



バーチャルリアリティの 歯科への応用

●大阪大学大学院歯学研究科 顎口腔機能再建学講座 莊村泰治 Taiji SOHMURA

最近のコンピュータ技術の進歩は目覚ましいものがあり、その医療への貢献も非常に大きい。医科ではコンピュータを利用した種々の手術シミュレーションが実用化されているが、とりわけ比較的新しい技術であるバーチャルリアリティ（仮想現実感、VR）の応用は注目を集めている。一方、歯科では口腔外科や補綴科で日常的に手術が行われているが、そのコンピュータ支援システムはまだあまり開発されていない。

そこで、われわれは仮想現実のなかでも先進的な技術である、力を感じることができるといえるハプティック（触力覚）デバイスに着目し、歯科手術支援用ツールの開発を進めてきたので、その概略を紹介したい。

ハプティックデバイスとは？

VRでは3次元（3D）CGによる仮想的物体の可視化がもっとも進歩しており、あらかじめCTなどで撮影した画像を用いた手術シミュレーションなどが行われている。しかし、手術においては触覚による処置や判断がかなり重要であり、画像のみでは現実感に欠ける。そこで、触覚をバーチャルに実現させるハプティックデバイスが注目された。これは、たとえばデータグローブをはめてコンピュータ上のボールに触れると、実際にその柔

らかさや変形する際の感覚が指に伝わるようになっている。このデバイスを医療に用いれば、臓器の異常の診断や手術時の微妙な感触が体験できる。

その他、現在いろいろなハプティックデバイスが開発されているが、われわれは図1に示した米国のベンチャー企業で開発されたPHANToMというデバイスに着目した。このデバイスの矢印で示したマニピュレータの部分进行操作しCG上のバーチャルツールを動かす、オブジェクトに触れると、マニピュレータに反力を感じることができるといえる。さらに、バーチャルツールを用いてオブジェクトに穴を開けたり、切ったり、変形させたりすることができるので、任意の造形を行うCADツールとしても非常に高い能力をもっている。そこで、これをインプラントおよび口腔外科における顎切り術などの歯科独自の手術シミュレーションや、術前プランニング、術後予測などに応用することを試みた。

ハプティックデバイスを用いた インプラント手術シミュレーション

歯科インプラント手術においては、患者の顎骨骨量の正確な判断をもとにして決定された植立位置に、正確にフィクスチャー埋入窩を形成することが必須である。そこで、われわれはPHANToMを用いてVRによる埋入窩形成の疑似体験シミュ

レーション、および埋入窩形成時のガイドとなる骨上ステントを、CAD/CAM法で作製することを試みた。骨形状はCTで撮影したデータを変換ソフトで3D化し、図2に示したようにPHANToMのポイント状穴開けツールを用いて顎骨像に対し

埋入窩形成を行った。その際、緻密骨から海綿骨へ形成を進めたときの抵抗感覚の差を体験することができた。また、図2b)のように、埋入窩付近の骨状態を観察しながら形成位置の選択を行うことも可能である。しかし、このフィクスチャー植立位置については、最終修復物との位置関係も考慮して決定しなければならぬ。そこで、まずテンポラリーな修復物を設定するプロセスの開発を試みた。図3

は4~7および7欠損の有歯顎に対しインプラント修復を行う例である。まず、あらかじめ標準的なクラウンを用意し、それを取り込み、対合歯との咬合を考慮して配列することにより、図3a、bのようにテンポラリーな修復を行う。この修復物の位置と骨の状態を考慮してフィクスチャーの植立位置を決定し、埋入窩の形成を行う。このとき、骨の状態は形成位置の切

