

骨格性 I 級不正咬合における上下顎両側小白歯抜去を伴う矯正歯科治療が咽頭

部上気道に及ぼす影響

金光 恵

緒 言

閉塞性睡眠時無呼吸症候群(Obstructive sleep apnea syndrome: OSAS)は、睡眠中に上気道の閉塞が繰り返され、酸素飽和度の低下と睡眠中断を生じる疾患であり、我が国では無呼吸低呼吸指数(Apnea-Hypopnea Index: AHI)が1時間に15回以上の中等度以上の成人有病者数が900万人以上であるとされている^{1,2)}。過去の研究では、肥満、性別、年齢、閉経状態、喫煙および民族性だけでなく、顎顔面骨格形態とくに上下顎骨の後退位もOSASの危険因子であることが示唆されている³⁻⁷⁾。事実、顎矯正手術の一つである上下顎骨前方移動術(Maxillo Mandibular Advancement: MMA)を受けた患者では咽頭気道腔の即時増加が示されており⁸⁻¹⁰⁾、OSASは矯正歯科治療にも関係の深い疾患の一つと言える。これまでOSASに対する有効な治療法として顎矯正手術が行われてきたが、外科手術を伴わない上顎急速拡大装置のみによる歯列弓の側方拡大により、OSASの症状が改善したとする報告もあり¹¹⁾、顎矯正手術のみならず矯正歯科治療においても、その治療効果が上気道の形態に及ぼす影響は無視できないものと言える。矯正歯科治療が上気道に及ぼす影響に関する既存の報告とし

て、歯科用コーンビームコンピュータ断層撮影を用いた評価により、WangらとChenらは、骨格的不調和のない成人患者では便宜抜去を伴う矯正歯科治療により上気道断面積が減少することを報告している^{12,13)}。一方でMaaitahらは、矯正歯科治療前後で上気道断面積が変化しないことを見出した¹⁴⁾。システムティックレビューにおいても、便宜抜去を伴う矯正歯科治療により上気道容積や断面積が減少するという概念を裏付ける十分なエビデンスはまだないとされている¹⁵⁾。このように、上気道の変化とそのメカニズムについてはまだ議論の余地がある。そのため、矯正歯科治療において最も一般的な症例とされる骨格性I級不正咬合症例において、その治療に頻用される上下顎両側小白歯抜去を伴う矯正歯科治療が上気道にどのような影響を与え得るかを検討することは非常に有用であると考えた。

上気道の形態的特徴を定量的に評価する研究は従来から行われており、側面頭部エックス線規格写真やコンピュータ断層撮影など静的評価が用いられてきた^{5,9,10,12-15)}。しかし、上気道は呼吸や嚥下により形態が変化するため、呼吸と嚥下の影響を考慮した動的測定にて上気道全体を評価する必要があった。過去のOSASに関する研究では、動的磁気共鳴画像 (kinetic magnetic resonance

imaging: kinetic MRI) は、上気道の動的変化や狭窄部位を正確に評価することができる手法として¹⁶⁻²³⁾、また従来の volumetric MRI は静的画像ではあるものの、上気道の三次元的な形態を評価可能な手法として用いられている²⁴⁾。

25) .

そこで、本研究は、骨格性 I 級不正咬合における上下顎両側小臼歯抜去を伴う歯科矯正治療が上気道に及ぼす影響を kinetic MRI, volumetric MRI, 側面頭部エックス線規格写真を用いて詳細に調査・検討した。

方 法

本研究は岡山大学臨床研究審査専門委員会の承認を受けて実施されており (承認番号：臨 1701-009)、全ての被験者に対して説明と同意取得を行った。

1. 被験者

2017年1月17日から2021年5月31日の間に岡山大学病院矯正歯科を受診し、先天性疾患や症候群患者、16歳未満、MRIの撮像に支障をきたす者、同意拒否患者を除外し、二期治療開始前であり骨格性I級かつ上下顎小白歯抜去を行う患者18名を対象とした。そして、その中から動的治療が終了し、矯正歯科治療前後の資料が採得できた10名を被験者とした(図1)。その内訳は男性2名、女性8名、平均年齢 22.7 ± 3.39 歳、body mass index (BMI) $20.5 \pm 1.94 \text{kg/m}^2$ であった(表1)。

