顎変形症患者における咽頭気道形態の三次元 CT 評価

高井 貞浩¹⁾ 田中 礼²⁾ 小林 正治¹⁾
小田 陽平¹⁾ 林 孝文²⁾ 齊藤 力¹⁾

Three-dimensional CT Evaluation of Upper Airway Morphology in Patients with Jaw Deformity

SADAHIRO TAKAI¹⁾, RAY TANAKA²⁾, TADAHARU KOBAYASHI¹⁾,
YOHEI ODA¹⁾, TAKAFUMI HAYASHI²⁾ and CHIKARA SAITO¹⁾

Abstract

Regarding diagnostic imaging for surgical correction of jaw deformities, a three-dimensional evaluation of upper-airway structures composing the airway wall morphology is considered to be essential for predicting post-operational changes in the volume and shape of the airway. The aims of this study were as follows: (1) to propose useful measuring methods for estimating the morphology of the pharyngeal airway, (2) to identify which morphologic factor has the greatest influence on the volume of the pharyngeal airway, and (3) to investigate the relationship between the maxillofacial morphology and pharyngeal airway shape.

Pre-operative CT images of seventy-nine patients with jaw deformity aged from 15 to 20 years who were candidates for surgical orthodontic treatment were used in this study. The airway was measured from the nasopharyngeal level to tongue-base level, and the average cross-sectional area was calculated from the volume and length of the airway. To obtain the area, antero-posterior diameter, and width measurements, cross-sections at four levels were selected in the upper airway; i.e., nasopharyngeal level, hard-palate level, oropharyngeal level, and tongue-base level. In order to evaluate the correlation between maxillofacial and

pharyngeal morphology, cephalometric analysis was carried out using lateral cephalograms. The subjects were divided into two groups based on skeletal deformities of Class II and Class III from the results of cephalometric analysis, and the differences in pharyngeal morphology between the two groups were investigated statistically. The significance level was set at $P < 0.05$. The average volume and average cross-sectional area of the pharyngeal airway was $15.71 \pm 5.36 \text{ cm}^3$ and $2.23 \pm 0.74 \text{ cm}^2$ respectively. Our results revealed that the area at the oropharyngeal level mostly contributed to the size of the pharyngeal airway. It was demonstrated that the area and anteroposterior length at the palatal level in the skeletal Class II group were significantly smaller than those in the skeletal Class III group. Even though no statistical significance was found between the two groups, the width of the airway in the hard-palate level and antero-posterior length in the oropharyngeal level showed a possible statistical correlation with some cephalometric measurement values, indicating that there could be some relationship between airway and maxillofacial morphology.

Key words: jaw deformity (顎変形症), pharyngeal airway (咽頭気道), three-dimensional measurements (三次元計測)

[Received Apr. 21, 2011]

¹⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科口腔生命科学専攻顎顔面再建学講座組織再建口腔外科学分野 (主任: 齊藤 力教授)

²⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科口腔生命科学専攻顎顔面再建学講座顎顔面放射線学分野 (主任: 林 孝文教授)

¹⁾ *Division of Reconstructive Surgery for Oral and Maxillofacial Region, Department of Tissue Regeneration and Reconstruction, Course for Oral Life Science, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Chikara SAITO)

²⁾ *Division of Oral and Maxillofacial Radiology, Department of Tissue Regeneration and Reconstruction, Course for Oral Life Science, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Takafumi HAYASHI)

緒 言

咽頭気道の形態計測の報告は、以前より不正咬合や顔面形態との関連から頭部 X 線規格写真を用いた研究がみられ^{1,2)}、教科書の中にも記載がみられる³⁾。また、閉塞型睡眠時無呼吸症候群（以下、OSAS）の患者と対照群との比較や、外科的手術前後の比較、あるいは、睡眠時と覚醒時における咽頭気道の形態差を研究したものがあり⁴⁻¹⁵⁾、OSAS と顎顔面形態との関連について述べた報告もみうけられる¹⁶⁻¹⁸⁾。近年では、顎変形症患者の治療に伴う合併症として顎矯正手術後の OSAS の可能性が指摘され、顎変形症患者の咽頭気道の形態計測に関する研究が多数報告されてきている¹⁹⁻³⁴⁾。日本口腔外科学会の顎変形症診療ガイドライン（口腔外科疾患診療ガイドライン）³⁵⁾では、「術前より睡眠呼吸障害が疑われる場合には、術後に上気道径が狭くならないよう術前設計において配慮する。」ことを推奨している。したがって、外科的矯正治療前の画像検査において、顎顔面形態と咽頭気道の容積や形態との関連を把握することは重要と考えられる。

本研究では、咽頭気道の大きさ・形態の計測法を提案し、加えて顎顔面形態と咽頭気道形態の関連性について考察することを目的とした。咽頭気道の形態に寄与する周囲の軟組織に着目し、特徴的な部位を計測対象部位に設定し、CT データを用いて咽頭気道の容積、断面積、前後・左右径を計測し、咽頭気道の形態の評価におけるパラメータについて検討した。また、側面頭部 X 線規格写真による顎顔面形態計測（以下、側面セファロ計測）を加えて、顎顔面形態と咽頭気道形態との関連性を考察した。

