

〔原著〕

顎関節部X線CT画像の三次元再構築におけるCT値閾値設定について

齋藤 貞政, 林 一夫, 上地 潤, 溝口 到

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

The establishment of CT value thresholds for reconstructing 3D-CT TMJ images

Sadamasa SAITO, Kazuo HAYASHI, Jun UECHI, Itaru MIZOGUCHI

Division of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Department of Oral Growth and Development,
School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido, 1757 Ishikari-tobetsu, Hokkaido

Abstract

The purpose of this study was to establish CT value thresholds for reconstructing 3D-CT TMJ images. The study used 13 subjects and the CT scans were performed as a part of treatment. All patients had been diagnosed with mandibular prognathism that required orthognathic surgery, and three-dimensional (3D) surface models were reconstructed using the obtained CT data. To establish the CT value threshold for reconstructing the 3D-CT TMJ images, the mean values of the CT value threshold for all 13 subjects was calculated, taking the normal positional relationship between fossa and condyle into account. Next, to assess the influence of the CT values on the reconstructed 3D surface models at each anatomical location of the mandible, a 3D surface model based on +255 Hounsfield units (HU) and a 3D surface model based on the calculated mean CT value threshold were superimposed using a least-squares method. The mean CT value threshold established here for reconstructing the 3D surface model was +530 HU. The result suggests that the appropriate 3D shape and positional relationship between fossa and condyle may be obtained by setting the CT value +530 HU as the lower threshold. Further, the results in this study also suggest that there were differences of the tolerance level for CT values between condyle and other anatomical locations of the mandible.

Key words : Three-dimension, Computed tomography, Temporomandibular joint

緒 言

コンピュータ技術の進歩に伴い, Computed Tomography (CT) や磁気共鳴撮像法 (MRI) により得られた三次元データを元にした画像診断や外科的矯正治療における治療計画の立案が行われている (Kitai et al., 2002; Uechi et al., 2006). また歯科矯正学における外科的矯正治療において, 患者側からの治療に対する要求は多様化しており, より効果的な治療を行うには顎顔面形態を三次元的に正確に把握し, 顎運動の機能的な改善も含めた治療計画の立案が求められている (北野ら, 2002). 外科的矯正治療が必要な顔面非対称を有する顎変形症患者

においては, 顎関節症状の発現率は高く (加藤ら, 1997; Kobayashi et al., 1999), 変形性顎関節症を発現している場合も報告されている (Trpkova et al., 2000; Kurita et al., 2003; Buranastidporn et al., 2006). よって, これら顎変形症患者に対しては, 適切な顎関節の形態および顎機能の評価を行うことが重要である. 近年, 連続的にらせん状の薄いスライス間隔や短いスキャン時間で撮影できる高速らせんCT (Spiral/helical Computed Tomography) が著しく進歩したことで, 外部から直視できない顎関節部の解剖学的構造を高い精度で可視化することが可能になり, CTデータより三次元的に再構築した画像は, 顎関節を関節窩と下顎頭に分割してその相互

受付: 平成22年9月30日

関係を三次元的かつ同時に分析することが可能である（林ら，2010）。

著者らはすでにCT画像と歯列模型の非接触三次元計測データを統合し，顎矯正手術のシミュレーションモデルを開発し臨床応用を進めている（Uechi et al., 2006）。一般的にCT撮影データから三次元サーフェイスモデルを再構築するには，再構築に使用するCT値の範囲設定が必要となるが，この設定は再構築したい組織部位にあわせて調節する必要がある。本学における三次元再構築システムにおいてはCT値下限閾値を+255 Hounsfield units (HU) 付近に任意に設定し，シミュレーションモデルを再構築している。しかしながら，従来の三次元再構築法では顎関節部の骨領域と判断される部位が膨張し，顎関節の関節窩と下顎頭が重複してしまう（図1）。この場合，顎関節部の形態評価はもちろんのこと顎運動の評価も行うことはできない。また，CTデータを基にした光造形モデルにおいて外科矯正手術のシミュレーション実態モデルを作製した場合，最適な咬合関係で上下顎を位置づけることも困難である。

そこで本研究では，顎関節部でのX線CTに基づく三次元サーフェイスモデルを再構築するための最適なCT値下限閾値を明らかにすることを目的とし，顎変形症患者13名のCTデータを用い解析を行った。また，検出したCT値閾値を元に再構築した三次元サーフェイスモデルと従来法により再構築されたモデルとを比較し，解剖学的な部位の違いによる三次元サーフェイスモデルの再構築に関するCT値閾値について検討を加えた。



