

筑波大学

博士（医学）学位論文

Mandibular reconstruction using plates
prebent to fit rapid prototyping 3-dimensional
printing models ameliorates contour deformity

(術前に3Dモデルを用いリコンストラクションプレートを
屈曲させた下顎骨再建は下顎輪郭変形を改善する)

2017

筑波大学大学院博士課程人間総合科学研究科

我妻 将喜

目次

第1章 緒言	1
第2章 実験材料と方法	6
2.1 対象	6
2.2 方法	7
2.3 術後結果評価	8
2.4 統計分析	9
第3章 結果	10
第4章 考察	12
第5章 結論	19
参考文献	20
図表	24
謝辞	33

第1章 緒言

わが国における口腔癌の罹患者数は近年、右肩上がりに増加しており、2015年の国立がん研究センターの統計では、口腔・咽頭癌の罹患者数は合わせて19,500人にまで達している^[1]。年齢調整による男女比は3:2と男性に多く、高齢化に伴い口腔癌の罹患者数も増加傾向にある^[2]。口腔は喫煙や飲酒^[3-6]、食物などによる化学的刺激に曝露されるだけでなく、齲歯や歯科補綴物による機械的刺激もあり^[7, 8]、発癌にかかわる危険因子が複数存在する。口腔癌の好発部位は舌が60.0%、ついで下顎歯肉の11.7%、口底9.7%となっている。

口腔癌の手術を受けた患者は、手術創が頸部や顔面にあること以外にも、大幅な筋や軟部組織の切除、下顎骨や上顎骨の切除をとまなうため、手術が成功した場合でも、後遺症としての顔貌の変形に苦しむことが多数見受けられる。とくに下顎歯肉癌などの下顎骨を含む病変に対しては、下顎骨区域切除術を行う。この術式は、下顎骨の一部を歯槽骨から下縁まで連続的に切除し、下顎体が部分的に欠損する術式であり欠損部の再建を必要とするため、輪郭の変貌をとまなうことが多い。そのため、下顎骨再建術は術後の顔貌の変形が顕著となり審美的問題が生じてくる^[9]。さらには、下顎骨は咀嚼を中心とした複雑な運動を

行うため高次の3次元構造を有しており、再構築することも極めて困難である。

下顎骨欠損を回復する方法としては、切除部位の連続性を取り戻すため種々の方法がある。一つは、リコンストラクションプレートを用いて欠損部を保持する方法。もう一つは、腸骨などの遊離の自家骨を用いたものがある。リコンストラクションプレートを用いて、欠損部を保持する方法でも軟部組織の欠損が大きい場合、皮弁による再建が必要となる。その際に、区域切除になるような症例では欠損部位が大きいため、筋の体積を大きく採取できる腹直筋皮弁が第一選択になっているが、前外側大腿皮弁などでも、欠損部のボリュームを補うことが可能と判断されれば使用することができる。自家骨を用いる方法としては、過去には遊離腸骨の移植なども行われていたが、マイクロサージェリーの進歩などから、近年は血行再建をともなう複合遊離皮弁を利用することが多い。マイクロサージェリーによる血行再建をともなう代表的な皮弁の例では、遊離肩甲骨皮弁、遊離腸骨皮弁や遊離腓骨皮弁などがある。遊離肩甲骨皮弁は、形状が顎角に適合しやすいが、体位変換などの問題があり、原発巣と頸部の手術を行ってからでないと皮弁の採取ができないため、手術時間の点で不利である。遊離腸骨皮弁は骨を大きくとれる点では良いが、皮島と骨の間の深腸骨回旋動脈への血

行が脆弱となり、手技的に困難である。遊離腓骨皮弁は手術が原発巣の手術と皮弁の採取を同時に行える点や、加工が比較的容易であり輪郭を下顎骨に適合させやすいなどの点で有利である^[10]。従来は腓骨のみを再建に用いて、チタン製ミニプレートで固定する事例が多かったが、放射線下顎骨壊死症例など、周囲組織の拘縮が強い症例では適応外となっている。これらの点から、筑波大学附属病院においては遊離腓骨皮弁を主体に再建を行っている。

近年、審美性や機能的な問題を解決するために、コンピュータ支援設計製造 (CAD/ CAM) 技術を用いた MRP (Medical rapid prototyping) モデルが開発され、再建治療に応用されるようになって来た。MRP モデルは、外科治療の技術サポートやインプラントの製作などにも利用されている。コンピュータ断層撮影 (CT) スキャンの結果を利用して患者の骨の MRP モデルを製作し外科手術を行う前に、患者の顎骨の構造の検討を行っており、多くの研究において、事前に製作した MRP モデルを使用し、リコンストラクションプレートを屈曲し再建時に用いる方法についての報告がされている^[9]。筑波大学附属病院でも、近年この MRP モデルを使用してあらかじめ徒手的にリコンストラクションプレートを屈曲させた後、術中に下顎へ適合させて、術前の輪郭を回復させる方法を採用し、切除前

の下顎骨形態の保持と、位置の再現性の向上を期待し手術を施行している。

MRP モデルの利用はこの方法以外にも多数報告されており、以下のような方法で顎骨再建に用いられている。1)3D CT 像を、直接リコンストラクションプレートを屈曲させるためのモデルとして利用する方法 2)MRP モデルを用いて、切除された下顎に遊離腓骨皮弁を適合するためのガイドとして使用する方法^[11] 3)ステレオリソグラフィを利用して MRP モデルを製作し、リコンストラクションプレートを屈曲する方法^[12] 4)MRP モデルに基づいて製造されたカスタムハイドロキシアパタイトやポリアミドの骨格^[13]もしくはチタンメッシュトレーに形態を付与する方法などがある^[14]。これらの技術は、切除された下顎骨に正確に移植片を適合させ、下顎の対称性を改善するとされている。また手術時間の短縮を可能にすることで、全身麻酔への曝露時間が短くなり患者にとって有益な結果をもたらすことが解っている^[15-17]。しかし一方で、術前に模型を作製し完成するまで期間(当院の例では約1週間)を要すること、MRP モデルを作製するための費用がかかるといった欠点も報告されている。^[18]

このように、MRP モデルの応用によって、顎骨の再建を行う事例は近年増えており、これらの研究報告で、顔の輪郭および機能回復を強調しているものはあ

るが、審美的に臨床結果を定量化し評価した報告は渉猟する限り非常に少ない。多くは手術前後の顔貌の変化を示して改善を強調するにとどまり、術前にプレートを曲げて再建する方法が、術中に屈曲して再建する方法より、審美的な改善が得られるかどうかを、定量化し比較した報告は少なく、客観性のある評価がなされていないのが実情である。しかし今後、手術方法の是非を検討する上では、客観的評価が非常に重要であると考えられる [10, 13, 14, 19, 20]。

本研究では、術中に下顎骨に合わせてミニプレートやリコンストラクションプレートを屈曲し再建した従来の方法^[17]と術前にMRPモデルに合わせて屈曲したリコンストラクションプレートを用いて再建した新しい方法を比較し、MRPモデルの再建方法が手術後に対称的な輪郭を得ることができたかどうかについて評価し検討を行った。また、顔貌の審美性に関して人間による視覚的な評価を行なった。