断面により確認できる。形成が終わったらフィクスチャーとしてシリンダー状のオブジェクトを呼び込み、埋入窩に挿入する。その結果が図4であ

る。この状態の骨と修復物の間に直方体のステントとなるオブジェクトを図5aのように導入し、それから骨およびフィクスチャーの形状を引き算

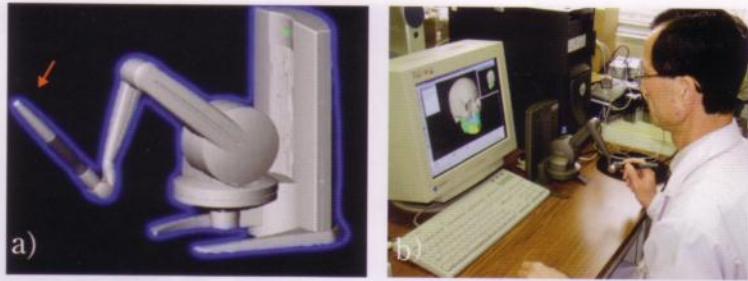


図1 a: PHANToM デバイス。b: 操作中

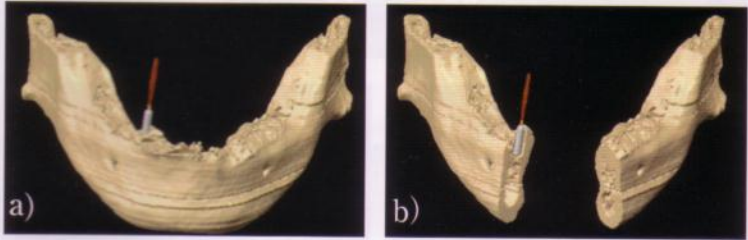


図2 インプラント埋入窩の形成シミュレーション

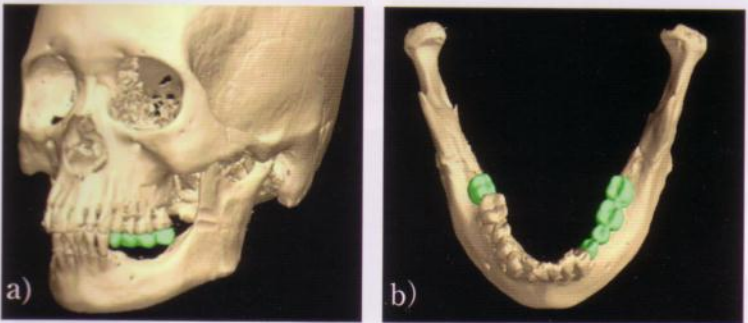


図3 対合歯との咬合を考慮したテンポラリーな修復

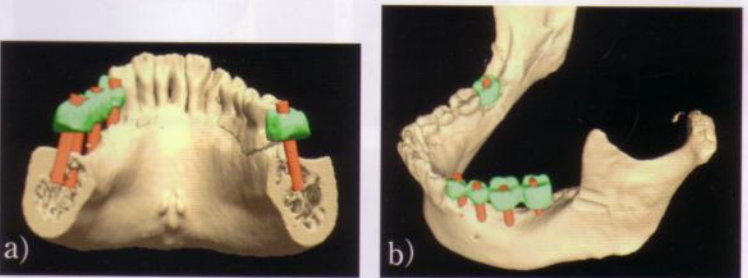


図4 有歯顎への仮想インプラントフィクスチャーの埋入

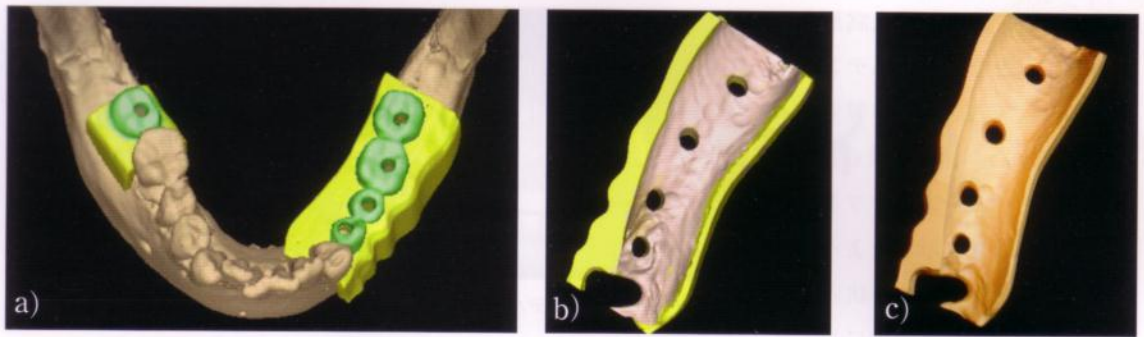


