

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659914

研究課題名(和文) 流体-構造連成解析を用いた小児睡眠時無呼吸症候群の通気障害評価システムの構築

研究課題名(英文) Construction of the airway obstruction evaluation system of the childhood sleep apnea syndrome using Fluid-structure analysis

研究代表者

山崎 要一 (YAMASAKI, YOUICHI)

鹿児島大学・医歯(薬)学総合研究科・教授

研究者番号：30200645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：小児閉塞型睡眠時無呼吸症候群(OSAS)は閉塞部位がかなり異なるので、手術の成功率は必ずしも高くない。コンピューター断層撮影(CT)からの形態学的な所見は、上気道で正確に機能的な閉塞部位と必ずしも一致しない。従って、全部の上気道の特定の閉塞部位の検出方法を確立することが必要になる。我々は、流体構造相互作用分析によって、OSAS小児の上気道モデルで、閉塞部位を調べた。我々は、気道モデルをFSI分析と結合している新しい方法を確立した。この方法は閉塞部位を位置づけることができ、空気圧力と速度の大きさをシミュレーションすることができる。そして、単独で、形態学的な評価でより正確に換気状態を評価する。

研究成果の概要(英文)：Obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) in children is not rare and is a major health problem. Unfortunately, surgery's success rate is not always high because obstruction sites of the upper airway vary considerably. Morphological findings from computed-tomography (CT) do not always coincide precisely with the functional obstruction sites in the upper airway. Consequently, establishing a method to detect the specific obstruction sites of the whole upper airway is indispensable to successful treatment of OSAS. We examined the obstruction sites in an upper airway model of a OSAS child by fluid-structure interaction (FSI) analysis. We established a new method combining an airway model with FSI analysis. This method can locate the obstruction sites and simulate the magnitude of air pressure and velocity, evaluating the ventilation condition more precisely than with a morphological evaluation alone.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：流体-構造連成解析 小児閉塞性睡眠時無呼吸症候群 通気障害

1. 研究開始当初の背景

小児 OSAS の罹患率は乳幼児期から思春期まで 2%前後で一定し、重症例では高血圧、知的障害、呼吸不全、心不全、昏睡が生じるといわれている。治療の第一選択とされるアデノイド切除・口蓋扁桃摘出術での改善率は 60%前後と低い。その理由として通気障害部位の特定方法が確立されていないことが挙げられる。

現在、複雑な形態をした上気道の通気障害部位の特定は、側面頭部エックス線規格写真や CT、MRI の断面画像から行われているが、通気障害部位は個人で異なることや複数あることも報告されており、画像による形態観察のみではその特定は困難であると考えられる。

2. 研究の目的

小児の閉塞性睡眠時無呼吸症候群(OSAS)では通気障害部位の適確な特定方法がないため、閉塞状況に応じた治療方法が選択されず、良好な治療成績は得られていない。そこで、CT データより得られた 3 次元上気道管腔モデルに対してシミュレーションによる呼吸運動を再現させ、それに伴う空気圧と気道形態の変形を想定した、流体 - 構造連成解析を用いた通気障害部位の特定方法を確立することである。さらに、歯科的対応方針の確立のため上顎急速拡大、下顎前方誘導、下顎骨延長術等の治療前後の形態データをもとに、歯科治療後の上気道形態変化の予測モデルを作製して、流体 - 構造連成解析による通気障害の改善予測を行う。その結果、最小限の負担で最大限の治療効果を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は 2 年間の研究期間で、咬合治療を目的に撮影された小児のコーンビームエックス線 CT データ (CT データ) を用いて、

3 次元上気道管腔モデルの流体 - 構造連成解析を行い、小児 OSAS の通気障害部位の特定方法としての有効性を確立する。

上顎側方急速拡大、下顎前方誘導を行った治療前後の気道形態を解析し、治療後の予測モデルを作製し、気道の通気障害改善効果の予測の有効性を上気道の流体 - 構造連成解析を用いて検討する。