第2章 実験材料と方法

2.1 対象

症例は2007～2013年に筑波大学附属病院歯科口腔外科において、口腔悪性腫瘍で下顎骨を片側性に区域切除後、再建を行った28例(男性18例 女性10例 年齢中間値65歳)を対象にレトロスペクティブに検討を行なった。患者の臨床的特徴は表1に示す。27例は扁平上皮癌であり、残りの1例は骨肉腫であった。手術方法は全例、下顎骨区域切除を行った。皮弁は遊離腓骨皮弁が16例(1例は前腕皮弁も併用)、腹直筋皮弁4例、大胸筋皮弁が1例、プレートのみが7例であった。

術前にMRPモデルを使用してリコンストラクションプレートを作製し、術中に下顎に適合させて再建した群をMRP群(n=12)とし、従来の方法で再建を行った群を従来群(n=16)とした。手術前にすべての症例で生検を行い、悪性腫瘍であることを診断し、切除・再建を計画した。

研究参加の説明と同意は筑波大学附属病院倫理審査委員会の指針に従い行われ、連結不能な匿名データとして分析を行った。また、筑波大学附属病院倫理審査委員会から研究の承認を得て行った。

2.2 方法

顎顔面骨格のCTスキャン(スライス幅は2mm以下)で得られた情報をもとに、MRPモデルの製作を依頼した。インクジェット3Dプリント(Zprinter 310+, 3D systems, Rock Hill, USA)と石膏を用いてMRPモデルを作製し、検査と手術計画に用いた。切除マージンは口腔外科医が設定し、歯科技工士がチタン性リコンストラクションプレート(MODUS Reco 2.5, Mediartis, Basel, Switzerland, or Lorenz 2.4 mm locking recon plate, Walter Lorenz Surgical Inc., Jacksonville, USA)をMRPモデルに合うように屈曲した(図1A, B)。完成したプレートはオートクレーブで滅菌を行った。悪性腫瘍の切除は口腔外科医が行い、再建は形成外科医が行った。手術は気管切開の後、頸部リンパ節郭清(肩甲舌骨筋上頸部郭清術、もしくは根治的頸部郭清術変法)を行った。その後、原発巣の切除を行った。下顎歯肉癌もしくは下顎骨肉腫に対し、腫瘍から15ミリの安全域を付与して、周囲の軟部組織、筋を含む形で下顎骨区域切除もしくは半側切除を行い、頸部郭清物とともにen bloc切除とした。従来群では、切除後に残存歯の咬合を元に顎位を定め、リコンストラクションプレートをその場で徒手的に屈曲し骨面に適合させスクリュー固定を行った。MRP群では術前

にMRPモデルに沿ってリコンストラクションプレートを屈曲し、固定予定の骨面上のカーブと下顎下縁に合わせる形で適合させた後、スクリューで固定した。その後、形成外科医による再建を行った。再建には、遊離腹直筋皮弁、遊離腓骨皮弁を選択し、遊離腹直筋皮弁では筋をプレートの周囲に巻き付け口腔内の欠損部を皮島で閉鎖した。遊離腓骨皮弁では、プレートの内側の曲面に沿って腓骨を2-3カ所で切断し、適合させスクリューで固定し、口腔内の欠損部を皮島で閉鎖した。代表的なケースを図2A, Bに示す(図2A, B)。

2. 3 術後結果評価

手術後 1 ヶ月以上経過した状態で、下顎骨輪郭の対称性を評価した。異なる個々の下顎骨の大きさを標準化するために、下顎の幅(両側の下顎顆の最も遠い点を結んだ距離)をパントモグラフ画像上(AUTO III NR, Asahi Roentgen Industry. Co., Ltd. Kyoto, Japan)で 297mm になるように調整した。

1)画像解析による対称性の評価

A)差分領域:再建側と健常側の両方で下顎骨輪郭をトレースし、2つの輪郭線を重ね合わせ、2つの輪郭線に含まれる領域の絶対値を差分領域として定義した(図3A)。

B)顎角差:下顎角の差の絶対値を顎角差として定義した(図3B).

これらは, 症例を知らない独立した評価者がトレースを2回行い, 平均値を算出し Image J 1.45 (National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) を使用し, それぞれ, 差分領域と顎角差を測定した.

2)視覚による審美性の評価

術後の顔貌の審美性を人間による視覚的評価で行った. 術後の顔貌写真の得られた MRP 群 4 例(症例 A~D), 従来群 4 例(症例 E~H)の患者の正面観顔貌写真を 50 名の評価者を対象に, 非常に良い(5 点)・やや良い(4 点)・どちらとも言えない(3 点)・やや悪い(2 点)・非常に悪い(1 点)の 5 段階として点数をつけてもらい評価を行った.

2.4 統計分析

MRP 群および従来群における差分領域, および顎角差の値を検定によって分析し, P 値 < 0.05 を有意と見なした. 人間による視覚的評価も同様に検定を行った. 統計解析は Statcel 3 ソフトウェア (OMS Publisher, Tokorozawa, Japan) に行なった.

第3章 結果

切除後、全ての患者において腫瘍マージンは陰性であった。従来群の代表的な患者(図 4)と、MRP 群の代表的な患者(図 5)を示す。値は(平均値±標準偏差)。

1) 画像解析による対称性の評価

A) 差分領域:画像解析による定量化では MRP 群は $9.92 \times 10^4 \pm 5.30 \times 10^4$ ピクセルであった。一方、従来群は $1.67 \times 10^5 \pm 1.02 \times 10^5$ ピクセルであった(図 6)。

MRP 群の差分領域は、従来群の差分領域と比較して有意に小さかった($P < 0.05$)。

B) 顎角差:MRP 群では $6.44 \pm 4.38^\circ$, 従来群では $11.18 \pm 8.39^\circ$ であった(図 6)。同様に MRP 群の方が有意に小さかった($P < 0.05$)。これらの結果は、MRP 群が従来群に比べて下顎骨輪郭の対称性が有意に改善されていることを示している。

2) 視覚による審美性の評価

術後の顔貌の審美性を比較するために、人間の視覚的評価による点数化を行ったところ、MRP 群 4 例の平均値は 2.755 ± 0.6995 、従来群 4 例が $2.645 \pm$

1.0931 であった. 検定結果では両群間に有意な差は認めなかった ($P=0.87$)

(表 2・図 7).

