

音声分析を応用した鼻閉と咽頭扁桃肥大の比較に関する研究

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

武藤 佑子

(指導：根岸 慎一 教授)

(主となる参考論文)

題 名 Voice characteristics of patients with nasal congestion and enlarged pharyngeal tonsils

著 者 Yuko Muto, Kaori Ishii, Hideaki Taketani, Masashi Nakayama, Shunsuke Ishimitsu, Satoshi Horihata, Kazutaka Kasai and Shinichi Negishi

CLINICAL AND INVESTIGATIVE ORTHODONTICS

オンライン掲載 2023年1月9日

(副となる参考論文)

題 名 DETECTION OF ADENOID HYPERTROPHY AND NASAL OBSTRUCTION USING MEL-FILTER BANK

著 者 Hideaki Taketani, Masashi Nakayama, Shunsuke Ishimitsu, Yuko Muto, Shinichi Negishi, Kaori Ishii, Kazutaka Kasai and Satoshi Horihata

ICIC Express Letters Part B: Applications

第13巻12号 2022年12月発行

1. Abstract
2. 緒言
3. 資料および方法
  - 3-1. 研究1
    - 1) 資料
    - 2) 音の収録
    - 3) 周波数解析
  - 3-2. 研究2
    - 1) 被験者
    - 2) 鼻閉および咽頭扁桃肥大の判定
    - 3) 音声分析
      - (1) 被験者の収録と分析装置
      - (2) 被験音の音響学的分析
    - 4) 側面セファロ分析
    - 5) 統計方法
4. 結果
5. 考察
6. 結論
7. 参考文献
8. 図および表

## **1. Abstract**

Long-term mouth breathing during childhood results in severe malocclusion with abnormalities of the maxillofacial skeleton. Mouth breathing may result from nasal congestion due to airway narrowing caused by enlarged pharyngeal tonsils. Nasal congestion is defined as obstruction of the air passage from the nasal passages to the nasopharynx, which causes difficulty in nasal breathing or the perception of inadequate airflow through the nose during resting breathing. Acoustic rhinometry is used to diagnose nasal congestion. Acoustic nasal measurement involves objective assessment of the morphology of the nasal cavity using the reflection of acoustic waves generated by an inspection nozzle inserted into the nostrils. However, acoustic rhinometry is not suitable for younger children who have difficulty remaining still during examination. In addition, the diagnosis of enlarged pharyngeal tonsils has been mainly based on lateral cephalometry. Recently, dental cone-beam computed tomography has enabled measurement of the three-dimensional morphology of the airway and evaluation of the state of the airflow. Although these methods have excellent diagnostic accuracy for enlarged pharyngeal tonsils, they are not suitable during follow-up and general population health examinations because of the radiation exposure involved. Therefore, this study focused on voice analysis, which is non-invasive and easy to

perform.

In study 1, as a basic experiment, a 3D model was used to confirm the discriminability of the adenoid and nasal congestion. In study 2, the antiformant (AF) characteristics of nasal sounds using cepstrum analysis in patients who visited the orthodontic clinic of our university hospital and voice characteristics in patients with nasal congestion and enlarged pharyngeal tonsils based on the frequency changes in AF.

Twenty-five children with an adenoidal-nasopharyngeal ratio (AN ratio) of  $<0.5$  and nasal cavity resistance of  $0.5 \text{ Pa/cm}^3/\text{s}$  were assigned to the nasal obstruction group.

Nineteen children with an AN ratio of  $\geq 0.63$  and nasal cavity resistance of  $\leq 0.25 \text{ Pa/cm}^3/\text{s}$  were classified into the enlarged pharyngeal tonsils group. Twenty-two children with an AN ratio  $<0.5$  and nasal cavity resistance of  $<0.25 \text{ Pa/cm}^3/\text{s}$  were defined as the normal group.

To make the AF1 (the 1st formant) relative, the AF1 was divided by the 4th formant (AF1/F4), which reflects the vocal tract length of the child. The group with enlarged pharyngeal tonsils had the largest AF1/F4. The nasal breathing group had the next largest AF1/F4, and the normal group had the smallest AF1/F4.

Stenosed vocal tracts with nasal congestion or enlarged pharyngeal tonsils showed an

increased frequency due to obstruction of ventilation, and the AF1/F4 ratio in the enlarged pharyngeal tonsils group was greater than that of the nasal congestion group.

Voice analysis is a potential no-invasive method of distinguishing between nasal congestion and enlarged pharyngeal tonsils.

## 2. 緒 言

小児期における長期的な口呼吸は、顎顔面骨格の異常を伴う重度の不正咬合を引き起こすことがあると報告されている<sup>1-4)</sup>。口呼吸の原因の一つとして、鼻閉や咽頭扁桃の肥大による気道狭窄による鼻呼吸の阻害がある<sup>1)</sup>。鼻閉とは、鼻から上咽頭にかけて空気の通過を妨げる要素が生じて、鼻呼吸がうまくいかない状態、あるいは安静呼吸状態で鼻を通る空気量が不十分な状態と定義されている<sup>5)</sup>。耳鼻科領域において、鼻閉を診査検査する方法として音響鼻腔計測法が用いられている<sup>6)</sup>。音響鼻腔計測法は鼻孔に挿入した検査ノズルから発生させた音響波の反射を利用することで鼻腔内の形態を客観的に検査することが可能である。しかしながら、検査中の静止が困難な低年齢児においては協力性が得られにくい。また、咽頭扁桃肥大の検査は側面頭部エックス線規格写真（以下、側面セファロ）による画像検査が多く報告されている<sup>1-3)</sup>が、近年開発された歯科用コーンビームCT（以下、CBCT）を用い、気道の三次元形態や気流の通気状態の評価が可能となってきた<sup>7)</sup>。これらの検査法は咽頭扁桃肥大の検査精度に優れているが、放射線の被曝を伴うため、疾患の経過観察や一般集団を対象とした健診におけるスクリーニングには適していない。

ヒトの音声信号は声帯の振動情報である音源特性と、声道の形態情報である声道特性より構成されている<sup>8)</sup>。声道形態は咽頭扁桃肥大によって変化するため、特徴的な音声信号が認められることが報告されている<sup>9)</sup>。そこで我々は、資料採取が非侵襲的かつ簡便である音声分析に着目した。小松ら<sup>10)</sup>は、咽頭扁桃肥大を音声分析により識別できると報告している。さらに、咽頭扁桃肥大に伴う気道狭窄による鼻音発声時の声道特性の変化に対してケプストラム分析の応用を報告している。また、鼻閉の有無の診断にはアンチフォルマント（以下、AF）が有効という報告もある<sup>11)</sup>。臨床において咽頭扁桃肥大は鼻閉を併発して

