

## 睡眠時無呼吸症患者の画像的特徴

重田優子, 安藤栄里子, 井川知子, 重本修伺, 小川 匠

Characteristic imaging findings in the patients with obstructive sleep apnea

Yuko Shigeta, DDS, PhD, Eriko Ando, DDS, PhD, Tomoko Ikawa, DDS, PhD,  
Shuji Shigemoto, DDS, PhD and Takumi Ogawa, DDS, PhD

### 抄 録

一般的に、閉塞性睡眠時無呼吸症 (Obstructive sleep apnea: OSA) の原因として、【肥満】や【加齢】が挙げられている。さらに、OSA 発症率は、【性差】があることも報告されており、女性と比較し、男性は高いとされている。

これら三つの因子は、主に疫学的考察から OSA 発症の一因と考えられているが、それぞれ、発症のメカニズムに関しては不明な点が多い。

今回は、肥満・加齢・性別と OSA の関係について、気道の形態変化に関する過去の研究結果を踏まえ、二次元/三次元画像における上気道の形態的な所見から考察を加えた。また、注意すべき OSA 関連所見、いわゆる、上気道狭窄に対する覚醒時の生体の代償反応についても考察する。

### キーワード

睡眠時無呼吸症, 画像的特徴, 肥満, 加齢

### ABSTRACT

Generally, obesity and aging have been listed as causes of obstructive sleep apnea (OSA). Actually, the incidence of OSA increases with increasing levels of obesity and ageing. Additionally, gender differences in OSA incidence have been reported, with a higher incidence in males compared to females.

Therefore, from an epidemiological perspective, these three factors are considered to contribute to the cause of OSA. However, the detailed mechanism of OSA onset by these factors has not been revealed.

In this present report, the relationship between OSA onset and the aforementioned three factors was investigated through image-based observations, including the findings from previous imaging studies. Furthermore, compensatory response on awakening and other incidental findings related to OSA were investigated using cephalometric imaging and computed tomography.

### Key words:

Obstructive sleep apnea, Characteristic imaging findings, Obesity, Aging

## I. 緒 言

一般的に、閉塞性睡眠時無呼吸症 (Obstructive sleep apnea: OSA) の原因として、【肥満】や【加齢】が挙げられており、過去の疫学調査においても、肥満度 (Body mass index: BMI) の増加や増齢に伴

い、OSA の発症率は増加することが報告されている<sup>1)</sup>。さらに、OSA 発症率は、【性差】があることも報告されており、女性と比較し、男性は高いとされている<sup>2)</sup>。上記のように、これら三つの因子は、主に疫学的考察から OSA 発症の一因と考えられているが、それぞれ、発症のメカニズムに関しては不明な点が多い<sup>3)</sup>。とくに、肥満度については欧米とは異なり、本邦では極端

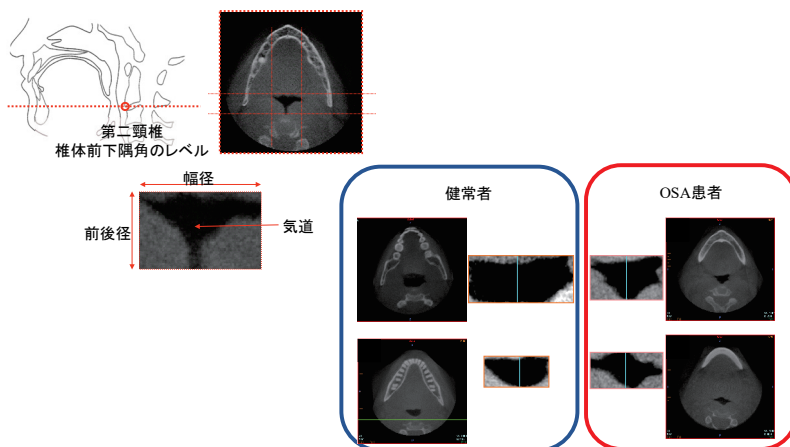


図1 The airway shape at the level of the anterior-inferior corner of second vertebra  
第二頸椎（軸椎）の椎体前下隅角のレベルにおける気道の断面形態