図1：適切でないCT値下限閾値の設定により再構築された顎関節領域の三次元サーフェイスモデルの一例。顎関節における骨領域が膨張し，関節腔が消失している。

方 法

1, 被験者

本研究では，北海道医療大学歯科内科クリニック歯科矯正科外来を受診した17歳～43歳の男女13名を被験者とした。なお被験者のCT撮影は，顎変形症の治療の一環として行なわれたものである。

2, 三次元モデルの再構築

CT撮影にはマルチスライスX線CT装置（ProSpeed F II, GE Medical System）を使用し，北海道医療大学における外科矯正術前シミュレーション用CT撮影法（UECHI et al., 2000）に準じて行なわれた。撮影条件は，スライス幅1.0mm，スライス間隔1.0mm，再構成間隔0.5mm，field of view 256×256mm，matrix 512×512と設定した。各被験者は，口腔内にセラミック球が付与された重ね合わせ用基準スプリントを装着した状態で撮影された。得られたデータはDigital Imaging and COmmunication in Medicine (DICOM) 形式に変換した後，グラフィックワークステーション（HP xw 9300 workstation）のDICOM編集ソフト（V-works TM4.0, CyberMed）に読み込み，三次元再構築を行った。

3, 最適なCT値閾値の設定

顎関節部X線CTに基づく三次元サーフェイスモデルを再構築するにあたり，顎関節部の観察に最適なCT値下限閾値設定を明らかにすることを目的とし，全被験者について左側顎関節の関節窩と下顎頭の解剖学的平均距離を与えるCT値下限閾値設定を求め，全被験者における平均値を算出した。本研究では，FH平面を基準平面とし，顎関節矢状面における下顎頭中央部（最上方部）から顎関節の関節窩までの最短距離が約2.5mm（解剖学的な平均値）（北村，2003）となるよう閾値を設定した。解析が必要な閾値の範囲を広く設定した場合，膨大な計算が必要となる可能性が考えられたため，林ら（2010）の報告を参考におおよその基準となる閾値を+600 HUと設定し，その値から1～10 HUずつ値を変化させ，各被験者における下限閾値を求めた。

4, 従来法により再構築された三次元サーフェイスモデルとの比較検討

従来法（CT値下限閾値+255 HU）により再構築された三次元サーフェイスモデルと新たに検出された顎関節のモデル化に最適なCT値下限閾値をもとに再構築された三次元サーフェイスモデルを最小二乗法により重ね合わせ，部位による再構築像の違いを視覚的に評価した。

結 果

1, 顎関節部の観察に最適なCT値下限閾値の検出

本研究では, CT値閾値設定+600 HUから1~10 HUずつ値を変化させ, 各被験者における下限閾値を求めた. 表1は, 三次元サーフェイスモデルの左側顎関節の関節窩と下顎頭の距離を約2.5mmとして再構築したときの各被験者におけるCT値下限閾値平均値と標準偏差を示す. 全被験者における解析において, CT値下限閾値は平均+530 HUという結果が得られた.

2, 従来法により再構築された三次元サーフェイスモデルとの比較・検討

図2は, 任意に選択された1被験者において, 従来法(+255 HU)により再構築された三次元サーフェイスモデルと顎関節部の再構築に適していると思われる+530 HUのCT値下限閾値を設定し再構築した三次元サーフェイスモデルとの最小二乗法による重ね合せ像(下顎骨)を示す. 従来法(+255 HU)による再構築では骨領域全体においてモデル容積の増加(膨張)が認められ, CT値を+530 HUに設定し再構築されたサーフェイスモデルはすべて従来法によるモデルの内側に隠れている状態である. 次に, 図内に示されている3つの平面におい

表1 顎関節部三次元サーフェイスモデル再構築CT値下限閾値(顎関節の関節窩と下顎頭の距離:約2.5mm)

