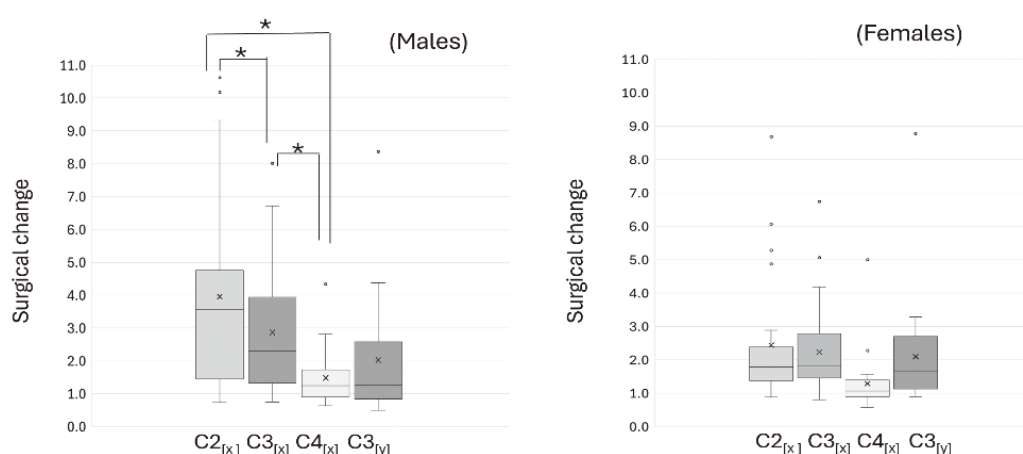
*significant difference ($P < 0.05$)*significant difference ($P < 0.05$).

図4 Surgical change of the cheek line

であり、Eラインと同様に扁平顔のアジア人にとっては興味深い要素となる^{5, 8-11)}。顔貌は土台となる顔面骨（上下顎骨）と皮膚（軟組織）で構成され、表皮、真皮、皮下組織は、個人の特性、性別、栄養、年齢などのさまざまな条件下で厚みや分布が変化しており、顔面領域の軟組織変化は流動的であり、その変化を正確に予測することは困難である^{12, 13)}。

現在、顔貌軟組織評価法は2次元(2D)および3次元(3D)画像解析が行われ、本研究では、顔貌写真(2D)を用いて計測を行った。結果が示すように、平均4.4mmの上顎前進、4.4mmの下顎後退の移動に対し、チーク面積は増加し、チークラインの前方突出点(C3)は前上方に移動した。定量的には、手術の前後で頬のサイズの平均変化率は2.7増加し、C3は前方に2.5、上方に1.5移動した。顔貌写真を用いて頬領域を計測した報告はなく、定量的比較は叶わなかったが、レントゲン画像での2D画像解析では上顎の前進と下顎の後退によるチーク点の前方移動、3D画像解析では頬の突出の前方移動と頬の面積の増加も示されており^{5, 14, 15)}、その傾向は一致している。

軟組織に影響を及ぼすと考えられる年齢、BMI、性別について、チーク点とチーク面積との関連性では、性別に相関が観察された。手術による顔面骨移動量に性差を認めなかったが、男性のC2、チーク面積は女性より有意に増加した。顔面骨移動とチーク面積との関連性については、男女ともにチーク面積増加は上顎の前進と正の相関関係にあり、上顎前進が頬の膨らみに影響していることが示唆され、3D画像解析を用いた報告¹³⁾の結果と一致している。さらに男性のチーク面積増加は、下顎の後退とも正の相関関係にあった。顔面骨移動とチーク点との関連性については、女性では相関はみられなかったが、男性のC2とC3の前方変化と上顎前進に正の相関がみられた。下顎後退があっても、頬の余分な軟部組織は垂直方向の骨減少により前方に移動する^{13, 16)}といわれるが、われわれの結果では、上顎の場合のように下顎の垂直方向の変化が頬の大きさや頬の位置と相関していることは示されておらず、頬のラインは前後方向の骨格の移動に影響することが推測できる。

図4では、チークライン上のチーク点の変化を示している。男女ともに、最も前方に変化したのはC2で、最も変化が少なかったのはC4であった。この結果は、上顎前進および下顎後退の手術移動によるチークラインの変化を予測する際に参考になる可能性がある。男性ではC2、C3、C4(1.7-4.0)の順に減少し、C2はC4よりも2.3倍有意に前方に移動しており、男性の頬の膨らみは女性よりも骨格の動きに追従していることを示唆している。対照的に、女性では3つのチーク点の変化に差がなく、チークラインは前方および放射状に移動することが示唆された。これまで手術後の頬表面の湾曲形状に言及した報告はない。一般に男性の皮膚は女性の皮膚よりも厚く、女性は男性よりも

