

## 症例報告

# 三次元実体模型を使用して 手術シミュレーションを行った下顎再建の経験

沼尻 敏明<sup>1\*</sup>, 中村 寛子<sup>1</sup>, 五影 志津<sup>1</sup>, 秋田 梨恵<sup>1</sup>  
素輪 善弘<sup>1</sup>, 西野 健一<sup>1</sup>, 辻川 敬裕<sup>2</sup>  
新井 啓仁<sup>2</sup>, 松井 雅裕<sup>2</sup>, 中野 宏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>京都府立医科大学大学院医学研究科形成外科学

<sup>2</sup>京都府立医科大学大学院医学研究科耳鼻咽喉科・頭頸部外科学

## Mandibular Reconstruction Using Three-dimensional Models and Prebent Titanium Plates

Toshiaki Numajiri<sup>1</sup>, Hiroko Nakamura<sup>1</sup>, Shidu Itsukage<sup>1</sup>, Rie Akita<sup>1</sup>  
Yoshihiro Sowa<sup>1</sup>, Kenichi Nishino<sup>1</sup>, Takahiro Tsujikawa<sup>2</sup>, Akihito Arai<sup>2</sup>  
Masahiro Matsui<sup>2</sup> and Hiroshi Nakano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plastic and Reconstructive Surgery,

Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

<sup>2</sup>Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery

Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

## 抄 録

頭頸部癌切除に伴う下顎骨と口腔粘膜の一次再建で、下顎骨区域切除およびチタンプレートと遊離前外側大腿皮弁による再建を行った患者が、その後プレートの破損により下顎骨の偏位と不正咬合をきたしたため、下顎の二次再建を行った。下顎骨区域切除による骨欠損があるため、整復位置を正確に決めることが困難であると考えられたので、三次元実体モデルを用いた術前シミュレーション手術を行い、術中整復位をあらかじめ設定した。

手術シミュレーションにより、

- 1, 下顎の不正咬合の現状把握や、整復位での残存下顎骨の位置確認が明瞭となった。
- 2, 下顎骨の整復位を保つメモリープレート、あるいは移植腓骨を固定するチタンプレートの、術前プレート屈曲、テンプレート作成による手術時間短縮が可能であった。
- 3, 下顎骨欠損に充填する腓骨の骨切り部位と形状の術前予測による模擬手術ができ、手術時間短縮および視覚化によるより簡潔で正確な手術操作への転換ができた。

などの利点があった。欠点は、術前に準備時間がかかること、保険適応ではあるが経済的な問題から、モデル作成作業を医師が行わなくてはいけないこと、などであった。

形成外科・頭頸部再建領域では三次元実体モデルを用いた手術支援はまれであるため、その経験と特徴について報告した。

平成26年 6 月 2 日受付 平成26年 7 月23日受理

\*連絡先 沼尻敏明 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上路梶井町465  
prs-bin@koto.kpu-m.ac.jp

キーワード：遊離腓骨皮弁，頭頸部再建，マイクロサージャリー，頭頸部癌，ラピッドプロトタイプモデル。

## Abstract

Malocclusion because of the disruption of a titanium reconstruction plate after segment resection of the hemimandible was treated by transfer of the free vascularized fibula flap. To aid in fixing the shape and length of the transferred bone preoperatively, three-dimensional models of the maxilla, mandible, and fibular bones were constructed. Using these models, preoperative simulation surgery and osteotomy were performed, and prebent reconstruction plates were manufactured. This preoperative set-up has several advantages: the models perform an educational role for both patients and medical staff in enabling easier understanding of the medical procedures; the simulation surgery simplifies the real procedure; and prebending the titanium hardware reduces the operation time. However, the additional cost is a disadvantage.

**Key Words:** Free vascularized fibula flap, Head and neck reconstruction, Microsurgery, Head and neck cancer, Rapid prototype model.