な体重過多は少数であり、非肥満型 OSA 患者が多数存在する<sup>2)</sup>ことが知られているが、これまで十分な説明はされていない。

OSA の画像研究は、2000 年までは、側方頭部エックス線規格写真が主に用いられ、上気道の前後径の計測により二次元的に上気道形態の狭窄が評価されていた。2000 年代初頭からコンピュータ断層撮影 (Computed Tomography: CT) を用いた上気道の三次元的評価が盛んになり、2010 年代になると、急激に CT 画像による研究が増加した。現在では医用工学技術を応用し、CT 画像から得られる口腔咽頭周囲組織のデジタルデータからさまざまなパラメータを用いて、OSA 症例の病態を評価することが可能となっている。

今回は、肥満・加齢・性別と OSA の関係について、上気道の形態変化に関する過去の研究結果を踏まえ、二次元 / 三次元画像における形態的評価から考察を加えた。また、注意すべき OSA 関連所見、いわゆる上気道狭窄に対する生体の代償反応についても考察する。

## II. 上気道の画像解析

CT 画像を用いた上気道の評価には、上気道の立体形状および容積計測などの三次元的評価と、任意の断面における前後径・幅径・面積を計測する二次元的評価がある。投影像である側方頭部エックス線規格写真とは異なり、CT 画像における二次元的評価においては、選択したスライス (方向・レベル) や計測点・関心領域により得られる結果が異なる。これは、これまでの画像研究において統一した見解が得られていない一因と考えられ、臨床・研究において注意しなければ

ならない点の一つである。側方頭部エックス線規格写真の解析においても、計測点や関心領域に関しては同様の注意が必要である。

また、OSA の発現は、上気道内腔の狭窄と上気道の伸長による気道抵抗の上昇に起因し、それぞれの現象を捉えるためのさまざまな画像解析パラメータが提案されている。

臨床における OSA の画像観察・解析においては、これらを考慮しながら文献的知識を活用する必要がある。

## III. 肥満・加齢と OSA の関係

2006 年に Ogawa ら<sup>4)</sup>は歯科用コーンビーム CT を用いた上気道の前後径、幅径、容積および断面積を計測し、OSA 患者および健常者の上気道形態の比較を行った結果、OSA 患者の上気道最狭窄部の前後径および断面積が対照群と比較し小さいことを報告した。一方で、同じ上気道最狭窄部の前後径を計測した Buchanan らは、二群間で有意な差は認めなかったと報告している<sup>5)</sup>。

そこで我々は観察部位を最狭窄部ではなく、上気道を解剖学的な特徴点から高さを規定して断面の前後径、幅径および断面積を計測したが、二群間に有意な差は認められなかった<sup>6)</sup>。狭窄しやすい後舌部 (第二頸椎 (軸椎) の椎体前下隅角の高さ) でも差が認められなかったことから、前後径、幅径および断面積では、健常者と OSA 患者の上気道の形態的相違を反映することは困難であることが考えられた。

図 1 に示すように、健常者の気道断面は外側に凸で比較的楕円に近いのに対して、OSA 患者では内側

に凸で逆三角または菱形に近く、気道後側壁の変形が強い症例が多く認められた。持続吸気運動により気道内を陰圧環境とし、CT を撮影した実験においても、同じく後側壁の変形が強く認められたことから、気道には形態保持力の弱い部分が存在することが示唆されている<sup>7)</sup>。この形態の違いを表現できる評価方法として、上気道断面を気道の前後径と幅径で形成される四角形に対する気道面積の割合を算出したところ、OSA 群では対照群と比較し 11.2% 小さいことが明らかとなり、上気道の形態的特徴を評価できることが確認された。