いるという報告が散見されている<sup>12)</sup>にもかかわらず、鼻閉を音声分析で評価した報告は少ない。音声分析により、口呼吸の原因となる鼻閉および咽頭扁桃肥大が簡便に識別できるようになれば、不正咬合の予防につながると考えられる。

そこで、研究1では基礎的研究として鼻閉と咽頭扁桃肥大における音声の周波数特性を明らかにする目的で、気道3Dモデル(以下、3Dモデル)によって鼻閉および咽頭扁桃肥大による気道狭窄の音声への影響を実験的に分析した。また、研究2では、生体において音声分析により鼻閉と咽頭扁桃肥大の識別が可能であるかを検証するために、日本大学松戸歯学部付属病院矯正歯科に来院し、矯正歯科治療を目的とした患者を対象としてAFにおける周波数の変化と気道狭窄の関係を検討した。

### 3. 資料および方法

#### 3-1. 研究1

##### 1) 資料

3Dモデル作製のため、日本大学松戸歯学部付属病院矯正歯科を受診し診療目的でCBCT (KaVo 3D eXam+, カボデンタルシステムズジャパン(株), 東京)を撮影した患者の中で、鼻腔通気度とセファロ分析による気道の計測により鼻閉および咽頭扁桃肥大がみられない10歳の女兒1名のCBCT画像データを用いた。CBCTの撮影は、座位において、フランクフルト平面を床と平行に固定し、咬頭嵌合位を指示し、呼吸様式は規定せず安静な状態で行った。撮像条件は、管電圧80kV、管電流5mA、照射時間26.9s、解像度0.2Voxelを基準とした。撮像された画像はDICOM形式に変換されたのち、DICOMビューワーソフトウェア (INTAGE station, Cybernet System, 東京)によりCBCT画像を再構築した。さらに、得られたCBCT画像をSTLデータ (STL EDITOR, 株式会社テトラフェイス, 東京)に変換し、3Dプリンタ



(Form2, Formlabs, 京都)を用いて 3D モデルを作製した(Fig. 1). STL データ上で, 鼻閉, 咽頭扁桃肥大の付与を再現し, 編集した STL データを 3D プリンターにて鼻閉 3D モデル, 咽頭扁桃肥大 3D モデルの作成を行った. 気道の閉塞率による違いを比較するため鼻閉による閉塞率を 3 条件(0%, 80%, 90%)とし, 便宜的に鼻前庭部を閉塞させ, 鼻腔通気度測定法ガイドライン<sup>13)</sup>における鼻腔抵抗値で, 重度鼻閉とされる 80%閉塞の抵抗値を再現し, 完全に閉塞させたものを 100%閉塞とした. 咽頭扁桃肥大率を 4 条件(0%, 10%, 80%, 90%)とし, 患者データの咽頭扁桃を STL データ上でカットしたものを咽頭扁桃肥大 0%モデルとし, 咽頭扁桃肥大を評価する藤岡ら<sup>14)</sup>の AN 比を用いて鼻咽頭径に対する咽頭扁桃肥大の厚さを参考値とし, 3D モデルに 10%, 80%, 90%肥大となるように咽頭扁桃肥大を付与した. また, 鼻閉モデル閉塞率 0%と咽頭扁桃肥大モデル肥大率 0%は同一のモデルである.

研究 1 は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認を受けている. (承認番号 EC17-029)

## 2) 音の収録

音の収録は, 無響室で行い, 3D モデルの声門側に設置したスピーカから TSP 信号を入力した. TSP 信号は 1 秒間に 20 Hz から 20k Hz までスイープさせた音である. 3D モデルに信号を鼻孔側に設置したマイクロフォン (MI-1432, (株) 小野測器) で収録した. 収録音は, オーディオアナライザ (APx555, (株) オーディオプレシジョン社) で周波数 48kHz, 精度 16bit で収録した(Fig. 2).

## 3) 周波数解析

各閉塞条件のもとで 3D モデルから収録した収録音のスペクトルおよび周波数特性(伝達関数)を求め, 全体的な傾向を把握するために 30 チャンネルのメルフィルタバンクの出力を用いてスペクトルをメルスペクトルに圧縮した<sup>15)</sup>. 3D モデルにおける鼻閉および咽頭扁桃肥大の閉塞率の周波数とメルスペクトルの特徴について正常群, 鼻閉群および咽頭扁桃

肥大群の比較をした。

### 3-2. 研究2

#### 1) 被験者

被験者は日本大学松戸歯学部附属病院矯正歯科に来院し、矯正歯科治療を目的とした精密検査のために側面セファロを撮影した者 66 名（男児 31 名，女児 35 名，平均年齢 8.3 ± 1.2 歳，Hellman の歯年齢ⅢB 期）とした。除外基準は、著しく鼻中隔湾曲を認める者，口蓋扁桃肥大を認める者，矯正治療中の者，顔面骨格の異常を伴う先天疾患を有する者とした。

各被験者には本研究の趣旨を説明し，音声収録の協力と同意を得た。なお，研究2は日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認を受けている。（承認番号 EC20-17-004-1）

#### 2) 鼻閉および咽頭扁桃肥大の判定

鼻閉の判定は，鼻腔通気度計測器（MPR3100，（株）日本光電，東京）により，内藤ら<sup>13)</sup>の方法に準じて，ノズルアンテリオール法にて鼻腔抵抗値を計測した。鼻腔抵抗値が 0.25Pa/cm<sup>3</sup>/s 以下が正常，鼻腔抵抗値が 0.50Pa/cm<sup>3</sup>/s 以上になると鼻呼吸から口呼吸へ移行するとされている<sup>16)</sup>ため，本研究では鼻腔抵抗値が 0.50Pa/cm<sup>3</sup>/s 以上を鼻閉，0.25Pa/cm<sup>3</sup>/s 以下を正常とした。

咽頭扁桃肥大の判定は，側面セファロより藤岡ら<sup>14)</sup>の方法に準じて，咽頭扁桃肥大の分類法である Adenoidal-nasopharyngeal ratio（以下，AN 比）によりおこなった。咽頭扁桃厚さ（以下，A）の計測は，大後頭孔前縁，蝶形骨 - 後頭骨軟骨結合の前下端を通る直線を設定し，これに直交する正中矢状断面上の咽頭扁桃の最肥厚部の距離とし，鼻咽腔径（以下，N）の計測は，蝶形骨 - 後頭骨軟骨結合の前下端(D)と後鼻棘(PNS)の距離とし，A を N で除した AN の値を求めた(Fig. 3)。AN 比 0.63 以上を中等度以上の咽頭扁桃肥大とし，AN 比 0.50 未満を正常な咽頭扁桃の大きさとした。