## 緒言

頭蓋顎顔面領域での通常の骨折や骨切除は、従来の整復術により比較的問題なく治療することができる。しかし複雑な骨欠損を含む場合、手術痕による拘縮変形などを伴う場合は、顔面骨の整復位置を設定することが難しくなるため、治療が困難となる。

今回我々は、癌切除により下顎骨を大きく失いチタンプレートで再建されていた患者が、プレート破損により不正咬合をきたしたため再建手術を必要とした症例を経験した。骨欠損を伴う二次再建であったため、術前からの実物大臓器立体モデルをもちいた手術支援を行った。これにより手術精度・時間短縮などが図れた。当院形成外科ではこの手術支援を用いることがなかったため、その経験でわかった特徴について報告する。

## 症例

78歳，女性。

主訴 摂食障害・頬部疼痛・不正咬合

既往歴 17歳時に結核で右胸郭形成術（肋骨7本切除）

家族歴 特記なし

現病歴 患者は6ヶ月前に右歯肉癌（T4aN0M0

stage IVA）と診断され、4ヶ月前に口腔粘膜・歯肉と共に右犬歯から下顎角上方までの下顎骨区域切除、肩甲舌骨筋上頸部郭清、気管切開、遊離前外側大腿皮弁とチタンプレートによる再建が行われた（Fig. 1a, b）。軟食のみの摂食となっていたが、右下顎の疼痛を訴えて受診した。破損したチタンプレートの突出を頬部に触れ、歯牙は不正咬合をきたしていた（Fig. 2a, b, c）。摂食障害があったため下顎の二次再建が必須と考えた。チタンプレートと遊離皮弁による軟部組織のみの再建であったため固定したチタンプレートが破綻したと思われるので、血管柄付き自家骨移植による硬性再建が必要であると判断し、遊離腓骨皮弁移植を計画した。

しかし、区域切除後のため骨欠損が大きく残存骨の偏位が強かったことや、口腔内の粘膜が大腿皮弁により置き換えられて伸縮性に乏しかったことから、残存下顎骨を本来の咬合位置に戻そうとしても痕跡拘縮により整復できない状態であった。そのため咬頭嵌合位に戻した場合の骨欠損部の大きさと方向、関節突起を含む右側残存下顎枝の中心位などが術前に予想できなかった。このままの状態で行うと、残存する切歯で咬頭嵌合位を再現し、動揺する不安定な残存下顎枝との間に、定量されていない不正な長さや骨切り角度の腓骨を移植して、



Fig. 1. a; 初回術中所見. 歯肉癌切除時の再建を示す. チタンプレートで硬性再建を行なった.  
b; 初回術後3ヶ月. 軟部組織再建は遊離前外側大腿皮弁で行い, 口腔粘膜欠損は皮弁の皮島でカバーした.

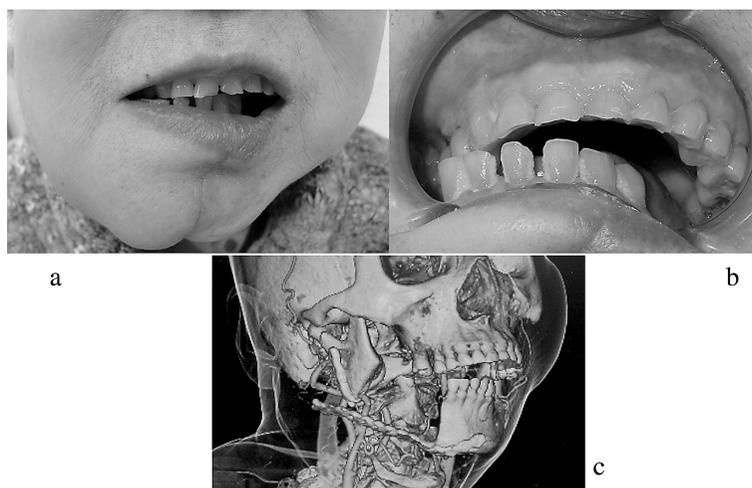


Fig. 2. a; 下顎の疼痛を主訴に再診した.  
b; 不正咬合を認める.  
c; 顔面骨 CT を撮影すると, チタンプレートの破損による下顎骨の偏位が認められた.

チタンプレートで骨固定することになる. その場合下顎の中心位は大きく偏位するので咬合の改善にはならないと考えた. そこで実物大臓器立体モデルを用いて, 術前から手術支援を行う計画を立てた.

### 術前シミュレーション

まず歯肉癌切除術前で不正咬合をきたす前の1mmスライス顔面骨CTをもとに三次元実体モデルを作成した. 顔面骨CTの水平断画像

データを三次元画像表示解析ソフトウェア (ZedView, Lexi Co, Ltd, Japan) で取り込み, 不要となるアーチファクトや構造物を取り除く処理を行った上で, 三次元構築化した. そして微小なアーチファクト除去を可視化できるソフトウェア FreeForm Modeling (SensAble Technologies Inc., Woburn, MA, USA) をもちいてさらに最適化した. モデル作成は積層造形装置 Zprinter 450 (3D Systems Co, Rockhill, SC, USA) を使用した. この装置は整形外科の好意