2. 側面頭部エックス線規格写真分析

撮影方法：岡山大学病院のエックス線高電圧装置(セファロ X線撮影装置 CX-90SP, 朝日レントゲン工業株式会社, 京都, 日本)を用い、覚醒状態、座位、フランクフルト平面が水平になる姿勢で撮影した。撮影条件は管電圧 80 kVp, 管電流 80 mA, 照射時間 0.2 秒とした。撮影時は被験者に口唇閉鎖させ、呼吸は安静状態とした。矯正歯科治療前と矯正歯科治療後にそれぞれ1回ずつ撮影を実施した。

分析方法：調査者 1 名が各レントゲン画像のトレースを行い，矯正診断ソフト (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, USA) を使用し，角度計測および線計測を行った．分析項目を表 2 および図 2 に示す²⁶⁻³⁰⁾．

治療前と治療後の画像それぞれについて分析を行い，各分析項目の平均値とその変化量を調べた．

3. 上気道形態評価方法

1) Kinetic MRI を用いた計測

撮像方法：岡山大学病院の MR 装置 (MAGNETOM Aera 1.5T, Siemens Healthineers, Erlangen, Germany) を用い，被験者を覚醒状態かつ仰臥位で咽頭部上気道の正中矢状面を撮像した．撮像条件は T2 強調画像 Single Shot 高速 Spin Echo 法，repetition time (TR) = 1000 ms，echo time (TE) = 71 ms，Flip Angle = 120 deg，field of view (FOV) = 320 mm，thickness = 6.0 mm，matrix = 320 × 224，Acceleration factor = 2，Measurement = 60 とした．矯正歯科治療前と矯正歯科治療後，それぞれ 2 回ずつ撮像した．

分析方法：上気道分析には、ボリュームアナライザーSYNAPSE VINCENT (富士フイルム，東京，日本)を用いた。結果のばらつきを抑えるために，2回の撮像で得られた画像データのうち，嚥下運動をしていない画像を選択して分析を行った。毎秒撮像した連続画像各 60 枚について，咽頭部上気道を口蓋平面から口蓋垂下端を通る口蓋平面に平行な線までを軟口蓋後方気道領域，口蓋垂下端(咽頭峽)を通る直線から喉頭蓋基部を通る口蓋平面に平行な線までを舌根部後方気道領域として，それぞれの断面積を計測した(図 2)。計測は調査者 1 名が実施した。各 60 枚の画像の断面積の平均値，最大値，中央値，最小値を求め，それぞれの対象者 10 名の平均と矯正歯科治療前後の変化量を調べた。

2) Volumetric MRI を用いた計測

撮像方法：岡山大学病院の MR 装置(MAGNETOM Aera 3.0T, Siemens Healthineers, Erlangen, Germany)を用い，被験者を覚醒状態かつ仰臥位で撮像した。3D- Volumetric Interpolated Breath-hold Examination シーケンスを使用し、撮像条件は TR = 3.87 ms, TE = 1.35 ms, Flip Angle = 12 deg, FOV = 300 mm, thickness = 1.0 mm, matrix = 288×230, Band Width = 480 Hz/Px,

Acceleration factor = 2 とした。矯正歯科治療前と矯正歯科治療後、それぞれ 1 回ずつ撮像した。

分析方法：分析は調査者 1 名が実施した。上気道分析には、矯正診断ソフト (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, USA) を用いた。咽頭部上気道を口蓋平面から口蓋垂下端(咽頭峽)を通る口蓋平面に平行な線までを軟口蓋後方気道領域、口蓋垂下端を通る直線から喉頭蓋基部を通る口蓋平面に平行な線までを舌根部後方気道領域として、それぞれの容積を計測した。さらに、咽頭部上気道の最狭窄部の水平断面積およびその幅径と前後径を計測した。(図 3)。

