

X線CT3次元データ解析：頭蓋顎顔面非対称性疾患の新しい評価法

藤 本 雅 史 宮 脇 剛 司 内 田 満

東京慈恵会医科大学形成外科学講座

(受付 平成 27 年 4 月 30 日)

A PROPOSAL OF NOVEL ANALYZING METHOD FOR CRANIOMAXILLOFACIAL ASYMMETRY BY THREE DIMENSIONAL COMPUTED TOMOGRAPHY

Masashi FUJIMOTO, Takeshi MIYAWAKI, and Mitsuru UCHIDA

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, The Jikei University School of Medicine

Introduction: The three-dimensional analysis of craniomaxillofacial asymmetry by means of numerical values has not yet been established. The purpose of the present study was to propose a new method for analyzing craniomaxillofacial asymmetry. **Methods :** Three-dimensional computed tomographic data from 41 subjects (19 men and 22 women, mean age 40.6 years,) were analyzed with the SimPlant® OMS surgical simulation software. The mid sagittal plane (MSP) was defined with 3 skeletal landmarks. Nine skeletal landmarks (bissymmetrical 18 points) were pointed on a simulation image. The differences of the 2 distances from the MSP to bilateral landmarks (D) and the angle (A) that the line between the 2 points makes with the MSP were measured. Apert syndrome and hemifacial microsomia were analyzed by measuring the difference and the angle.

Result : The MSP was defined by the nasion, anterior nasal spine (ANS), and Sella or by the nasion, ANS, and basion.

The measurements from Apert syndrome and hemifacial microsomia were compared with the average of 41 patients by using the nasion-sella-ANS plane as the MSP. Their features of facial bone contour reflected real measurement results.

Conclusion: Measurements and analysis using our new method can help assess changes in craniomaxillofacial asymmetry that occur during patients' growth and are produced by surgery.

(Tokyo Jikeikai Medical Journal 2015;130:103-9)

Key words; three-dimensional computed tomography, asymmetry, craniofacial surgery

I. 緒 言

形成外科では、頭部顔面外傷後の骨格変形や先天性の顔面非対称性疾患に対して、骨切り移動手術と術前後の歯科矯正治療を行うことは一般的である。その際には、単純X線写真の正面および側面での頭部X線規格写真(セファログラム)が利用される。セファログラムは1931年にHofrath¹⁾やBroadbent²⁾によって報告され、以後、さまざまな評価法が確立され、形成外科、矯正歯科、頭

蓋顎顔面外科領域での標準的評価方法になっている。評価基準となるX線写真上の点をポイントングして、それらのなす直線や角度によって咬合状態の評価や顔面の形態評価を可能にしている。簡便であるがあくまで2次元での評価であり、顔面の骨格性非対称がある場合などには、側面写真では左右で相対する2ヵ所の点が離れた位置にあるため、どちらかを選ぶのか、また中間点を選ぶのか、さらにはそれが正しい評価といえるのか、などの問題があり、適応されない場合がある。最

いたが、それを適応するのは2次元のX線写真であった。3次元評価ではMSPが左右を分ける基準面でありそれには座標点としては3点が必要である。しかしわれわれが涉猟しえた範囲で、複数平面を座標3点から作成し、統計的比較をふまえてMSPを定義したものはなく、まずその決定を行った。

頭蓋顔面骨正中に存在すると考えられている解剖学的構造物の中で、前鼻棘先端：Anterior Nasal Spine (ANS)、鼻骨前頭縫合部最前点：Nasion (N)、鶏冠先端：Crista Galli (CG)、大後頭孔前縁：Basion (Ba)、蝶形骨トルコ鞍壺状陰影の中心点：Sella (S) の5点を3次元画像上にポイントングした。画像は冠状断、矢状断、水平断、3次元のいずれにおいてもポイントングは可能であり、それぞれのスライスで位置を確認しながらのポイントングが可能である。画像の拡大縮小は自由であり、拡大して行えばポイントングの精度を上げることが可能である (Fig. 2)。5点から3点を選んでできる平面は10平面作成可能であるが、NはANSやCGのような骨突出構造物でなく、Sのような骨から離れた点でもないこと、さらに