さらに、このパラメータに対し、BMI、年齢および性別で回帰モデルを作成すると 51.3% 説明可能で、BMI の影響が最も強く、BMI 1 ユニットの増加に対し、0.89% の気道面積の割合の有意な減少 ( $p=0.03$ ) が示唆された。気道面積の割合が減少する原因の一つとして、咽頭周囲における、脂肪沈着による気道形態の変化が挙げられる。2023 年 Chang ら<sup>3)</sup> がまとめた国際合同声明においても、咽頭周囲における脂肪沈着が上気道閉塞のリスクとなることが示されている。脂肪沈着には性差があり、頸部の皮下脂肪と、それ以外の内部脂肪の割合を観察すると、男性では内部脂肪、女性では皮下脂肪の割合が多く、内部脂肪は上気道の幅径と容積に関連する<sup>8)</sup>。このような性別による脂肪沈着の違いが、OSA 発症の性差が生じる一因であると考えられる。

脂肪沈着は、気道の前壁を構成する舌にも生じる。舌脂肪に関しては、MRI<sup>9)</sup> や近赤外線脂肪計<sup>10)</sup> を用いた検討があり、舌脂肪の沈着は体脂肪、OSA の発現との間に関連性があることが示唆されている。特に、男性 OSA 群では、BMI の増加と増齢に伴い舌脂肪が増加し、BMI に差がないにもかかわらず、対照群と比較し舌脂肪率が高い傾向にあった。さらに増齢による舌組織の萎縮、すなわち進行性脂肪変性も加わり<sup>11)</sup>、男性の OSA 発症に関与することが示唆された。一方、女性 OSA 群の舌脂肪率は、対照群と差を認めなかったが、BMI の増加に伴い増加し、OSA の重症度 (Apnea Hypopnea Index: AHI) との間に関連性を認めた。女性においては、閉経後のオトガイ舌筋活性低下による、外舌筋の脂肪化の誘発なども OSA 発現の一因とされており、女性においては肥満や増齢以外の因子を考慮する必要がある。

このような舌の影響は、CT データを用いた画像解析でも明らかとなっており、肥満により、舌の体積および下顎骨体積に対する舌体積の割合が増加し<sup>13)</sup>、下顎骨 / 舌体積比率は、上気道容積と負の相関関係に

あった。これらを総合すると、舌は肥満・増齢に伴い、組成、体積変化を生じ、上気道閉塞のリスクとなることが示唆された。

また、肥満や増齢は軟口蓋にも影響を及ぼし、軟口蓋の厚みや長さの増大が報告され、OSA の原因とされている<sup>14-16)</sup>。一方で、有意差が認められなかったとの報告もあり<sup>17)</sup>、統一した見解は得られていない。過去の研究の多くは、単に軟口蓋の長さ (後鼻棘-軟口蓋先端間の距離) を計測していたことが、結果の相違の原因の一つと考えられる。そこで、新たな評価法として、上気道の長さに対する軟口蓋の長さ、すなわち上気道内腔を占める軟口蓋の割合を算出した結果、対象群と比較し OSA 群では、その割合が有意に大きい ( $p=0.01$ ) ことが明らかとなった<sup>18)</sup>。このように、上気道狭窄のメカニズムを考慮し、パラメータを組み合わせた評価も有効であると思われる。

さらに、OSA の発症には、上気道の狭窄のみでなく、上気道の長さの変化の影響も考えられる。すなわち増齢に伴い体表がたるむように、内腔にも同様の現象が生じる可能性がある。上気道長さ・容積および上気道前方の軟組織体積 (後鼻棘よりも後方) を、咬合平面を基準に上下に分け、その分布を観察すると、男性 OSA 群では、増齢とともに、上部軟組織量は減少し、下部軟組織量は増加、そして上気道の下部の長さが増加することが明らかとなった<sup>19)</sup>。このことから、増齢に伴い、気道周囲軟組織の緊張が低下し、気道の長さが増加すると考えられた。このような、増齢に伴う上気道の長さの変化は、気道抵抗が上昇する要因の一つとなっていると考えられる。