第4章 考察

この研究では、画像解析を用いて定量化することにより下顎再建後の下顎骨輪郭の対称性を評価した。MRP群の差分領域と顎角差はともに、従来群と比較して有意に小さかった。MRPモデルに基づいて事前にリコンストラクションプレートを屈曲し用いた再建の下顎骨輪郭の対称性は、従来法で再建したものよりも優れていることが示された。近年、リコンストラクションプレートを下顎の適切な位置へ正確に移し、下顎の対称性を改善させるための様々な技術が開発されている。例えば、Klug et alはステレオリソグラフィモデルとコンピュータ支援ナビゲーションツールを使用した精密な移植システムを開発した^[21]。また、プレートを適切な位置に移植するためのスプリントや機械的装置も開発されている^[22, 23]。正確に位置を再現する方法について報告があるが、これらの手術の結果を何らかの方法で適正に評価することも重要となる。この研究では、審美性を評価するために下顎骨の対称性に着目しパントモグラフを使用した。パントモグラフは一般的に手術の成否を視覚的に評価することに使用されるが、異なる体格の患者の骨格を定量化し比較することは困難であった^[24]。この問題を解決するために本研究ではパントモグラフ上で、左右の下顎顆の距離を297mmに調整し

標準化することによって画像解析を行った。画像解析の結果ではMRP群の下顎骨輪郭の対称性が優れていることが示されたが、顔貌の審美的評価までは言及することができなかった。よって、人間による視覚的評価を追加した。我々の主観的な評価ではMRP群の顔貌の審美性は、従来群より優れているように見受けられたが、客観的な結果が得られていないため、顔貌写真の得られた症例についてアンケート調査を行うことによって人間による視覚的評価を実施した。MRP群・従来群それぞれ4例の顔貌の正面観写真を50名の評価者が5段階で評価し、そのアンケート結果を集計し検定を行なったが、有意な差があるとは言えなかった。これは今回の症例では一定の方向で残された顔貌写真の症例数が少ないため適正に検定をすることができなかったためと考えられる。過去には唇顎口蓋裂術後の評価に人間による視覚的評価を行った報告もあり、症例数を増やすことや、評価方法を検討することで審美性の判定をすることができた可能性が考えられる^[25]。さらには、主観的な判断では、MRP群の方が下顎骨輪郭の対称性が実際の顔貌の対称性がよい以上に、審美的に優れて見えるようにも感じられた。その理由として、パントモグラフ画像が単一方向からの評価であったことが原因と考えられる。側面観、基底面観など多方向からの画像を用い

て分析することで、この問題を明らかにし、解決できる可能性がある。さらには、審美性の評価方法も重要となってくる。3Dベクトル解析などの評価手法を組み込んだ3次元画像解析^[25]、ハウストルフ距離^[26]、モアレトポグラフィ^[27]などの評価方法は、より正確な分析を可能にし、審美的な改善をもたらしたとの報告がされており、適切な評価方法が今後の課題となっている。

術後顔貌の変形が生じる原因として、軟部組織の萎縮も影響をしている。口腔癌の切除は病変からセーフティーマージンをつけて切除する必要性があるため、骨だけではなく頬筋や咬筋といった軟部組織も同時に切除することとなり、切除後の下顎形態が複雑になる。そのため手術中にリコンストラクションプレートを下顎の輪郭に沿って正確に適合させることは非常に困難となる。下顎骨の形態が正確に復元されたとしても、顔貌の形態が審美的に成功していないことが多く見受けられる。その理由は、下顎周囲の軟部組織は数カ月後に萎縮し、輪郭の変形を引き起こすからである。つまり咀嚼筋および軟部組織の萎縮による咬合の偏位が、顔面輪郭の変形を引き起こす。この研究では、リコンストラクションプレートを下顎下縁の外側表面に適合させた(図 1A)。この再建方法は外側にプレートがくる厚みの分だけ、下顎輪郭が外側へ寄っているはずで、正確には元

にあった顎骨の形状を再現しているわけではない。しかし、その外側への厚みの増加分が軟部組織の萎縮による変形を補うことに役立っていると考えられる。

今回の研究はパントモグラフ上での下顎骨輪郭の対称性を検討することで、リコンストラクションプレート¹⁾の形状に対して評価を行なっている。皮島および筋組織は X 線造影性がないため下顎骨輪郭には影響を与えない。評価に影響を与える因子としては X 線不透過性の部分の骨が重要と考えられる。ただし、顔貌の審美性のみを考えた場合、輪郭に影響するのは筋の厚みや皮島の軟部組織であると考えられる。そういった顔貌変形の問題を克服するために適切な評価方法が必要となる。例えば軟部組織の体積差を、CT を用いて計測し評価する方法が開発されれば、新たな評価ができる可能性がある。これにより軟部組織の萎縮で生じる下顎の左右差を減少させる手術方法を考案し、審美性の改善に役立たせることができると考えられる。また、手術方法の工夫も今後の課題となる。例えば 1)軟部組織の萎縮による顔貌変形の大きさを予想し、変形サイズに合わせた大きさの皮島を採取、あらかじめ大きめに移植を行う方法。2)将来的にインプラントを埋入する予定がなく、下顎骨の曲面を術前の形状に合わせる必要がない患者などでは、腓骨再建位置をあらかじめ外側に寄せて固定を

行い, 萎縮を補う方法. 3) 軟部組織変形の補正を優先させ, あえてリコンストラクションプレートを外側へ迫り出した形状に屈曲し再建する方法などが考えられる. 腭骨とリコンストラクションプレートとの適合性も下顎再建を成功させる重要な要素である. 下顎輪郭は非常に複雑なアーチを持っているが, 腭骨をリコンストラクションプレートの曲線に適合させることは極めて困難である. 我々の研究では, 28 症例のうち 16 症例で遊離腭骨皮弁を移植している. 遊離腭骨皮弁再建については, 下顎欠損部より長めの腭骨を採取すると同時に, 適切な量の長母指屈筋を採取する方法で行っている. 腭骨皮弁は腭骨動静脈を栄養血管とし, 穿通枝で皮島を栄養すると同時に, 骨膜にも分枝し栄養をする二重支配となっている. そのため複数の骨切を行っても各骨片への血流が良好に保たれるので, 再建時にリコンストラクションプレートの彎曲した形状に適合させるように腭骨の分割を行っても, 良好な血流を保つことが可能となる^[28, 29].その後, 下顎骨に固定されたリコンストラクションプレートの内側面に腭骨をスクリューで固定する. 続いて腭骨動脈と上甲状腺動脈・舌動脈・顔面動脈を血管吻合し, 腭骨静脈は内頸静脈と血管吻合を行い, 最後に口腔内粘膜欠損部に皮島を縫着する手順で行われる. 遊離腭骨皮弁の移植を行う利点には, 腭骨の分だ

け顎骨強度が増すこと、インプラント埋入が可能となり咬合の改善が見込まれること、将来的にプレートを除去することが可能となることなどが挙げられる。一方で、強度だけであればプレートのみで保つことができるため手技の手間が増えることや、手術時間が延長すること、プレートと腭骨の間に間隙ができ感染の危険性が生じるなどの欠点もあげられる。腭骨皮弁を用いることで得られるメリットは大きいですが、適切な手術を行うことが肝要である。MRP 群の 9 例の遊離腭骨皮弁症例のうち、リコンストラクションプレートに感染を生じた症例が 1 例あり、術後 14 カ月目に除去された。移植骨とリコンストラクションプレートとの隙間が感染率に影響を及ぼすことが知られており、皮島の適合性が感染率に影響しているとの研究報告もあるため、再建を行う際は隙間を作らないことに留意する必要がある^[30]。対策として 3D 腭骨画像を用いた遊離腭骨皮弁の再建シミュレーションシステムの利用や^[31-33]、3D 下顎骨画像を用いて移植するためのコンピュータシミュレーションやヴァーチャル手術などの術前計画を行うシステムがあり、手術精度を向上させるための技術開発がされている^[29,34]。