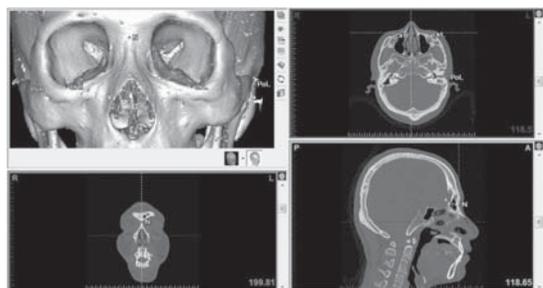


Fig. 2. Skeletal landmarks can be pointed exactly in any of three slices or 3D model. Nine skeletal landmarks (bil.18 points) were pointed.

Baのように骨上の比較的幅のある位置から選択するような点でもないことから、Nをふくめた6平面 (N-S-ANS, N-S-Ba, N-S-CG, N-ANS-Ba, N-ANS-CG, N-Ba-CG) に対象を絞って検討した。それら6平面の中でよりMSPにふさわしい平面を決定する方法は次のように行った。左右対称に存在する骨上の計測点A, A' (左右対称に9対18点) から、平面への距離A-P, A'-Pを測定しその絶対値の差 $|A-P| - |A'-P|$ をDとして算出して計測点すべての総和Eを平面のずれとして (Fig. 3) その数値Eを41症例、6平面につき測定し、統計学的に比較した。計測点の選択は代表的な3次元画像解析の3D-ACRO解析⁸⁾と3D-Swennen解析¹¹⁾の計測点の中で、左右2点存在する点で下顎に存在する点を除いて選択した。各点の定義は、Supraorbitale (Spor) は眼窩上神

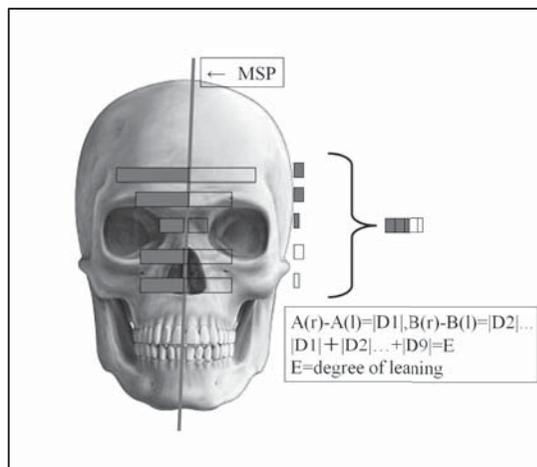


Fig. 3. How to define MSP (Mid Sagittal Plane). Distances from right nine skeletal landmarks to MSP was measured (A(r)-I(r)). Left nine distances were also measured (A(l)-I(l)). Difference of the measured value of right and left was D (|D1|~|D9|). The total amount (E) was defined as degree of leaning.

Table 2. Definition of craniofacial landmarks

Foramen rotundum (Fr)	Lower wall of foramen rotundum
Frontozygomatic (Fz)	Most medial and anterior point each frontozygomatic suture at the level of the orbital rim
Dacryon (Dc)	Top of the lacrymal bone
Porion (Po)	Most superior point of the external acoustic meatus
Plunum sphenoidale (plnsph)	Top of osseous planum sphenoidale
Infraorbitale (infor)	Infraorbital nerve foramen
Supraorbitale (spror)	Supraorbital nerve foramen
Zygion (Zyg)	Most lateral point on the outline of each zygomatic arch
Pti	Junction of palatine bone and pterygoid process of sphenoid bone

経孔上縁, Foramen Rotundaum (Fr) は正円孔下壁, Frontozygomatic (Fz) は頬骨前頭縫合部の前内側点, Dacryon (Dc) は涙骨の頂点, Porion (Po) は骨性外耳道最上点, Planum sphenoidale (Plnsph) は蝶形骨平板頂点, Infraorbitale (Infor) は眼窩下神経孔上縁, Zygion (Zyg) は頬骨弓部最外側点, Pterygoid inferior (Pti) は口蓋骨と蝶形骨翼状突起結合部とした (Table 2).