図6 a、b：有歯顎用骨上ステントのCAD。c：CAM製作したステント。b、cは裏面からの像

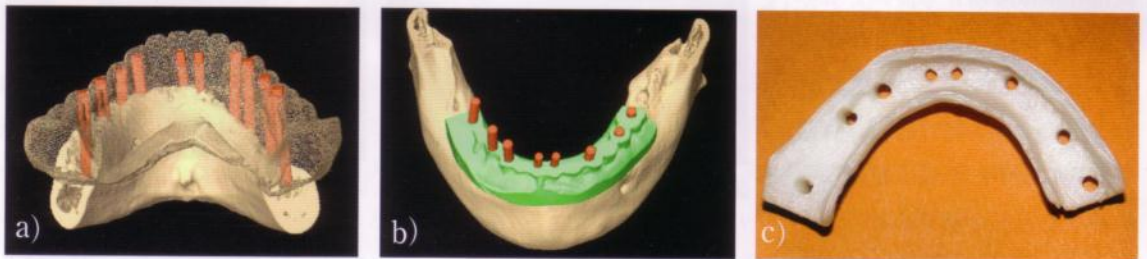


図6 a、b：無歯顎用骨上ステントのCAD。c：CAM製作したステント。cは裏面からの像

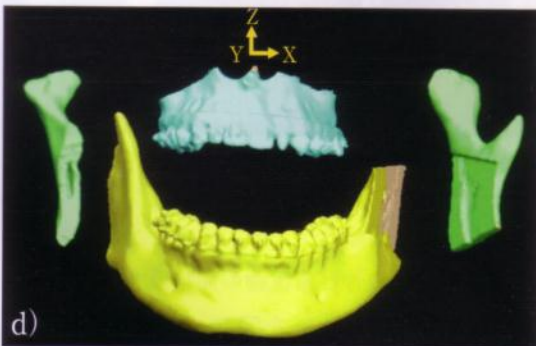
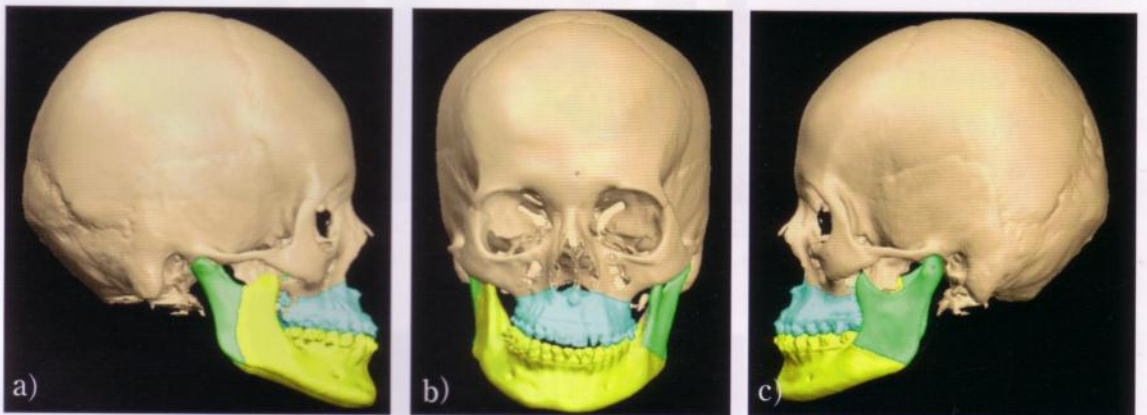


図7 顎切り術における上下顎骨の分割

処理すると、図5bの骨上ステントの形状が得られる。図5cは、図5bのCADデータから切削法で削り出した骨上ステントである。骨の印象と埋入窩形成時のドリリングのガイド孔が付与されている。

一方、無歯顎用の骨上ステントについては、テンポラリー修復物として術前の総義歯や歯肉上ステントを利用する。これを口腔内に装着してCT像を撮り、骨像と合わせて3D表示した状態で、歯