対象・方法

1. 対象

顎変形に伴う咬合異常を主訴に本学医歯学総合病院歯科を受診し、外科的矯正治療の適応にて 2006 年 1 月から 2008 年 12 月までの間に術前の CT 検査が施行され、かつ、これとはほぼ同時期に側面頭部 X 線規格写真を撮影した顎変形症患者 79 例を対象とした。先天性疾患による顎顔面の形成不全や、腫瘍や嚢胞病変の切除後あるいは外傷後などは対象から除外し、比較的均質なデータが収集できるよう、撮影時の年齢が 15 歳から 20 歳までの症例に限定した。平均年齢は 17.0 歳であった。性別は男性 23 名、女性 56 名であった。

2. 方法

1) CT データ取得

顔面部の CT の撮像には、Xvigor Real（東芝メディカル社製）を使用し、眼窩上縁からオトガイ下までをフランクフルト平面に平行に撮影した。顎関節部の 40mm の範囲は X 線ビーム幅 1 mm・管球 1 回転あたりのテーブル

移動速度 1.5mm のシングルヘリカルスキャンで、その他の範囲は X 線ビーム幅 2 mm、管球 1 回転あたりのテーブル移動速度 3 mm のシングルヘリカルスキャンで撮影した。FOV（Field of view）は 240×240mm、マトリクスは 512×512 であり、X 線管球の管電圧は 120kV、管電流は 100mA とした。得られたヘリカル CT データから軟組織および硬組織の評価に適した再構成関数にて、1 mm 間隔で画像再構成を行った。これらの再構成画像を DICOM（Digital Imaging and Communications in Medicine）形式に変換し保存した。CT 撮影は仰臥位で行い、撮影断面がフランクフルト平面と平行になるように慎重に頭部の位置設定を行った。可及的に閉口し、咬合した状態で、嚥下などをしないように指示し撮影した。なお、撮影の間の息止めは指示しなかった。

2) CT データによる形態計測

咽頭気道の形態計測範囲は、咽頭鼻部上縁から口部下縁までとした。すなわち鼻咽頭上縁から喉頭蓋基部までの範囲で計測を行った。咽頭気道の形態は周囲の軟組織により影響を受けていることを前提として、以下の計測項目と部位を設定した。計測には保存された DICOM データをパーソナルコンピュータに取り込み、フリーの三次元画像処理ソフトウェアである、INTAGE Realia, OsiriX ver. 3.5.1, Image J 1.42q を用いて行った。

(1) 容積：頭尾方向では鼻咽頭上縁から喉頭蓋基部まで、前後方向は後鼻孔、軟口蓋・舌後縁から咽頭後壁まで、左右方向は左側壁から右側壁までの範囲の咽頭気道を抽出し（Fig. 1）、容積（Volume, VOL）を自動計測した。体軸方向での範囲の下端は喉頭蓋基部におけるフランクフルト平面に平行な軸位断面であり、前方端は後鼻孔におけるフランクフルト平面に垂直な冠状断面である。自動計測における画像ノイズの影響を考慮し、軟組織の観察に適した関数で再構成された画像データにより、咽頭気道内の空気の CT 値を -1,000 から -200 ハンスフィールドユニット（HU）と定義して行った。

(2) 平均断面積：容積への身長の影響を除く目的で、平均断面積を算出した。容積計測の範囲、すなわち頭尾方向における鼻咽頭上縁から喉頭蓋基部までの距離を、フランクフルト平面に垂直に計測し、咽頭気道の上下径とした。(1) で自動計測された容積をこの上下径で除して咽頭気道の平均断面積（Average of cross-sectional area, ACSA）を算出した。

(3) 断面積：鼻腔部（耳管咽頭口レベル）、口蓋部（口蓋突起下縁レベル）、口腔部（口蓋扁桃レベル）、口峡部（舌根レベル）の 4 レベルに計測のための断面を設定した。いずれもフランクフルト平面に平行な軸位断像とし、鼻腔部は耳管咽頭口が観察される断面（N）、口蓋部は後鼻棘を含む断面（P）、口腔部は口蓋扁桃が最も咽頭腔内へ膨隆

Fig. 1 Air volume measurement of upper airway

Left: lateral airway image using volume rendering technique. The black rectangle indicated measurement range. Middle: lateral view, right: frontal view of extracted airway. Dotted lines demonstrate four measurement levels. N: Nasal section, P: Palatal section, O: Oropharyngeal section, T: Tongue base section

している断面 (O), 口峽部は舌根後縁が最も咽頭腔内に突出した断面 (T) とした (Fig. 2)。個々の症例におけるこれら 4 レベルの決定には, ソフトウェア画面上で同時に表示される 3 断面の MPR (Multi-planar reconstruction) 画像を用いた。決定された 4 レベルの軸位断面について, 辺縁が明確に描出されるように硬組織の観察に適した関数で再構成された画像データを用いて, これらをソフトウェア上で 2 値化し, 咽頭気道の気体領域の断面積 (N-area, P-area, O-area, T-area) を自動計測した (Fig. 3)。