今回の研究では下顎骨再建後の咀嚼や発声といった機能性の評価を行っていない。腭骨再建を行なった症例ではインプラントの埋入などが可能となり、

咀嚼機能や発声機能の改善に影響を与える事が知られている。下顎骨再建後の咀嚼機能に関するいくつかの報告があり、下顎骨の切除範囲が辺縁切除のみの場合は、区域切除よりも咀嚼機能が優れていたこと、インプラントを用いて咬合再建を行なった場合に、舌や下顎角部が切除範囲に含まれると咀嚼効率が低下したこと、対合歯が天然歯であった場合に咀嚼効率の向上が見られたことなどの報告がされている。発音機能についてもいくつかの報告があり、下顎再建後に音声明瞭度の低下と、最大発声時間の短縮を認め、舌下面の切除量の違いが発声状況に影響を与えるとの報告がされている。^[35-38]これらのことから、機能的な視点からの MRP モデルの評価方法も、将来的に手術の成否を判断する重要な鍵となってくることが考えられる。今後の MRP モデルの発展と、それらの新たな解析法の検討が期待される。

第5章 結論

本研究では、事前にMRPモデルを用いてリコンストラクションプレートを屈曲し再建する方法は、従来の再建方法と比較して優れた下顎骨の対称性を得る結果となった。以上より、再建術後の下顎骨輪郭の対称性を向上させるのに有用であると考えられた。今後、MRPモデルが実際の臨床の場で使用される機会が増加すると考えられるが、それらの有用性を評価するには、審美的な評価、機能的な評価など、様々な観点からの評価法の検討が待たれる。

参考文献

1. 若尾文彦, 西本寛, 等. がんの統計(2015年度版).公益財団法人 がん研究振興財団. P14
2. 富永祐民, 罹患・死亡・予後. 篠原出版,1999,p159-170, p185-191.
3. Krolls, S.O.,Hoffman, S.: Squamous cell carcinoma of the oral soft tissues: a statistical analysis of 14,253 cases by age, sex, and race of patients. JADA 1976,92: 571-574.
4. Blot, W.J. McLaughlin, J.K. et al.: Smoking and drinking in relation to oral and pharyngeal cancer. Cancer Res 48: 1988,3282-3287.
5. Gupta, P.C., Mehta, F.S., et al.: Incidence rates of oral cancer and natural history of oral precancerous lesions in a 10-year follow-up study of Indian villagers. Community Dent Oral Epidemiol 8: 1980.283-333,
6. Petti, S., Scully, C.: Oral cancer: the association between nation-based alcohol-drinking profiles and oral cancer mortality. Oral Oncol 41: 2005,828-834.
7. Sankaranarayanan, R., Ramadas, K., et al.: Effect of screening on oral cancer mortality in Kerala, India: a cluster-randomised controlled trial. Lancet 365: 2005,1927-1933.
8. Khanna, J.N., Andrade, N.N.: Oral submucous fibrosis: a new concept in management, Report of 100 cases. Int J Oral Maxillofac Surg 1995.24: 433-439.
9. Abou-ElFetouh A, Barakat A, Abdel-Ghany K: Computer-guided rapid-prototyped templates for segmental mandibular osteotomies: a preliminary report. Int J Med Robot 2011, 7:187-192.
10. 村上泰, 飯沼壽孝, 他:イラスト手術手技のコツ耳鼻咽喉科・頭頸部外科 咽喉頭頸部編 P149,487-494,
11. Thankappan K, Trivedi NP, Subash P, Pullara SK, Peter S, Kuriakose MA, Iyer S: Three-dimensional computed tomography-based contouring of a free fibula bone graft for mandibular reconstruction. J Oral Maxillofac Surg 2008, 66:2185-2192.

12. Cohen A, Laviv A, Berman P, Nashef R, Abu-Tair J: Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009, 108:661-666.
13. Li J, Hsu Y, Luo E, Khadka A, Hu J: Computer-aided design and manufacturing and rapid prototyped nanoscale hydroxyapatite/polyamide (n-HA/PA) construction for condylar defect caused by mandibular angle osteotomy. *Aesthetic Plast Surg* 2011, 35:636-640.
14. Yamada H, Nakaoka K, Horiuchi T, Kumagai K, Ikawa T, Shigeta Y, Imamura E, Iino M, Ogawa T, Hamada Y: Mandibular reconstruction using custom-made titanium mesh tray and particulate cancellous bone and marrow harvested from bilateral posterior ilia. *J Plast Surg Hand Surg* 2013, 48:183-190.
15. Kernan BT, Wimsatt JA 3rd: Use of a stereolithography model for accurate, preoperative adaptation of a reconstruction plate. *J Oral Maxillofac Surg* 2000, 58:349-351.
16. Cunningham LL Jr, Madsen MJ, Peterson G: Stereolithographic modeling technology applied to tumor resection. *J Oral Maxillofac Surg* 2005, 63:873-878.
17. Salgueiro MI, Stevens MR: Experience with the use of prebent plates for the reconstruction of mandibular defects. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2010, 3:201-208.
18. 岩田聡一, 中澤光博, 他: 下顎骨切除に対する新しい腓骨皮弁再建システムの有用性. *口腔腫瘍* 22巻4号 2010
19. Singare S, Dichen L, Bingheng L, Yanpu L, Zhenyu G, Yaxiong L: Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping. *Med Eng Phys* 2004, 26:671-676.
20. De Farias TP, Dias FL, Galvao MS, Boasquevisque E, Pastl AC, Albuquerque Sousa B: Use of prototyping in preoperative planning for patients with head and neck tumors. *Head Neck* 2014, 36: 1773-1782.
21. Klug C, Schicho K, Ploder O, Yerit K, Watzinger F, Ewers R, Baumann A, Wagner A: Point-to-point computer-assisted navigation for

- precise transfer of planned zygoma osteotomies from the stereolithographic model into reality. *J Oral Maxillofac Surg* 2006, 64:550-559.
22. Farina R, Plaza C, Martinovic G: New transference technique of position of mandibular reconstructing plates using stereolithographic models. *J Oral Maxillofac Surg* 2009, 67:2544-2548.
23. Wang TH, Ma H, Tseng CS, Chou YH, Wu SH, Shih YC, Huang CP: A new device for fibular osteotomy in mandibular reconstruction. *Microsurgery* 2014, 34:249-252.
24. Van Elslande DC, Russett SJ, Major PW, Flores-Mir C: Mandibular asymmetry diagnosis with panoramic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008, 134:183-192.
25. Park KR, Park HS, Piao Z, Kim MK, Yu HS, Seo JK, Lee SH: Three-dimensional vector analysis of mandibular structural asymmetry. *J Craniomaxillofac Surg* 2013, 41:338-344.
26. Karube R, Sasaki H, Togashi S, Yanagawa T, Nakane S, Ishibashi N, Yamagata K, Onizawa K, Adachi K, Tabuchi K, Sekido M, Bukawa H: A novel method for evaluating postsurgical results of unilateral cleft lip and palate with the use of Hausdorff distance: presurgical orthopedic treatment improves nasal symmetry after primary cheiloplasty. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012, 114:704-711.
27. Chen LH, Iizuka T: Evaluation and prediction of the facial appearance after surgical correction of mandibular hyperplasia. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1995, 24:322-326.
28. 垣添忠生, 林隆一: 国立がんセンター編 新 癌の外科—手術手技シリーズ 8 頭頸部癌 P102-105
29. 山田敦, 小坂和弘 他: 腓骨と肋骨による下顎の再建. *口咽科* 12:2;213~219, 2000
30. 桜庭実, 腓骨皮弁による下顎再建. *口腔腫瘍*26巻3号 63~68頁 2014
31. Zheng GS, Su YX, Liao GQ, Chen ZF, Wang L, Jiao PF, Liu HC, Zhong YQ, Zhang TH, Liang YJ: Mandible reconstruction assisted by preoperative virtual surgical simulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012, 113:604-611.