により貸与されたものである。作成された顔面骨・下顎骨に対して、癌切除で行われた区域切除を行い、咬合位が保たれた状態での骨欠損モデルを作成した (Fig. 3a, b)。このモデルを元に、切歯での咬頭嵌合位と下顎枝の中心位を保つメモリープレートを作成し、かつスクリュー固定する位置を印した。また骨欠損の大きさや角度を算定して、必要となる腓骨の大きさを予測した。また本固定となるミニプレートも術前プレート屈曲した (Fig. 3c, d, e)。

次にプレート破損後の顔面骨 CT 情報を用いて、上顎と下顎とを分離して実体モデルを作成した (Fig. 4a, b, c)。この状態で咬頭嵌合位を再現し、前述したメモリープレートを装着したところ下顎枝には密着せず、やはり残存下顎枝は

偏位して中心位を保てていないことが判明した (Fig. 4d)。

さらに、採取する左腓骨の CT データを元に実体モデルを作成した (Fig. 5a)。あらかじめ必要となる大きさと角度が顔面骨モデルで判明しているため、それに合致するように、またできるだけ血管茎を長くとれるような位置で、腓骨実体モデルの骨切り部位を策定し、骨切りをした。

最後に、不正咬合のない骨切りモデルの骨欠損部に、腓骨骨切りモデルで切り出した腓骨片を充当したところ、ずれなく一致することを確認した (Fig. 5b)。モデル作成に要した時間は約 1 週間であり、モデルを使用して模擬手術とプレートの術前プレート屈曲などに要した時間は

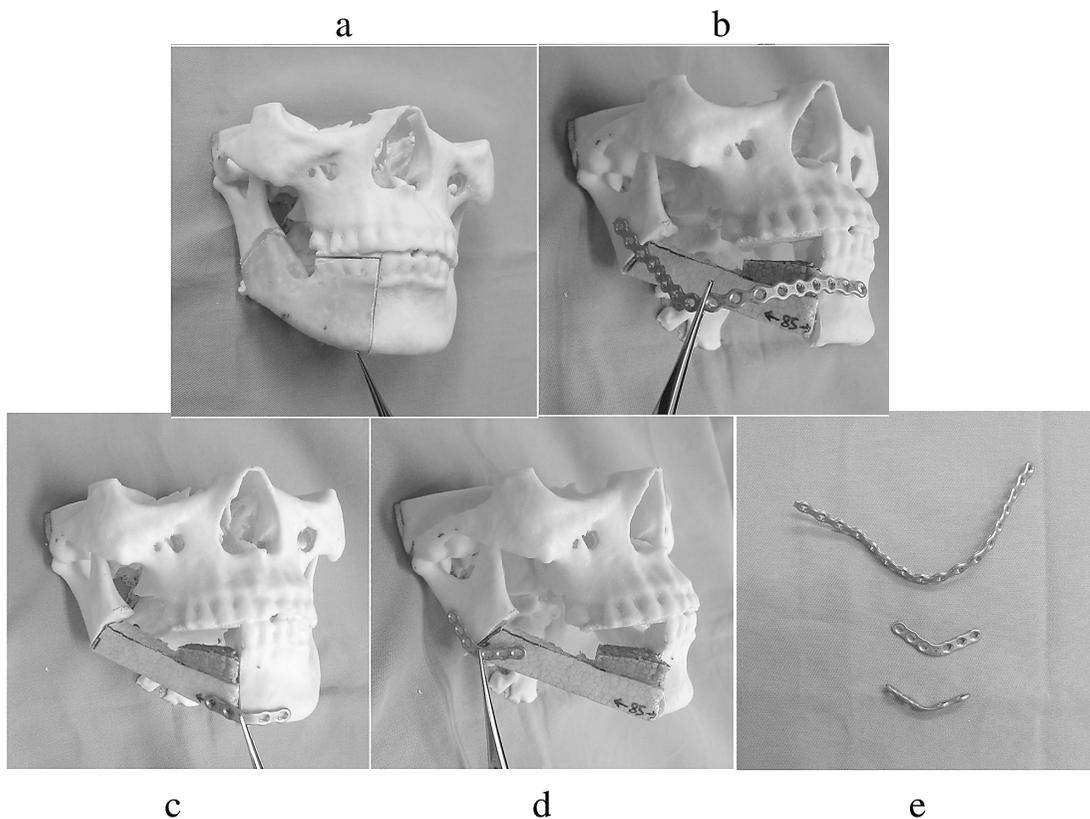


Fig. 3. a; 下顎骨区域切除前の実体モデルを作成し、区域切除を再現した。

b; 不正咬合を呈していない時点での咬合位置と残存下顎枝の中心位を再現するメモリープレートを作成した。

c, d, e; 骨欠損を再建する大きさ・角度を計測した上で、固定用のミニプレートを術前プレート屈曲しておく。これらにより骨欠損の形状との探索・プレート屈曲などの時間短縮が可能になる。