### 3) 音声分析

#### (1) 被験者の収録と分析装置

音声の収録は座位で行い、鼻孔から約 20cm 前方で呼気流の影響を受けない位置に単一指向性のコンデンサマイクロホン (ATM31a, (株)オーディオテクニカ, 東京) を設置した。被験音は上咽頭から鼻孔へ抜ける鼻子音/N/とし、被験者には口唇閉鎖を指示し、3 秒間の発声をさせ録音した。

音声はオーディオテクニカインターフェース (EDIROL UA-25EX, (株)ローランド, 静岡) を通して標本周波数 22.05kHz, 精度 16bit で量子化した。パーソナルコンピュータ (Vostro, (株)デル, 神奈川) に保存された音声データは音声波形分析・編集ソフト (Acoustic Core, (株)アルカディア, 大阪) を用いて有声音区間の切り出しを行った。

#### (1) 被験者の音響学的分析

本研究において鼻音に特徴的な周波数を特定するためケプストラム分析法を用いた (Fig 4)。ケプストラム分析では収録された音声をフーリエ変換により周波数に変換し、対数変換されたものを逆フーリエ変換する。この得られた結果がケプストラムとして定義される<sup>17)</sup>。ケプストラムの変数はケフレンシーと呼ばれ、低ケフレンシー領域は声道形態情報に相当する声道特性、高ケフレンシー領域は声帯振動情報に相当する音源特性を表している。ケプストラム分析では低ケフレンシー領域と高ケフレンシー領域を分離するフィルタリング処理 (リフタリング) を行うことで声道と声帯に特徴的な信号を分離可能である。本研究では声道特性を抽出するため、低ケフレンシー領域をフーリエ変換し、周波数領域 (パワースペクトル) に戻す。それにより、低ケフレンシー領域に含まれる音声信号はパワースペクトル上で強調された複数のピーク (フォルマント) として認められる。また、音声解析ソフト (Matlab R2017b, Mathworks, USA) を用いて切り出し区間のケプストラム分析を行い、得られたケプストラムに対しリフタリングを行った。リフタリングでは低ケフレンシー領域の

抽出のための項数であるケプストラム係数を設定し、ケプストラム係数分の音声信号のパワースペクトルを得た。なお、被験音である/N/は閉鎖した口腔での音エネルギーの損失に伴い、特徴的な第1アンチフォルマント(以下AF1)が認められる<sup>11)</sup>。そのため、本研究においてはパワースペクトルよりAF1を特定し周波数を算出した(Fig. 5)。

個体差による声道長の違いを補正するため、小児の声道長を反映するとされる第4フォルマント(F4)を用いて、石井ら<sup>18)</sup>の方法に準じてAF1をF4で除した値(以下、AF1/F4)を算出した。AF1/F4の平均値について正常群、鼻閉群および咽頭扁桃肥大群の比較を行った。

#### 4) 側面セファロ分析(Fig. 6)

側面セファロの撮影は、被験者のフランクフルト平面と床とを平行に位置づけ、下顎は咬頭嵌合位とした。側面セファロのトレースはDowns分析、Tweed分析により行い、トレースおよび計測は経験4年の矯正歯科医1名によって行われた。

#### 5) 統計方法

各計測項目の平均値、標準偏差を算出するとともにShapiro-Wilkの検定手法により各群が正規分布していることを確認した。 $t$ -test(危険率5%)にて男女間の有意差を検討した。3群間における平均値の比較をTukey-Kramer HSD test(危険率5%)にて検討した。なお、統計解析にはIBM SPSS statistics 28.0(日本IBM, 東京)を用いた。

## 4. 結果

### 研究1

Fig. 7に各3Dモデルの伝達関数を示す。鼻閉の閉塞率が80%の場合において、1.8kHzと3.0kHzで音圧の低下(ディップ)が認められた(Fig. 7(a))。咽頭扁桃肥大モデルの実験

では 1.7kHz 付近において、全ての閉塞率でディップが認められ、閉塞率が高い方がディップが発生する周波数が高くなる傾向にあった (Fig. 7(b)). Fig. 8 にメルスペクトルを示す. 鼻閉の閉塞率が 80% と 90% で 15 チャンネルから 23 チャンネルの間で音圧の低下を認めた (Fig. 8(a)). 咽頭扁桃肥大モデルの実験では、閉塞率が 80% と 90% では 22 チャンネルから 23 チャンネルの間に著しい音圧の低下が認められた (Fig. 8(b)).

## 研究 2

### 被験者の鼻腔抵抗値による分類

鼻腔抵抗値が  $0.5\text{Pa}/\text{cm}^3/\text{s}$  以上で AN 比 0.5 未満の小児は 25 名 (男児 11 名, 女児 14 名, 平均年齢  $8.1 \pm 1.3$  歳) であった. これらの小児を鼻閉群とした. 鼻腔抵抗値が  $0.25\text{Pa}/\text{cm}^3/\text{s}$  以下で AN 比 0.63 以上の小児は 19 名 (男児 9 名, 女児 10 名, 平均年齢  $8.0 \pm 1.2$  歳) であった. これらの小児を咽頭扁桃肥大群とした. 鼻腔抵抗値が  $0.25\text{Pa}/\text{cm}^3/\text{s}$  以下で AN 比 0.5 未満の小児は 22 名 (男児 11 名, 女児 11 名, 平均年齢  $8.7 \pm 1.1$  歳) であった. これらの小児を正常群とした.

### 計測誤差

測定中に発生した誤差の程度を評価するため、最初の測定から 1 か月後に 66 個体の 14 の変数を同一計測者が再度計測した. 対応のある t 検定 (信頼区間 95%) により系統的な誤差を検証し, Dahlberg<sup>19)</sup> の式 ( $EM = \sqrt{(\sum d^2/2n)}$ ,  $d$  は 1 回目と 2 回目の計測値の差,  $n$  は 2 回の計測を行った個体数) を用いて偶発誤差を求め, 全分散に対する誤差分散の割合 (誤差%) を算出した. 1 回目と 2 回目のセファロ分析の平均値の差は  $-0.25^\circ \sim 0.02^\circ$  で, 音声分析では  $-0.23\% \sim -0.03\%$  であった. 対応のある t 検定で有意となった計測項目はなかった. 以上から, 系統誤差が分析結果に影響を与えることは, ほとんどないと考えられる. また, Dahlberg の式で計算した偶発誤差は, セファロ分析の角度測定では  $1.0^\circ$  以下, 音声分析では 1.02% 以下であり, 標本総分散に対する各測定項目の誤差