(4) 距離: 前述の 4 レベルの断面画像において, それぞれ前後径と左右径を設定し計測した (Fig. 4)。前後径については, 鼻腔部前後径 (N-ap), 口蓋部前後径 (P-ap), 口腔部前後径 (O-ap), 口峽部前後径 (T-ap) の 4 部位であり, その計測においては, いずれの断面においても後方端は後壁とした。後壁が咽頭腔内に突形態を示す場合はその最突出部とし, 後方へ陥凹する形態であればその最陥凹部とした。前方端は, 鼻腔部では下鼻甲介後縁, 口蓋部および口腔部では軟口蓋後縁, 口峽部では舌根後縁とした。後方端・前方端において正中矢状線に対して垂直な接線を引き, 接線と正中矢状線との前後の交点間距離を前後径とした。左右径については, 鼻腔部左右径 (N-lr), 口蓋部左右径 (P-lr), 口腔部左右径 (O-lr), 口峽部左右径 (T-lr) の 4 部位であり, その計測においては, 鼻腔部では左右の耳管咽頭口開口部を結ぶ距離, 口蓋部および口腔部では左右の口蓋扁桃の最膨隆部間の距離, 口峽部では咽頭側壁の最陥凹部間の距離とした。

3) 顎顔面形態の評価

(1) 側面セファロ計測

CT 撮影とほぼ同時期に撮影された側面頭部 X 線規格写真を用いた。撮影は座位にて行い, フランクフルト平面を床と平行に固定した。舌位は安静位, 下顎位は習慣性咬合位に設定し撮影した。

検査者間の誤差をなくするため, 側面頭部 X 線規格写真のトレース, 計測点の決定は同一の検査者が行った。側面セファロ計測には計測用ソフトウェア CephaloMetrics A to Z ver. 10.0 を用いた。顎顔面部に関する計測点は, S, N, Or, Po, Ar, ANS, A, B, Me, Go, U1, L1 に設定した。顎顔面の形態に関する計測項目には, SNA, SNB, ANB, FMA, IMPA, FMIA, 上顎中切歯歯軸傾斜角 (U1 to FH plane; 以下, U1-FH), 下顎角 (Gonial angle; 以下, Go), 下顎枝傾斜角 (Ramus inclination; 以下, RI), 上下中切歯歯軸傾斜角 (Interincisal angle; 以下, II.) の 10 の角度を用いた (Fig. 5)。

(2) 顎顔面形態による対象の分類

上下顎骨の前後的位置の評価には, 側面セファロ分析から顔面角 (Facial angle), A-B 平面角 (A-B plane angle) ならびに口蓋平面角 (Palatal plane angle) の合計である APDI (anteroposterior dysplasia indicator) を算出し, 従来の報告^{36, 37)}を参考として APDI > 85 の Class III (APDI 平均値 $\pm$ SD: 98.7 ± 6.9) と APDI < 81 の Class II (APDI 平均値 $\pm$ SD: 73.9 ± 4.6) の 2 群に分類した。

4) 統計学的解析

以下の項目について統計学的に検討した。有意水準は全

Fig. 2 Axial sections for measurement of areas and distances

Four sections were set up for measurements;

A: Nasal section (N), B: Palatal section (P), C: Oropharyngeal section (O), D: Tongue base section (T)

EO: Eustachian Orifice, PNS: Posterior Nasal Spine, PT: Palatine Tonsil, PLR: Posterior margine of Lingual Radix

Fig. 3 Cross sectional area measurements

Using the binary images (right), air density area of pharyngeal space was extracted and measured for every axial section. Left: the ordinal axial bone image.

での解析において5%とした。

(1) 咽頭気道の形態評価について

対象とした79例のACSAと4軸位断面における咽頭気道の面積との有意差を求め、咽頭気道の形態の特徴についてWilcoxon signed-rank testを用いて検討した。また、

ACSAおよび4軸位断面における咽頭気道の面積、前後径および左右径の合計13項目の変数について計測値を標準化し、ACSAとその他12項目との相関を調べた。相関マトリクス表から相関係数の大きな変数を選び独立変数(説明変数)として用い、ACSAを従属変数として重回帰

Fig. 4 Linear measurements
Antero-posterior (left) and lateral (right) distances of pharyngeal space were measured in the four axial sections respectively.