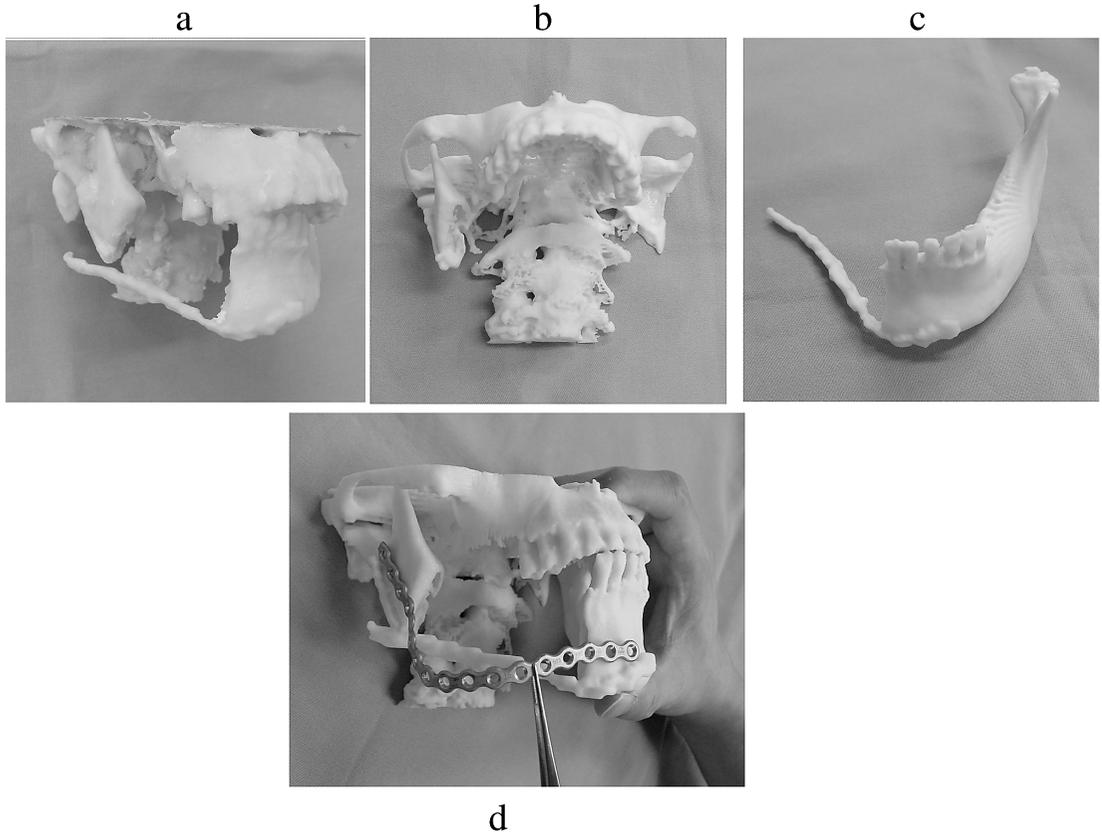


Fig. 4. a; 骨偏位をきたしている現在の実体モデルも作成する。これでは咬合位置の検討ができない。  
 b, c; さらに上顎骨と下顎骨を別々に作成しておく。  
 d; bとcで作成した上・下顎骨を、咬頭嵌合位におく。ところがメモリープレートを装着すると、残存下顎枝の位置が異なる。これは中心位がずれていることを示している。

約12時間であった。

### 手術の実際

全身麻酔下に手術を行った。

最初にIMFスクリューを用いて咬頭嵌合位を再現する顎間固定を行った。切歯はすり減っていて咬合しなかったため、左の犬歯・小臼歯で咬合を再現した (Fig. 6a)。

次に、前回移植した前外側大腿皮弁とその栄養血管を損傷しないように注意しながら右頸部を展開し、破損したチタンプレートを抜去した。同時に移植する腓骨が挿入できる空間を形成した。右頸部に良好な移植床血管がなかったため、左頸部を展開して、左顔面動静脈を露出