2. MSPを使用した顔面非対称性疾患の評価の試み

顔面骨は本来程度の差はあっても非対称である。ただし, Apert症候群やCrouson症候群などの頭蓋骨早期癒合症に合併する中顔面の低形成や非対称, hemifacial microsomiaなどの骨格低形成性の非対称を生じる疾患, さらには外傷による変形などはその程度が大きく, 不正咬合の改善や, 顔貌改善を目的に上顎や頬骨, 下顎の骨切り移動術を受けることも少なくない。CTデータを利用した3次元モデルの作成により, 術前の骨切デザイン, 骨片の移動量や方向などのシミュレーションは可能になっている^{3) 4)} 術前後の変化や成長に伴う非対称の増減などを定量的に評価する方法はいまだ報告されていない。

そこで, 決定したMSP (今後の研究はN-S-ANS平面を使用する) を基準に左右の骨格的非対称を数値化することを試みる前に, MSPを用いてセファログラムの非対称性疾患に適応する妥当性を再検討した。セファログラムは, 両側外耳道にイヤードッドを固定して, 左右外耳道を結んだ線に対して垂直な平面を撮影している。したがって左右の外耳道の位置に差があれば撮影の平面はMSPからずれることになり, 他の左右対の構造物のX線描出位置にずれを生じる。非対称性疾患であるApert症候群 (症例A) とhemifacial microsomia (症例H) の1例ずつで外耳道間の線分とMSPの角度を計測して妥当性を評価し, さらには2点間の線とMSPのなす角度が左右の位置のずれを表現する指標になり得ることを確認した。外耳道の計測点は, 骨性外耳道の最頭側点ポリオン (Po) とする。

3. 非対称性疾患の上中顔面の評価

左右の非対称とはどちらかの骨が低形成になるか, 過形成になるか, そのアンバランスで生じる。そのアンバランスを数値で評価するために, 左右

方向の評価は対になる評価点からMSPまでの距離の差を, MSP決定時と同様に絶対値Dで計測し平均を求めた。前出の2症例に対し各評価点9ヵ所について対象例の数値を算出し, 左側計測値D (l) から右側計測値D (r) を引いた値でプラスであれば左方向への変位と表現し, 対象疾患の計測値と平均を比較検討した。また, MSPに対する2点間の線分となす角度を計測し平均を求め, 同症例と比較検討した。

III. 結 果

1. 正中矢状平面 (MSP) の決定について

各平面のずれEの平均をみると, N, Ba, ANSを通る平面がもっとも小さい値 (15.55 ± 4.37) であった。また, CGを含む平面はすべて大きな値をとっていた ($22.47 \pm 6.86, 33.21 \pm 17.24, 45.94 \pm 22.74$)。Oiszewskiの報告¹²⁾を参考にし, N-S-Ba平面, N-S-ANS平面, N-ANS-Ba平面の3平面間の平均値比較をt検定で行った。N-S-BaとN-S-ANSは $P=0.31 > 0.05$, N-S-BaとN-ANS-Baは $P=0.12 > 0.05$, N-S-ANSとN-ANS-Baは $P=0.71 > 0.05$ で3平面間すべてにおいて有意差を認めなかった。

2. 側面セファログラムの妥当性について

MSPと線分Po (r) -Po (l) の角度は平均 87.94 ± 1.32 度 (N=41) であった。垂直にもっとも近い値は 89.59 度でもっとも離れた値は 84.15 度であった。症例Hは 79.76 度, 症例Aは 80.68 度であった。PoからMSP上に垂直におろした点Po' (r) -Po' (l) の距離も最大の症例Hで 20.4 mmであった。

3. 非対称性疾患の上中顔面の評価

MSPと9ヵ所の2点間距離差の平均 (mm) は, Spor 2.82 ± 2.44 , Fz 0.91 ± 0.72 , Dc 0.66 ± 0.45 , Zyg 1.85 ± 1.36 , Po 2.74 ± 2.21 , Fr 1.61 ± 1.64 , Plnsph 1.78 ± 1.28 , Infor 1.22 ± 1.35 , Pti 2.61 ± 1.96 であった。症例AはSpor 2.6 , Fr 3.58 , Dc 1.3 , Zyg 4.78 , Po 1.58 , Fr 1.55 , Plnsph 1.36 , Infor 4.16 , Pti 6.74 であった。症例HはSpor 8.87 , Fr 3.37 , Dc 2.34 , Zyg -5.51 , Po 0.13 , Fr -0.23 , Plnsph 1.45 , Infor 0.36 , Pti 7.29 であった (Table 3)。