分散は 0.25% - 3.66%であった。したがって、測定における偶発誤差の影響は十分に小さく、統計分析の結果を左右することはないと考えられる。

## 音声分析

AF1/F4 の値は咽頭扁桃肥大群が最も大きく、次いで、鼻閉群、正常群の順となり、すべての群間に有意な差を認めた (Table1) が、男女差は有意ではなかった。 (Table2)

### 側面セファロ分析

正常群、鼻閉群、咽頭扁桃肥大群の比較では、咽頭扁桃肥大群の Lower facial height は正常群と比較して有意に大きく、咽頭扁桃肥大群の Mandibular arc は正常群と比較して有意に大きかった (Table3) 。男女差はほとんどの項目で認められなかったが、鼻閉群の Mandibular arc は女兒の方が有意に大きかった (Table4)。

## 4. 考 察

### 研究 1

本研究は、鼻閉および咽頭扁桃肥大による気道狭窄を付与した 3D モデルを作製し、鼻閉と咽頭扁桃肥大における音の周波数の特徴を確認することを目的としている。平川<sup>20)</sup>は人を対象として中鼻道および総鼻道に綿球を留置し、人為的な鼻閉状態で音声を収録し、周波数解析をおこない、鼻閉のない状態と鼻閉状態で差が認められたと報告している。また、小松ら<sup>8)</sup>は、塩ビ管を用いた周波数解析の基礎的実験において塩ビ管の閉塞の条件により周波数特性が異なる特徴を示し、音響的变化が周波数特性より検出可能であることを報告している。本研究ではより臨床的に再現するため 3D モデルを用い、鼻閉および咽頭扁桃肥大の閉塞率を変化させ、周波数の違いによる特徴が検出されるか検討した。その結果、鼻閉の閉塞率が 80% の場合において、1.8kHz と 3.0kHz で音圧の低下 (ディップ) が認

められた。咽頭扁桃肥大においては 1.7kHz 付近において、すべての閉塞率でディップが認められ、閉塞率が高い方ほどディップが発生する周波数が高くなる傾向にあった。

平江ら<sup>21)</sup>は、周波数に対する人間の聴覚特性を考慮し、帯域内のエネルギーを均一化するためにメルフィルタバンクを用いて音声解析をしたと報告している。本研究では、鼻閉において閉塞率 0% で 15 チャンネルから 23 チャンネルの間で音圧の上昇を認めた。また、咽頭扁桃肥大の閉塞率が 80% と 90% では 22 チャンネルから 23 チャンネルの間に著しい音圧の低下が認められた。これらの結果から、閉塞率の違いにより周波数特性がみられ、音響的变化によって鼻閉および咽頭扁桃肥大の閉塞率も検出できることが示唆された。

## 研究 2

### 音声分析

本研究で用いた鼻音の調音上の特徴は、鼻腔と口腔の二股共鳴管の様相を呈することであり、この場合、音エネルギーが効果的に通過しないため特徴的な AF が生じる<sup>11)</sup>。AF を含む声道特性はケプストラムの低ケフレンシー領域に含まれるため、高ケフレンシー領域との境界を分離するためのリフタリングは重要である。本研究においてリフタリングは任意のケプストラム係数分の低ケフレンシー領域の抽出を行い、パワースペクトル上で AF1 を算出した。フォルマントは声道の形状および長さにより変化する<sup>9)</sup>ことから、被験者間の個体差を是正する必要がある。小松ら<sup>10)</sup>はケプストラム分析より得た被験者の基本波長を CBCT より計測した声道長で除し、波長声道長比を算出し、被験者間の体格差の是正をおこなった。声道長を計測する方法として側面セファロや CBCT などが有用であると報告されている<sup>1-3)</sup>。しかしながら、これらは被爆を伴うためスクリーニングには向いていない。一方、F4 は小児の声道の長さを反映しているという報告がある<sup>22)</sup>。石井ら<sup>18)</sup>は第二フォルマントを F4 で除して第二フォルマント周波数を相対化させる方法を用いてい

る。そこで我々は、非侵襲的に音声による識別が可能である F4 を用いることで、非侵襲的に音声のみで識別することを検討した。

音声分析の結果、AF1/F4 の値は咽頭扁桃肥大群が最も大きく、次いで、鼻閉群、正常群の順となった。周波数と波長は互いに逆数の関係にあるとされており<sup>23)</sup>、また、小松らの研究によると波長と声道長は近似していると報告されている。さらに、正常群の声道が声帯から鼻孔まで狭窄部位がないことに対し、咽頭扁桃肥大群では咽頭扁桃肥大に伴う声道の狭窄があるため、声帯から咽頭扁桃肥大部までが波長に反映された結果、正常群よりも咽頭扁桃肥大群で波長が短く算出されたことが要因であると報告している。本研究において鼻閉群の AF1/F4 も同様に正常群の AF1/F4 よりも大きい値となった。これは、鼻閉群では鼻閉部に伴う声道の狭窄があるため、声帯から鼻閉部までが波長に反映された結果、正常群よりも波長が短く算出されたと考えられる。さらに鼻閉群と咽頭扁桃群の AF1 /F4 を比較すると咽頭扁桃肥大群の方が大きい値を示したことから、声帯から狭窄部位までの距離が咽頭扁桃肥大群の方が短いために波長が短く算出されたことが示唆された。以上のことから、音声分析による正常、鼻閉および咽頭扁桃肥大の識別の有効性が示唆された。

#### 側面セファロ分析

咽頭扁桃肥大は鼻呼吸を妨げ、口呼吸となりアデノイド様顔貌と呼ばれる長顔型を示すといわれている<sup>4)</sup>。側面セファロ分析結果では Lower facial height は、正常群より咽頭扁桃肥大群が有意に大きく、Mandibular arc は正常群より咽頭扁桃肥大群が有意に小さかった。これらは下顎骨の垂直的な大きさに関する項目であり、咽頭扁桃肥大を有する者は長顔傾向にあることが示され、本研究でも同様の結果が得られた。

## 5. 結 論



1. 3D モデルを用いて鼻閉および咽頭扁桃肥大について異なる閉塞条件における周波数解析の基礎的実験をおこなったところ、閉塞率の違いにより周波数特性がみられ、音響的変化によって鼻閉および咽頭扁桃肥大の閉塞率を検出できることが示唆された。
2. 患者を対象とした音声解析をおこなったところ、AF1/F4 の値は咽頭扁桃肥大群が最も大きく、次いで、鼻閉群、正常群の順となったことから声帯から狭窄部位までの距離が波長に反映されたことが示唆された。以上のことから、音声分析による正常、鼻閉および咽頭扁桃肥大の識別の有効性が示唆された。
3. 側面セファロ分析結果、咽頭扁桃肥大群で下顎骨の垂直的な大きさに関する項目である Lower facial height が大きく Mandibular arc が小さかったことから、咽頭扁桃肥大を有する者は長顔傾向にあることが示唆された。