Fig. 5 Reference points and planes for cephalometric measurements
①: SNA, ②: SNB, ③: ANB, ④: FMIA, ⑤: FMA, ⑥: IMPA, ⑦: U1 to FH plane, ⑧: Gonial angle, ⑨: Ramus inclination, ⑩: Interincisal angle

解析を行い、咽頭気道の大きさの変化予測に最も有用な計測部位を調べた。

(2) 顎顔面形態と咽頭気道形態との関連について

a) ACSA, および 4 軸位断像における咽頭気道の面積、前後径および左右径について、Class II と Class III の 2 群間での有意差の有無を Mann-Whitney U-Test を用いて検討した。

b) 咽頭気道形態と側面セファロ分析における顎顔面形態との関連については、相関マトリクス表を作成して検討した。

結 果

1. 咽頭気道の形態評価について

79 例の VOL の平均は $15.71 \pm 5.36 \text{ cm}^3$, ACSA の平均は $2.23 \pm 0.74 \text{ cm}^2$ であった。ACSA より面積の大きい部位は P-area と T-area, 小さい部位は N-area と O-area であった。ACSA と比較して P-area は有意に大きく, O-area は有意に小さかった (Table 1)。ACSA, 4 レベルの軸位断像における咽頭気道の面積, 前後・左右径 13 項目の計測値間の相関を調べたところ, O-area が ACSA と強い相関を持ち, N-area, P-area, P-lr および O-ap も ACSA との間に

Table 1 Averages and standard deviations of volumes, cross-sectional areas and linear measurement

	Total (n = 79)	Class II (n = 12)	Class III (n = 67)	p-value
VOL (cm ³)	15.71 ± 5.36	14.55 ± 3.35	15.92 ± 5.64	0.4443
ACSA (cm ²)	2.23 ± 0.74	2.17 ± 0.50	2.24 ± 0.77	> 0.9999
N-area (cm ²)	2.06 ± 0.95	1.93 ± 0.85	2.08 ± 0.98	0.6133
N-ap (cm)	1.15 ± 0.49	1.11 ± 0.44	1.16 ± 0.51	0.6181
N-lr (cm)	2.04 ± 0.32	2.02 ± 0.29	2.04 ± 0.33	0.8323
P-area (cm ²)	3.11 ± 0.99*	2.48 ± 0.79	3.22 ± 0.98*	0.0134
P-ap (cm)	1.48 ± 0.34	1.25 ± 0.41	1.52 ± 0.32	0.0159
P-lr (cm)	2.06 ± 0.38	1.90 ± 0.32	2.08 ± 0.38	0.0929
O-area (cm ²)	2.06 ± 0.88*	1.91 ± 0.67	2.09 ± 0.91	0.4649
O-ap (cm)	1.06 ± 0.31	0.96 ± 0.19	1.08 ± 0.33	0.1852
O-lr (cm)	1.52 ± 0.50	1.57 ± 0.45	1.50 ± 0.52	0.7900
T-area (cm ²)	2.35 ± 0.99	2.10 ± 0.82	2.40 ± 1.02	0.7638
T-ap (cm)	1.05 ± 0.38	0.97 ± 0.32	1.07 ± 0.39	0.7637
T-lr (cm)	2.21 ± 0.59	2.08 ± 0.61	2.24 ± 0.59	0.3253

VOL: volume, ACSA: average of cross-sectional area, calculated with volume and vertical length of upper air way. Data with asterisks showed significant difference to ACSA. P-value indicates statistical difference between Class II and Class III groups.

Table 2 Correlation between ACSA and morphometric measurements (areas and distances in the four axial sections)

	ACSA	p-value
N-area	0.604	< 0.0001
N-ap	0.456	< 0.0001
N-lr	0.384	0.0004
P-area	0.555	< 0.0001
P-ap	0.399	0.0002
P-lr	0.566	< 0.0001
O-area	0.855	< 0.0001
O-ap	0.567	< 0.0001
O-lr	0.488	< 0.0001
T-area	-0.115	0.3148
T-ap	-0.098	0.3908
T-lr	-0.156	0.1700

n = 79

O-area indicated the highest correlation coefficient to ACSA.

Table 3 The Regression analysis with ACSA regarded as dependent variable, O-area, P-area, and N-area as independent variables

	Standard Coefficient	t-value	p-value
O-area	0.635	10.291	< 0.0001
P-lr	0.279	4.282	< 0.0001
N-area	0.220	4.005	0.0001
O-ap	0.068	1.182	0.2411
P-area	-0.012	-0.171	0.8646

n = 79

O-area was revealed to be the most useful to estimate the change of ACSA.

比較的強い相関を示した (Table 2)。また, ACSA を従属変数とした重回帰解析の結果, ACSA に最も強い関連を持ち, ACSA の変化予測に最も有用な計測部位は O-area であった (Table 3)。

2. 顎顔面形態と咽頭気道形態との関連について

1) 咽頭気道の計測値の 2 群間比較

79 名の Class II および Class III における ACSA の平均はそれぞれ $2.17 \pm 0.50 \text{ cm}^2$, $2.24 \pm 0.77 \text{ cm}^2$ であり, 2 群

間の有意差検定では, Class II と Class III の間に有意差は認められなかった ($p > 0.999$) (Table 1)。一方, 4 レベルの軸位断面での面積と前後・左右径の 2 群間の有意差検定では, P-area ($p = 0.0134$) と P-ap ($p = 0.0159$) で有意差が認められ, いずれも Class III に比べて Class II で有意に小さかった (Table 1)。また, 群ごとの ACSA と 4 レベルの軸位断面での面積との比較では, Class III 群で P-area が ACSA より有意に大きいのに対し, Class II 群では ACSA と P-area との間に有意な差は認められなかった (Table 1)。