角度は平均でSpor 87.6 ± 1.35 , Fz 88.2 ± 1.03 , Dc 86.2 ± 2.09 , Zyg 88.1 ± 1.47 , Po 87.9 ± 1.32 ,

Fr 87.2 ± 1.67, Plnsph 86.3 ± 2.20, Infor 87.8 ± 1.32, Pti 86.6 ± 2.14であった。症例AでSpor 81.1, Fz 83.0, Dc 83.5, Zyg 81.3, Po 80.7, Fr 81.2, Plnsph 81.1, Infor 82.2, Pti 79.7であった。症例HはSpor 87.3, Fz 84.4, Dc 85.6, Zyg 78.1, Po 79.8, Fr 82.9, Plnsph 84.5, Infor 85.8, Pti 86.8であった (Table 4)。距離の平均値はばらつきが大きい、健常では3 mmを超える平均は認めなかった。角度においては、すべての平均値が85度以上であった。

IV. 考 察

1. 正中矢状平面 (MSP) の決定について

3次元CTでの座標ポインティングの再現性を評価したOlszewskiは、N, ANS, Ba, Sの4点は異なる計測者間で2 mm以下のずれにとどまる再現性を示したが、CGのみは2 mm以上のずれを認めたとしている¹²⁾。逆にANSは0から1 mmのずれで、NとBaとSは1から2 mmのずれで再現性を認めており、ポインティング誤差を考えると有用と考える。確認のため数値評価は行ったが、再現性が不良であるということは、ずれやすいということの意味しており、CGはMSPの決める構成点としてはふさわしくないことがずれの数値からも確認できた。標本数の少なさが影響したためか有意差を認めることはできなかったが、各点のポインティングにおける再現性と合わせてN, ANS, Sの3点もしくはN, ANS, Baで定義でき

る平面がMSPとして使用可能であると結論付けた。

2. 側面セファログラムの有用性について

症例HではMSPを基準にとった側面像ではPoは左右で20.4 mmずれて存在することになり、MSPを基準にした側貌を10.24度傾けて撮影した画像を企画撮影としていることになる。側面セファログラムはおもに咬合、上下顎の前後関係を評価する目的で用いることが多いため、同一患者の経時的変化を評価するのみであれば有用であるが、平均との比較など数値的評価には適さないと考えた。

3. 非対称性疾患の上中顔面評価

Apert症候群は両側の冠状縫合、人字縫合の早期癒合による短頭蓋、脳脊髄圧の上昇による水頭症などを呈し、頭蓋形成術を行うこともあり、顔面に関しては上顎骨の低形成に伴う鼻根部の陥没変形、眼球突出、歯列叢生、著明なopen biteなどを呈する。気道狭窄により気管切開になることもあり、気道狭窄改善や中顔面の劣成長による特有な顔貌の改善、反対咬合の改善を目的に上顎骨のLe Fort I型、II型、III型の骨切り移動術を受ける患者も多い¹³⁾。骨の低形成は左右差を生み、骨格性の非対称も多くの症例で発生するため、手術では均等な骨切り延長では不十分なことも多い。本症例は中顔面に対する手術は行っていない6歳男児の画像データである。骨の左右差を計測値から評価すると、すべてが左方向優位でありFzで

Table 3. The measurement result of distance to MSP

	Hemifacial Microsomia		Apert Synd
	N=41	N=1	N=1
Supraorbitale	2.82 ± 2.44	8.87	2.6
Frontozygomatic (Fz)	0.91 ± 0.72	3.37	3.58
Dacryon (Dc)	0.66 ± 0.45	2.34	1.3
Zygion	1.85 ± 1.36	-5.51	4.78
Porion (po)	2.74 ± 2.21	0.13	1.58
Foramen rotundum (Fr)	1.61 ± 1.64	-0.23	1.55
Planumsphenoidale	1.78 ± 1.28	4.99	1.36
Infraorbitale	1.22 ± 1.35	0.36	4.16
Pti	2.61 ± 1.96	7.29	6.74
(mm)		(Lt-Rt)	(Lt-Rt)