したがって、OSA は肥満や加齢に伴う咽頭周囲軟組織や舌による上気道形態の変化、軟口蓋による上気道スペースの侵食、上気道の長さの伸長により生じることが示唆され、単一のパラメータでなく、それぞれの現象を理解したうえで、いくつかのパラメータを組み合わせて評価する必要があることがわかる。

図 2 は、健常者と OSA 患者における、頭頸部の解剖学的構造の増齢および肥満による変化を、CT による三次元再構築画像を用いてシミュレーションしたものである<sup>20)</sup>。各パラメータについて回帰モデルを作成し、三次元モデルに反映したもので、OSA のリスクファクターを直観的に把握することができる。

#### IV. 気道狭窄に対する覚醒時の代償反応

OSA の上気道形態の変化には、疾患としての変化 (気道狭窄) とそれに対して代償性に働く生理的な反

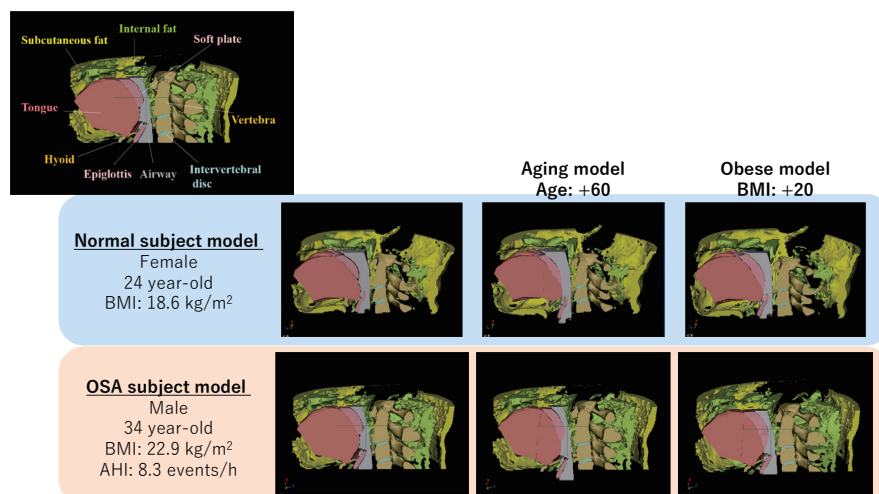


図 2 Simulation of head and neck anatomical structure changes with aging and obesity  
増齢および肥満による頭頸部解剖学的構造の変化のシミュレーション

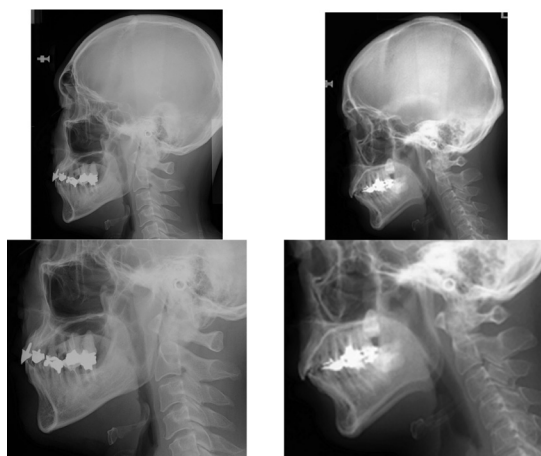


図 3 lateral cephalometric radiographs (Left: non-OSA patient, Right: OSA patient)  
側方頭部エックス線規格写真 (左: 非 OSA 患者 右: OSA 患者)