し、移植床血管を準備した。

同時に左下腿を切開し、腓骨を剖出するとともに、その血管茎となる腓骨動静脈を剥離してdonorとした。

そして用意しておいたメモリープレートを下顎骨に装着した。術前の印通りの位置でスクリュー固定をした (Fig. 6b)。この時点で一旦顎間固定を解除して開口障害や明らかな不正咬合がないことを確認した。これで癌切除前の咬合位とほぼ同じ位置で残存骨が再配置されたことになる。再度顎間固定を行い、骨欠損の大きさを確認したところ、術前モデルの欠損量と同じであったので、計画通りの場所と大きさで腓骨の骨切りを行い、腓骨皮弁の切り離しを行った

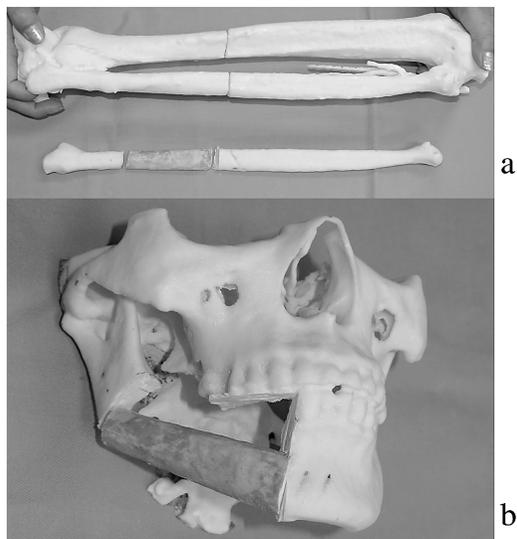


Fig. 5. a; 採取する腓骨の実体モデルも作成する。顔面骨モデルで必要となる大きさと形状・角度を検討し、最適の部位を確定して骨切りも行う。

b; 骨切りした腓骨を顔面骨モデルに装着して、適合することを確認した。

(Fig. 6c, d).

次に腓骨を骨欠損部に移植して、術前プレート屈曲しておいたミニプレートで腓骨の両端を下顎骨に固定した (Fig. 7a)。これでメモリープレートは不要になるため抜去した。骨固定を強固にするため、ミニプレート固定を両端に1枚ずつ追加した (Fig. 7b)。今までの同様の手術での経験から、術中の採骨の大きさや形状の決定、これらメモリープレートと固定用プレートの作成とベンディングなどに要する時間は、約1時間30分ほどの短縮と考えられた。

最後に、左顔面動静脈と左腓骨動静脈とを顕微鏡下に血管吻合を行った。血管が開通して腓骨が再灌流されたので、閉創した。

### 術 後 経 過

術後酸素化が遅れたが、そのほかは著変なく経過した。術後2週で顎間固定を解除し、開口訓練を行った。摂食内容には特に制限を加えていないが、キザミ食を中心に全量摂取できてい

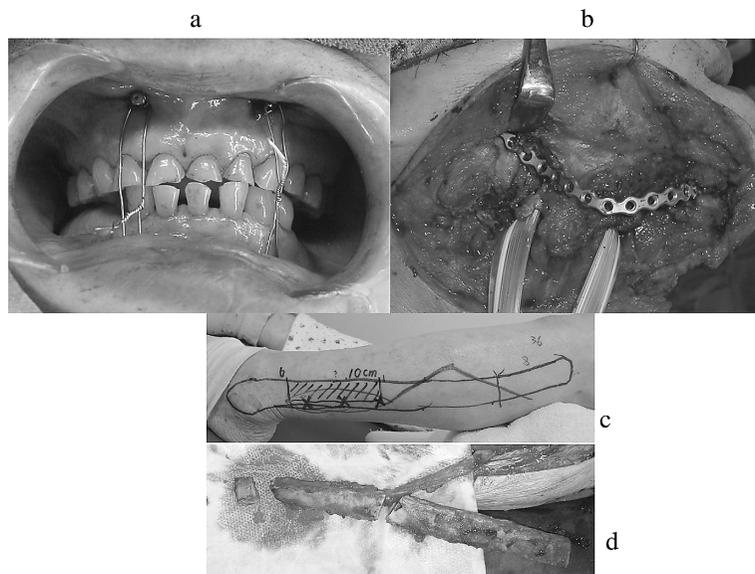


Fig. 6. a; 実際の手術ではまず顎間固定を行い、咬頭嵌合位を再現する。  
b; 破損したプレートを抜去し、メモリープレートを、実体モデルと同じ位置で固定する。これで中心位も保たれる。  
c, d; 腓骨の実体モデルでシミュレーションしたとおりに骨切りする。