32. Wang WH, Deng JY, Li M, Zhu J, Xu B: Preoperative three-dimensional reconstruction in vascularized fibular flap transfer. *J Craniomaxillofac Surg* 2012, 40:599-603.
33. Wang WH, Zhu J, Deng JY, Xia B, Xu B: Three-dimensional virtual technology in reconstruction of mandibular defect including condyle using double-barrel vascularized fibula flap. *J Craniomaxillofac Surg* 2013, 41:417-422.
34. Juergens P, Krol Z, Zeilhofer HF, Beinemann J, Schicho K, Ewers R, Klug C: Computer simulation and rapid prototyping for the reconstruction of the mandible. *J Oral Maxillofac Surg* 2009, 67:2167-2170.
35. Naik PV, Speech characteristics and swallowing functions post-segmental mandibulectomy. *Arch Med Health Sci* 2013;1:148-51
36. 鄭 漢忠, 下顎歯肉, 口底扁平上皮癌の下顎骨切除例における術後形態および機能の検討: 38 卷 (1992) 5 号 p. 775-782
37. Y Hibino, Evaluation of masticatory efficiency after mandibular reconstruction using osseointegrated implants in segmental mandibular resected cases: *Head and Neck cancer* 25(1)70-74, 1999
38. K, Ihara, Masticatory function with use of an implant denture in mandibulectomy patient: *Jpn. Stomatol. soc.* 51(6):374~381. November. 2002

Patient NO.	Age	Sex	Lesion	TNM classification	Pathology	flap	Surgery	Method
1	69	M	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
2	60	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
3	91	M	rt. Mandibular Gingiva	T2N0M0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
4	79	F	rt. Mandibular Gingiva rt. Maxillary Gingiva	T2N0M0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
5	42	M	rt. Mandibular Gingiva	T4aN2cM0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
6	66	M	rt. Mandibular Gingiva	T4bN2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
7	70	M	lt. Mandibular Gingiva	Rec(T1N0M0)	SCC	Fibular free flap + Fore arm flap	segmental mandibulectomy	Conventional
8	76	F	lt. Mandibular Gingiva	T2N2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
9	61	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN2cM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
10	63	M	rt. Mandibular Gingiva	T4aN2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
11	34	F	lt. Mandible	T1N0M0	Osteosarcoma	Rectus abdominis free flap.	segmental mandibulectomy	Conventional
12	81	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN2bM0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
13	52	M	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
14	71	F	rt. Mandibular Gingiva	T4aN2cM0	SCC	none	segmental mandibulectomy	Conventional
15	68	M	Floor of Mouth	Rec(T2N0M0)	SCC	PMMC flap	segmental mandibulectomy	Conventional
16	66	F	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	Conventional
17	65	M	lt. Mandibular Gingiva	T3N1M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
18	61	M	rt. Mandibular Gingiva	T4aN2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
19	59	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN2bM0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
20	62	F	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
21	59	F	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
22	55	M	Floor of Mouth	Rec (T2N0M0)	SCC	Rectus abdominis free flap.	segmental mandibulectomy	MRP
23	62	F	lt. Mandibular Gingiva	T3N0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
24	75	F	rt. Mandibular Gingiva	T3N0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
25	58	F	rt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP
26	82	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN2cM0	SCC	Rectus abdominis free flap.	segmental mandibulectomy	MRP
27	71	M	lt. Buccal Mucous	T4bN0M0	SCC	Rectus abdominis free flap.	segmental mandibulectomy	MRP
28	62	M	lt. Mandibular Gingiva	T4aN0M0	SCC	Fibular free flap	segmental mandibulectomy	MRP

Rec: recurrence cases (original TNM), SCC: squamous cell carcinoma, Conventional: Conventional method, MRP: Method using prebent plate based on medical rapid prototyping model