Table 4. The measurement result of the angle that the line between two points makes with MSP

	Hemifacial Microsomia		Apert Synd
	N=41	N=1	N=1
Supraorbitale	87.6 ± 1.35	87.3	81.1
Frontozygomatic (Fz)	88.2 ± 1.03	84.4	83.0
Dacryon (Dc)	86.2 ± 2.09	85.6	83.5
Zygion	88.1 ± 1.47	78.1	81.3
Porion (po)	87.9 ± 1.32	79.8	80.7
Foramen rotundum (Fr)	87.2 ± 1.67	82.9	81.2
Planumsphenoidale	86.3 ± 2.20	84.5	81.1
Infraorbitale	87.8 ± 1.32	85.8	82.2
Pti	86.62 ± 2.14	86.8	79.7

3.58 mmの左偏位を認めている。また、Zygで4.78の左変位も認めている。こちらは側頭骨上の点である。そのほか上顎骨上の点Inforで4.16と左変位、口蓋骨上の点Ptiで6.74と左変位している。角度評価では、9つ中8つの点で平均より5度以上の角度の差を認めており、Pti, Zyg, Poでは7度近くのずれを生じている。これらから判断すると、本症例は前頭骨から、側頭骨、頬骨、上顎骨、蝶形骨、口蓋骨すべてに劣成長による軸変位が現れており、MSPに対する軸変位は側頭骨、口蓋骨に強く、その成長は左優位である。とくに咬合に関与する口蓋骨は最大の距離の角度的偏位を示しており、本症例の特徴的病態を数値的に表している。今後の成長や手術によってこれら値が改善していくか評価が必要である。

症例Hは12歳女性、hemifacial microsomiaの症例である。本症例は第1第2鰓弓症候群の一つであり、骨軟部組織の劣成長や欠損を生じる。耳介や顔面軟部組織に低形成を生じることが多く、耳介のみの手術を行うことも多い。上顎骨、頬骨、下顎骨の形成不全がみられるが、特徴的な症状は下顎骨形成不全である。変形は頭蓋や眼窩、頬骨に及ぶこともありcraniofacial microsomiaと称されることもある¹⁴⁾。手術は咬合面の水平化や、左右顔貌のバランス調整目的での下顎や上下顎の骨切り移動術が行われることが多い。本症例は患側下顎枝の変形が強く、短縮しており、関節形態の異常も呈していたため、骨格性の分類ではPruzansky分類¹⁵⁾のgrade IIである。さらには頬骨弓の部分欠損も認めていた。

骨形態を結果から評価すると、左右方向への距離は左へ優位な部位と右に優位な部位とに分かれている。患側である左に優位な場所はSpror 8.87, Fz 3.37, Dc 2.34, であり、右に優位な部位はZyg-5.51, Pti-7.29であった。健側に優位であるのは頬骨弓の欠損を認めていたためであること、上顎骨、口蓋骨の低形成であることが原因であり、本疾患の基本病態を表している。患側に優位に成長しているところは、もっとも低形成になっている顎関節周囲に向かって低形成部分を補うように、前頭骨と眼窩周囲が伸びてきている結果と推測される。角度を見てみると、頬骨弓および骨性外耳道の欠損があるため、影響を受けない点では

Fr 82.9が最も軸変位が強く、頭尾側に離れるにつれて軸変位が小さくなっている。もっとも頭側のSpror 87.3は軸変位としてはもっとも小さい。Pti 86.8も劣成長の影響は軸変位につながっていない。以上より劣成長の中心へ向かうように骨の成長と軸変位が起こっている様子が読み取れる。以上から、hemifacial microsomiaの病態は下顎および上顎骨、側頭骨の劣成長およびそれに対応した全顔面骨非対称と考えることができる。