2) 顎顔面形態に関する側面セファロ計測項目と咽頭気道形態との関連

側面セファロ計測の 10 か所の角度計測値と ACSA, 4 レベルの咽頭気道の面積および前後・左右径の計測値との相関マトリックスにおいて, 側面セファロ計測値との間に

Table 4 Correlation matrix table among cephalometric measurements, ACSA, and morphometric measurements

	SNA	SNB	ANB	FMA	IMPA	FMIA	U1-FH	Go	RI	I-I
ACSA	-0.036	0.051	-0.086	0.047	-0.099	0.047	-0.115	0.201	-0.158	0.103
N-area	-0.089	0.039	-0.117	0.011	-0.124	0.099	-0.221	0.138	-0.140	0.204
N-ap	-0.044	0.077	-0.122	-0.083	-0.034	0.077	-0.124	0.037	-0.118	0.132
N-lr	-0.205	-0.110	-0.053	0.113	-0.113	0.032	-0.145	0.133	-0.040	0.108
P-area	-0.149	0.199	-0.344*	-0.009	-0.371*	0.322*	-0.085	0.266*	-0.298*	0.308*
P-ap	-0.053	0.293*	-0.364*	-0.047	-0.251*	0.241*	0.011	0.211	-0.274*	0.188
P-lr	-0.245*	0.037	-0.248*	0.095	-0.366*	0.258*	-0.206	0.267*	-0.203	0.324
O-area	0.036	0.123	-0.103	-0.037	-0.056	0.069	-0.103	0.148	-0.196	0.113
O-ap	0.177	0.236*	-0.108	0.020	0.017	-0.026	0.026	0.348*	-0.362*	-0.035
O-lr	-0.172	-0.071	-0.068	-0.048	-0.053	0.072	-0.182	-0.048	0.007	0.161
T-area	0.091	0.150	-0.087	-0.079	-0.049	0.087	0.120	-0.025	-0.046	0.002
T-ap	0.117	0.084	0.008	0.004	-0.021	0.015	0.044	0.054	-0.055	-0.012
T-lr	0.112	0.187	-0.109	-0.097	-0.025	0.077	0.062	0.007	-0.098	0.027

* : $p < 0.05$

P-area, P-ap, P-lr, and O-ap indicated significant correlation with some of cephalometric measurements.

有意な相関がみられた咽頭気道形態の計測値は、P-area, P-ap, P-lr, および O-ap であった (Table 4)。

考 察

1. CT データを用いた咽頭気道形態の計測方法について
OSAS の咽頭気道に関する報告では、主としてコーンビーム CT (以下、CBCT) を含めた CT 画像のような三次元データを用いた計測が多くみられる^{4-11, 15)}が、顎変形症症例では頭部 X 線規格写真を用いたものが比較的多い²³⁻³⁴⁾。

顎変形症症例の咽頭気道形態の評価に CT 画像データを用いた報告では、Alves ら²⁰⁾は、咽頭気道を鼻腔・口蓋後方部・舌後方部に 3 分割し、Class II と Class III について容積、面積の比較検討を行っている。容積計測のための閾値の設定方法は明示されておらず単純には比較できないが、対象の平均年齢は本研究とほぼ同じで、鼻腔を除く気道容積の計測結果も本研究のそれと近似していた。

一方、OSAS 患者の咽頭気道の形態に関する報告では、Lan⁶⁾は、覚醒時と睡眠時の形態差について健常者を対照として比較した。彼は、第 1 頸椎の下縁から舌骨上縁までの範囲の咽頭気道を計測対象としている。したがって範囲の下端はわれわれの方法とほぼ同じレベルになるが、鼻腔部は計測対象に含まれない。計測対象範囲を上・中・下に 3 分割し、それぞれの容積と任意軸位断面の面積を計測しており、方法論としては本研究に類似している。対照群の平均年齢も OSAS 群と同様に、本研究のそれとは大きく異なるが、対照群の覚醒時の平均容積は 12.93cm^3 であったとし、本研究の結果である 15.71cm^3 から鼻腔部の容積を減じた数値に近いことが考えられる。

CT 画像データに基づいて計測を行う場合、咽頭気道の

容積は気道内の気体に設定した閾値が問題となる。空気の CT 値は約 $-1,000\text{HU}$ であるが、閾値の幅を変えることにより、容積は大きく影響を受ける。Lan⁶⁾は、脂肪濃度の影響を除くために $-1,024\text{HU}$ から -200HU に設定している。本研究でも、閾値を決定するにあたり、既知の容積を持つシリンジを同一の条件で撮影し計測を行った事前検討の結果に基づき、 $-1,000\text{HU}$ から -200HU までとして設定した。