## 【文 献】

- [1] Park JE, Gray S, Bennani H, et al.: Morphometric growth changes of the nasopharyngeal space in subjects with different vertical craniofacial features, *Am J Orthod*, 150 : 2016, 451-458.
- [2] James A, McNamara JR. : Influence of Respiratory Pattern On Craniofacial Growth, *Angle Orthod*, 51 : 1981,269-300.
- [3] Woodside DG, Linder-Aronson S, Lundstrom A, et al. : Mandibular and maxillary growth after changed mode of breathing, *Am J Orthod*, 100 : 1991, 1-18.
- [4] Proffit RW ; 高田健治 (訳) : 新版 プロフィットの現代歯科矯正学, クインテッセンス出版, 東京, 2004, 137-141.
- [5] 市村恵一 : 鼻呼吸に関係した最近の知見. *JOHNS* 12 : 1996, 645-649
- [6] 加瀬康弘, 大木幹文 : 音響鼻腔計測定法 (Acoustic Rhinomanometry) ガイドライン, *日鼻誌*, 40 : 2001, 332-336.
- [7] Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, Inada E, Kanomi R, Hayasaki H, et al. Evaluation of upper airway obstruction in Class II children with fluid-mechanical simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 139: 2011,135–45.
- [8] Noll AM. Short-time spectrum and “cepstrum” techniques for vocal-pitch detection. *J Acoust Soc Am*.36: 1964, 296-302.
- [9] 平原達也, 藤原郁, 小沢健二, 宮坂榮一 : 音と人間, コロナ社, 東京, 2013, 168-176
- [10] Komatsu S, Nakayama M, Kabashima K, Ishii K, Negishi S, Ishimitsu S, et al. Noninvasive examination of the adenoids using acoustic analysis. *IJOMS*;18: 2019, 36–44.
- [11] レイ・D ケント, チャールズ・リード : 音声の音響分析, 海文堂, 東京, 1996, 38-44.
- [12] Takahashi H, Fujita A, Honjyo I: Effect of adenoidectomy on otitis media with effusion, tubal function, and sinusitis. *Am J Otolaryngol* 10: 1989, 208-213.
- [13] 内藤健晴, 宮崎総一郎, 野中聡 : 鼻腔通気度測定法 (Rhinomanometry) ガイドライン, *日鼻誌*, 40 : 2001, 327-331.
- [14] Fujioka M, Young L, Girdany B. Radiographic evaluation of adenoidal size in children: adenoidal-nasopharyngeal ratio. *AJR Am J Roentgenol*.;133: 1979,401–404.
- [15] Meng-Yao Chang, Cheng Kai, Consideration of voice feature extraction for humming retrieval, *Proceedings of the 83th National Convention of IPSJ*
- [16] 大木幹文 : 鼻呼吸から口呼吸への転換とその 評価法. *JOHNS*; 12 (5) : 1996, 659-662
- [17] 板橋秀一 編著 : 音声工学, 森北出版, 東京, 2008, 86–111.

- [18] 石井かおり, 斎藤勝彦, 葛西一貴. 舌突出癖を有する成人の顎顔面骨格と咽頭気道の形態学および音響学的特徴. *Orthod Waves-Jpn Ed* ; 71: 2012, 33-41
- [19] Dahlberg G. *Statistical methods for medical and biological students*. London: George Allan and Unwin Ltd. 1940:122-132.
- [20] 平川勝洋, 益田慎, 川本浩子ほか: 鼻閉と音声, *日本鼻科学会誌*, 36 : 1997,162-168,
- [21] 平江遼, 西隆司: 感性に基づくクラシック音楽の分類, *日本鼻科学会誌*, *日本音響学会誌* 64 (10), 2008, 2008
- [22] Peter Ladefoged: 竹林 滋, 牧野武彦訳: 音声学概説, 大修館書店, 東京, 1999, 234-257.
- [23] レイ・D ケント, チャールズ・リード: 音声の音響分析, 海文堂, 東京, 1996, 16-18.

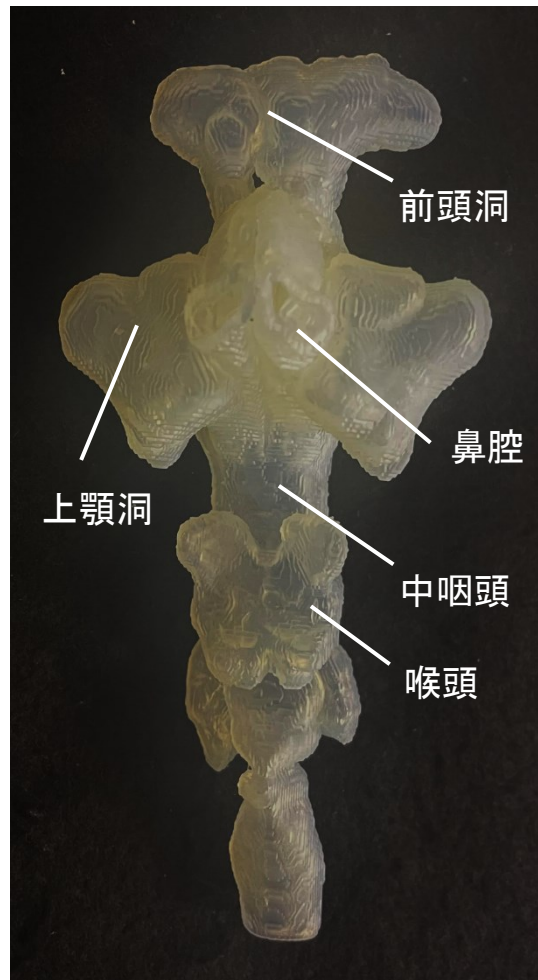


Fig 1. 3D モデル

CBCT 画像を STL データ (STL EDITOR, 株式会社テトラフェイス, 東京) に変換し, 3D プリンタ (Form2, Formlabs, 京都) を用いて 3D モデルを作製した.