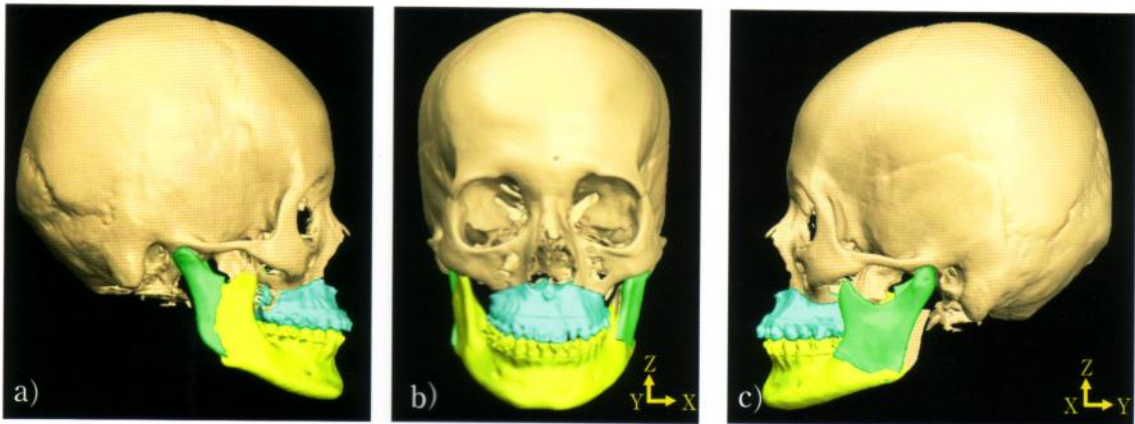


図8 上下顎骨の変位

冠位置と対応する骨断面像を参考に埋入窩の位置を決定し形成する。その後、図6aのようにフィクスチャーを植立する。図6aで半透明表示したこの修復物の形状から骨およびフィクスチャーの形状を引き算し、咬合面をトリミングしたのが図6bに示した無歯顎用骨上ステントである。そして、このデータをもとにCAMで製作した骨上ステントを骨面側から見た写真が図6cである。これらのステントは実験的に臨床への応用を試みており、ほぼ満足できる結果を得ている。

■ ハプティックデバイスを用いた口腔外科における顎切り手術シミュレーション

上記のようにこのデバイスはCADツールとしてもかなりの能力をもっており、種々の応用が考えられる。そこで、口腔外科で行われている顎切り術のシミュレーションを試みた。この手術では、一般にはセファロ写真を元にペーパーサージェリーにより手術予測を行っているが、2次元のシミュレーションには限界がある。そこで、3D-CT骨像をコンピュータに取り込み、その像に対しPHANToMを用いて顎切り手術のシミュレーションを試みた。

図7a～cは咬合平面の傾斜と下顎前突を伴う患者の術前のCT像である。この場合は、上顎は

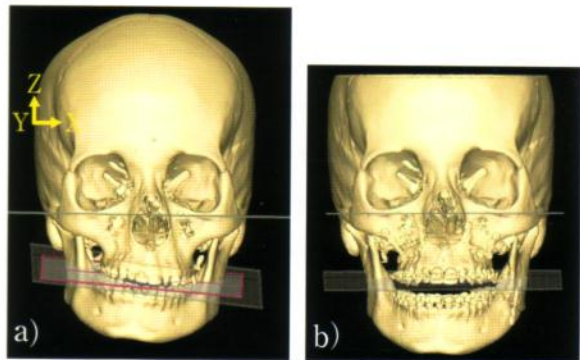


図9 術前後のFF面と咬合平面との関係。a：術前。b：術後

LeFort I、右側下顎枝は口腔内下顎枝垂直分割術(IVRO)、左側は下顎枝矢状分割骨切り術(SSRO)による顎切りシミュレーションを試みた。図では切断部を色分けして示している。PHANToMを用いてバーチャル骨切りを行い骨分離した状態が図7dである。現実に近い分割が実現できている。分離した骨の上下顎に対し回転と変位を加え、それにより正常な位置に変位させた状態が図8である。このときの移動量は下顎体と下顎枝間の隙間や干渉を考慮しながら適切な位置になるように任意かつ定量的に与えることができる。このケースでは、下顎枝の分割法として右側IVRO、左側SSROとしたが、両側ともSSROでシミュレーションした場合、左側の下顎体と下顎枝間に干渉が生じ、右側では7mm程度の隙間が生じ