皮下組織が厚く、皮膚が緩んでいる。これらは、顎矯正手術後の患者の軟部組織の状態に影響を与える要因である。本研究の結果は、これらの以前の知見^{13, 16-18)}を支持するものであり、チークラインの形状は、より凸状に変化して頬の上部に膨らみを生じやすく、チークラインの頂点が上方に変化することを示している。

最近では、顔の複雑な3次元形状を評価するには、主に3D画像解析が用いられているが、頬の定義自体の曖昧さと個人差のため、解剖学的根拠に基づいて頬の3D点を定義することは困難である。チークラインは顔の特徴を単純化してしまうのではないかという懸念があるが、横顔の特徴を示す指標の一つであり、臨床診療で頻繁に観察される。チークラインの評価は、2D画像解析であり特別な装置を使わずに直接評価できる利点がある。実験結果では、半自動法を用いた2D画像解析によって定量的に計測された頬点の術後変化は、過去の皮膚特性に関する研究で報告されたものと一致することが示された。これは、提案手法が頬の大きさだけでなく頬の輪郭形状の定量的評価にも有効であることを示している。

(引用文献)

- 1) Pessa JE, Desvigne LD, et al. Changes in ocular globe-to-orbital rim position with age: Implications for aesthetic blepharoplasty of the lower eyelids. *Aesthetic Plastic Surgery* **23**, 37-42 (1999)
- 2) Linkov G, Mally P, et al. Quantification of the aesthetically desirable female midface position. *Aesthetic Surgery Journal* **38**, 23-40 (2018)
- 3) Surek CC, Beut J, et al. Pertinent anatomy and analysis for midface volumizing procedures. *Plastic and Reconstructive Surgery* **135** 818-829e (2015)
- 4) Frey ST. New diagnostic tenet of the esthetic midface for clinical assessment of anterior malar projection. *The Angle Orthodontist* **83** 790-794 (2013)
- 5) Lee HJ, Park HS, et al. Soft tissue changes and skeletal stability after modified quadrangular Le Fort I osteotomy. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* **44** 356-361 (2015)
- 6) Moriyama T, Izumi K, et al. Quantitative Analysis of Mid-face Correction Treatment using Automated Image Analysis. *The Journal of Information Processing* 435-442 (2022)
- 7) Miyahara K, Izumi K, et al. Quantitative evaluation of the cheek area after maxillary advancement and rotation by orthognathic surgery in skeletal maxillary retrusion. *Oral Science International* **22** e1259 (2024)
- 8) Chang HP, Tseng YC, et al. Treatment of

- mandibular prognathism. *Journal of the Formosan Medical Association* **105** 781-790 (2006)
- 9) Tang EL. The prevalence of malocclusion amongst Hong Kong male dental students. *Journal of the British Orthodontic Society* **21** 57-63 (1994)
- 10) Sonogo CL, Bobrowski AN, et al. Aesthetic and functional implications following rotation of the maxillomandibular complex in orthognathic surgery: A systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery* **43** 40-45 (2014)
- 11) Choi JW, Lee JY, et al. Frontal soft tissue analysis using a 3-dimensional camera following two-jaw rotational orthognathic surgery in skeletal class III patients. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* **42** 220-226 (2014)
- 12) Burstone CJ. The integumental profile. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* **44** 1-25 (1958)
- 13) Kim M, Lee DY, et al. Three-dimensional evaluation of soft tissue changes after mandibular setback surgery in Class III malocclusion patients according to extent of mandibular setback, vertical skeletal pattern, and genioplasty. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* **109** 20-32 (2010)
- 14) Tseng YC, Cheng JH, et al. The Changes of Cheek Line (Lateral) and Face Line (Frontal) after Correction of Mandibular Prognathism. *BioMed Research International* doi:10.1155/2018/4926528 (2018)
- 15) Kim BR, Oh KM, et al. Analysis of 3D soft tissue changes after 1- and 2-jaw orthognathic surgery in mandibular prognathism patients. *Oral and Maxillofacial Surgery* **71** 151-161 (2013)
- 16) Tseng YC, Chena HJ, et al. Appearance on face reading (cheek line) after orthognathic surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **56** 394-400 (2018)
- 17) Kim YI, Park SB, et al. Midfacial soft-tissue changes after advancement of maxilla with Le Fort I osteotomy and mandibular setback surgery: Comparison of conventional and high Le Fort I osteotomies by superimposition of cone-beam computed tomography volumes. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **69** e225-233 (2011)
- 18) Stella JP, Streater MR, et al. Predictability of upper lip soft tissue changes with maxillary advancement. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **47** 697-703 (1989)