4. 統計処理

統計分析は、Microsoft® Excel® 2019 MSO (バージョン 2310 ビルド 16.0.16924.20054) 64 ビットを使用して実行した。対応のある t 検定を使用し、2 つの従属データで有意差があるかを調べた。また、ピアソンの相関係数を使用し、各変数間の関係を推定した。ピアソンの相関係数の値が $r > 0.75$ は

強い相関, $0.5 \leq r \leq 0.75$ は中等度の相関, $0.25 \leq r \leq 0.5$ は弱い相関, $r < 0.25$ は相関関係なしと定義した. 有意水準は $P < 0.05$ とした.

結 果

1. 側面頭部エックス線規格写真分析

矯正歯科治療前後における顎顔面骨格形態の変化を側面頭部エックス線規格写真分析を用いて調べた結果を表 3 に示す.

1) 骨格性評価

治療前後で骨格性分析項目である SNA 角(SNA), SNB 角(SNB), ANB 角(ANB), SN 平面に対する下顎下縁平面角(SN-Mp), フランクフルト平面に対する下顎下縁平面角(FH-Mp)に有意差は認められなかった.

2) 歯槽性評価

歯槽性分析項目において、SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-SN), フランクフルト平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-FH), 口蓋平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-PP), 下顎中切歯突出度(L1/AP), 上顎第一大歯と歯槽骨前方限界との距離(U6-A/PP)および下顎第一大歯と歯槽骨前方限界との距離(L6-B/Mp)の値は治療前と比較して治療後で有意な減少が認められた。一方, 上下顎中切歯歯軸傾斜角(IIA), 上顎第一大歯と歯槽骨後方限界との距離(Ptm-U6/PP)および下顎第一大歯と歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp)は有意に増加していた。また, フランクフルト平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-FH), 下顎下縁平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-MP), オーバージェット(OJ), およびオーバーバイト(OB)の値は, 治療前後を比較して有意差は認められなかった。つまり, 矯正歯科治療前後で上顎中切歯の舌側傾斜, 上顎第一大歯の近心移動, 下顎中切歯の舌側移動および下顎第一大歯の近心移動が有意に生じた。

2. 上気道形態評価

1) Kinetic MRI を用いた二次元動的評価

矯正歯科治療前後における咽頭部上気道正中矢状断面積の変化を kinetic MRI を用いて調べた結果を表 4 に示す。軟口蓋後方気道領域面積の平均値、最大値、中央値および最小値は、治療前と比較して治療後では有意な減少が認められた。舌根部後方気道領域面積の平均値、最大値および中央値は有意に減少していた。

2) Volumetric MRI を用いた三次元評価

矯正歯科治療前後における上気道形態の変化を volumetric MRI を用いて調べた結果を表 5 に示す。軟口蓋後方気道領域容積および舌根部後方気道領域容積は減少傾向ではあるものの有意差は認められなかった。最狭窄部水平断面積は有意に減少していたが、最狭窄部の幅径および前後径は減少傾向、縦横比は増加傾向である者の有意差は認められなかった。

