

## 顎骨再建手術におけるCAD/CAM技術の普及と今後の展望



若 者

桂 尚\*

The Adoption and Future Perspective of CAD/CAM Technologies  
in Mandibular Reconstruction Surgery

Key Words: Computer assisted surgery

### はじめに

口腔外科領域の手術として、骨格的な要因の噛み合わせの異常に対して上下の顎骨を切断し移動させる顎矯正手術や、悪性腫瘍などの切除によって欠損した顎骨をチタンプレートや移植骨を用いて再建する顎骨再建手術は、広く一般的に行われてきた。中でも、悪性腫瘍の手術では腫瘍を安全域に含めて切除するため、歯列を含めた下顎骨や上顎骨の一部または大部分が欠損することが少なくない。それらの欠損は咀嚼、嚥下、発声および顔貌に直接影響し、これらの機能と形態をできる限り回復することを目的として顎骨再建手術が行われる。再建手術の方法としては既製のチタンプレートまたは肩甲骨や腓骨といった移植骨を用いた方法が症例によって選択されるが、いずれの方法でも外科医の経験と手技に依存してきたため、再現性や精度に限界があった。

### 本邦におけるコンピューター支援手術

#### (Computer assisted surgery, CAS) の現状

従来の下顎の顎骨再建手術では、事前にある程度の切除領域を想定したうえで再建方法を決定するものの、実際、下顎骨の離断を伴うものでは、切除術を行った上で術中に再建用の既製チタンプレートをベンディングするあるいは、切除範囲に適合するように腓骨や肩甲骨から移植骨を採取し調整を繰り返して、下顎骨の再建を行っていた。またその際、連続性を失った顎骨の位置関係や上下顎の咬合関係を保つ

必要があり、様々な工夫がなされてきたがその精度には限界があるうえ、手術中の調整に長い時間を要した。

近年 CAD/CAM 技術の普及に伴い、まず Computer tomography (CT) データから構築した顎骨模型を作製し、手術のシミュレーションをアナログ上で行ったり、既製の再建用プレートを事前にベンディング (プレベンド) したりすることが可能となった。そしてシミュレーションソフトの技術向上によって術前に切除のシミュレーションを行った顎骨模型を 3D プリントすることや、シミュレーション通りの切除を行う手術ガイドの作製やオーダーメイドの再建用プレートの作製が可能となり、手術時間の短縮や精度の向上についてパラダイムシフトが生じた。

これらのガイドや患者適合型プレートをパッケージ化した海外企業の製品 TruMatch® がまず 2020 年に本邦で保険収載され、ついで 2022 年には国内企業による患者適合型プレート、コスモフィックス® が保険収載された。これらの製品は素晴らしい製品ではあるが、高いコストや計画準備期間に長時間を要すること、発注後のシミュレーション内容の修正ができないことが課題であった。特に悪性腫瘍の手術においては、腫瘍の進展速度を鑑み、速やかな手術施行や臨機応変なプラン修正が望ましく、適応する症例が制限されることも事実であった。また、患者適合型プレート、患者実物大模型、手術ガイドをパッケージとして提供する TruMatch は現状それに勝る手段がないものの、販売するジョンソンエンドジョンソンが頭頸部領域におけるアジア市場撤退を公示している。撤退時期について再三の延長依頼が為されているものの、代替策が強く求められる。また、コスモフィックスについては患者適合型プレートのみ製品となっており、手術ガイドについては (現在開発中ではあるが) 自施設での準備が必要と



\* Sho KATSURA

1997年11月生まれ  
歯科医師  
大阪大学歯学部附属病院  
口腔外科2 (修復系)  
大阪大学大学院歯学研究科 博士課程  
TEL: 06-6879-2941  
E-mail: u848456h@ecs.osaka-u.ac.jp