(n=13)	mean	S.D.
CT値下限閾値 (HU)	+530	71
CT撮影時年齢	23.9	8.5

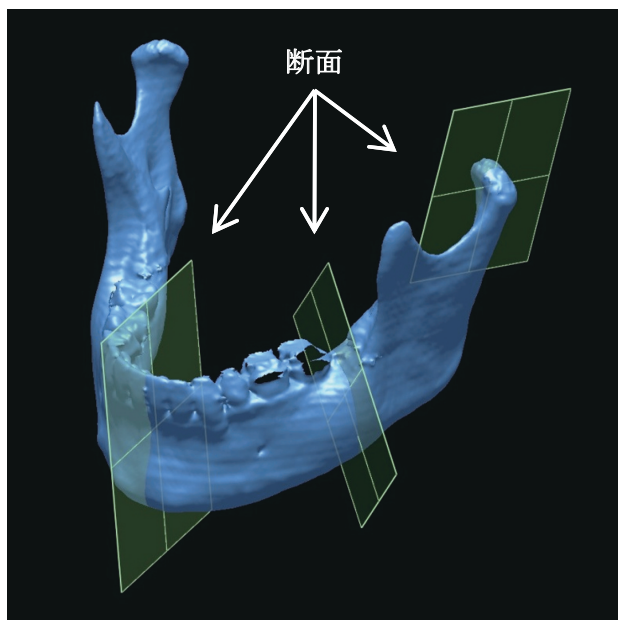


図2: 任意に選択された1被験者において, 従来法(+255 HU)により再構築された三次元サーフェイスモデルと+530 HUのCT値下限閾値を設定し再構築した三次元サーフェイスモデルとの最小二乗法による重ね合せ像(下顎骨).

て断面図を生成し, 各部位による違いを検討した.

図3は, 下顎頭中央部の矢状断面図を示す. 青が従来法(+255 HU)において再構築されたサーフェイスモデル, 紫が+530 HUにより再構築されたサーフェイスモデルを示す. 従来法(+255 HU)による関節突起の三次元サーフェイスモデルは, +530 HUによるモデルと比較して特に下顎頭で大きな膨張を示していた.

図4は, 第2大臼歯付近において生成された断面図を示す. 図3と同様, 従来法(+255 HU)による顎関節部の三次元サーフェイスモデルは+530 HUによるモデルと比較して膨張を示しているものの, その程度は小さくなっていた.

図5は, オトガイ部において生成された断面図を示す. 従来法(+255 HU)による再構築像がわずかに大きい, 両者の差は比較的小さかった.

考 察

顎関節は, 主としてX線による単純撮影や種々の断層撮影により観察されてきた(山内ら, 1976; Blaschke et al., 1981). CTやMRIなどの連続断層撮影法による三次元再構築画像は, 従来の二次元画像と比較して情報量が多く, 顎関節をより詳細に解析でき, 臨床的な検査法としての非常に有用である(Price et al., 1992; 林ら, 2010). しかしながら, 三次元再構築されたサーフェイ



図3: 従来法(+255 HU)により再構築された三次元サーフェイスモデルと+530 HUのCT値下限閾値を設定し再構築した三次元サーフェイスモデルとの重ね合せ像における下顎頭中央部の矢状断面図. 青が従来法(+255 HU), 紫が+530 HUにより再構築されたモデルを示す.

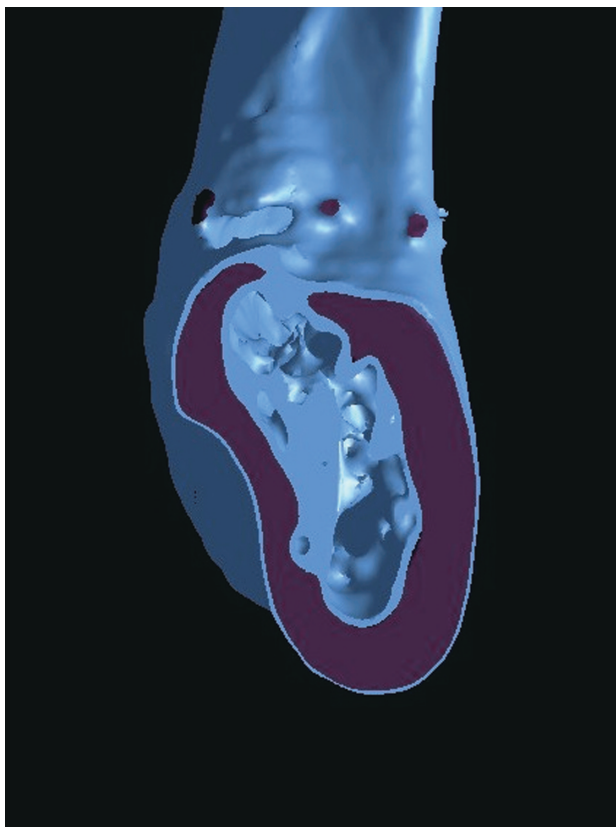


図4：従来法（+255 HU）により再構築された三次元サーフェイスモデルと+530HUのCT値下限閾値を設定し再構築した三次元サーフェイスモデルとの重ね合せ像における左側第2大臼歯付近の断面図。青が従来法（+255 HU）、紫が+530 HUにより再構築されたモデルを示す。