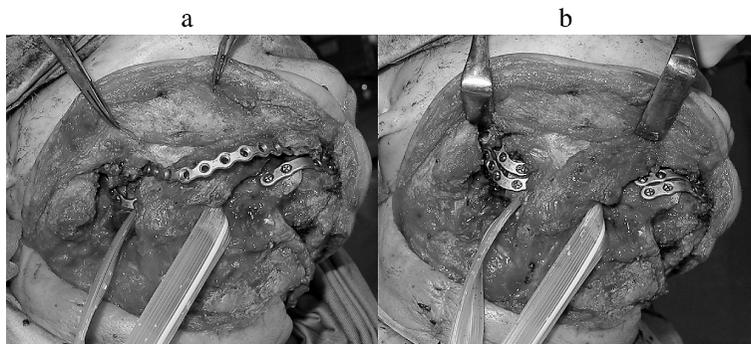


Fig. 7. a; 不正咬合のない状態で腓骨を移植し、術前プレート屈曲したプレートで固定する。  
b; メモリープレートを抜去して、補強をミニプレートで行う。

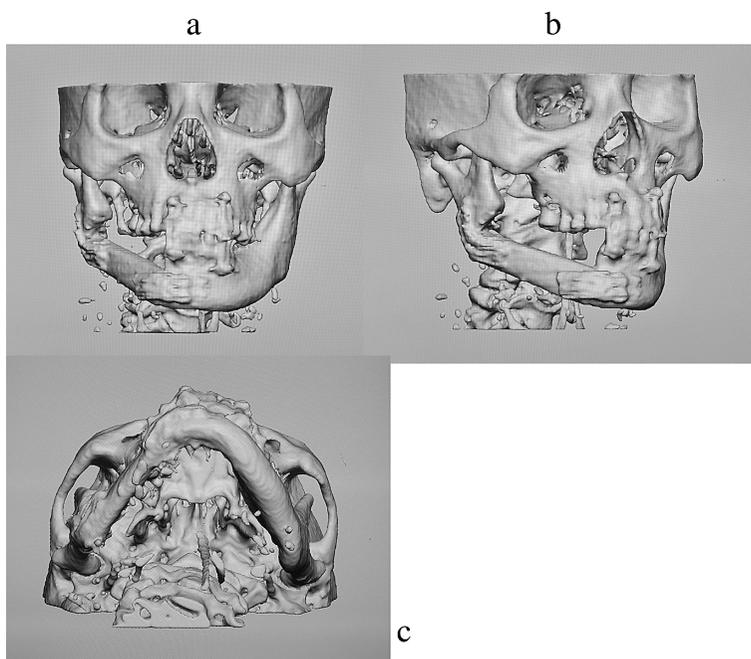


Fig. 8. a, b, c; 術後2ヶ月の顔面骨 CT 所見。下顎縁は保たれている。

る。CT 撮影を行い、下顎縁の形態が保たれていることを確認した (Fig. 8a, b, c)。右顔面神経下顎縁枝麻痺が術前よりあるが、不正咬合は改善していた。(Fig. 9)。

### 考 察

近年、実物大臓器立体モデルを作成・利用した術前の模擬手術が主に整形外科手術領域で保

険算定 (画像等手術支援加算) されるようになり、その使用が広まってきている。しかし形成外科領域での使用の報告は少ないので<sup>1)</sup>、今回得られた経験の特徴を述べたい。三次元実体模型の臨床応用は、三次元形態把握、模擬手術、テンプレート作成の3種類の効用に分類される<sup>2)</sup>。今回の症例ではこれら3つの効果すべてを利用できたと考えている。