4. 非対称性の診断や手術前後評価及び成長評価への応用について

本研究のデータを使用して、健常例の上中顔面の非対称の定量的評価が可能である。病的とは言えない非対称であっても、数値化によって非対称を定量的に指摘できるため、成長段階での外傷や、骨以外の周辺手術の影響などで生じる非対称を、早期に診断する可能性が示唆された。たとえば、骨格成長期前に骨膜を剥離した手術のあと、同部位に劣成長が生じるか、咬合状態の左右差が上下顎の骨成長に影響を与えるかなど、応用の可能性は広い。

また、本研究は9対18点についての検討をN-S-ANS平面をMSPとして行ったが、症例によっては各計測点を取れない場合もある。MSP設定に必要な点が外傷で粉碎されていたり、先天異常により欠損している場合には、Basionを使用した平面を使用しても同様の計測が可能である。平均に対する比較が必要でない経時的評価や術前後評価のみの場合は、点を増やして評価することも可能である。

V. 結 論

X線CT3次元データから顔面正中矢状平面MSPを作成した。MSPを用いて上中顔面骨格の左右非対称を数値的に評価する方法を開発した。ある時点での骨格の評価だけでなく、これまで困難であった上中顔面骨の3次元的成長評価や、手術前後の数値的評価を経時的に行える可能性が示唆された。

著者の利益相反 (conflict of interest : COI) 開示 :
本論文の研究内容に関連して特に申告なし

文 献

- 1) Hofrath H. Die Bedeutung von Roentgenfern- und Abstand-saufnahme fuer die Diagnostik von Kieferanomalien. *Fortschr Orthodont.* 1931; 1: 232-6.
- 2) Broadbent BH. A new technique and its application to orthodontics. *Angle Orthodont.* 1931; 1: 45.
- 3) Vannier MW, Marsh JL. Three-dimensional imaging, surgical planning and image-guided therapy. *Radiol Clin North Am.* 1996; 34: 545-63.
- 4) 奥本隆行, 中嶋英雄, 坂本輝雄. 複雑な顎顔面変形に対するシミュレーション手術-3次元実体模型へのface bow transferの応用-. *日形会誌.* 1996; 16: 837-51.
- 5) Faure J, Treil J, Borianne P, Casteigt J, Baron P. 3-dimensional cephalometry in orthodontics. The current possibilities of Cepha 3DT software (in French). *Orthod Fr.* 2002; 73: 19-37.
- 6) Papadopoulos MA, Jannowitz C, Boettcher P, Henke J, Stolla R, Zeilhofer HF, et al. Three-dimensional fetal cephalometry: an evaluation of the reliability of cephalometric measurements based on three-dimensional CT reconstructions and on dry skulls of sheep fetuses. *J Craniomaxillofac Surg.* 2005; 33: 229-37.
- 7) Park SH, Yu HS, Kim KD, Lee KJ, Baik HS. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 129: 600. e23-34.
- 8) Olszewski R, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reyhler H. Three-dimensional computed tomography cephalometric craniofacial analysis: experimental validation in vitro. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007; 36: 828-33.
- 9) van Vlijmen OJ, Maal T, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 39: 156-60.
- 10) 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.* 1989; 32: 379-85.
- 11) Swennen GR, Schutysen F, Barth EL, De Groeve P, De Mey A. A new method of 3-D cephalometry Part I: the anatomic Cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg.* 2006; 17: 314-25.
- 12) Olszewski R, Frison L, Wisniewski M, Denis JM, Vynckier S, Cosnard G, et al. Reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks in cone-beam and low-dose computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2013; 17: 285-92.
- 13) 鳥飼勝行, 今井智浩. 7 頭蓋骨早期癒合症 6) 顎変形症の治療 (Le Fort II, III advancement). 平林慎一 編著. 頭蓋顎顔面外科最近の進歩. 第2版. 東京: 克誠堂出版; 2008. p.108-16.
- 14) 奥本隆行. 9 Hemifacial microsomia 1) 病因, 分類および治療方針. 平林慎一 編著. 頭蓋顎顔面外科最近の進歩. 第2版. 東京: 克誠堂出版; 2008. p.148-58.
- 15) David DJ, Mahatumarat C, Cooter RD. Hemifacial microsomia: a multisystem classification. *Plast Reconstr Surg.* 1987; 80: 525-35.