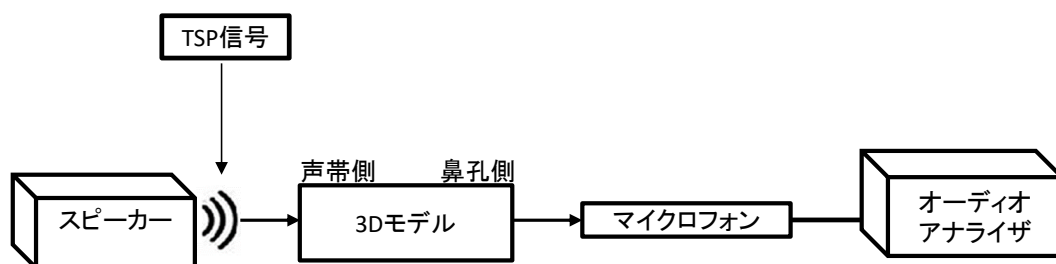


Fig 2. 音の収録

3D モデルに信号を鼻孔側に設置したマイクロフォン (MI-1432, (株) 小野測器) で収録した. 収録音は, オーディオアナライザ (APx555, (株) オーディオプレシジョン社) で周波数 48kHz, 精度 16bit で収録した.

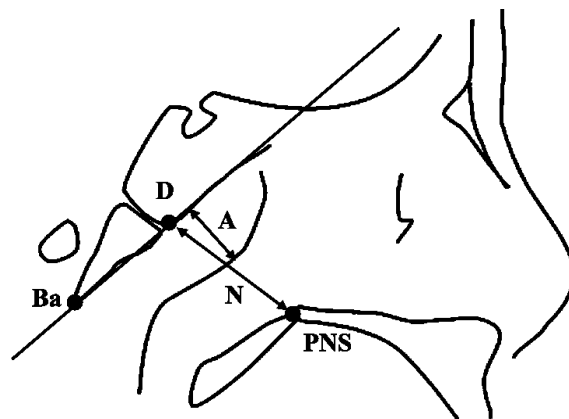


Fig 3. Adenoidal-Nasopharyngeal ratio (AN 比)

咽頭扁桃厚さ(A) : 大後頭孔前縁(Ba)と蝶形骨-後頭骨軟骨結合の前下端(D)を通る直線を設定し, これに直交する正中矢状断面上の咽頭扁桃の最肥厚部の距離とした.

鼻咽頭径(N) : 蝶形骨 - 後頭骨軟骨結合の前下端(D)と後鼻棘(PNS)の距離とした.

AN 比 : A を N で除した値.

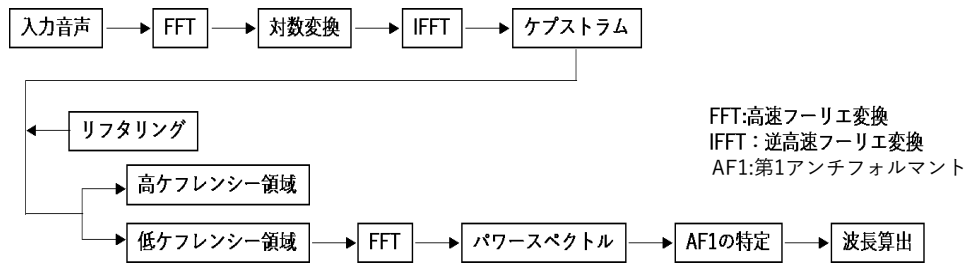


Fig 4. ケプストラム分析の概要

入力音声をフーリエ変換により周波数に変換し、対数変換されたものを逆フーリエ変換することで得られるケプストラムにおいて声道特性は低ケフレンシー領域に、音源特性は高ケフレンシー領域に含まれる。二つの領域の境界をリフタリングにより分離することで、声道特性を含む低ケフレンシー領域を抽出し、再度フーリエ変換を行うことで周波数領域（パワースペクトル）に戻す。パワースペクトルより鼻音に特徴的なAF1を特定し波長へと変換する。

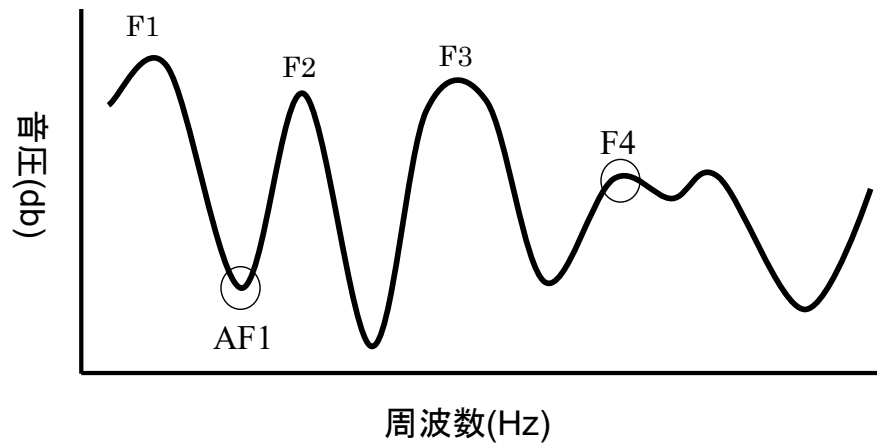


Fig 5. 周波数特性のスペクトル

パワースペクトル上には音響的特徴として フォルマントが複数のピークとして認められる。本研究では第1 アンチフォルマント周波数 (AF1) および第4フォルマント (F4) を特定した。



