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

—下顎骨形態との関連について—

宮 本 朝 望 山 口 徹 太 郎
久 保 田 雅 人 横 宏 太 郎

Cone-beam Computed Tomographic Evaluation of Pharyngeal Morphology: Correlation with Mandibular Morphology

ASAMI MIYAMOTO, TETSUTARO YAMAGUCHI,
MASATO KUBOTA and KOUTARO MAKI

Abstract

A detailed functional and morphological evaluation of the pharynx, especially its relationship with the mandible, is essential for the surgical orthodontic treatment and diagnosis of sleep apnea syndrome. The present study assessed the correlation between pharyngeal and mandibular morphology in 45 adult Japanese women (average age, 27.9 years). Nine measurements in the pharynx, hyoid bone, and epiglottis were analyzed by cone-beam computed tomography (CBCT), and six parameters of mandibular morphology were analyzed using lateral cephalograms. A positive correlation was found between pharyngeal space volume and gonial angle, and

between pharyngeal vertical length and the mandibular plane. In addition, the results suggested that both antero-posterior position of the hyoid bone and epiglottis width are related to mandibular size. This study suggested that CBCT is a useful tool for three-dimensional evaluation of the pharynx. The results provide clinically valuable information for the diagnosis and treatment of surgical orthodontics, and enhance our understanding of sleep apnea syndrome.

Key words: Pharyngeal morphology (咽頭部形態), mandible (下顎), cone-beam computed tomography (コーンビーム CT)

[Received Jul. 30, 2007]

緒 言

咽頭扁桃、口蓋扁桃および舌を含む咽頭部構造は、下顎の成長および発達に影響を及ぼす¹⁾。咽頭軟組織に病変のあるものは、しばしば下顎の形態あるいは成長に異常を来す。Ricketts は扁桃肥大が気道に影響を与えて口呼吸が惹起され、下顎骨の成長方向、形態に影響を及ぼすとしている²⁾。Linder-Aronson は鼻呼吸の障害が頭蓋顔面形態と咽頭部形態の双方に影響を及ぼすとしている³⁾。また、舌骨上筋群の機能が顎顔面成長発育に影響を及ぼすことも知ら

れている^{4,5)}。黒田らは、この筋群が付着する舌骨の位置と下顎骨の形態の間には密接な関連があるとしている⁶⁾。

古くから咽頭部形態を詳細に観察することは、口腔外科学、歯科矯正学、放射線学、睡眠学および小児歯科学などの分野において重要であったにも関わらず、そのほとんどの報告は側面頭部 X 線規格写真によりなされている。一方、Computed Tomography (以下、CT) は、正確に立体画像を作成できる。しかし、従来の CT は被爆線量が多く、歯科領域での適応は限られていた。最近開発された歯・顎顔面用コーンビーム X 線装置 (以下、CBCT) は

撮影時間の短縮, 等方向データにより高い解像度が得られる点で有用性が高い^{7, 8)}。

そこで本研究は, 咽頭部の三次元画像診断における CBCT の有用性, ならびに下顎骨との形態的関連性を明らかにすることを目的とした。

方 法

1. 被験者

昭和大学歯科病院矯正歯科に来院した日本人成人女性 45 名 (平均年齢 27.9 歳) の初診時に撮影された側面頭部 X 線規格写真ならびに CBCT 画像を用いた。

耳鼻疾患の既往, 手術歴のあるもの, 咽頭扁桃, 口蓋扁桃の病的肥大が認められるものは本研究被験者から除外した。また, 全身性疾患や唇顎口蓋裂などの先天性疾患を有するものも本研究被験者から除外した。CBCT の Multi Planar Reconstruction (以下, MPR) 画像の軸位画像において, 前鼻棘とオトガイ棘の最先端部との差が 5.0mm 以上のものは左右非対称と判断し, 被験者から除外した。本研究被験者らは上記を満たす埋伏歯・過剰歯の三次元的な位置関係の把握⁹⁾, 歯根形態の把握¹⁰⁾, 動的矯正治療のための歯槽骨形態精査¹¹⁾などの目的で撮影された CBCT 画像を解析した。本研究目的のみによって CBCT が撮影された被験者はいない。

本研究被験者らの上下顎前後的位置角: ANB ($^{\circ}$) は $3.1 \pm 3.3^{\circ}$ であった。overbite は $1.6 \pm 2.8\text{mm}$ であった。また, 臼歯関係は Angle class I が 8 名, Class II が 16 名, Class III が 21 名であった。