これらの研究結果から、小児 OSAS の通気障害部位の特定と、その歯科的対応法として、上顎側方急速拡大、下顎前方誘導による治療成績が向上するデータを得る。

4. 研究成果

本研究により、通気障害部位の特定に関する方法を進めることができた。具体的には流体 - 構造連成解析による通気障害の改善の評価方法を確立のためのプロトタイプモデルを完成した。

また、上顎側方急速拡大による小児 OSAS

S への改善メカニズムを示すことができた (次の Fig 1-12 を参照)。



Fig 1. Measurements of the oropharyngeal airway. The width of oropharyngeal airway was measured at the narrowest part of the entire depth. Cross-sectional area (S), depth (D) and width (W).

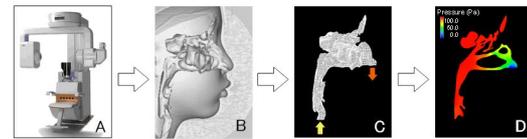


Fig 2. Fluid-mechanical simulation analysis of the upper airway: A, CBCT used in this study; B, extracted upper airway image; C, fluid-mechanical simulation; D, evaluation of upper airway ventilation.

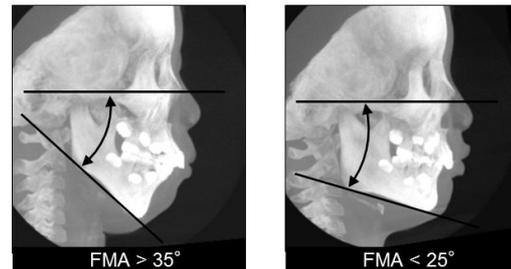


Fig 3. Lateral cephalogram images reconstructed from CBCT data of a dolichofacial child (left) and a brachyfacial child (right). FMA is the Frankfort mandibular plane angle.



Fig 4. Measurement of cross-sections in the nasopharyngeal airway and the oropharyngeal airway (19): A, nasopharyngeal airway cross-section is defined as a horizontal plane at the airway's narrowest part in the reconstructed lateral cephalometric image; B, oropharyngeal airway cross-section is defined as the horizontal plane through the mid-point of bilateral gonion. CSA is cross-sectional area; D is depth.

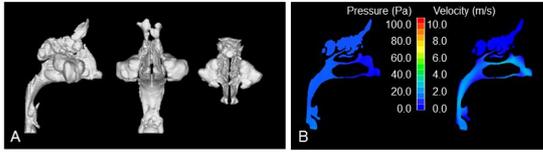


Fig 5. Airway images of a brachyfacial child, representing a normal ventilation condition: A, Morphological airway images (right lateral, front, and superior views) extracted from a cone-beam CT image; B, Fluid-mechanical simulation analysis of the same airway in the sagittal plane (left: is the pressure analysis, right is the velocity analysis). In A, No stenosis was found in either the pharynx or bilateral nasal cavity. In B, Both the maximal pressure and velocity were relatively low, and no abrupt change of pressure or velocity was detected.

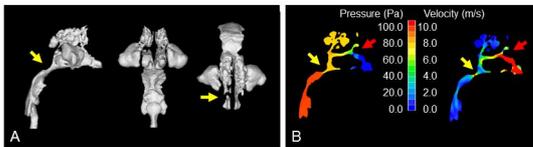


Fig 6. Airway images of a dolichofacial child, representing obstruction at both the nasopharynx and nasal cavity: A, Morphological airway images (right lateral, front, and superior views) extracted from a cone-beam CT image; B, Fluid-mechanical simulation analysis of the same airway in the sagittal plane (left: is the pressure analysis, right is the velocity analysis). In A, Stenosis by the hypertrophied adenoid and complete perforation of the right nasal cavity were found (yellow arrow). In B, Because the pressure decreases abruptly around the adenoids, and the velocity was so high, the existence of an obstruction can be diagnosed (yellow arrow). Similar findings are present at the left nasal cavity. This could not be determined from the morphology alone (red arrow).