応が報告されている。この代償性反応は、側方頭部エックス線規格写真における頭蓋頸部傾斜角と気道前後径の関係として捉えることができ、OSA 患者において、上気道前後径が必ずしも小さくなるとは限らず、OSA 重症度と乖離した印象を与える場合がある。図 3 に、ある OSA 患者と非 OSA 患者の側方頭部エックス線規格写真を示す。OSA 患者は AHI が 40.7 events/hour の重症例であるが、画像上では非 OSA 患者と比較しても上気道は十分開存していることがわかる。

頭蓋頸部傾斜角と上気道の関係については先行研究があり、日本人の平均的な頭蓋頸部傾斜角は、101 ~ 103° 程度であり、前方への傾斜 1° につき上気道（上気道後舌部）の前後径が 0.33 ~ 0.37 mm 増加することが明らかになっている<sup>21)</sup>。さらに、Shigemoto

ら<sup>22)</sup>は、60 名の男性 OSA 群に対し、同様の計測を行った結果、頭蓋頸部傾斜角の平均は 109.1° と、先行研究より約 8° 大きかった。また、同被験者において、気道形態と OSA 重症度 (AHI) の関係を検討した結果、上気道後舌部の前後径実測値と AHI の間には統計的に関連性は認められなかった。そこで、回帰モデル【修正後の上気道前後径 = 前後径実測値 + 0.37 × (100.9 - 頭蓋頸部傾斜角実測値)】を利用して、平均的な頭蓋頸部傾斜角における上気道前後径を算出し、補正を行った後、AHI との関連性を検討したところ、有意な関連性を認めた。すなわち、OSA 患者では覚醒時に気道を確保するために、頭蓋頸部傾斜角が大きくなるよう無意識に調整している可能性があり、上気道の画像解析を行う際は、その代償反応の存在を考慮する必要があることが示唆された。

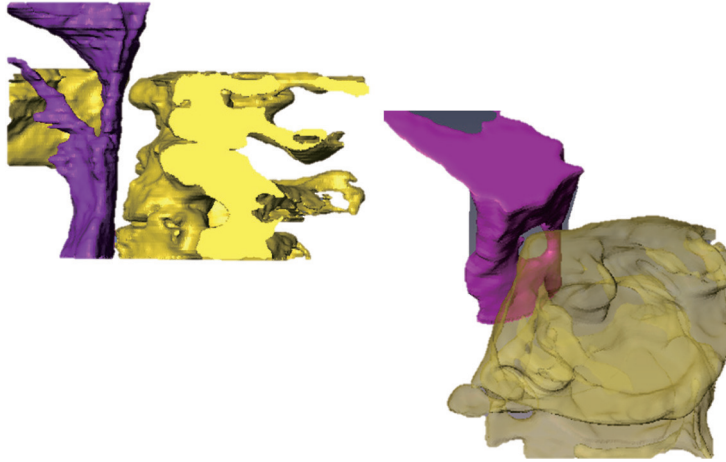


図 4 Influence of the anterior tubercle of atlas on the airway  
(Purple: airway, Yellow: cervical spine)  
Left: lateral view, Right: postero-superior view  
第一頸椎 (環椎) 前結節の気道への影響 (紫: 気道, 黄色: 頸椎)  
左: 側方からの観察 右: 後上方からの観察

これを裏付ける一つのデータとして、OSA 患者では頸部靭帯の石灰化が高頻度でみられることが挙げられる。Ando ら<sup>23)</sup>は、OSA 患者の 46% に項靭帯の石灰化、33% に前縦靭帯の石灰化が認められることを報告している。この発現頻度は健常者に比較し高く、項靭帯の石灰化は OSA の重症度とも関連性が認められた。このことから、OSA 患者では、気道確保のために、頭蓋頸部傾斜角が大きくなるよう頭位を調整することから、頸部に負荷がかかり、頸部靭帯に石灰化が生じる可能性が推察できる。