本研究は昭和大学歯学部医の倫理委員会の承認を得て行った。

2. CBCT 撮影・画像処理条件

本学歯科病院放射線科設置の歯・顎顔面用コームビーム X 線 CT 装置 CB MercuRay (株式会社 日立メディコテクノロジー, 東京) により, 咽頭部形態を計測した。撮影は管電圧 120kVp, 感電流 15mA, 512slices/scan, 撮影時間 9.6 秒の条件にて行った。F-mode は, 撮影領域が直径 12inch, ボクセルサイズが 0.376mm である。撮影された画像は DICOM3 形式に変換した後, パーソナルコンピュータ Inspiron (Dell Inc, USA) に取り込んだ。MPR 画像の構築および計測には, 画像処理ソフトウェア CB works2.0 (株式会社 日立メディコテクノロジー, 東京) を用いた。撮影体位は, 被験者が CBCT 撮影装置に着座し, 正面および側面からガイドラインを照射して顔面正中が床と垂直に, 眼耳平面を可及的に水平に保ち, 中心咬合位を指示し, 呼吸状態で静止下にて撮影した。計測は同一計測者が 3 回繰り返す, その平均値を計測値とした。

3. 咽頭部形態計測

咽頭腔について咽頭腔体積 (PSV), 咽頭腔距離 (PVL), 咽頭腔前後幅径 (PSL), 咽頭腔左右幅径 (PCL) の 4 項目, 喉頭蓋について喉頭蓋長径 (EL), 喉頭蓋幅径 (EW) の 2 項目, 舌骨についてオトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH), 舌骨体部最前方点から咽頭食道接合部までの距離 (dHU), オトガイ棘から咽頭食道接合部までの距離 (dUG) の 3 項目の測定を行った。

1) 咽頭腔体積 Pharyngeal space volume (PSV) (Fig. 1-1)

PSV の計測は CB works2.0 の Shaded Surface Density モデリングを作成するために Quick 3D 機能と Segmentation on Demand の編集機能を使用して行った。はじめに

Fig. 1-1 Pharyngeal space volume (PSV) (mm^3): Volume of between the palatal plane and the straight line from the deepest point of the epiglottic vallecula and parallel to the Frankfort plane.

CBCT の Maximum Intensity Projection 画像を表示し、咽頭腔を一番明瞭に描出できる閾値を選択した。咽頭腔抽出の境界線は、咽頭腔上方は後鼻棘を通り眼耳平面に平行な直線まで、下方は咽頭食道接合部とした。前方部は軟口蓋および舌後面とし、後方部は咽頭後壁とした。Edit 処理という機能を使用し三次元 surface 画像から対象領域を判定、編集した。以上の手順を経て Fig. 1-1 を例とする三次元 surface 画像を構築し咽頭腔体積を算出した。

2) 咽頭腔距離 Pharyngeal volume length (PVL) (Fig. 1-2)

PSV を計測した MPR 画像を表示し、PSV の長径と同様に、上方は後鼻棘を通り眼耳平面に平行な直線から、咽頭食道接合部を通り眼耳平面に垂直な直線距離を計測した。

3) 咽頭腔前後幅径 Pharyngeal saggital length (PSL) (Fig. 1-3)

PSV の計測を行った MPR 画像の矢状面画像を表示し、表示した画像上で喉頭蓋谷を通る眼耳平面に平行な線を作成した。その平行線上の喉頭蓋谷から咽頭後壁までの直線距離を計測した。

4) 咽頭腔左右幅径 Pharyngeal coronal length (PCL) (Fig. 1-4)

PSL の計測を行った MPR 画像の軸面画像を表示し、表示した画像上の咽頭腔の両側壁間直線距離を計測した。

5) 喉頭蓋長径 Epiglottis length (EL) (Fig. 1-5)

PVL の計測を行った MPR 画像の矢状面画像を表示し、表示した画像上の喉頭蓋谷から喉頭蓋先端までの曲線距離を計測した。

6) 喉頭蓋幅径 Epiglottis width (EW) (Fig. 1-6)

咽頭腔距離の計測を行った MPR 画像の軸面画像を表示し、表示した画像から左右の喉頭蓋谷が確認できる位置まで画面を移動し、その位置での喉頭蓋後面の曲線距離を計測した。

7) 舌骨周囲 (dGH, dHU, dUG) (Fig. 1-7)