2. 咽頭気道の形態、大きさの変化予測について

咽頭気道の容積は顎変形症の術後における OSAS のリスクに関係する可能性があると考えられるものの、その解析には多数例のデータ集積が必要である。しかしながら、容積計測を日常診療として行い、多施設間で比較検討することは現実的ではない。本研究では、顎顔面形態の違いによる咽頭気道の大きさの比較に容積を直接用いず、容積を咽頭気道の長さで除した平均断面積を用いた。しかし一方で、平均断面積は咽頭気道を円筒状とした場合であり、咽頭気道の特徴的形態の評価には不適切である。われわれは咽頭気道の形態に関与しそうな軟組織に着目し、4 レベルを特徴的な部位として計測対象部位に設定した。より容易に計測しやすい指標として、特徴的なレベルにおける面積あるいは距離を明らかにすることは、簡便な予測に役立つものと考えられる。われわれの手法と同様に、口蓋垂レベルにおける咽頭気道の形態を計測に用いている研究^{4-7, 15, 21, 25, 28-32)}や、口蓋レベル、舌根レベルあるいは喉頭蓋レベルに注目している文献^{6-9, 15-17, 19-32, 34)}は多数みられ、周囲の軟組織、特に前面に位置する軟組織が咽頭気道の形態に強く関与していることに着目しているものと思われる。われわれが設定した前述の 4 レベルの断面の設定は、日常の画像診断臨床の経験から得られた、いずれも軟

組織に特徴的な構造があることにより断面画像として再現性を得られやすい部位を選択している。この選択においては、1名の歯科放射線科専門医が同一対象において複数回行っているが、その際に軸位断・冠状断・矢状断の3断面のMPR画像の同時表示により参照する方法を採っている^{38,39)}。3断面を同時表示することにより、後鼻棘や口蓋扁桃の最膨隆部、舌根後縁の最突出部の決定を客観的に確実に行うことができるため、計測値に繰り返しの計測において有意な差は生じておらず、検査者内での再現性は確保されているといえる。ただし、検査者間での再現性については今後の課題である。また、今回設定した4レベルそれぞれが咽頭気道形態に独立的に影響を与えているかは不明である。上下的な位置関係で近接したレベルがあり、臨床においていずれのパラメーターがより有効であるかについての検討は今後の課題となる。

4レベルにおける計測値と、大きさの指標としての平均断面積との関連では、平均断面積に比べて口蓋突起レベルでの面積が有意に大きく、口蓋扁桃レベルでの面積が有意に小さい結果が得られた。また、回帰分析の結果、咽頭気道の大きさの変化予測に最も有用な計測部位は口蓋扁桃レベルであった。口蓋扁桃レベルは咽頭腔前面に口蓋垂がみられるレベルであり、同部の咽頭気道の大きさや形態が、口蓋扁桃や口蓋垂（軟口蓋）の形態の影響を強く受けていることが示唆された。Bhattacharyyaら⁴⁾は、OSASの患者では呼吸時に最も断面積が小さくなるレベルは口蓋垂レベルであったと報告した。Liら⁵⁾は、respiratory distress index (RDI) と口蓋垂レベルの面積・左右径との間に有意な相関がみられたとしている。また、Ogawaら⁸⁾は、OSASでは最も咽頭気道が狭小であるのは咬合平面より下方のレベルであり、OSASとOSASでない対象とを比較して、狭小である部位、面積、前後径に有意差があると述べている。Moriwakiら¹²⁾も、OSAS患者における主な閉塞部位はvelopharynxであったと述べている。われわれの結果からも、口蓋扁桃レベルは咽頭気道の狭小な部位であり、このレベルに着目することが臨床的に有効であると思われる。

3. 顎顔面形態の違いによる咽頭気道の大きさと形態の差について

今回の検討では、側面セファロ計測から、対象79名をClass IIとClass IIIの2群に大きく分け、CTデータを用いて計測・算出した咽頭気道の平均断面積、4レベルでの面積と前後・左右径を2群間で比較した。いくつかの文献で、われわれと同様に顎態と咽頭気道形態との関連が述べられている。われわれの今回の結果では、咽頭気道の平均断面積に関してはClass II、Class IIIの2群間に有意な差はみられず、咽頭気道の大きさは顎顔面形態とは関連しないことが示唆された。すなわち、呼吸のための基本的な大

きさはいずれの顎形態であっても担保されていると考えられる。一方、口蓋突起レベルの咽頭気道面積および前後径において統計学的有意差が認められ、両方の計測値がClass IIに比べてClass IIIでより大きかった。左右径には有意差がみられないことから、このレベルにおける咽頭腔は、Class IIIと比べてClass IIではより前後に扁平な形態であると考えられる。咽頭気道は、前述のように外側面と後面は固有の壁で制限されているため、鼻腔や口腔、喉頭腔に面する前方の軟組織、すなわち口蓋突起レベルでは軟口蓋の大きさや形状が大きく関与しClass IIではより後方へ張り出している可能性が推測される。これが口蓋突起の前後径や軟口蓋の形状によるのか、あるいは口腔内容積や舌の大きさ、舌背の位置による二次的な結果なのかについては本研究では明らかにできなかった。