なる。手術ガイドについては、Mimics Enlight CMF<sup>®</sup> や 3-matic Medical<sup>®</sup> (Materialise) を用い、医師の裁量の下、自施設でCADを行うことで、迅速な準備や臨機応変なプランニングが可能となったが、かなり高額な年間ライセンス料が必要であり導入のハードルが高い。現在本邦での保険診療においては、患者実物大モデル、また TruMatch システムの手術ガイドに対してそれぞれ2,000点の保険点数算定が認められているが、自施設で医師の裁量の下、作製される手術ガイドに対しては保険算定を行うことができない。現状多くの施設は症例を選択して、患者適合型プレートを外注するか、患者実物大モデルのみ外注し、既製の顎骨再建用プレートのプレベンドを行って手術を行っているが、患者実物大モデルの外注費用だけでも、保険算定可能価格を上回ってしまう場合があるのが実情である。シミュレーション通りの手術を忠実に再現する手術ガイドの作製は施設の環境や技量、予算に依存しており、施行可能な施設は限られている。

### 当科におけるCASの現状

当科では歯科技工部との緊密な連携体制を基盤として院内完結型のCAD/CAMワークフローを構築し、CASを積極的に導入してきた。既製の顎骨再建用プレートのプレベンドを中核におきつつ、院内で設計・製作した手術ガイドを組み合わせることで、迅速かつ柔軟な手術準備を実現している。CAD環境の中核には既に多くの医療現場で普及している画像ビューア・解析ソフトである Vincent<sup>®</sup> を据え、また、フリーの3Dモデリングツールである Blender を併用することにより、初期投資を抑えたCAD環境の構築を可能とした。また、CAMについては外注での作製から、歯科技工部で導入が進んだ医療用光造形3Dプリンターでの作製に完全に切り替えが完了した。院内完結型の利点は、発注から納品までの時間がかかり短く、迅速に行えること、準備期間の問題で外注製品の適用が難しい症例にも対応できること、また、院内リソースを活用することで長期的には低コストで運用可能であることである。これまでの当科の運用実績では、外注による患者適合型プレートと比較しても術中適合性や術後機能面で大きな差は認められておらず、今後もその有用性について長期間の経過評価を行っていく予定である。

### 当科における今後の取り組み

当科で行っている顎骨再建におけるCASは精度を維持しつつ、ワークフローにおける依存環境を極力減らすことで、低コスト化、簡便化を図っている。これによって、限られた施設だけではなく、幅広い施設で運用可能なモデルとなりうると考えている。中核となるプレートに、たしかに既製の顎骨再建用プレートでは強度面で患者適合型プレートに劣るのは事実である。しかし、汎用性に優れた既製のプレートでこそ、この弱点を物性の改良あるいは工程の工夫によって解消すれば優れた製品になりうると考え、試作を開始している。また、CADについて、フリーソフトである Blender は Python によるアドオンの開発が可能であるため低コストの技術普及に適している。また、近年の生成AIの普及によって医療従事者がプログラムを直接活用するハードルが低下した。CADに対するハードルを高く感じる医療従事者に対してでも、より普及しやすい環境を構築することも目標の一つに設定している。

### おわりに

顎骨再建におけるCASの普及は治療の質を向上させる有効な手段であり、さらなる技術普及と制度的整備が必要である。CAD/CAM技術については日進月歩の進化を続けているが、やはり導入しづらい施設が多く存在するのも事実である。当院ではあらゆる施設に普及しやすい治療体制を構築することで、技術普及と制度的整備を促し、日本の医療の質の向上を目標としている。その為には医工連携に基づく、技術開発が重要であり、この工業、産業との連携が充実した大阪大学だからこそ開発・構築できる体制があると考えている。

### 参考文献

1. 広範囲顎骨支持型装置および顎補綴治療の現状と展望—顎骨再建と歯科インプラントによる治療—、菅野貴浩、顎顔面補綴、45巻2号、2022
2. 下顎骨切除後の硬性再建について—3種類のプレートの使用経験の報告と考察—、大山巖雄ら、口腔外科学会雑誌、Vol. 69 No. 11、2023
3. Largo RD, Garvey PB. Updates in Head and Neck Reconstruction. *Plast Reconstr Surg.* 2018 Feb;141(2):271e-285e.