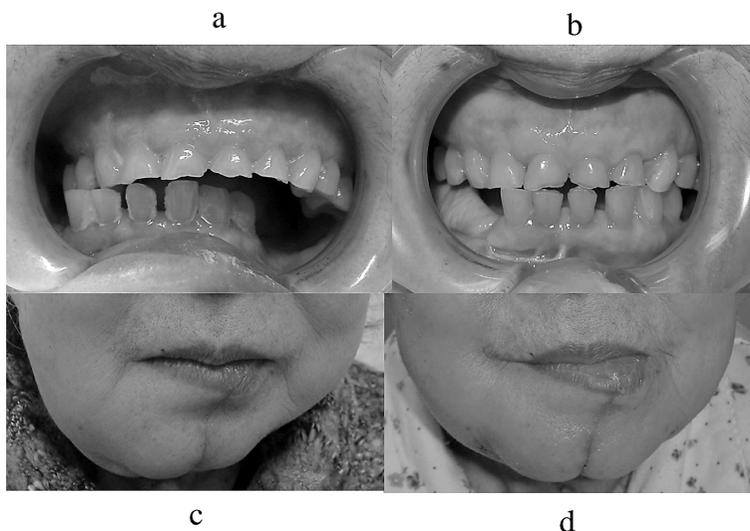


Fig. 9. a; 術前の咬合  
 b; 術後2ヶ月での咬合は改善している.  
 c; 術前では、軟部組織の下垂がみられる.  
 d; 腓骨を移植したことで下顎縁の contour は改善した.

### 1. 三次元形態把握について

形成外科で扱う顎顔面領域の骨は複雑な形態をしており、三次元の形態把握を術前に実物を用いて行うことで、医療者の顔面骨立体認識がすすんだ。特に区域切除後の骨欠損と咬合不正があったので、立体認識がないと解決すべき問題の整理が容易ではない。今回の場合は、われわれ医療者側の理解だけが進んだのではなく、患者および家族への術前説明でもこのモデルを用いて説明したため、患者の理解も容易に得られた。三次元モデルで患者の視覚へ訴えることは、患者に対しても福音がある<sup>3)</sup>。

### 2. 模擬手術について

この積層法では細かな構造までプリントでき、歯牙の咬合についても再現できた。そこで顎間固定をして咬合をもどした状況をモデルでシミュレーションし再現しておくことで、術中にどのような整復位置をとるのかの模擬手術効果も得られる<sup>4)</sup>。いままでの咬合再建では、術中に初見であわさなくてはならなかったが、模擬手術では顎間固定でさえ術前シミュレーションができるので、手術中は模擬手術通りの位置

にあわすだけとなり、手術そのものが平易となった。患者とまったく同じ形態をした骨で模擬手術をしているため、本番の手術では直前に行ったことと同じ手技で、計画通りに配置するだけであるので、難易度の高い手術であるにもかかわらず、術者には既視感・安心感があった。

### 3. テンプレート作成について

模擬手術時に欠損部の位置と大きさを計測しておき、腓骨内の採取する部分の位置選択と長さ・骨切り角度などが最適となるテンプレート作成ができた。また下顎骨の整復位置を決めるチタンプレートもあらかじめ術前プレート屈曲することができた。移植する腓骨と残存する下顎骨とを固定するプレートも術前プレート屈曲した。これらにより1時間以上の時間短縮となった。移植腓骨は骨固定の間は阻血状態となっているため、時間短縮することで生着と良好な血流が早く得られるのは大きな利点である<sup>5)</sup>。

これらテンプレート作成と模擬手術は一体となって作用するため、手術計画・術中支援ともに良好な効果を得られたと考えている。

#### 4. なぜこのような実体模型を用いた模擬手術による手術支援が必要であるのか。

顔面骨が複雑な形態をしているからといって、かならずしも実体模型がなければ手術ができないわけではない。もちろん通常の顔面骨骨折でも、実体模型があれば医療従事者の理解度が進み手術が平易になると思われる。しかし実体模型がなくても骨折片がなくなっているわけではないので、術野にある組織を再構成すれば技術は要するものの手術は完遂できる。

今回のケースでは、もともと癌手術によって下顎骨区域切除が行われており、右の下顎骨は大部分欠損していた。前回の再建手術では骨欠損はチタンプレートで補強されているだけであり硬性再建はなく、かつ顎間固定もされなかったため、咬合のための再建にはなっていなかった。さらに経時的にチタンプレートが咬合により破損したため、下顎骨のさらなる偏位と咬合不正を生じた。これらの事象の重複により、下顎に大きな骨欠損・歯牙欠損がある状態で、しかも関節突起を含む下顎枝が遊離している状況となっており、三次元実体模型手術シミュレーションなしで咬合の矯正と下顎骨偏位の整復、血管柄付腓骨の移植を正確に遂行することは不可能であった。つまり今回の術前の上顎モデルと下顎モデルをもちいて咬合をあわせ、その矯正された位置の下顎骨正中と、癌手術前(下顎骨区域切除前)の下顎モデルの関節突起の位置とのギャップを計測し、その骨欠損の長さや形態にあわせた骨整復位保持用のメモリープレートを作成した。このメモリープレートの作成がなければ、これらの正確な位置の整復と咬合の回復は不可能である。すなわち三次元実体模型がなければこのメモリープレートは正確に作成できない。したがって、複雑な骨欠損を含む再建手術を正確に行うためには、三次元実体模型を用いた模擬手術による手術支援は必須であると考えた。