PSV の計測を行った MPR 画像の矢状面画像を表示し、表示した画像上のオトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH)、舌骨体部最前方点から咽頭食道接合部での距離 (dHU)、オトガイ棘から咽頭食道接合部での距離 (dUG) を計測した。

4. 側面頭部 X 線規格写真撮影・画像処理条件

下顎骨形態計測は通法に従い、中心咬合位の側面頭部 X 線規格写真の透写図を同一術者により作成、計測した。透写図からの計測は Power Cephalo (リアザネット社、東京) を使用した。計測は同一計測者が 3 回繰り返す、その平均値を計測値とした。

5. 下顎骨に関する計測方法

下顎骨を評価するための角度分析 3 項目、距離分析 3 項目

Fig. 1-2 Pharyngeal vertical length (PVL) (mm): A straight line was drawn from the line passing through the PNS on the image, parallel to the Frankfort plane, and the bottom of the aditus larynges, perpendicular to the Frankfort plane. The length of the line was measured on the sagittal MPR image using the CB MercuRay system.

Fig. 1-3 Pharyngeal sagittal length (PSL) (mm): The MPR sagittal image used to measure the PVL was displayed on a screen. A straight line from the deepest point of the epiglottic vallecula and parallel to the Frankfort plane, to the posterior wall of the pharynx, was measured as the PSL.

目の計測を行った。各々の計測項目を下記に示す (Fig. 2)。

- 1) 下顎骨前後的位置角 SNB (°)
- 2) 下顎下縁平面角 (Mandibular plane angle; Mp) (°)
- 3) 下顎角 (Gonial angle; Go) (°)
- 4) 下顎骨長 (Gnathion-Condylion; Gn-Cd) (mm)
- 5) 下顎骨体長 (Pogonion'-Gonion; Pog'-Go) (mm)
- 6) 下顎枝長 (Condylion-Gonion; Cd-Go) (mm)

Fig. 1-4 Pharyngeal coronal length (PCL) (mm): The distance between the two walls of the pharyngeal space was measured from the MPR axial image to produce the PCL.

Fig. 1-6 Epiglottis width (EW) (mm): The axial MPR image was positioned on a computer screen until the right and left epiglottic valleculas could be viewed and the length of the curve from this position to the back of the epiglottis was measured.

Fig. 1-5 Epiglottis length (EL) (mm): The sagittal image, from the MPR images used to measure PVL, was used to measure the curved distance from the top of the epiglottis to the base of the epiglottic vallecula.

Fig. 1-7 The sagittal MPR image was used to measure the distance from the genion to the hyoidale point (dGH; mm), the distance from the hyoidale to the bottom of the upper esophageal sphincter (dHU; mm), and the distance from esophageal sphincter to genion (dUG; mm).

6. 統計処理

咽頭部各計測項目と下顎骨各計測項目との間の関係を検討するため、ピアソンの相関係数を算出し、その有意性を危険率5%, 同1%で検定した。

結 果

各々の計測項目における平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値を Table 1 に示す。

各咽頭部形態計測項目における下顎骨に関する計測項目

との相関について Table 2 に示す。咽頭腔体積 (PSV) は下顎角 (Go) ($r=0.34$, $p=0.024$) と, 咽頭腔距離 (PVL) は下顎下縁平面角 (Mp) ($r=0.36$, $p=0.017$) とに統計学的に有意な相関を認めた。咽頭腔前後幅径 (PSL) および咽頭腔左右幅径 (PCL) は, 下顎骨に関する計測項目との間には有意な相関を認めなかった。

オトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) は, 下顎骨前後的位置角 (SNB) ($r=0.35$, $p=0.018$), 下顎下縁平面角 (Mp) ($r=-0.30$, $p=0.048$), 下顎骨長 (Gn-Cd)

Fig. 2-1 1) SNB (°)
2) Mp (Mandibular plane angle) (°)
3) Go (Gonial angle) (°)

Fig. 2-2 4) Gn-Cd (Gnathion-Condylion) (mm)
5) Pog'-Go (Pogonion'-Gonion) (mm)
6) Cd-Go (Condylion-Gonion) (mm)

Fig. 2 Angular and linear morphological analysis of the mandible

Table 1 Means and standard deviation of the measurements (n=45)