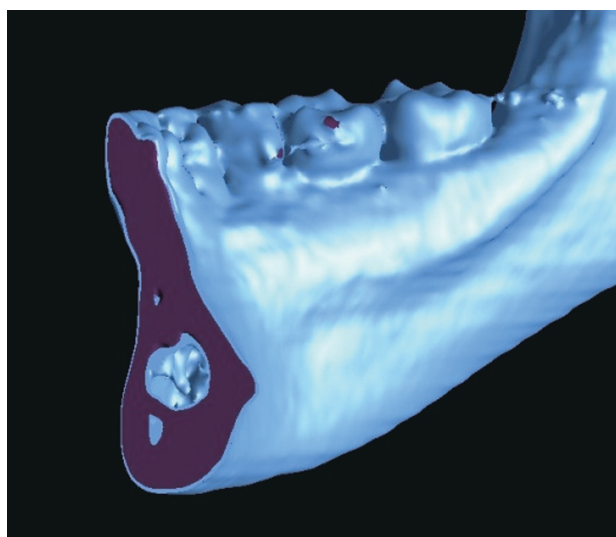


図5：従来法（+255 HU）により再構築された三次元サーフェイスモデルと+530 HUのCT値下限閾値を設定し再構築した三次元サーフェイスモデルとの重ね合せ像におけるオトガイ部付近の断面図。青が従来法（+255 HU）、紫が+530 HUにより再構築されたモデルを示す。

スモデルが実際の骨形態をどれほど正確に再現しているかの検証は非常に難しい。CTデータを基にした複数の三次元再構築システムを用いて同一被験者を計測し、三次元サーフェイスモデルを比較することができれば再現性の高いデータの検証が可能かもしれないが、被験者のX線被ばく量を考えると非現実的である。またMR撮像

からの三次元再構築に関してもCT画像と比較して骨領域のデータ抽出や再現性に問題があると思われる。よって本研究では顎関節領域（顎関節の関節窩と下顎頭）の解剖学的な平均値の一つを基準としCT値下限閾値の検出を試みた。

本研究では、FH平面を基準平面とし、顎関節矢状面における下顎頭中央部（最上方部）から顎関節の関節窩までの最短距離が約2.5mm（解剖学的な平均値）となるよう閾値を設定した結果、被験者13人のCT値下限閾値の平均は+530 HUとなった。小児期における下顎窩の形態変化を三次元サーフェイスモデルで調査した研究（萩原，2002）において、CT値下限閾値を+600 HU前後に設定してはいるが細かな設定基準などの記載はなく、今回の結果は新たな基準の一つを示したと考えられる。また本学において慣例的に使われてきた+255 HU基準の三次元サーフェイスモデルと比較して顎関節領域における形態の視覚化において有効な設定基準であり、より多くの情報を臨床現場に提供できるものと考ええる。

本研究では、従来法（+255 HU）において再構築されたサーフェイスモデルと+530 HUにより再構築されたサーフェイスモデルを重ね合せ、いくつかの部位で断面図を生成し視覚的な評価において比較・検討した。関節突起における従来法（+255 HU）と+530 HUにおける三次元サーフェイスモデルの大きさの違いは顕著であった。しかしながら、骨体部の第二大臼歯部分ではモデル間の違いは小さくなり、オトガイ部における違いはあまり大きくはなかった。顎関節部硬組織は、表面形状を形成する皮質骨の厚みに乏しく（Werner et al., 1991）、CT値そのものが海面骨部の値に近くなっていることも一つの原因ではないかと思われる。今回の結果は、解剖学的部位において許容するCT値下限閾値が異なっていることを示唆した。本研究では、顎関節部の三次元的な再構築に焦点を当て解析を行ったが、より精度よく顎顔面領域を三次元的に再構築するためには解剖学的な部位による再構築像の特徴を把握し、最適なCT値下限閾値を各部位によってそれぞれ定義する必要性を示唆するものであった。

本学における外科矯正手術シミュレーションにおける三次元サーフェイスモデルを再構築する場合、先にも述べているようにCT値下限閾値を+255 HUに設定している。これは外科手術において重要な下顎体や下顎枝における骨の膨張率が適当であること、および軟組織のデータを適切に分離するのに適しているからである。つまり、骨を基準とした最適な“見た目”（正貌や側貌）を決定する場合において適当であり、顎関節部の形態はあま