Class IIとClass IIIとの2群間比較に加えて、セファロ計測項目と咽頭気道形態計測項目との関連から顎顔面形態との関連について考察した。口蓋突起レベルでの咽頭気道形態は、ANBやIMPA、RIとは負の相関を示し、GoやIIとの間には正の相関が認められた。ANBやRIは上顎前突で、GoやIIは下顎前突、反対咬合や開咬合で大きい傾向にあり、したがって口蓋突起レベルの咽頭気道の面積や前後・左右径は、上顎前突では小さく下顎前突で大きいことが予測された。

顎変形症の治療に伴う主な偶発症や合併症として、出血や知覚異常、後戻り、顎関節症などとともにOSASが挙げられており、これらに対するより安全で確実な対策が提唱されている³⁵⁾。致命的な偶発症は多くはないが、合併症に対する長期の治療を要する場合もある。Achilleosら²⁵⁾やKawakamiら²⁶⁾は、顎矯正手術後の咽頭気道の形態変化について長期的なフォローアップの必要性を述べている。今回の結果では、咽頭気道の大きさや形態の変化に注目すべき部位は口腔部であり、Class IIとClass IIIとに有意差がみられたレベルは口蓋部であった。これらの部位に共通して存在する軟組織には軟口蓋と扁桃が挙げられ、これらの軟組織の形態とともに、顎矯正術後の顎骨移動に伴う舌や筋の位置の変化にも今後は注意を向けていく必要があると思われる。当然、外科的矯正治療においては、合併症についての十分な説明がなされ、患者主体の治療が選択されるべきであり、そのためには、画像による客観的な情報の取得が必須である。顎矯正手術とOSASの関連の有無を明らかにし、より安全性の高い治療を提供するためには、画像による評価・診断方法の確立と、術後の長期的な画像フォローアップが、今後さらに重要性を増していくと予想される。

結 語

15歳から20歳までの顎変形症患者79名のヘリカルCT

画像データを用いて、咽頭気道の三次元的な形態計測法を提案した。CT 画像データは、咽頭気道の容積や断面積、前後・左右径を正確に計測する上で非常に有効であった。本研究の結果、口腔レベルの咽頭腔の断面積の変化が、咽頭気道の容積に大きく影響することが明らかとなった。また、顎顔面形態と咽頭気道形態との関連性も示唆された。

文 献

- 1) Mergen, D.C., et al.: The size of nasopharynx associated with normal occlusion and Class II malocclusion, *Angle Orthod*, 40 : 342-346, 1970.
- 2) Ceylan, I., et al.: A study on the pharyngeal size in different skeletal patterns, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 108 : 69-75, 1995.
- 3) Preston, P.: The upper airway and craniofacial morphology, In *orthodontics. Current principals & techniques* (Graber, T.M., et al ed.) Elsevier Mosby, St. Louis, 2005, p117-143.
- 4) Bhattacharyya, N., et al.: Assessment of the airway in obstructive sleep apnea syndrome with 3-dimensional airway computed tomography, *Otolaryngol Head Neck Surg*, 123 : 444-449, 2000.
- 5) Li, H.Y., et al.: Use of 3-dimensional computed tomography scan to evaluate upper airway patency for patients undergoing sleep-disordered breathing surgery, *Otolaryngol Head Neck Surg*, 129 : 336-342, 2003.
- 6) Lan, Z.: Evaluation of pharyngeal volume and compliance of OSASHS patients using 3D CT and volume measurement, *J Kanazawa Med Univ*, 29 : 243-251, 2004.
- 7) Yucel, A., et al.: Evaluation of the upper airway cross-sectional area changes in different degrees of severity of obstructive sleep apnea syndrome: Cephalometric and dynamic CT study, *Am J Neuro-radiol*, 26 : 2624-2629, 2005.
- 8) Ogawa, T., et al.: Evaluation of cross-section airway configuration of obstructive sleep apnea, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Oral Endod*, 103 : 102-107, 2007.
- 9) Fairburn, S.G., et al.: Three-dimensional changes in upper airways of patients with obstructive sleep apnea following maxillomandibular advancement, *J Oral Maxillofac Surg*, 65 : 6-12, 2007.
- 10) Vos, W., et al.: Correlation between severity of sleep apnea and upper airway morphology based on advanced anatomical and functional imaging, *J Biomech*, 40 : 2207-2213, 2007.
- 11) Segal, Y., et al.: Upper airway length may be associated with the severity of obstructive sleep apnea syndrome, *Sleep Breath*, 12 : 311-316, 2008.
- 12) Moriwaki, H., et al.: Clinical significance of upper airway obstruction pattern during apneic episodes on ultrafast dynamic magnetic resonance imaging, *Auris Nasus Larynx*, 36 : 187-191, 2009.
- 13) Armstrong, J.J., et al.: Quantitative Upper Airway Imaging with Anatomic Optical Coherence Tomography, *Am J Respir Crit Care Med*, 173 : 226-233, 2006.
- 14) Mohsenin, V.: Gender differences in the expression of sleep-disordered breathing: role of upper airway dimensions, *Chest*, 120 : 1442-1447, 2001.
- 15) Olszewska, E., et al.: A comparison of cephalometric analysis using radiographs and craniofacial computed tomography in patients with obstructive sleep apnea syndrome: preliminary report, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 266 : 535-542, 2009.
- 16) Ishiguro, K., et al.: Relationship between severity of sleep-disordered breathing and craniofacial morphology in Japanese male patients, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 107 : 343-349, 2009.
- 17) Battagel, J.M., et al.: The cephalometric morphology of patients with obstructive sleep apnoea (OSAS), *Eur J Orthod*, 18 : 557-569, 1996.
- 18) Watanabe, T., et al.: Contribution of body habitus and craniofacial characteristics to segmental closing pressures of the passive pharynx in patients with sleep-disordered breathing, *Am J Respir Crit Care Med*, 165 : 260-265, 2002.
- 19) Degerliyurt, K., et al.: A comparative CT evaluation of pharyngeal airway changes in class III patients receiving bimaxillary surgery or mandibular setback surgery, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Oral Endod*, 105 : 495-502, 2008.
- 20) Alves, P.V.M., et al.: Three-dimensional cephalometric study of upper airway space in skeletal Class II and III healthy patients, *J Craniofac Surg*, 19 : 1497-1507, 2008.
- 21) Iwasaki, T., et al.: Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136 : 318.e1-318.e9, 2009.
- 22) 宮本朝望, 他: 歯・顎顔面用コーンビーム CT 撮影による咽頭部形態評価に関する検討—顎骨形態との関連について—, *日顎変形誌*, 17 : 247-253, 2007.
- 23) Martin, O., et al.: Nasopharyngeal cephalometric study of ideal occlusions, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130 : 436.e1-436.e9, 2006.
- 24) Eggensperger, N., et al.: Long-term changes of hyoid bone position and pharyngeal airway size following mandibular setback by sagittal split ramus osteotomy, *J Cranio-Maxillofac Surg*, 33 : 111-117, 2005.
- 25) Achilleos, S., et al.: Surgical mandibular advancement and changes in uvuloglossopharyngeal morphology and head posture: a short- and long-term cephalometric study in males, *Eur J Orthod*, 22 : 367-381, 2000.
- 26) Kawakami, M., et al.: Changes in tongue and hyoid positions, and posterior airway space following mandibular setback surgery, *J Cranio-Maxillofac Surg*, 33 : 107-110, 2005.
- 27) 東 香奈子, 他: 外科的下顎骨前方移動後における咽頭気道形態の変化について, *日大口腔科学*, 30 : 120-128, 2004.
- 28) 有坂岳大, 他: 顎矯正手術前後における睡眠呼吸障害