	Mean ± S.D.	Max	Min
PSV (mm ³)	20412.6 ± 5238.9	37382.3	10762.8
PVL (mm)	68.1 ± 5.3	78.4	58.8
PSL (mm)	14.7 ± 3.1	21.9	8.7
PCL (mm)	32.2 ± 4.0	39.6	18.8
dGH (mm)	30.7 ± 5.5	40.4	20.4
dHU (mm)	27.2 ± 3.2	32.6	13.2
dUG (mm)	55.8 ± 6.8	70.2	39.3
EL (mm)	14.7 ± 5.9	30.9	4.0
EW (mm)	24.0 ± 4.7	36.6	12.8
SNB (°)	77.2 ± 4.9	88.1	66.1
Mp (°)	31.8 ± 7.5	48.8	13.7
Go (°)	123.6 ± 13.0	140.8	51.9
Gn-Cd (mm)	123.1 ± 6.9	138.4	111.7
Pog'-Go (mm)	78.6 ± 4.8	94.7	68.5
Cd-Go (mm)	60.0 ± 5.8	75.5	45.9

($r=0.40$, $p=0.007$), 下顎骨体長 (Pog'-Go) ($r=0.45$, $p=0.002$) と統計学的に有意な相関を認めた。舌骨体部最前方点から咽頭食道接合部での距離 (dHU) は、下顎骨に関する計測項目と有意な相関を認めなかった。オトガイ棘から咽頭食道接合部までの距離 (dUG) と下顎骨体長 (Pog'-Go) ($r=0.31$, $p=0.036$) に統計学的に有意な相関を認めた。

また、喉頭蓋長径 (EL) は下顎骨に関する計測項目と有意な相関を認めなかったが、喉頭蓋幅径 (EW) は、下

顎骨長 (Gn-Cd) ($r=-0.31$, $p=0.041$), 下顎枝長 (Cd-Go) ($r=-0.35$, $p=0.020$) とに有意な相関を認めた。

考 察

側面頭部 X 線規格写真は、これまで咽頭部形態を調べるために、様々な条件下で使用されてきた。一方、最近開発された CBCT は咽頭部形態の研究に不可欠となりつつある。本研究は、CBCT を使用して咽頭部と下顎骨の形態学的な関係を詳細に検討した。

本研究結果から、咽頭腔体積と下顎角との間に正の相関 (相関係数=0.34, $p=0.024$) を認めた。さらに咽頭腔の垂直的距離を意味する PVL は下顎下縁平面角 (Mp) と正の相関 (相関係数=0.36, $p=0.017$) を認めた。Joseph ら¹²⁾ は側面頭部 X 線規格写真より、下顎下縁平面角が大きいものは小さいものより咽頭部の垂直的な長さが長いとする本研究結果と一致する結果を報告している。興味深いことに垂直的な上気道の長さは、開咬を呈する患者で有意に長く、鼻咽頭気道腔と下顎角は、開咬の発生に重要な役割を果たしていると報告されている¹³⁾。

一方、本研究結果から咽頭腔の前後のおよび左右的な幅径と下顎骨に関する計測項目とに相関は認められなかった。CT は特に咽頭部の大きさに関して正確に評価するうえで信頼性が高い^{14,15)}。下顎枝矢状分割術前後での咽頭部形態を CT により比較すると、水平方向と垂直方向とではその減少率は異なることが示されている¹⁶⁾。さらに、睡眠時無呼吸症候群患者に対し口腔内装置装着前後で咽頭部形態を観察すると、その形態的变化が水平方向と垂直方向と

Table 2 Subjects product moment correlation coefficients (n=45)

	PSV		PVL		PSL		PCL		dGH	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
SNB	-0.06	0.702	-0.26	0.083	0.06	0.678	0.09	0.568	0.35	0.018 *
Mp	0.23	0.127	0.36	0.017 *	0.04	0.776	0.04	0.800	-0.30	0.048 *
Go	0.34	0.024 *	0.29	0.057	-0.05	0.745	0.04	0.807	0.13	0.395
Gn-Cd	0.26	0.089	-0.10	0.533	-0.11	0.479	0.00	0.977	0.40	0.007 **
Pog ¹ -Go	0.09	0.552	-0.27	0.071	-0.09	0.562	0.07	0.667	0.45	0.002 **
Cd-Go	0.02	0.874	-0.13	0.392	-0.10	0.510	-0.10	0.496	0.28	0.061

	dHU		dUG		EL		EW	
	r	p	r	p	r	p	r	p
SNB	-0.05	0.756	0.26	0.083	0.07	0.661	-0.19	0.213
Mp	0.09	0.540	-0.20	0.189	-0.02	0.898	0.15	0.331
Go	-0.06	0.682	0.09	0.548	-0.06	0.696	0.08	0.589
Gn-Cd	0.10	0.518	0.26	0.082	-0.26	0.086	-0.31	0.041 *
Pog ¹ -Go	0.05	0.746	0.31	0.036 *	-0.14	0.363	-0.11	0.452
Cd-Go	0.06	0.688	0.16	0.291	-0.19	0.222	-0.35	0.020 *