#### 5. 改良すべき点について

改良すべき点は、咬合をあわせること、上下顎の位置をあわせること、必要となる骨片の大きさをあらわしたテンプレートを作成するこ

と、腓骨の必要な場所を骨切りする位置を決めること、などはすべて三次元実体模型を作成して行うことはできるが、これらは実物として3Dプリンターで印刷して用手的に行う必要があるという点である。Hanasono<sup>6)</sup>やZhengら<sup>7)</sup>はこれらをコンピューター上でvirtual planningを行っており、実体模型の作成を省いている。つまり実体模型を印刷し、さらに骨切りする手間を省略してコンピューター上で行うことで、前述したメモリープレートを、人間の手による術前プレート屈曲ではなくて、コンピューター上で屈曲したチタンプレートをカスタムメイドで機械により作成している。またスクリューを打つ位置や、腓骨の骨切りラインを当てはめるだけでわかるようにしたsurgical guideを3Dプリンターで射出している。これが行えれば人間の手の介在による微妙な誤差をなくすることができるし、実体模型作成も省略できる。

改良すべきもう一つの点は、当院でこの実体模型を作成するには、医師の数日分の労力が必要となることである。本来実体模型の作成には保険点数が算定されており、委託業者に作成を発注すれば医師の負担は全く生じないはずである。しかしながら実際には保険点数内に限られた範囲での実体模型作成では、下顎か上顎かのどちらか一方の作成しかできないため、咬合のように上下顎双方が必要となる場合や、さらに腓骨モデルも必要とする場合などは、モデル作成にかかわる経費は病院負担となる。今回は整形外科の好意による装置の借り受けと、医師によるモデル作成により病院に金銭負担は生じなかった。医師が労力を傾注すべきは、この実体模型を作成することではなくて、できた実体模型を使用して患者の機能障害を最大限取り除くことである。われわれはこれらの環境が改善されることを望んでいる。

## 結 語

通常の方法では困難が予想される下顎骨再建手術に対して、三次元実体模型を使用した手術支援を行った。三次元実体模型の臨床応用で

は、三次元形態把握・模擬手術・テンプレート作成などにより手術の正確性・時間短縮などの利点があった。欠点は経済的な問題であった。

## 謝 意

整形外科から3Dプリンターを貸与していただきました。整形外科の諸氏に感謝いたします。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

## 文 献

- 1) Katsuragi Y, Kayano S, Akazawa S, Nagamatsu S, Koizumi T, Matsui T, Onitsuka T, Yurikusa T, Huang WC, Nakagawa M. Mandible reconstruction using the calcium-sulphate three-dimensional model and rubber stick: a new method, 'mould technique', for more accurate, efficient and simplified fabrication. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2011; 64: 614-622.
- 2) 木原朝彦, 田中裕子, 古旗賢太郎. 三次元実体モデルの外科手術応用 その利点, 応用分類と効果. *Med Imag Tech* 1995; 13: 865-884.
- 3) 金塚文子, 豊島貴彦, 鈴木麻衣子, 河本清司, 新谷悟. 手術シミュレーションに基づく腫瘍分割摘出により顎骨を保存し得た下顎骨骨形成線維腫の1例. *口腔腫瘍* 2010; 22: 75-80.
- 4) 西條英人, 井川和代, 鄭 雄一, 米原啓之, 高戸毅. 三次元積層造形による立体モデルを用いた手術シミュレーションシステム. *日形会誌* 2005; 25: 746-751.
- 5) 服部 亮, 菊池 守, 富田興一, 久保盾貴, 細川 互, 村瀬 剛. 遊離腓骨を用いた下顎再建における3Dシミュレーションとpre-bended mini-plateの使用経験. *日形会誌* 2010; 30: 643
- 6) Hanasono MM, Skoracki RJ. Computer-assisted design and rapid prototype modeling in microvascular mandible reconstruction. *Laryngoscope* 2013; 123: 597-604.
- 7) Zheng GS, Su YX, Liao GQ, Liu HC, Zhang SE, Liang LZ. Mandibular reconstruction assisted by preoperative simulation and accurate transferring templates: preliminary report of clinical application. *J Oral Maxillofac Surg* 2013; 71: 1613-1618.