CTの三次元構築像による顎骨形態の評価に関する研究

——計測精度の検討——

根本 敏行・秋月 弘道・中村 篤
高橋 浩二・大野 康亮・道 健一
関 健次*・岡野 友宏*・柿市 利男**

A study of the morphologic characteristics of the mandible
on three-dimensional CT images

——Examination of measurement accuracy——

Toshiyuki NEMOTO・Hiromichi AKIZUKI・Atsushi NAKAMURA

Koji TAKAHASHI・Kohsuke OHNO・Ken-ichi MICH

Kenji SEKI*・Tomohiro OKANO*・Toshio KAKIICHI**

Abstract: In order to three-dimensionally evaluate the morphologic characteristics of the maxilla in patients with jaw deformities, the accuracy of measurement on three-dimensional images on CT (3-D CT) scans as well as the appropriate CT values for the depiction of the morphologic characteristics of the maxilla were examined. As for the accuracy of measurement of three-dimensional images on CT scans, the difference between the mean value of the measured length and that of the image was 1.5 mm at maximum and 0.4 mm on average.

In addition, no difference was observed in the accuracy of measurements on images taken from the coronal and horizontal directions.

The results suggest that the measurement of distance on three-dimensional images is relatively accurate and efficient for measuring the morphologic characteristics of the maxilla.

Key words: three-dimensional CT (三次元CT), accuracy of measurement (計測精度), jaw deformities (顎変形症)

緒 言

従来、顎変形症症例などの顎骨形態は主として頭部X線規格写真により二次元的に評価されていたが、近年、X線コンピュータ断層（以下CTと略す）像を三

次的に構築することにより三次元的に評価することが可能となった。しかし、三次元構築像の計測にあたっては、CT像の画素の大きさ、構築時の補間による誤差および画像表示時のしきい値による描出骨容量の変化などが計測値に影響を与えるといわれている^{1~10)}。

昭和大学歯学部第一口腔外科学教室

(主任：道 健一教授)

*昭和大学歯学部歯科放射線学教室

(主任：岡野友宏教授)

**大宮中央総合病院歯科口腔外科

(部長：柿市利男)

The First Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Showa University

(Chief: Prof. Ken-ichi Michi)

*Department of Oral Radiology, School of Dentistry, Showa University (Chief: Prof. Tomohiro Okano)

**Department of Dentistry and Maxillo-Facial Surgery, Omiya Chuo General Hospital (Chief: Toshio Kakiichi)

受付日：平成8年9月20日

図1 各計測点および計測点間距離

そこでわれわれは、顎変形症の顎骨形態を三次元的に評価することを目的として、CT 三次元構築画像の計測精度を検討するとともに、生体における顎骨形態描出のための適正な CT 値のしきい値について検討を行った。

対象および方法

1. 構築像の計測精度および描出性の検討

1) 対象

ヒト乾燥頭蓋骨を使用し、この頭蓋骨上の計測点として Nasion, Orbitare, Posterior Nasal Spine, Pogonion, Menton, Gonion, Basion, Articulare の各点に、直径 1 mm のスチールボールを即時重合レジンによって接着し、計測用模型とした (図 1)。

2) 方法

あらかじめ計測用模型上で、スチールボール間距離 (左右 Me-Go, Go-Go, Ar-Ar, PNS-Ba, N-Pog, 左右 Ar-Go, 左 Or-右 Or) を計測し模型計測値とした (図 1)。なお、計測にはノギスを使用し、スチールボール中心間の距離を 5/100mm まで計測した。

次に、X 線 CT 装置として横川メディカルシステム社製 Quantex を使用して、管電流 100mA, スキャン時間 3.5 秒, スライス厚 2 mm, スライス幅 2 mm, スキャンエリア直径 25cm とし、スキャン方向は、水平断と前額断の 2 方向から計測用模型を撮影した。

得られた画像を Reality Imaging 社製 VOXEL FLINGER 3D IMAGE PROCESSOR (以下 VOXEL) にて、三次元画像に構築した。なお、ヒト乾燥頭蓋骨の三次元構築像においては、しきい値の下限

図2 顎顔面皮質骨部における各計測点

を CT 値 410 前後に設定した場合、骨の欠損がみられずに描出されたため、この値で画像を表示した。水平断像および前額断像より構築された 2 つの 3 次元画像上で、VOXEL に付属した距離計測装置を用いて各計測点間距離をそれぞれ 10 回ずつ計測し、その平均値を画像計測値とした。