3. 各変数間の関係

1) 咽頭部上気道正中矢状断面積の変化量と歯槽性の変化量との関連性

咽頭部上気道正中矢状断面積の変化量と歯槽性の変化量である SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-SN), 下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-MP), 下顎中切歯突出度(L1/AP), 上顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(Ptm-U6/PP), 下顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp), オーバージェット(OJ), およびオーバーバイト(OB)との関連性を評価するために相関係数を求めた結果を表6に示す。軟口蓋後方気道領域面積の最大値とオーバージェット(OJ)に強い負の相関を認めた。つまり, OJ が小さくなると軟口蓋後方気道領域の正中矢状断面積が拡大した。また, 舌根部後方気道領域面積の最大値と下顎下縁平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-Mp)に中等度の正の相関を認めた。さらに, 舌根部後方気道領域面積の平均値および中央値の変化量と下顎中切歯突出度(L1/AP)の変化量に中等度の正の相関, 舌根部後方気道領域面積の最大値の変化量と L1/AP の変化量に強い正の相関を認めた。つまり下顎中切歯の舌側移動に伴い, 舌根部後方気道領域の正中矢状断面積が減少することが示された。また, 舌根部後方気道領域面積の最小値の変化量と下顎大白歯の歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp)の変化量に中等度の正の相関を認めた。つまり下顎大白歯が近心移動すると舌根部後方気道領域面積が減少することが示され

た。一方で、咽頭部上気道正中矢状断面積の変化量と SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜(U1-SN)、上顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(Ptm-U6/PP)、オーバーバイト(OB)の変化量には有意な相関は認められなかった。

2) 咽頭部上気道容積および最狭窄部水平断計測値の変化量と歯槽性の変化量との関連性

咽頭部上気道容積および最狭窄部水平断計測値の変化量と歯槽性の変化量である SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-SN)、下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-MP)、下顎中切歯突出度(L1/AP)、上顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(Ptm-U6/PP)、下顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp)、オーバージェット(OJ)、およびオーバーバイト(OB)との関連性を評価するために相関係数を求めた結果を表 7 に示す。舌根部後方気道領域容積の変化量と下顎中切歯突出度(L1/AP)の変化量に中等度の正の相関を認めた。つまり下顎中切歯の舌側移動に伴い、舌根部後方気道領域容積が減少することが示された。一方で、軟口蓋後方気道領域容積の変化量と歯槽性の変化量に有意な相関は認められなかった。また、最狭窄部水平断面積と SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾

斜角(U1-SN)および下顎中切歯突出度(L1/AP)に正の相関を認めた。つまり、上顎中切歯の舌側傾斜および下顎中切歯の舌側移動に伴い最狭窄部水平断面積が減少することが示された。最狭窄部の幅径および前後径の変化量と歯槽性の変化量に有意な相関は認められなかった。

考 察

本研究は、骨格性 I 級不正咬合症例における上下顎両側小臼歯抜去を伴う歯科矯正治療が上気道に及ぼす影響を、高速で同一断面を撮像する kinetic MRI および上気道の三次元的形態を評価可能な volumetric MRI を用いて、顎顔面骨格形態の変化と比較することによって調査・検討した。

本研究の被験者は、平均年齢 22.7 ± 3.39 歳、body mass index (BMI) $20.5 \pm 1.94 \text{kg/m}^2$ であり、OSAS の危険因子であるとされている年齢や肥満という点を考慮する必要はなく、顎顔面骨格形態の変化による上気道の変化を評価するうえで適切であったと考えられる。また、上下顎骨の前後的不調和は認められ

ない骨格性 I 級症例であり，治療前後における骨格的な変化も認められなかった(表 2)．このことから，矯正歯科治療のみで不正咬合の改善が可能であり，歯槽性の変化が上気道に及ぼす影響を評価するうえで適切であったと考えられる．

矯正歯科治療後の軟口蓋後方気道領域および舌根部後方気道領域の正中矢状断面積は，矯正歯科治療前と比較して有意な減少が認められた(表 3)．咽頭部上気道の正中矢状断面積の変化と歯槽性の変化との関連性を評価するために相関係数を求めた結果，舌根部後方気道領域面積の変化量と下顎中切歯突出度(L1/AP)に中等度から強い正の相関を認めた．また，舌根部後方気道領域面積の最大値と下顎下縁平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-Mp)に中等度の正の相関を認めた(表 4)．L1/AP は下顎中切歯の傾斜移動に加え，歯体移動も反映されるため，より有意で強い相関が認められたと考えられる．つまり下顎中切歯の舌側移動に伴い，舌根部後方気道領域の正中矢状断面積が減少することが示された．さらに，舌根部後方気道領域面積の最小値の変化量と下顎大白歯の歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp)の変化量に中等度の正の相関を認めた．下顎白歯の固定が強いほど下顎中切歯の移動量が大きくなる．つまり，下

