

〔学位論文要旨〕

マルチモダリティ三次元画像融合による顎矯正手術シミュレーション法の確立

上地 潤

北海道医療大学歯学部口腔構造・機能発育学系歯科矯正学分野

Establishment of orthognathic surgery simulation by using multimodal 3D
(3-dimensional) image-fusion techniques.

Jun UECHI

Division of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Department of Oral Growth and Development, School of Dentistry,
Health Sciences University of Hokkaido**Key words** : 外科的矯正治療, 顎矯正手術, 手術シミュレーション, 人工現実感

骨格的不調和を伴う症例に対して適用される外科的矯正治療は、顎顔面骨格形態と咬合を大きく改変させるものであり、治療目標や治療方針の設定を精度よく行うことが重要となる。特に非対称などの頭蓋顎顔面骨格の複雑な不調和を伴う症例では、三次元データでシミュレーションを行い三次元的に明確な治療目標を設定する必要がある (Uechi et al., 2006; Mizoguchi et al., 2008)。これまでこのような症例では、セファロ写真のトレース図を用いたペーパーサージェリーや歯列模型を用いたモデルサージェリーを行って術後を予測し、治療計画の立案がなされてきた (Turvey et al., 1982)。しかしペーパーサージェリーでは、骨格の形態変化を予測するのが二次元情報であるX線の投影像に基づいたものであり、そのため顎顔面骨格の三次元的に複雑な変形をきたした症例の治療目標を正確に設定することが困難であった。一方モデルサージェリーでは、実空間での正確なシミュレーションが可能である (Ellis, 1990)。反面、得られる情報が歯列模型上の領域に限定されたものであり、近位・遠位骨片間の干渉や術後の顎顔面骨格の対称性を評価することができない。つまり術後の骨格形態を予測するためには、歯列の位置変化に対応する骨片の位置変化を三次元的に把握しなければならない。

近年、X線CT装置とそれに関連したソフトウェアが飛躍的に進歩したことにより、頭蓋顎顔面骨格の立体画像の取得が可能となり、これを応用したコンピュータ支援診断 (Mah and Hatcher, 2004) や手術シミュレーシ

ョン (Troulis et al., 2002) が報告されるようになった。しかしX線CT装置から得られる画像では、補綴装置や矯正装置からのメタルアーチファクトの発生や咬頭嵌合状態での上下顎歯列の重なりにより咬合面形態を正確に表現することができないなどの問題があった (上田ら, 2005)。他方、非接触三次元形状計測装置は、それらの問題を解決するために有効であり、歯の咬合面形態と歯列の咬頭嵌合状態を正確に表現するための高い空間分解能と精度を有している (DeLong et al., 2003)。この三次元画像とX線CT装置から得た顎顔面骨格の三次元画像とを融合させる新しい手法が提案され、より精密な三次元仮想患者モデルの生成 (Gateno et al., 2003) と手術シミュレーション (Sohmura et al., 2004) への応用が報告された。しかしこの際の骨片移動方法は、モニター上に描画された歯の形態を指標にマニュアル操作で行うものばかりで、シミュレーションを行う者の技術、経験または洞察力などに頼った主観的方法であった。

本研究では、外科的矯正治療における客観的、定量的な術後予測とそれに基づく精緻な三次元治療目標の設定を実現することを目的として、術前のX線CT装置から得た頭蓋顎顔面骨格形態情報と非接触三次元形状計測装置から得た歯列形態情報を融合する新しい顎矯正手術シミュレーション法を確立し、その精度を検証した。得られた成果を以下に示す。