表1 対象症例一覽

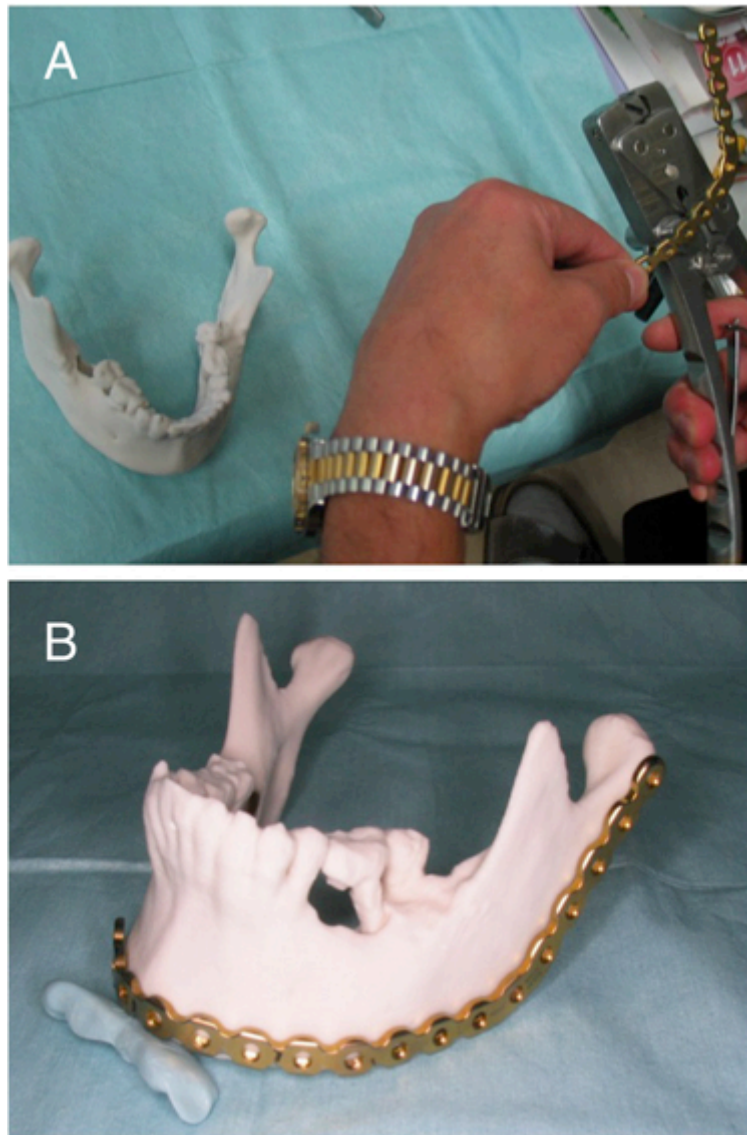


図1 リコンストラクションプレートの作製

MRP モデルを用いたリコンストラクションプレートの製作方法を示す。

A:徒手屈曲にて MRP モデルに適合するようにチタン性リコンストラクションプレートを屈曲し作製しているところ。

B:リコンストラクションプレートが装着された MRP モデル。

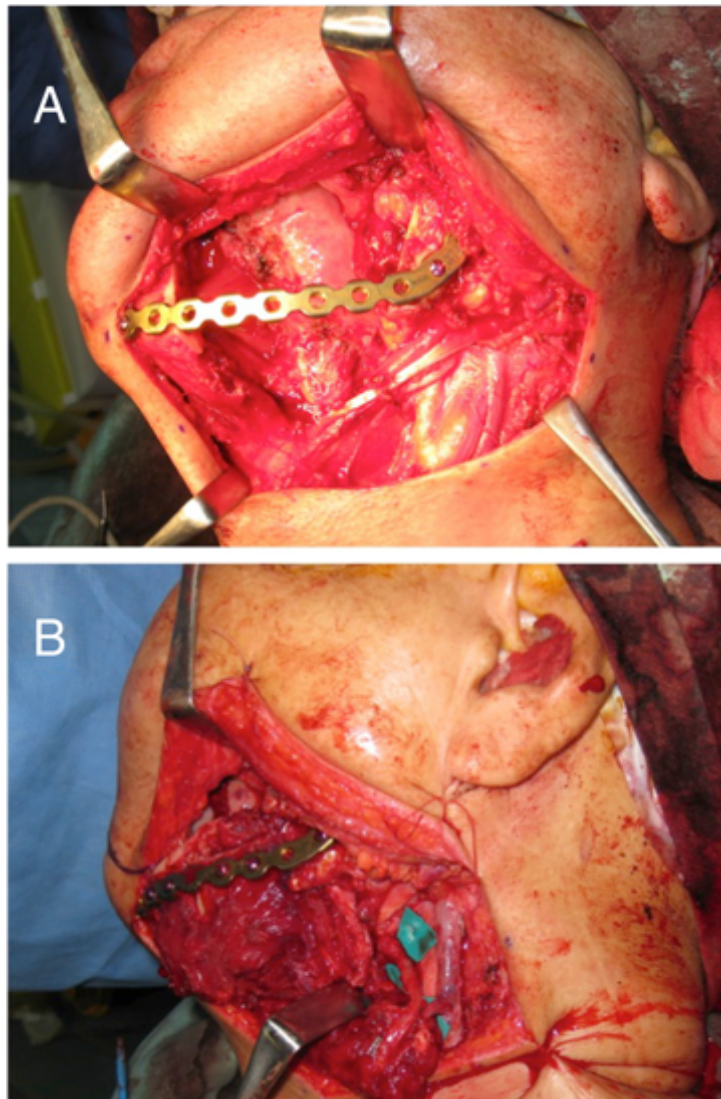


図2 術中のリコンストラクションプレートの取り付け

MRP モデルを用いたリコンストラクションプレートの装着の実例. 遊離腓骨皮弁を用いた際の再建を示す.

A: 下顎切除術後, 残存した骨面に合わせてリコンストラクションプレートを残存骨に固定したところ.

B: 遊離腓骨皮弁をしようする場合は, リコンストラクションプレート内側へ腓骨を適合させ固定した後, 血管吻合を行った.

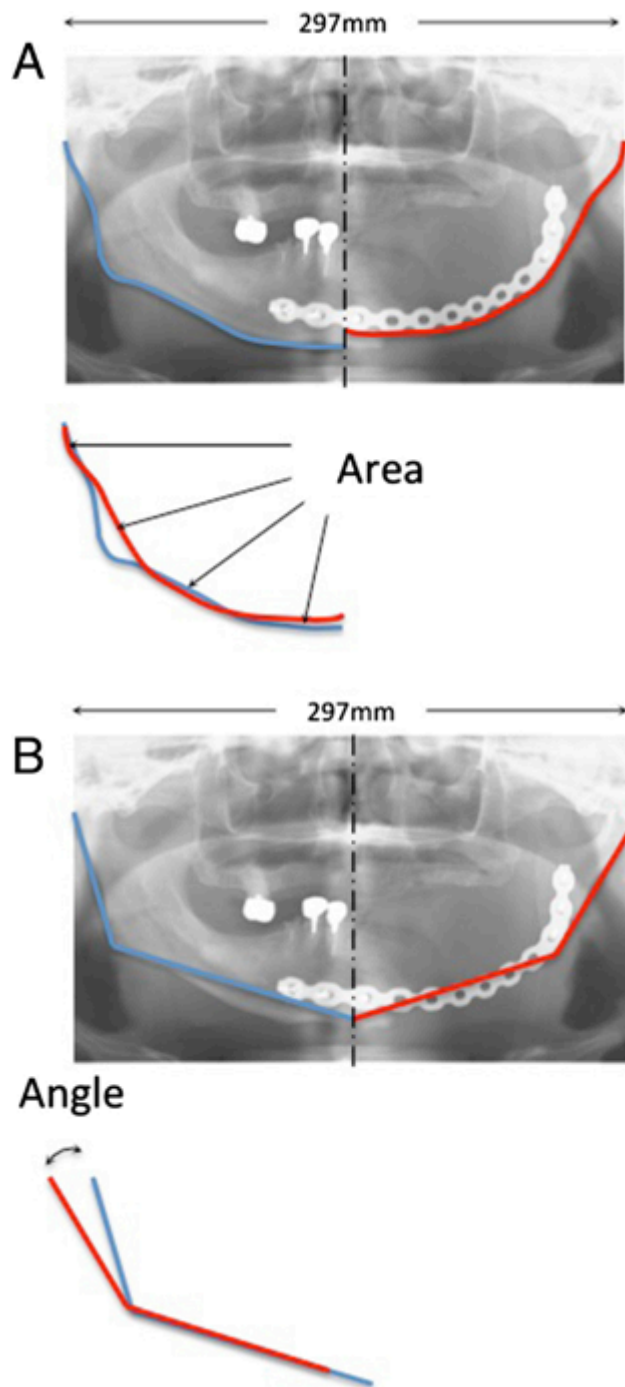


図3 画像解析による評価方法

A: 差分領域の測定. 再建側と健常側の下顎輪郭をトレースし, 重ね合わせた. 2つの輪郭線に含まれる領域の絶対値を差分領域と定義.

B: 顎角差の測定. 健側の下顎骨から下顎角の角度と, 再建された下顎角の角度差を測定した. 2つの角度の差の絶対値を差の顎角差として定義.