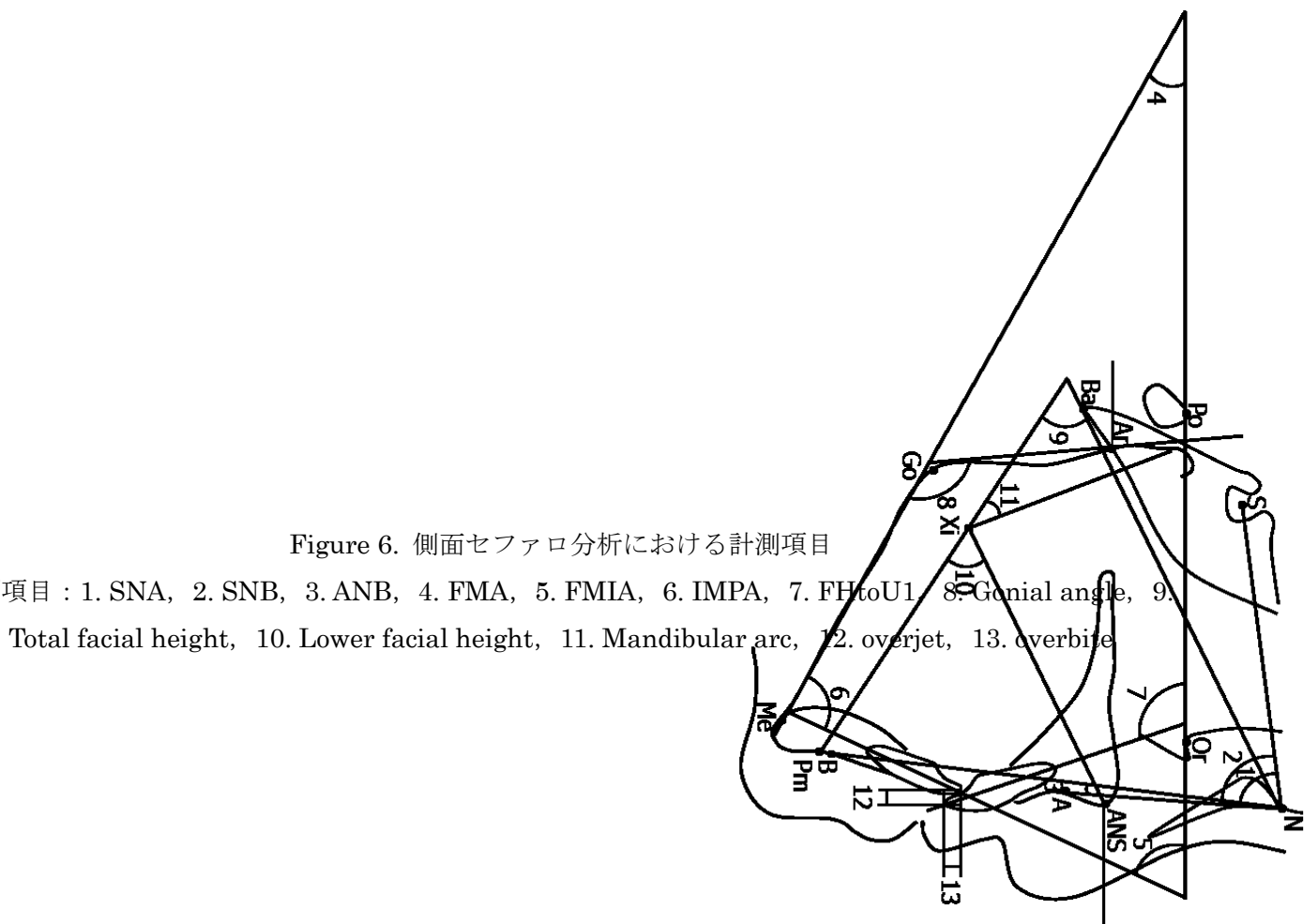
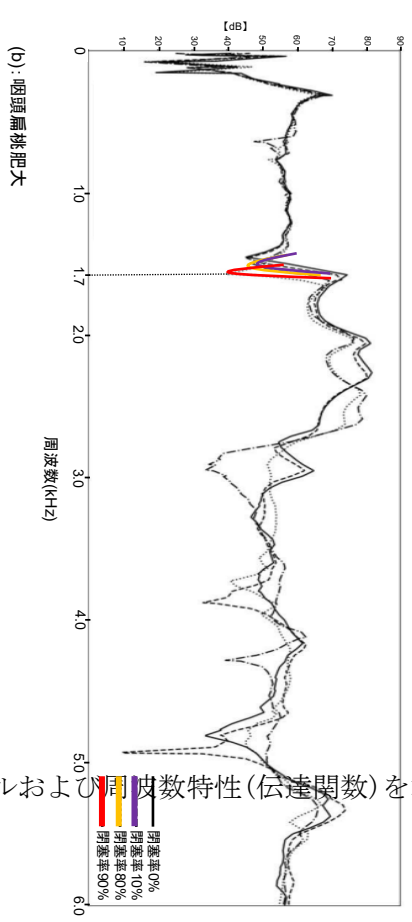
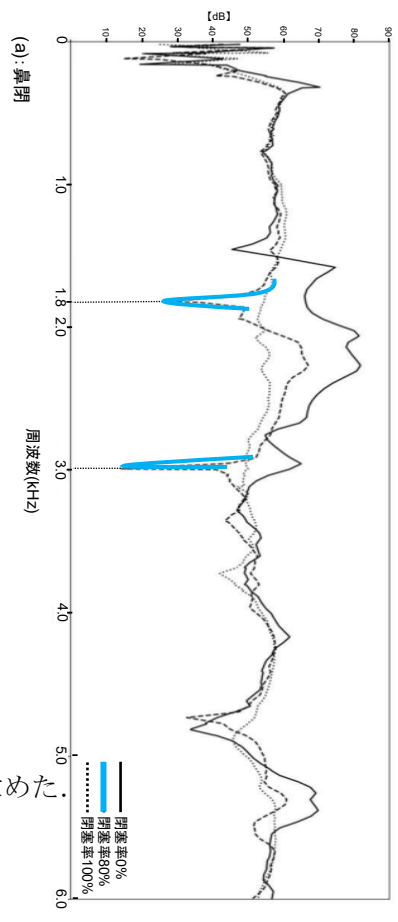
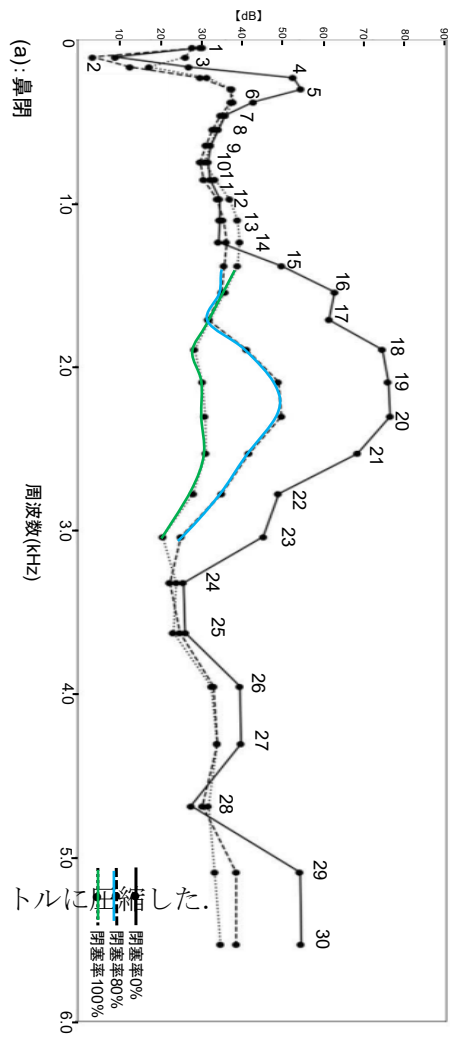