1) 術前・術後の顎顔面骨格形態と歯列形態を詳細に表現した仮想患者モデルを生成できた (図1)。

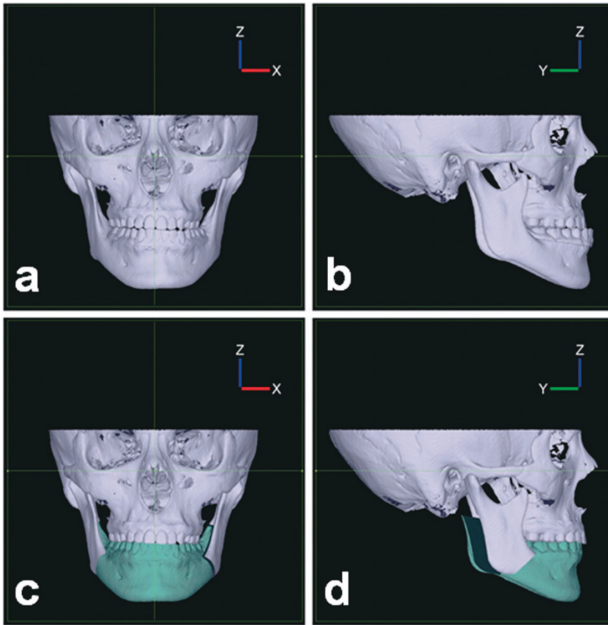


図1：術前仮想患者モデル，(a) 正面観，(b) 側面観．術後仮想患者モデル，(c) 正面観，(d) 側面観．

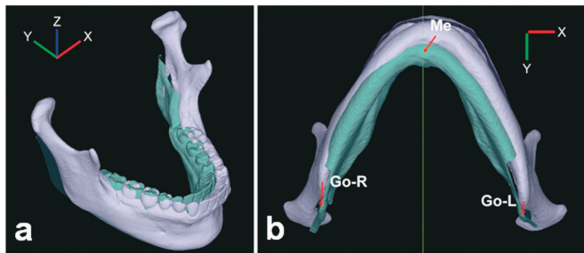


図2：下顎枝矢状分割術に伴う下顎遠位骨片の位置変化，(a) 鳥瞰図，(b) 軸面観．白：術前，緑：術後予測．

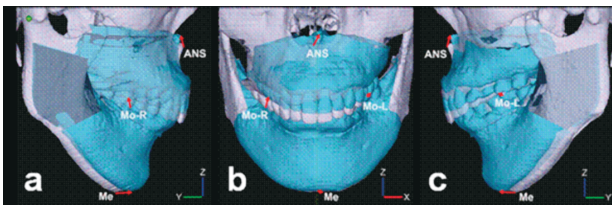


図3：上下顎同時骨切り術に伴う上顎および下顎遠位骨片の位置変化，(a) 右側面観，(b) 正面観，(c) 左側面観．白：術前，水色：三次元治療目標．

- 2) 咬合環境の改変に伴う顎顔面骨格形態の変化を三次元で予測することができた (図2)。
- 3) 本法は、極めて高い再現性を有した客観的な骨片移動シミュレーションであり、マニュアルによる方法と比較して統計学的有意差を認めた。
- 4) メタルアーチファクトを除去した精密な画像生成とシミュレーションが可能となった (図1)。
- 5) 本法において、上顎骨と下顎骨遠位骨片を一塊に移動させることにより、上下顎同時骨切り術へ応用できた (図3)。
- 6) 本法における画像位置合わせの総誤差は平均0.12 mmであり、X線CT画像の再構成間隔の0.50mmよ

り小さかった。

以上のことから、外科的矯正治療における客観的、定量的な術後予測とそれに基づく精緻な三次元治療目標の設定を実現することができた。しかし仮想三次元空間上に設定した治療目標を実空間の患者に正確に具現する方法はなく、口腔外科医の経験や洞察力に頼らざるを得ないのが現状である。下顎骨単独の骨切り術の場合では、上下顎咬合関係を基準に下顎を位置付けることで達成することができる。しかし上下顎同時骨切り術における上顎骨の位置付けでは、明確な基準が存在しないことから、設定した三次元治療目標を正確に達成することが困難である (福井ら, 1993)。このような治療の目標と結果に差が生じる問題に対して、コンピュータ外科の分野では、リアルタイム表示可能な三次元測定装置を用いて仮想三次元空間と術中実空間を相互作用的に接続し、病変の位置や大きさの正確な定量を行う報告や骨片の整復・位置付けを支援する報告などより先進的な研究開発が行われている (Nishihara et al., 2003)。本研究で示した手法とデータは、高い汎用性と拡張性を有しており、これらの報告と密接に関連する。すなわち本システムは、顎変形症治療における手術ナビゲーションシステムへの発展の高い実現可能性を含んでいる。

参考文献

- Delong R, Heinzen M, Hodges JS, Ko CC and Douglas WH. Accuracy of a system for creating 3D computer models of dental arches. *J Dent Res* 82 : 438-442, 2003.
- Ellis E 3rd. Accuracy of model surgery : evaluation of an old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg* 48 : 1161-1167, 1990.
- 福井和徳, 氷室利彦, 山口俊雄, 大野朝也, 森悦秀, 鶴木隆. 外科矯正手術における上顎骨位置づけの正確性について. *顎変形誌* 3 : 214-215, 1993.
- Gateno J, Teichgraber JF and Xia JJ. Three-dimensional surgical planning for maxillary and midface distraction osteogenesis. *J Craniofac Surg* 14 : 833-839, 2003.
- Mah J and Hatcher D. Three-dimensional craniofacial imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126 : 308-309, 2004.
- Mizoguchi I, Uechi J, Shibata T, Tsuji Y, Okayama M, Muguruma T and Hayashi K. Three-dimensional (3-D) simulation of orthognathic surgery using a multimodal image-fusion technique : *In silico Dentistry -the evolution of computational oral health science -*. Osaka : Medigit, 2008, p125-128.
- Nishihara S, Sugano N, Ikai M, Sasama T, Tamura Y, Tamura S, Yoshikawa H and Ochi T. Accuracy evaluation of a shape-based registration method for a computer navigation system for total knee arthroplasty. *Knee Surg* 16 : 98-105, 2003.
- Troulis MJ, Everett P, Seldin EB, Kikinis R and Kaban LB. Development of a three-dimensional treatment planning system based on

- computed tomographic data. *Int J Oral Maxillofac Surg* 31 : 349–357, 2002.
- Sohmura T, Hojo H, Nakajima M, Wakabayashi K, Nagao M, Iida S, Kitagawa T, Kogo M, Kojima T, Matsumura K, Nakamura T and Takahashi J. Prototype of simulation of orthognathic surgery using a virtual–reality haptic device. *Int J Oral Maxillofac Surg* 33 : 740–750, 2004.
- Turvey T, Hall DJ, Fish LC and Epker BN. Surgical–orthodontic treatment planning for simultaneous mobilization of the maxilla and mandible in the correction of dentofacial deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 54 : 491–498, 1982.
- Uechi J, Okayama M, Shibata T, Muguruma T, Hayashi K, Endo K and Mizoguchi I. A novel method for the 3–dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image–fusion technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130 : 786–798, 2006.
- 上田康夫, 田村信太郎, 大畑昇, 井上農夫男. CTデータからのアーチファクトを有する画像の検出. *顎顔面補綴* 28 : 39–45, 2005.