得られた画像計測値と模型計測値との差を求め、Student's t test にて有意性の検討を行った。また、スキャン方向の違いによる画像の描出性の差についても検討した。

2. しきい値の変化による顎骨形態の描出性の検討

1) 対象

下顎枝矢状分割術の適応と診断され、CT 撮影を行った骨格性下顎前突症 (19 歳 男性, 31 歳 女性) の 2 例を対象とした。

表 1 実測値と画像計測値の差

計測部位	実測値	実測値と画像計測値との差	
		水平断±SD (mm)	前額断±SD (mm)
Me-Go (l)	82.5	0.3±0.4	0 ±0.6
Me-Go (r)	82.4	0.1±0.3	0.3±0.2
Go (l) -Go (r)	98.7	0 ±0.7	0.1±0.7
Ar (l) -Ar (r)	105.2	0.2±0.6	0.3±0.5
PNS-Ba	39.9	1.0±0.5*	1.0±0.5*
N-Pog	105.4	0.2±0.5	0.3±0.3
Ar (l) -Go (l)	42.1	0.1±0.5	0.3±0.2
Ar (r) -Go (r)	44.9	0.2±0.5	0.4±0.3
Or (l) -Or (r)	73.5	0.8±0.6*	1.5±0.5*
平均±SD (mm)		0.3±0.5	0.5±0.4

l: 左側 r: 右側

* 模型計測値と画像計測値との間で t 検定により有意差あり (P<0.05)

2) 方法

CT の撮影条件は、管電流 60mA、スキャン時間 3 秒、スライス厚 2 mm、スライス幅 2 mm、スキャンエリア直径 25cm にて行った。

今回の顎骨形態の描出において、CT 値の下限を 301~677 の間に設定すると、軟組織は描出されず、かつ骨組織の欠損がみられずにおおむね顎骨形態が描出されたため、CT 値の下限をこの範囲内で変化させ、顎骨形態の描出像の変化について観察した。

VOXEL に付属した距離計測装置では、構築像の 3 次元座標軸上で左右方向が X 軸、上下方向が Y 軸、前後方向が Z 軸となり、画像の中心の座標が (0, 0, 0) となるように設定され、計測点の座標の表示が可能である。そこで、画像上に側面観の顎骨形態を描出し、頬骨弓部、上顎骨部、筋突起部、関節突起部、下顎角部およびオトガイ部の 6 つの計測点を設定した。つぎに、画面にそれぞれの点の 3 次元座標値を表示させたうえで、しきい値を CT 値 301~677 間で 7 つの値 (301, 377, 410, 450, 523, 598, 677) に変化させた (図 2)。これにより生じた各計測点の骨表面の座標の変化を描出される画像の骨容量の変化として評価した。また、計測値の変化は 1 画素単位である約 0.6mm を 1 段階として判定した。

結 果

1. 構築像の計測精度および描出性

模型計測値と画像計測値との差は、前額断の Or (l) - Or (r) 間で 1.5mm と最大であり、水平断 Go (l) -Go (r) 間および前額断 Me-Go (l) 間は 0mm と最小であった。前額断 Go (l) -Go (r) を除いたすべての項

前額面スライスによる構築像 水平面スライスによる構築像

図 3 スキャン方向の違いによる画像描出性

目で画像計測値が大きいのか、または同じ値を示したが、PNS-Ba 間および左右 Or 間距離計測値は、水平断および前額断ともに、模型計測値と比べて有意差が認められた (P<0.05)。また、差の平均は水平断で 0.3mm、前額断で 0.5mm であったが、計測方向による特異性はみられなかった (表 1)。CT 撮影時のスキャン方向の違いによる画像描出性については、骨の厚みが十分にある下顎骨部においては、ほとんど差がなく水平断、前額断のスキャン方向とも良好な描出性が得られた。しかし、水平断では眼窩下底部、前額断では上顎洞壁など骨が薄い部分において、構築画像上で骨の欠損像が認められ、骨面に直交するスキャン方向の構築像の方が、骨面に平行なスキャン方向の像に比べて描出性が良好であった (図 3)。

2. しきい値の変化による顎骨形態の描出性の検討

CT 値を変化させたときに、CT 値 301 以下においては、症例 1 の筋突起部とオトガイ部および症例 2 の頬骨弓部、顎角部、上顎骨部、CT 値 377 以下においては

表2 CT値の変化によるZ軸値(mm)