り問題にならなかった。しかしながら顎変形症の治療を医療保険の適用範囲内で行う場合、患者の顎運動における機能的な改善が最も重要である。咀嚼筋の筋電図による解析や下顎切歯の運動解析が一般的に行われているが、より詳細な顎運動解析は保険診療における治療の必要性をより効果的に示すことができる。顎口腔機能を総合的に評価するためには、あらゆる顎位での顎関節の関節窩と顎頭との三次元的な位置関係などの顎顔面骨格形態の空間的および経時的（動的）な把握が可能なシステムの確立が必要である。近年、詳細な顎運動データとCTなどから再構築された三次元画像を統合した四次元解析システムが報告されている（寺嶋ら，2004）。このモデルは患者個別の顎運動を動的な動きとして表示できるが、顎運動自体の解析は任意の特徴点の動きとして評価し、顎運動全体を詳細また包括的に把握することは難しい。そこで著者らは、新しいFinite Helical Axis（FHA）を応用した新しい顎運動四次元解析システムを開発し、臨床応用を目指している。本研究におけるCT下限閾値+530 HUの設定における顎関節形態の再構築は、よりシステム化された顎関節部の三次元的な再構築を可能とし、現在取り組んでいる試みをさらに前進させるものであると考える。

結 論

本研究は、本学が所有する顎顔面形態三次元再構築システムを用いたX線CT撮影データに基づく顎関節部X線CT三次元サーフェイスモデル再構築に最適なCT値下限閾値を検出し、その結果はおおよそ+530 HUであった。

文 献

- Blaschke DD & Blaschke TJ. A method for quantitatively determining temporomandibular jointbony relationships. *J Dent Res*, 60 : 35-34, 1981.
- Buranastidporn B, Hisano M & Soma K. Temporomandibular joint internal derangement in mandibular asymmetry. What is the relationship? *Eur J Orthod*. 28 : 83-88. 2006.
- 林 一夫, 齋藤貞政, 上地 潤, 溝口 到. 顎運動四次元解析システム—咀嚼運動における下顎頭挙動の解析—. *北医療大歯誌* 29 : 83-89, 2010.
- 萩原智子. 小児期における下顎窩の形態変化. *小児歯科学雑誌* 40 : 93-102, 2002.
- 加藤嘉之, 本橋信義, 榎本勤. 顎変形症患者における顎関節症の統計的観察. *日本顎変形症学会雑誌*. 7 : 40-48, 1997.
- Kitai N, Kreiborg S, Bakke M, Paulsen HU, Møller E, Darvann TA, Pedersen H & Takada K. Three-dimensional magnetic resonance image of the mandible and masticatory muscles in a case of juvenile chronic arthritis treated with the Herbst appliance. *Angle Orthod* 72 : 81-87, 2002.
- 北野麻紀, 岸本正雄, 二井敏光. 朝日大学歯学部付属病院矯正科における顎変形症に対する統計学的観察. *日顎変誌* 12 : 94-102, 2002.
- 北村清一郎: 顎関節症の基礎—軟組織—. 顎関節, 永末書店 : 347-360, 2003.
- Kobayashi T, Honma K, Izumi K, Hayashi T, Shingaki S & Nakajima T. Temporomandibular joint symptoms and disc displacement in patients with mandibular prognathism. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 37 : 455-458, 1999.
- Kurita H, Koike T, Narikawa J, Nakatsuka A, Kobayashi H & Kurashina K. Relationship between alteration of horizontal size and bony morphological change in the mandibular condyle. *Dentomaxillofac Radiol*. 32 : 355-358, 2003.
- Price C, Connell DG, MacKay A & Tobias DL. Three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images of the temporomandibular joint by I-DEAS. *Dentomaxillofac Radiol*. 21 : 148-153, 1992.
- Uechi J, Okayama M, Shibata T, Muguruma T, Hayashi K, Endo K & Mizoguchi I. A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognatic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130 : 786-798, 2006.
- Trpkova B, Major P, Nebbe B & Prasad N. Craniofacial asymmetry and temporomandibular joint internal derangement in female adolescents : A posteroanterior cephalometric study. *Angle Orthod*. 70 : 81-88, 2000.
- Werner JA, Tillman B & Schleicher A. Functional anatomy of the temporomandibular joint. A morphologic study on human autopsy material. *Anatomy and Embryology* 183 : 89-95, 1991.
- 山内哲義, 中村公雄, 下総高次, 西原平八, 淵端 孟. 顎関節側方X線規格写真による顎頭位の分析方法について. *補綴誌*, 20 : 193-206, 1976.



齋藤貞政

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

平成10年 3 月 日本大学理工学部航空宇宙工学科卒業

平成18年 3 月 北海道医療大学歯学部卒業

平成18年 4 月 北海道医療大学病院臨床研修医

平成19年 4 月 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入局