顎大白歯の近心移動量は下顎中切歯の舌側移動量に依存するため、舌根部後方気道領域矢状断面積と下顎白歯の近心移動量に相関が認められたと考えられる。

上気道は軟組織で構成されており、隣接する硬組織や付着する組織の解剖学的位置の変化が関連するものと考えられる⁸⁻¹⁰⁾。軟口蓋後方気道領域は、上顎骨、軟口蓋や口蓋扁桃などの位置や形態に影響を受け、舌根部後方気道領域は、下顎骨、舌骨、舌、舌骨上筋、咽頭収縮筋などの位置や形態による影響を受ける。したがって、下顎中切歯の舌側移動により固有口腔の容積が減少し、舌が上方や側方に変形したのではなく、後方に偏位することで咽頭部上気道の正中矢状断面積が減少したと考えられる。また、軟口蓋後方気道領域の正中矢状断面積の最大値とオーバージェット(OJ)に強い負の相関を認めた。つまり、OJが小さくなると軟口蓋後方気道領域の正中矢状断面積が拡大する。しかし、OJは上顎中切歯と下顎中切歯の前後的な位置関係を表しており、上下顎中切歯の前後的な移動方向を直接表現しているものではない。上顎中切歯と下顎中切歯の前後的な距離が近いほど小さくなる。そのため、下顎白歯の固定が弱く、下顎中切歯の舌側移動量が少ない、もしくは下顎中切歯が唇側傾斜するこ

とで OJ が改善された場合には、軟口蓋後方気道領域面積が有意に拡大するのではないかと考えられる。

矯正歯科治療前後で、最狭窄部水平断面積は有意に減少していた(表 6)。咽頭部上気道容積および最狭窄部水平断形態の変化量と歯槽性の変化量との関連性を評価するために相関係数を求めた結果、舌根部後方気道領域容積の変化量と下顎中切歯突出度(L1/AP)の変化量に中等度の正の相関を認めた。また、最狭窄部水平断面積と SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-SN)および下顎中切歯突出度(L1/AP)に正の相関を認めた(表 7)。しかし、矯正歯科治療前後で、咽頭部上気道容積および最狭窄部の幅径および前後径は減少傾向ではあるものの有意差は認められなかった。また、最狭窄部の縦横比が増加していたことから、上下顎両側小臼歯抜去を伴う矯正歯科治療により、下顎中切歯の舌側移動によって舌が後方に偏位し咽頭部上気道は前後的に狭窄するが、代償的に側方に拡大することが考えられる。この結果は、成人における小臼歯抜去と最大の固定による矯正歯科治療後の上気道の変化は、大きさの減少ではなく、主に上気道断面の前後径が圧縮された形態的变化であるという Zhang ら³¹⁾の報告と一致していた。