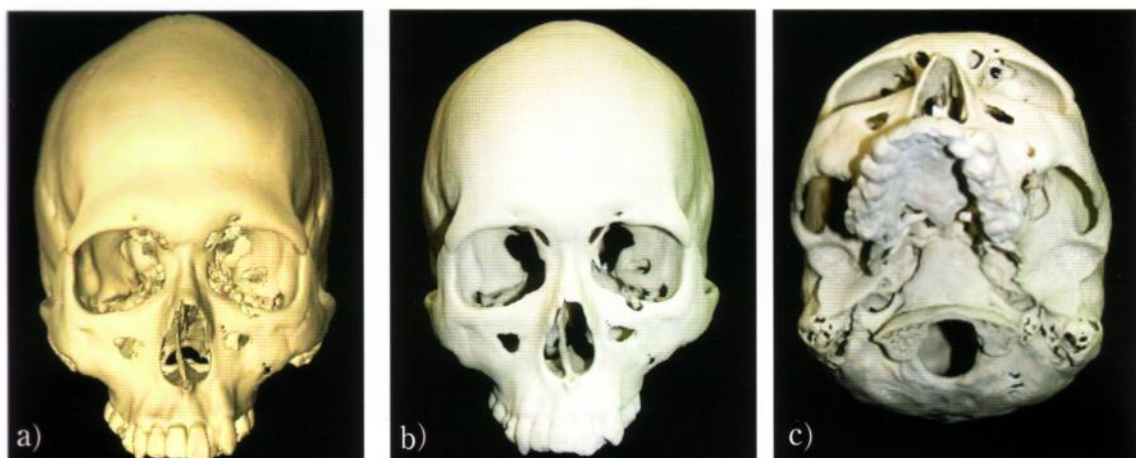


図10 3D-Printingによるモデルの造形

た。この結果から右側はIVROで分割したほうがよいという結論が得られた。術前後のCT骨像を図9に示した。このデバイスを用いて平面間の角度を求めることも可能であり、フランクフルト面と咬合面の角度は、水平面内で術前は 5.2° 傾いていたが、術後は 0.2° に改善されていた。

以上述べたシミュレーションはコンピュータ上で行ったものであるが、より複雑なケースでは実際の骨模型上で検討したいという場合もある。そのような場合、これまではCTデータを元に光造形法でモデル製作する方法がよく用いられてきた。しかし、この方法は、日常的な症例に用いるには装置や製作コストがかかり、かなり高価となる。そこで、われわれは石膏粉末をインクジェットで固めて積層する3D-Printingという迅速成型法に注目した。この方法は、装置および製作コストが比較的安価であり、臨床应用到有利と考えている。その例として図10aのCT像から造形したのが図10b、cの骨モデルである。ちなみに、この頭蓋骨の材料費は1万5千万円程度であった。われわれは、インプラント対象の顎骨に対しても造形を行い、製作したステントとの適合性などの検討資料

としている。

■ おわりに

以上述べたように、ハプティックデバイスを用いたこの歯科手術システムは、専用の手術ソフトを使うことなくPHANToM操作のソフトだけで進めることができる。そして、ここで紹介した以外のいろいろな手術例に対応できる可能性がある。今後教育システムとしての観点からも応用例を拡張し、開発を進めていく予定である。

以上紹介したCGによる3D像は任意の角度や断面で観察することが可能であり、きわめてわかりやすい情報を提供してくれる。これは、患者に対するインフォームド・コンセント用の資料としても強力な支援ツールになると考えられる。さらに、3D-Printingで造形したモデルと合わせ活用する等の発展性もあり、臨床上非常に有用なシステムであると考えている。

本研究は大阪大学歯学部および大阪歯科大学の臨床系の講座との共同研究で進めている。関連講座のご協力に深く御礼申し上げます。