Figure 6. 側面セファロ分析における計測項目

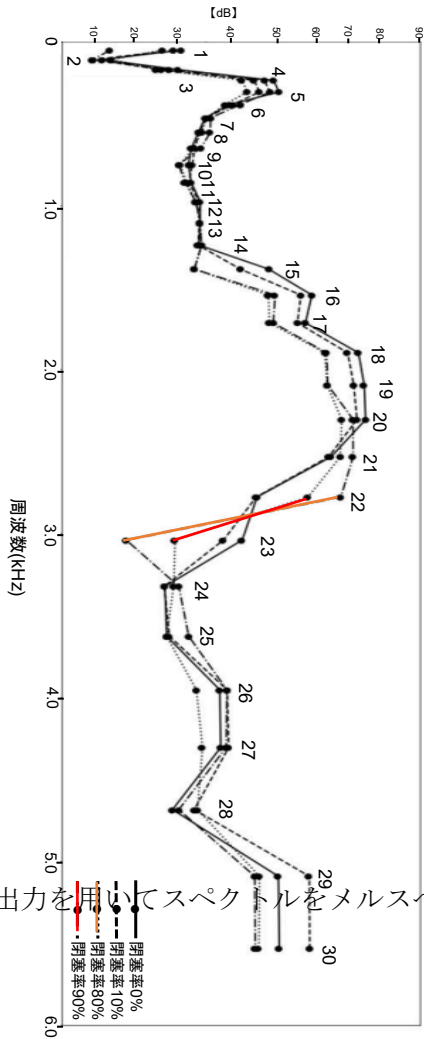
項目 : 1. SNA, 2. SNB, 3. ANB, 4. FMA, 5. FMIA, 6. IMPA, 7. FHtoU1, 8. Gonial angle, 9. Total facial height, 10. Lower facial height, 11. Mandibular arc, 12. overjet, 13. overbite



および周波数特性(伝達関数)から収録した収録音のスペクトルおよび周波数特性(伝達関数)を求めた。



(a): 鼻閉



(b): 咽頭扁桃肥大

ペクトル

フィルタバンクの出力を用いてスペクトルをメルスペクトルに変換した。

Table1 各群の音声分析の比較

	正常群 (n=22) Mean(S.D.)	鼻閉群 (n=25) Mean(S.D.)	咽頭扁桃肥大群 (n=19) Mean(S.D.)
AF1/F4(%)	17.5(1.6)	19.0(1.8)	20.4(2.0)

\*:p<0.05, *Tukey HSD*-test

Table2 各群の音声分析の男女差

	正常群 (n=22)		鼻閉群 (n=25)		咽頭扁桃肥大群 (n=19)	
	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)
AF1/F4(%)	17.4(2.0)	17.7(1.3)	19.3(2.0)	18.6(1.6)	20.1(1.8)	20.7(1.5)

\*:p<0.05, t-test

各群の男女に有意な差はなかった.

Table3 各群のセファロ分析値の比較

	正常群 (n=22) Mean(S.D.)	鼻閉群 (n=25) Mean (S.D)	咽頭扁桃肥大群 (n=19) Mean(S.D.)
SNA(° )	79.9 (3.5)	80.0 (3.0)	79.1 (4.0)
SNB(° )	77.4 (2.7)	77.0 (2.9)	76.1 (2.7)
ANB(° )	2.5 (3.1)	3.0 (3.2)	3.0 (3.1)
FMA(° )	30.1 (2.2)	29.3 (3.5)	29.7 (3.1)
FMIA(° )	60.1 (5.2)	58.3 (5.2)	60.1 (7.4)
IMPA(° )	90.0 (5.0)	92.4 (6.6)	88.3 (10.1)
FHtoU1(° )	110.6 (11.0)	114.9 (11.1)	111.8 (8.0)
Gonial angle(° )	126.8 (4.6)	125.2 (4.9)	127.6 (4.5)
Total facial height(° )	62.3 (2.8)	62.3 (3.2)	63.2 (2.7)
Lower facial height(° )	47.8 (2.8)	49.2 (2.9)	50.0 (2.1)
Mandibular arc(° )	28.1 (3.7)	26.7 (4.9)	24.7 (2.6)
overjet(mm)	2.5 (3.2)	2.9 (2.6)	2.3 (2.2)
overbite(mm)	1.9 (1.1)	1.6 (2.0)	1.8 (2.3)

\*:p<0.05, Tukey HSD-test

Table4 各群のセファロ分析値の男女差

	正常群 (n=22)		鼻閉群 (n=25)		咽頭扁桃肥大群 (n=19)	
	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)	男児 Mean(S.D.)	女児 Mean(S.D.)
SNA(°)	79.5(3.5)	80.4(3.7)	80.0(2.8)	80.0(3.3)	78.2(5.0)	80.2(2.4)
SNB(°)	77.7(2.0)	78.1(3.6)	76.4(2.6)	77.7(3.2)	75.5(3.2)	76.8(1.8)
ANB(°)	2.8(3.4)	2.2(2.3)	3.6(3.0)	2.3(3.5)	2.7(3.4)	3.4(2.9)
FMA(°)	29.6(2.3)	30.6(5.5)	30.0(3.0)	28.6(4.0)	30.5(3.4)	28.8(2.6)
FMIA(°)	60.1(5.0)	60.1(9.0)	57.2(4.3)	59.6(6.2)	65.7(4.4)	59.1(5.6)
IMPA(°)	90.3(5.1)	89.2(6.7)	92.9(5.0)	91.8(8.4)	84.9(3.7)	92.1(6.7)
FHtoU1(°)	111.8(13.3)	109.4(7.1)	117.1(12.8)	112.0(8.0)	108.8(8.6)	115.2(6.0)
Gonial angle(°)	126.1(4.5)	127.5(5.1)	126.2(4.7)	124.0(5.6)	129.0(4.1)	126.1(4.7)
Total facial height(°)	62.2(3.1)	62.3(5.3)	62.7(2.6)	61.9(3.9)	62.5(2.2)	64.1(3.1)
Lower facial height(°)	47.5(3.9)	48.0(5.1)	49.3(2.2)	49.1(3.7)	49.4(2.8)	50.4(0.9)
Mandibular arc(°)	28.7(3.9)	27.5(3.9)	25.0(3.0)	29.0(5.9)	25.2(3.2)	24.1(1.7)
overjet(mm)	2.6(3.7)	2.5(1.6)	3.4(3.0)	2.3(2.3)	2.0(2.8)	2.8(1.5)
overbite(mm)	1.8(1.1)	2.0(1.7)	1.4(1.3)	1.9(1.9)	2.0(3.1)	1.7(1.2)

\*:p&lt;0.05, t-test