- の変化に関する検討—第2報 咽頭気道の変化について—, 日顎変形誌, 17: 16-21, 2003.
- 29) 河野賢二, 他: 骨格性下顎前突症における顎矯正手術前後の咽頭気道の変化—下顎骨後退術と上下顎移動術の比較—, 日顎変形誌, 16: 184-189, 2006.
- 30) 吉田一恵, 他: 骨格性下顎前突症における顎骨移動術前後の咽頭部気道形態および舌骨の変化, 福岡歯科大学学会雑誌, 30: 131-140, 2004.
- 31) Turnbull, N.R., et al.: The effects of orthognathic surgery on pharyngeal airway dimensions and quality of sleep, J Orthodontics, 27: 235-247, 2000.
- 32) Muto, T., et al.: Effect of bilateral sagittal split ramus osteotomy setback on the soft palate and pharyngeal airway space, Int J Oral Maxillofac Surg, 37: 419-423, 2008.
- 33) Lye, K.W.: Effect of orthognathic surgery on the posterior airway space (PAS), Ann Acad Med Singapore, 37: 677-682, 2008.
- 34) Güven, O., et al.: Changes in pharyngeal airway space and hyoid bone positions after body osteotomies and sagittal split ramus osteotomies, J Craniofac surg, 16: 23-30, 2005.
- 35) 齊藤 力, 他: 顎変形症診療ガイドライン. (社)日本口腔外科学会学術委員会診療ガイドライン策定小委員会顎変形症ワーキンググループ (http://jsoms.or.jp/guideline20080804/mg_jd20080804.pdf, 2010 年 1 月 12 日アクセス)
- 36) Kim, Y.H., et al.: Anteroposterior dysplasia indicator: an adjunct to cephalometric differential diagnosis, Am J Orthod, 73: 619-633, 1978.
- 37) Tanaka, E.M., et al.: Longitudinal alteration of the occlusal plane and development of different dento-skeletal frames during growth, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 134: 602.e1-602.e11, 2008.
- 38) 田中 礼, 他: 下顎の非対称性と下顎頭に対する顎関節円板の位置との関係—ヘリカル CT による下顎骨の三次元距離計測と MRI による検討—, 日顎変形誌, 13: 12-20, 2003.
- 39) 田中 礼, 他: 顎顔面骨形態の 3 次元計測法の提案, 日骨形態誌, 17: 7-14, 2007.