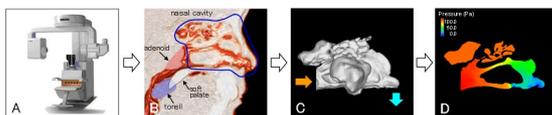


Fig 7. Steps in the evaluation of nasal cavity ventilation by fluid-mechanical simulation: A, The CBCT instrument; B, Extraction of the nasal cavity data; C, Volume rendering and numerical simulation; D, Evaluation of the nasal cavity ventilation condition.

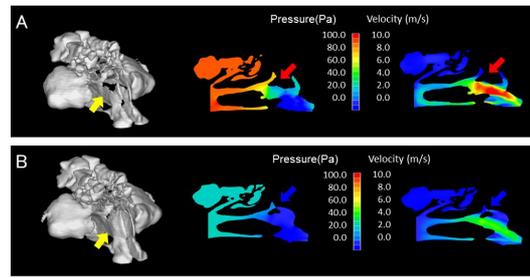


Fig 8. Example of change in the ventilation condition after RME in a selected patient (A: before RME, B: after RME): A, stenosis of the nasal cavity can be seen but the presence of an obstruction cannot be determined from the 3D form (yellow arrow). Nevertheless, fluid-mechanical simulation shows that the maximal pressure and maximum velocity were both high (red arrow), indicating an obstruction. B, The 3D form indicates improvement of the stenosis, but it cannot determine whether the obstruction was reduced (yellow arrow). On the other hand, fluid-mechanical simulation shows that both pressure and velocity decreased (blue arrow), and the obstruction was reduced.

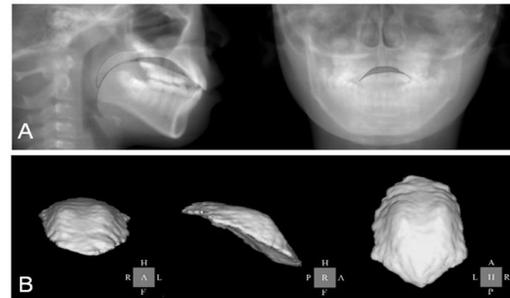


Fig 9. Estimate of low tongue posture in a selected patient: A, cephalometric image (left, lateral view; right, posterior-anterior view); B, 3D views of the intraoral airway (right lateral, superior, and front views).

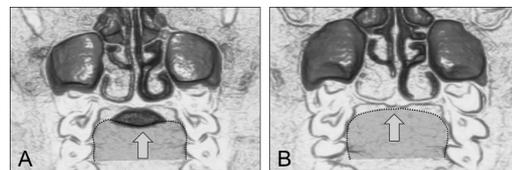


Fig 10. Improvement of low tongue posture after RME (frontal view) in a selected patient: A, before RME tongue posture is low (red arrow); B, after RME tongue posture has improved (blue arrow).

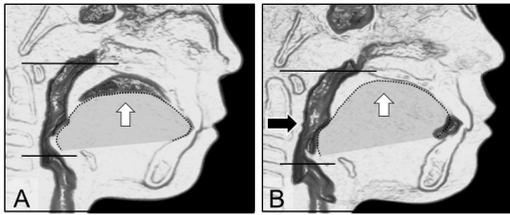


Fig 11. Enlargement of the pharyngeal airway after RME in a selected patient: A, before RME, tongue posture is low (white arrow) and the pharyngeal airway is narrow; B, after RME, tongue posture has improved (white arrow) and the pharyngeal airway has enlarged (black arrow).