* : p < 0.05, ** : p < 0.01

では異なることが示されている¹⁷⁾。本研究結果からも咽頭部形態と下顎骨との関連は水平方向と垂直方向とは異なり、咽頭部形態の三次元的な観察の重要性が示唆された。

舌骨の位置は、上気道の大きさを維持するために重要である¹⁸⁾。舌骨三角は頭蓋の基準面に依存しないため、頭の姿勢の変化によっても維持され则认为られている¹⁹⁾。本研究により、オトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) と下顎骨前後的位置角 (SNB) の間の正の相関、およびオトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) と下顎下縁平面角 (Mp) の間の負の相関が明らかになった。更に、オトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) は下顎骨長 (Gn-Cd) および下顎骨体長 (Pog¹-Go) と正の相関を示し、オトガイ棘から咽頭食道接合部での距離 (dUG) は下顎骨体長 (Pog¹-Go) とでは正の相関が認められた。Skeletal Class III において、オトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) が大きい時に下顎骨の大きさ、および下顎骨前後的位置角 (SNB) が大きくなる傾向が報告されている²⁰⁾。本研究結果からオトガイ棘から舌骨体部最前方点での距離 (dGH) が大きいと、より強い skeletal Class III 傾向を認め、小さいと、より強い skeletal Class II 傾向を認めることが示唆された。

脊髄から離れる方向に舌骨を動かす力は、上気道の抵抗を減少させる^{21,22)}。舌骨喉頭蓋靭帯により喉頭蓋に加わる張力と、舌骨舌筋により舌の後の部分に加わる張力により、下咽頭と気道をさらに開くことができる。青年期に下顎が前下方へ成長すると、舌骨の相対的位置は低くなり、

喉頭は下り、咽頭は伸張する²³⁾。喉頭蓋の長さは周囲の状態と調和し、喉頭蓋は靭帯舌下部と舌骨に接続し、舌骨は下顎に接続している²⁴⁾。したがって、喉頭蓋は下顎と動的な関係を維持しながら、下気道を保護していると予想される。事実、喉頭蓋の形態は気道狭窄の程度と関連することから²⁵⁾、睡眠時無呼吸症候群の病態を理解のための指標として検討されている²⁶⁾。同様に、外科的矯正治療の診断に喉頭蓋を検討する意義が窺えるものの、喉頭蓋と下顎骨形態との関係を調査した研究は、側面頭部 X 線規格写真から計測を試みた Lowe らの報告²⁷⁾のみである。Lowe らは喉頭蓋が前方に位置するのに伴い、下顎角および下顎下縁角は減少するとしている。本研究は喉頭蓋幅 (EW) が下顎骨長 (Gn-Cd)、下顎枝長 (Cd-Go) に統計学的有意差をもって正の相関があることを明らかにした。

結 語

本研究は、日本人成人女性 45 名について CBCT から計測した咽頭部形態と側面頭部 X 線規格写真から評価した下顎骨形態との相関を検討した。その結果、

1. 咽頭腔体積と下顎角とに正の相関が認められた。
2. 咽頭腔の垂直的長さと下顎下縁平面角とに正の相関が認められた。
3. 舌骨の前後的位置と下顎骨の大きさとに正の相関が認められた。
4. 喉頭蓋幅と下顎骨の大きさとに負の相関が認められた。

本研究結果は外科的矯正治療の診断や睡眠時無呼吸症候群に対する病態の理解に役立つものであり、咽頭部形態において CBCT による三次元的評価は有益であると考えられた。

本研究は文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業(平成 17 年～平成 21 年)による私学助成を得て行われた。