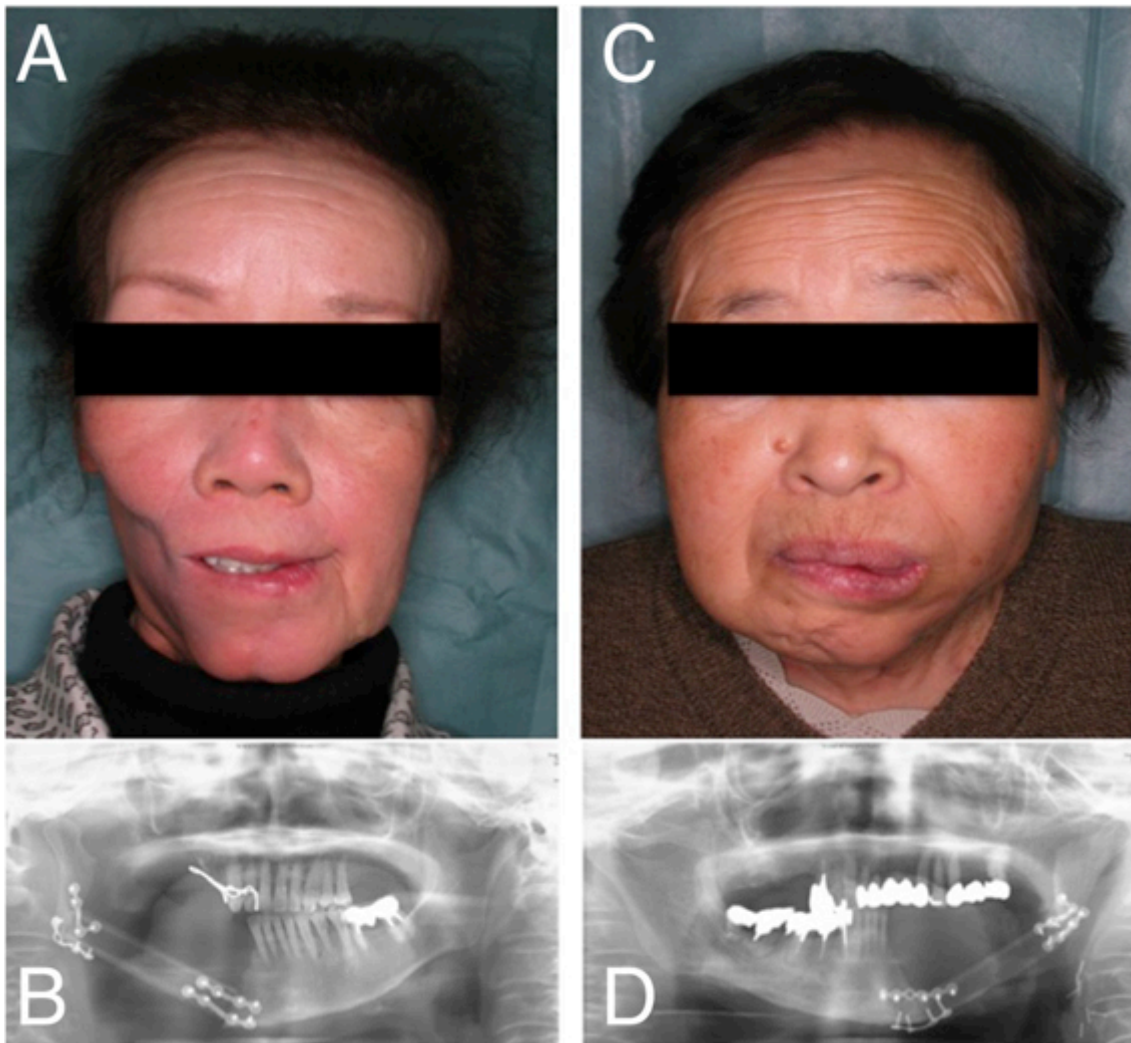


図4 従来群の代表例

A, C:従来群の代表的な患者の画像.

B, D:パントモグラフを用いた上記患者の画像.

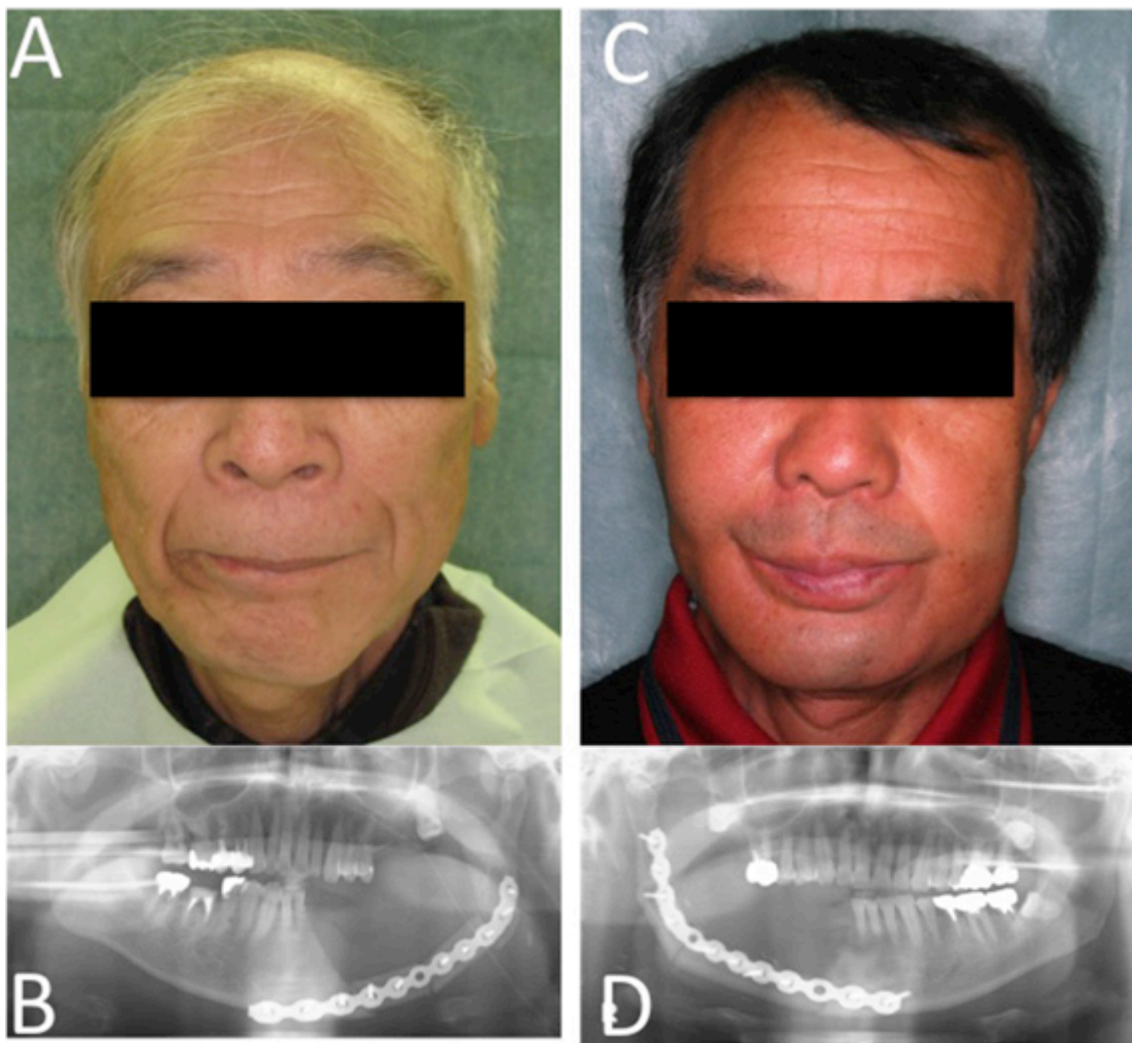


図5 MRP 群の代表例

A, C:MRP 群の再建手術後の代表的な患者の画像.

B, D:パントモグラフを用いた上記患者の画像.