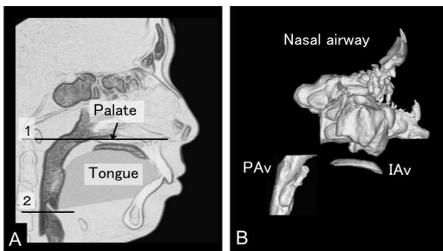


Fig 12. Measurement of airway volumes : A, Planes for the axial section of the airway: 1. Palatal plane (PL plane); 2. EB plane (plane parallel to PL plane passing through base of epiglottis). B, Each part of airway: PAv. Pharyngeal airway volume, between PL plane and EB plane; IAv. intraoral airway volume, between palate and tongue.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Iwasaki T, Yamasaki Y: Relation between maxillofacial form and respiratory disorders in children, *Sleep and Biological Rhythms*, 12, 2-11, 2014. (査読有)

2. 岩崎智憲, 武元嘉彦, 稲田絵美, 佐藤秀夫, 深水 篤, 菅 北斗, 齊藤一誠, 原田みずえ, 加治 建, 覚野恵梨子, 嘉ノ海龍三, 山崎要一: 小児閉塞性睡眠時無呼吸症候群への流体構造連成解析を用いた上気道通気状態シミュレーションの臨床応用, *日本歯科医学雑誌*, 33 : 39-43, 2014. (査読有)

3. 岩崎智憲, 山崎要一. 第 5 章 小児期における気道の状況、呼吸との関連、小児歯科での睡眠医療への取り組み、完全理解! 歯科医師に必要な睡眠と呼吸の基礎知識 (全 6 章)(編集: 外木守雄), *ザ・クインテッセンス* 1 2 月号, クインテッセンス出版, 東京, 2013 年 12 月号 111-113. (査読有)

4 Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, Inada E,

Kakuno E, Kanomi R, Hayasaki H, Yamasaki Y: Tongue posture improvement and pharyngeal airway enlargement as secondary effects of rapid maxillary expansion: A cone-beam computed tomography study, *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*, 143(2): 235-245, February 2013.(査読有)

5. Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, Inada E, Kanomi R, Hayasaki H, Yamasaki Y. Improvement of nasal airway ventilation after rapid maxillary expansion evaluated with computational fluid dynamics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 141(3):269-278, 2012.(査読有)

〔学会発表〕(計 7 件)

1. 山崎要一: 歯科領域における下顎運動計測の基礎と臨床 南九州化学工学懇話会 2014 年 3 月 8 日 鹿児島

2. Yamasaki Y: Functional advantage of early orthodontic treatment in primary and mixed dentition stages, The 7th National Scientific Meeting in Pediatric Dentistry, The Indonesian Association of Dentistry for Children (IADC), 2014. 2.8-9, Indonesia.

3. Iwasaki T : Can we prevent OSA? World Congress on Sleep Medicine. Oct 1, 2013 Valencia, Spain.

4. 岩崎智憲: 上顎急速拡大による上気道通気状態の変化 第 12 回日本睡眠歯科学会 2013 年 9 月 8 日 東大阪

5. 岩崎智憲: 小児 OSA に対する上顎急速拡大の有効性の検討 第 38 回 日本睡眠学会 2013 年 6 月 27 日 秋田

6. Yamasaki Y: Early treatment of mandibular displacement cases in primary dentition period, the Lectures 9 (Early Orthodontics), The 24th Congress of International Association of Paediatric Dentistry (IAPD), 2013.6.12-15, Seoul Korea.

7. 山崎要一: 包括歯科医療としての小児歯科 ( Pediatric dentistry as comprehensive dental management for children ), メインテーマ 「新たな出発, - 次の半世紀に向けての小児歯科医療を考える - 」 第 51 回 日本小児歯科学会大会 2013 年 5 月 23-24 日 岐阜

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

該当なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

山崎 要一（YAMASAKI, YOUICHI）

鹿児島大学・医歯（薬）学総合研究科・  
教授

研究者番号：30200645

### (2)研究分担者

岩崎 智慧（IWASAKI, TOMONORI）

鹿児島大学医歯学附属病院小児歯科・講  
師

研究者番号：10264433

齋藤 一誠（SAITOH, ISSEI）

新潟大学・医歯（薬）学総合研究科・准  
教授

研究者番号：90404540

早崎 治明（HAYASAKI, HARUAKI）

新潟大学・医歯（薬）学総合研究科・教  
授

研究者番号：60238095

### (3)連携研究者

嘉ノ海 龍三（KANOMI, RYUZO）

大阪歯科大学・歯学部・研究員

研究者番号：70411444