そのほか、気道に影響を与える関連所見として第一頸椎 (環椎) の前結節が挙げられる。図 4 は、CT データより頸椎と気道を三次元再構築した画像である。

側方からの観察 (図 4 左) では確認しづらいため、側方頭部エックス線規格写真での判別は困難と思われるが、環椎の前結節が気道を圧迫し、気道を左右に分断していることがわかる (図 4 右)。前結節の体積は、増齢とともに増加し、気道前後径への影響も報告されている<sup>24)</sup>。前結節には頭部の安定に関わる頸長筋が付着しており、前述の代償反応 (頭蓋頸部前方傾斜) に対する結果である可能性も考えられる。

現在、臨床において、側方頭部エックス線規格写真は OSA の画像検査として、最も一般的な画像検査であるが、それを適切に活用するためには、上記のような代償反応や、それに関連する異常所見を理解・考慮する必要がある。また、CT を撮影した場合、側方頭部エックス線規格写真では検出困難な OSA 関連異常

所見、例えば、鼻腔閉塞、舌骨の変形、下顎隆起の舌への影響など<sup>25)</sup>も検出可能となるため、併せて確認することが大切である。

## V. まとめ

今回、閉塞性睡眠時無呼吸症の原因および関連異常所見について、画像所見から考察を加えた結果、以下の注意点が抽出された。

1. OSA は、肥満や加齢に伴う咽頭周囲軟組織や舌による気道形態の変化、軟口蓋による上気道スペースの侵食、上気道の長さの変化により生じることが示唆され、その評価には適切なパラメータの選択とパラメータを組み合わせることを考える必要がある。
2. OSA 患者では、気道を確保するために、頭蓋頸部傾斜角が大きくなるよう調整している可能性があり、上気道の画像解析を行う際は、その代償反応の存在を考慮する必要がある。
3. CT を撮影した場合、側方頭部エックス線規格写真では検出困難な OSA 関連の異常所見、例えば、頸椎の影響、鼻腔閉塞、舌骨の変形、下顎隆起の舌への影響なども、検出可能となるため、併せて確認する必要がある。

OSA 発症のメカニズムの詳細については、いまだ不明な点が残るが、画像を用いて、個々の患者の OSA 関連異常所見を抽出・分析し、適切な処置の選択、予後分析等に役立てることが重要である。