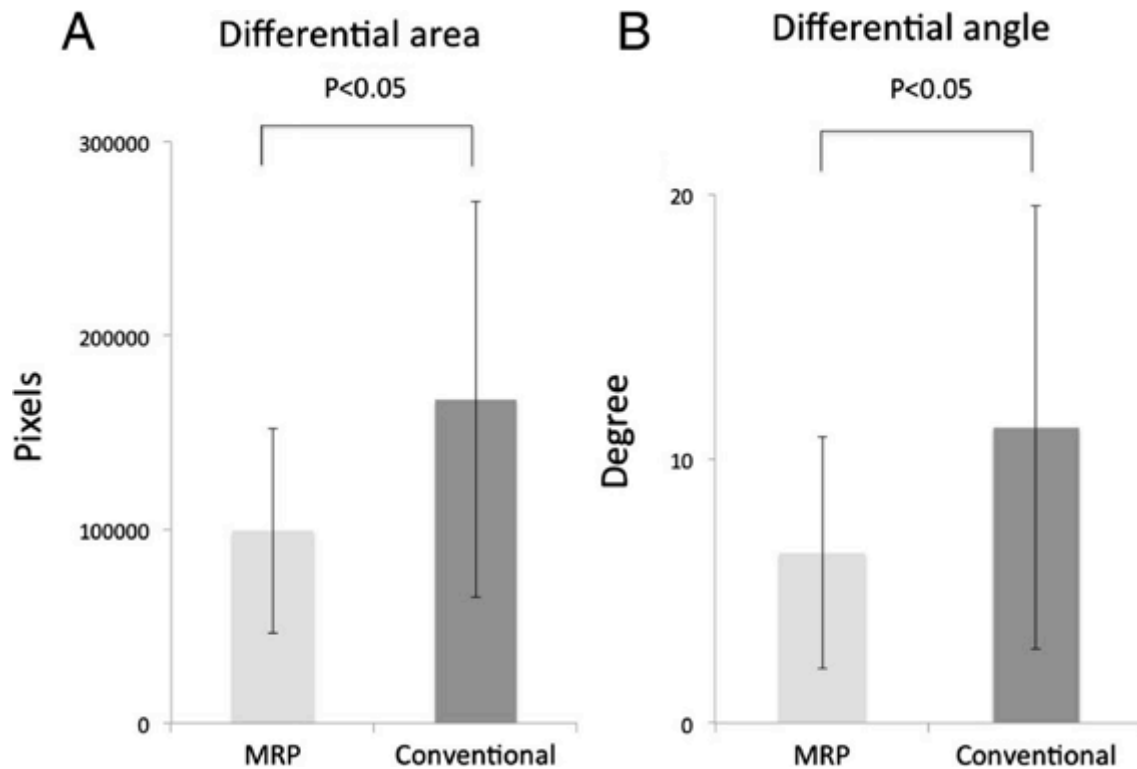


図6 画像解析による対称性の評価

MRP (MRP 群): MRP モデルを用いて再建手術を受けたグループ

Conventional (従来群): 従来の再建手術を受けたグループ

A: 差分領域. MRP 群の差分領域は、従来群のものと比較して有意に小さかった ($P < 0.05$).

B: 顎角差. MRP 群の顎角差は、従来群のものと比較して有意に小さかった ($P < 0.05$).

(値 および error bar は mean \pm SD)

		1点	2点	3点	4点	5点	評価
		非常に悪い	やや悪い	どちらとも言えない	やや良い	非常に良い	(平均)
顔貌 A	MRP 群	5	34	6	5	0	2.22
顔貌 B	MRP 群	12	25	9	4	0	2.10
顔貌 C	MRP 群	0	8	14	23	5	3.50
顔貌 D	MRP 群	1	12	20	10	7	3.20
顔貌 E	従来群	2	18	12	17	1	2.94
顔貌 F	従来群	23	22	4	1	0	1.66
顔貌 G	従来群	0	3	10	18	19	4.06
顔貌 H	従来群	16	24	8	2	0	1.92

表2 視覚的評価の結果

顔貌の審美性を評価するために、MRP 群 4 名(顔貌 A~D)、従来群 4 名(顔貌 E~H)の患者の術後の正面観顔貌写真を 50 名の評価者に視覚的に判定してもらった結果.

非常に悪い(1点)・やや悪い(2点)・どちらとも言えない(3点)・やや良い(4点)・非常に良い(5点)の5段階で評価を行なった.

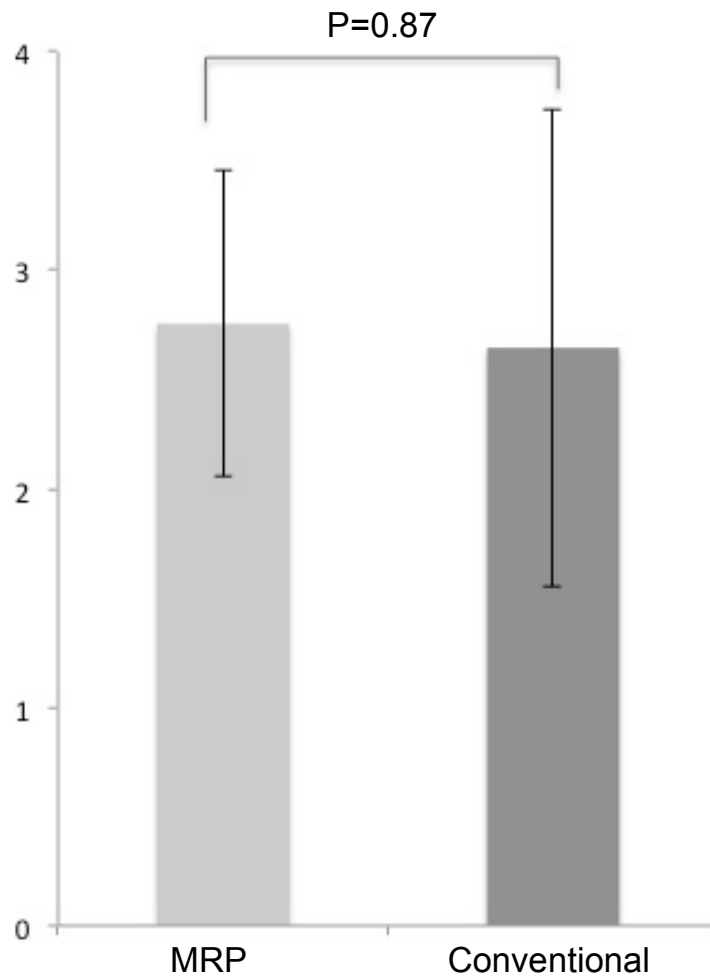


図7 視覚による審美性の評価

MRP(MRP 群):MRP モデルを用いて再建手術を受けたグループ

Conventional(従来群):従来の再建手術を受けたグループ

MRP 群と従来群では有意な差は認められなかった(P=0.87).

(値 および error bar は mean±SD)

謝辞

本研究を終えるにあたり、顎顔面悪性腫瘍について臨床学的観点からご指導・ご教授を賜りました筑波大学医学医療系顎口腔外科学教授の武川寛樹先生，また研究設計及び実験に関するご指導・ご鞭撻を賜りました同准教授の柳川徹先生，手技や結果に対する考察方法など多岐に渡りご指導いただきました同講座スタッフ皆様に心より御礼を申し上げます。