CT 値	頬骨弓部		筋突起部		下顎頭部		オトガイ部		顎角部		上顎骨部	
	症例 1	症例 2	症例 1	症例 2	症例 1	症例 2	症例 1	症例 2	症例 1	症例 2	症例 1	症例 2
301	-55.59	-61.19	-49.27	-49.09	-58.75	-62.54	-19.58	-8.74	-51.8	-47.07	-25.27	-26.9
377	-55.59	-60.52	-48.64	-49.09	-58.75	-62.54	-18.95	-8.74	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23
410	-55.59	-60.52	-48.64	-48.42	-58.75	-62.54	-18.95	-8.74	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23
450	-55.59	-60.52	-48.64	-48.42	-58.12	-62.54	-18.95	-8.07	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23
523	-55.59	-60.52	-48.64	-48.42	-58.12	-61.86	-18.95	-8.07	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23
598	-55.59	-60.52	-48.64	-48.42	-58.12	-61.86	-18.95	-8.07	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23
677	-54.96	-60.52	-48.64	-48.42	-58.12	-61.86	-18.32	-8.07	-51.8	-46.4	-25.27	-26.23

は軟組織が描出された条件

は骨の欠損像が描出された条件

症例2の筋突起部で軟組織部分の描出がみられ、骨表面の描出が不十分となった。また、症例1の下顎頭部および症例2のオトガイ部はCT値450以上、症例2の下顎頭部ではCT値523以上、症例1の頬骨弓部とオトガイ部ではCT値677以上で骨の欠損像が認められ、骨形態の描出は不十分であった(表2)。

描出される骨の形態変化の指標となる座標値の変化についてみると、X軸、Y軸、の値に変化はみられず、Z軸値のみ変化がみられた。計測値の変化は1画素単位である約0.6mmを1段階として判定した。症例1のオトガイ部で2段階、その他の部位では1段階以下の変化であり、比較的安定した描出性を示した。以上の結果から、最も安定した顎骨形態は、CT値410をしきい値とすることにより描出された(表2)。

考 察

1. CTからの三次元構築について

近年、コンピューターの発達とともに三次元的な画像構築が可能となり、顎顔面領域では、1983年、MarshとVannier¹¹⁾の報告以来、三次元画像が臨床応用される機会が多くなった。桜井³⁾は、X線規格写真における計測点と比べて、三次元構築像では解剖学的計測点の設定が可能で、実際に手術に必要な実測値を計測できると述べ、また松野¹⁰⁾は、三次元構築像では、二次元的分析で把握できなかった複雑な変形が容易に認識、評価できると述べている。このように、三次元構築像では、計測点を立体座標として表現することにより、距離、角度の正確な値が算出でき、各計測点および計測平面などの相互間の立体的な位置関係をも把握できると考えられる。

しかし、桐生⁸⁾は、三次元構築像は定性という点では優れていても、定量の点ではまだ臨床応用には不十分であり、顎変形症の診断に関してはセファログラムによる分析法のように確立されたものはないと述べ

ている。

2. 三次元構築像について

1) 計測精度の検討

CT画像の空間解像力は、画素の大きさに影響される。多田¹²⁾は、解像力の値は画素の大きさの約1.5倍と述べており、著者らの使用したCTの画素の大きさが、約0.4×0.4mmであることを考えると、スキャン面と平行な面では約0.6mm前後の解像力と思われる。また、スライス面と垂直な方向での解像度は、CT撮影時のスライス幅およびスライス間隔により規定される。われわれが使用したCT装置では、スライス間隔は0.5mm以上、スライス幅は1~10mmの設定が可能であるが、臨床的に応用できる設定として、スライス幅2mm、スライス厚2mmで撮影し検討を行った。VOXELでは3次元像の構築にあたっては、立体補間の原理を応用した計算値により補間を行い画像構築しているが、今回の検討では、水平方向、垂直方向とも計測値に差異を認めず、模型計測値と画像計測値の差も最大1.5mm、平均0.4mmと良好な精度が示された。しかし、この値は、構築された画像から計算により推定された計測値であることをふまえて評価に应用することが必要であると考えられる。

今回の検討では、模型計測値と画像計測値の差は最大で1.5mm、平均0.4mmであった。これはセファログラムにおける、山崎¹⁾らの拡大率の修正を行った立体算出値と実測値との誤差0.2mmと比較すると、低い計測精度であったが、臨床的な形態評価に用いるには十分であると思われる。

一般に三次元構築像では、薄い骨組織において骨欠損様の像が構築されることが多い。これは桐生¹¹⁾も述べているように三次元構築時のしきい値の違いによるpartial volume effectによって生じてくる。今回の結果では、PNS-Ba間および左右Or間距離計測値で実測値と比べて有意差がみられたが、PNS-Ba間距離では、両計測点とも骨の断端部に位置しているため、