## 文 献

- 1) Lavie P, Pillar G, Malhotra A. Sleep disorders: Diagnosis, management and treatment, A handbook for clinicians. London: Martin Dunitz Ltd; 2002, 53-4.
- 2) Ishikawa C, Shigeta Y, Ogawa T, Hirai S, Ando E, Ikawa T et al. Investigation of trends and characteristics in patients with obstructive sleep apnea. *J Indian Prosthodont Soc* 2010; 10: 57-63.
- 3) Chang JL, Goldberg AN, Alt JA, Mohammed A, Ashbrook L, Auckley D et al. International consensus statement on obstructive sleep apnea. *Int Forum Allergy Rhinol* 2023; 13: 1061-482.
- 4) Ogawa T, Enciso R, Shintaku WH, Clark GT. Evaluation of cross-section airway configuration of obstructive sleep apnea. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103: 102-8.
- 5) Buchanan A, Cohen R, Looney S, Kalathingal S, Rossi SD. Cone-beam CT analysis of patients with obstructive sleep apnea compared to normal controls. *Imaging Sci Dent* 2016; 46: 9-16.
- 6) Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T, Shintaku WH, Clark GT. Correlation between retroglottal airway size and body mass index in OSA and non-OSA patients using cone beam CT imaging. *Sleep Breath* 2008; 12: 347-52.
- 7) Hirai S, Ando E, Shigeta Y, Ishikawa C, Ito T, Shigemoto S et al. Is there Weakness Area in Airway? *Austin J Otolaryngol* 2019; 6: 1-3.
- 8) Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T, Ikawa T, Clark GT. Cervical CT derived neck fat tissue distribution differences in Japanese males and females and its effect on retroglottal and retropalatal airway volume. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106: 275-84.
- 9) Kim AM, Keenan BT, Jackson N, Chan EL, Staley B, Poptani H et al. Tongue fat its relationship to obstructive sleep apnea. *Sleep* 2014; 37: 1639-48.
- 10) Ando E, Shigeta Y, Ishikawa C, Shigemoto S, Ogawa T, Clark GT et al. Evaluation of fat tissue deposition within the tongue via near-infrared interactance. *J Dent Sleep Med* 2019; 6(4).
- 11) Bässler R. Histopathology of different types of atrophy of the human tongue. *Pathol Res Pract* 1987; 182(1): 87-97.
- 12) Popovic RM, White DP. Upper airway muscle activity in normal women: influence of hormonal status. *J Appl Physiol* 1998; 84: 1055-62.
- 13) Shigeta Y, Ogawa T, Ando E, Clark GT, Enciso R. Influence of tongue/mandible volume ratio on oropharyngeal airway in Japanese male patients with obstructive sleep apnea. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011; 111: 239-43.
- 14) Johnston CD, Richardson A. Cephalometric changes in adult pharyngeal morphology. *Eur J Orthod* 1999; 21: 357-62.
- 15) Yu X, Fujimoto K, Urushibata K, Matsuzawa Y, Kubo K. Cephalometric analysis in obese and nonobese patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Chest* 2003; 124: 212-8.
- 16) Ciscar MA, Juan G, Martinez V, Ramon M, Lloret T, Minguez J et al. Magnetic resonance imaging of the pharynx in OSA patients and healthy subjects. *Eur Resp J* 2001; 17: 79-86.
- 17) Johal A, Conaghan C. Maxillary morphology in obstructive sleep apnea: a cephalometric and model study. *Angle Orthod* 2004; 74: 648-56.
- 18) Shigeta Y, Ogawa T, Ikawa T, Clark GT, Enciso R. Soft palate length and upper airway relationship in OSA and non-OSA subjects. *Sleep Breath* 2010; 14: 353-8.
- 19) Shigeta Y, Ogawa T, Venturin J, Nguyen M, Clark GT, Enciso R. Gender and age-based differences in computed-tomography measurements of the oropharynx. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106: 563-70.
- 20) Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T, Clark GT. Changes in three-dimensional simulation models of the airway which are due to increases in age or body mass index. *Stud Health Technol Inform* 2008; 132: 460-2.
- 21) Anegawa E, Tsuyama H, Kusukawa J. Lateral cephalometric analysis of the pharyngeal airway space affected by head posture. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 805-9.
- 22) Shigemoto S, Shigeta Y, Nejima J, Ogawa T, Matsumka Y, Clark GT. Diagnosis and treatment for obstructive sleep apnea: Fundamental and clinical knowledge in obstructive sleep apnea. *J Prosthodont Res* 2015; 59: 161-71.
- 23) Ando E, Shigeta Y, Nejima J, Yamanaka H, Hirai S, Ogawa T et al. Assessment of the calcification of the nuchal ligament and osteophytes of the cervical spine in obstructive sleepapnoea subjects and snorers. *J Oral Rehabil* 2016; 43: 96-102.
- 24) Yamazaki Y, Shigeta Y, Ogawa T, Enciso R, Ando E, Ikawa T et al. The relationship between anterior tubercle of the atlas to the adjacent oropharyngeal airway volume: Implication of normalized variables and gender differences. *Journal of Dentistry and Oral Care Medicine* 2016; 2: 2454-3276.
- 25) Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T, Shintaku WH, Clark GT. Upper airway alterations/abnormalities in a case series of obstructive sleep apnea patients identified with cone-beam CT. *Int J CARS* 2007; 2: S398-S411.

---

著者連絡先：重田 優子

〒230-8501 神奈川県横浜市鶴見区鶴見2-1-3  
鶴見大学歯学部クラウンブリッジ補綴学講座  
Tel: 045-580-8417  
Fax: 045-573-9599  
E-mail: shigeta-y@tsurumi-u.ac.jp