引用文献

- 1) Moss, M.L., et al.: The primary role of functional matrices in facial growth, *Am J Orthod*, 55 : 566-577, 1969.
- 2) Ricketts, R.M.: Respiratory obstruction syndrome, *Am J Orthod*, 54 : 495-507, 1968.
- 3) Linder-Aronson, S.: Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition, *Br J Orthod*, 6 : 59-71, 1979.
- 4) Graber, T.M.: Orthodontics. W B Saunders Co, Philadelphia & London, 1961, p119-126.
- 5) Ricketts, R.M.: Clinical research in orthodontics, *Vistas in orthodontics*. Les & Febiger, Philadelphia, 1962, p99-130.
- 6) 黒田敬之, 他: 頭部 X 線規格写真による舌骨体の位置の検討, *日矯歯誌*, 25 : 31-38, 1966.
- 7) Maki, K., et al.: Computer-assisted simulations in orthodontic diagnosis and the application of a new cone beam X-ray computed tomography, *Orthod Craniofac Res*, 6 : 95-101, 2003.
- 8) Araki, K., et al.: Characteristics of a newly developed dentomaxillofacial X-ray cone beam CT scanner (CB MercuRay): system configuration and physical properties, *Dentomaxillofac Radiol*, 33 : 51-59, 2004.
- 9) 中川洋一, 他: 歯科用 CT の臨床応用の現状, *歯界展望*, 102 : 586-591, 2003.
- 10) Gulsahi, A., et al.: Invasive cervical resorption: clinical and radiological diagnosis and treatment of 3 cases, *Oral Surg Oral Med Oral Path*, 103 : 65-72, 2007.
- 11) Gunduz, E., et al.: Bone regeneration by bodily tooth movement: dental computed tomography examination of a patient, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 125 : 100-106, 2004.
- 12) Joseph, A.A., et al.: A cephalometric comparative study of the soft tissue airway dimensions in persons with hyperdivergent and normodivergent facial patterns, *J Oral Maxillofac Surg*, 56 : 135-139, 1998.
- 13) Pae, E.K., et al.: Role of pharyngeal length in patients with a lack of overbite, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 112 : 179-186, 1997.
- 14) Aboudara, C.A., et al.: A three-dimensional evaluation of the upper airway in adolescents, *Orthod Craniofac Res*, 6 : 173-175, 2003.
- 15) Major, M.P., et al.: Assessment of lateral cephalometric diagnosis of adenoid hypertrophy and posterior upper airway obstruction: a systematic review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130 : 700-708, 2006.
- 16) Kawamata, A., et al.: Three-dimensional computed tomographic evaluation of morphologic airway changes after mandibular setback osteotomy for prognathism, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 89 : 278-287, 2000.
- 17) Kyung, S.H., et al.: Obstructive sleep apnea patients with the oral appliance experience pharyngeal size and shape changes in three dimensions, *Angle Orthod*, 75 : 15-22, 2005.
- 18) Bibby, R.E., et al.: The hyoid triangle, *Am J Orthod*, 80 : 92-97, 1981.
- 19) Bibby, R.E.: The hyoid bone position in mouth breathers and tongue-thrusters, *Am J Orthod*, 85 : 431-433, 1984.
- 20) Abu Allhija, E.S., et al.: Uvulo-glosso-pharyngeal dimensions in different anteroposterior skeletal patterns, *Angle Orthod*, 75 : 1012-1018, 2005.
- 21) Van de Graaff, W.B., et al.: Respiratory function of hyoid muscles and hyoid arch, *J Appl Physiol*, 57 : 197-204, 1984.
- 22) Brouillette, R.T., et al.: A neuromuscular mechanism maintaining extrathoracic airway patency, *J Appl Physiol Respir Environ Exercise Physiol*, 46 : 772-779, 1979.
- 23) Laitman, J.T., et al.: Specializations of the human upper respiratory and upper digestive systems as soon through comparative and developmental anatomy, *Disphagia*, 8 : 318-325, 1993.
- 24) Donner, M.W., et al.: Anatomy and physiology of pharynx, *Gastrointest Radiol*, 10 : 196-212, 1985.
- 25) Gazayerli, M., et al.: A correlation between the shape of the epiglottis and obstructive sleep apnea, *Surg Endosc*, 20 : 836-837, 2006.
- 26) Liao, Y.F., et al.: Upper airway and its surrounding structures in obese and nonobese patients with sleep-disordered breathing, *Laryngoscope*, 114 : 1052-1059, 2004.
- 27) Lowe, A.A., et al.: Dentoskeletal and tongue soft-tissue correlates: a cephalometric analysis of rest position, *Am J Orthod*, 88 : 333-341, 1985.