また Or 周囲は骨が薄く、計測点周囲の連続性が失われやすいために計測誤差が生じたものと考えられた。

2) しきい値について

上記のような partial volume effect によって生じる骨の欠損像や軟組織の介在は、しきい値の CT 値の影響を受ける。中村²⁾は歯および歯槽骨の CT 値は平均 351.2 で、しきい値の上限と下限の差が 200~300 程度であったと報告している。しかし、槇¹³⁾は、CT 値は同一の物質であっても常に一定値を示すわけではなく、X 線管電圧の微妙な変化に大きく影響されると述べ、CT 値の変動を補正する方法として、頭頸部用骨塩定量ファントムを使用している。今回は 2 例の下顎前突症を対象に、骨面描出のための至適なしきい値について検討したところ、CT 値 377 以上 450 以下、平均 410 前後において安定した骨表面形態が得られた。しかし、個人の骨の厚さ、密度によっても変化するので、CT 値の範囲に関して一定した値が得られたわけではない。画像の計測にあたっては、対象症例ごとに CT 値 410 前後で至適値を決定する必要がある。

結 語

顎変形症の顎骨形態を三次元的に評価するために、三次元構築像の計測精度と、生体における顎骨形態描出のための適正な CT 値のしきい値について検討を行ったところ、以下の結果を得た。

1. X 線 CT の三次元構築像における顎骨形態の距離計測においては、実測長と画像計測長の平均値との計測誤差が最大 1.5mm、差の平均は水平断で 0.3mm、前額断で 0.5mm であった。

2. スキャン方向の違いによる画像描出性については、骨の厚みが十分にある下顎骨部においては、水平断、前額断ともに差はみられず良好な描出性が得られた。

3. しきい値の変化による顎骨形態の描出性は、CT 値 377 以上 450 以下、平均 410 前後において安定した骨表面形態が得られた。

以上の結果、X 線 CT の三次元構築による顎骨形態の評価は、顎変形症の診断と治療において有用性があるものと考えられた。

本論文の要旨は、第 36 回日本口腔外科学会総会（平成 3 年 10 月、大阪）、第 2 回日本顎変形症学会総会（平成 4 年 5 月、京都）において報告した。

引 用 文 献

- 1) 山崎俊恒, 岩澤忠正: 頭部における下顎の立体的位置および形態の研究. 日矯歯誌 40: 205-227 1981.
- 2) 中村 道: コンピュータ断層撮影法の歯科矯正学的応用に関する基礎的検討. 口病誌 52: 118-142 1985.
- 3) 桜井信彰, 新橋 武, 他: X 線 CT 画像を用いた三次元画像表示に関する臨基礎的研究. 慈恵医大誌 103: 461-483 1988.
- 4) 新橋 武, 桜井信彰, 他: 顎顔面変形の診断における 3 次元 CT の有用性について. 形成外科 32: 751-761 1989.
- 5) 秋月弘道, 大野康亮, 他: 光造形 3 次元モデルを応用した顎変形症の治療経験. 昭歯誌 15: 17-23 1995.
- 6) 有地淑子, 有地栄一郎, 他: 側頭下窩における腫瘍性病変の CT による分析. 口科誌 39: 267-277 1990.
- 7) 新橋 武, 友成 博, 他: 顎顔面変形に対する 3 次元 CT の応用 (第 1 報). 形成外科 30: 580-589 1987.
- 8) 桐生迪介, 藤田晋也: 顎顔面領域における 3 次元 CT の使用経験. 形成外科 32: 379-385 1989.
- 9) 蛭間崇善, 船登雅彦, 他: 顎頭位の測定を目的とした再構築矢状断 CT 画像の評価. 昭歯誌 15: 173-177 1995.
- 10) 松野 功, 河上宗博, 他: 頭蓋顎顔面変形症例に対する 3 次元形態分析法. 日矯歯誌 49: 291-301 1990.
- 11) Marsh, J.L., and Vannier, M.W.: The "Third" dimension in craniofacial surgery. Plst Reconstr Surg. 71: 759-767 1983.
- 12) 多田 明: Whole body CT に関する研究. 日本医放会誌 38: 1129-1136 1978.
- 13) 槇 宏太郎: 三次元像再構築時の基準と骨塩定量機能をそなえた X 線 CT 規格撮影方法についての研究. 日矯歯誌 47: 380-390 1978