骨切り術による外科的矯正治療や矯正歯科治療における下顎骨の成長促進によって起こる骨格的变化が上気道に影響することは近年の研究で明らかになっている^{8-10, 32)}。Feng ら²³⁾は OSAS（無呼吸低呼吸指数: AHI > 15 events/h）の被験者と健常者（AHI event < 5 events/h）を kinetic MRI で比較し、OSAS の被験者では軟口蓋中央（後口蓋）の平均気道面積が狭いものの舌根部（中咽頭）および喉頭蓋中央（喉頭蓋谷）に違いは認められず、軟口蓋中央（後口蓋）の平均気道面積が健常者と比較して 25.6 パーセント小さかったことを報告している。また、OSAS 患者の上気道閉塞部位を kinetic MRI を用いて評価した研究でも最も一般的な閉塞部位は軟口蓋後方部であることが報告されている¹⁷⁻¹⁹⁾。すなわち、OSAS の影響は軟口蓋領域に現れることが示されている。しかし今回の本研究では、下顎中切歯の後方移動により舌根部後方気道領域面積が明らかに減少していた。これは、本研究が非肥満者を対象としているのに対して、Feng らは肥満者を対象にしているためと考えられる。上気道を取り囲む脂肪は、舌、軟口蓋、および副咽頭脂肪体に堆積することで気道を狭める可能性があり³³⁻³⁴⁾、特に軟口蓋および副咽頭脂肪体における脂肪沈着の増加は、軟口蓋中央領域に直接影響を及ぼすが、舌根部領域または喉頭蓋中央領域には

影響しない。さらに、OSAS 患者の軟口蓋では脂肪の沈着が観察されているが、対照者では観察されていない³⁵⁾。よってこれらのことから、非肥満者の骨格性 I 級不正咬合症例では、上下顎小白歯抜去を伴う矯正歯科治療前後で、軟口蓋後方気道領域ではなく、下顎中切歯の前後的位置関係の変化に影響を受け易い舌根部後方気道領域において面積変化が生じ易い可能性が示された。

本研究の咽頭部上気道の正中矢状断面面積の減少量は軟口蓋後方気道領域では約 15 パーセント、舌根部後方気道領域では約 21 パーセントであり、咽頭部上気道全体では約 18 パーセントであった。また咽頭部上気道容積の減少量は、軟口蓋後方気道領域容積で約 6.5 パーセント、舌根部後方気道領域容積で約 13 パーセントであり、咽頭部上気道全体容積では約 10 パーセントであった。OSAS の指標は AHI であるため、明確な指標は示されていないが、過去の報告では重度($30 \leq \text{AHI}$)の OSAS 患者では気道面積が 34 パーセント程度減少することや³⁶⁾、OSAS 患者への MMA の施術により上咽頭容積が 76.05 パーセント、中咽頭容積が 89.15 パーセント増加することが報告されている³⁷⁾。これらのことから、本研究で得られた咽頭部上気道の正中矢状断面面積および容積の減少量は、OSAS に影響を与えるほどのものではないと考えられる。

本研究では上下顎骨の前後的不調和がなく，骨格性分析項目に矯正歯科治療前後で変化が見られなかったため，骨格的影響を排除し，歯の移動が咽頭部上気道に及ぼす影響を正確に評価することができた。しかし，骨格的な不調和を認める上顎前突症の患者，特に下顎後退を伴う患者では歯の移動が上気道スペースにどのような影響を与えるかはまだ解明されていない。さらに実際の OSAS 患者での矯正歯科治療単独の歯の移動による影響ならびに機能的評価(無呼吸低呼吸指数：AHI)との関係も完全には解明されていない。このため，さらなる研究が依然として必要であるが，本研究により，日本の矯正歯科治療で頻用される上下顎両側小臼歯抜去による歯の移動が咽頭部上気道に与える影響を評価し，上下顎両側小臼歯抜去を伴う矯正歯科治療の安全性が示された。

結 論

骨格性 I 級不正咬合において上下顎両側小臼歯抜去を伴う矯正歯科治療による歯の移動は，咽頭部上気道の正中矢状断面積および最狭窄部水平断面積の減

少を伴い、その面積の減少が下顎中切歯の後退量と相関していることが示唆された。また、矯正歯科治療前後で咽頭部上気道の正中矢状断面積および最狭窄部水平断面積の減少は認めるものの、咽頭部上気道容積の有意な減少は認められなかった。また、最狭窄部の縦横比が増加していたことから、上気道の前後的な狭窄を代償するために前頭面での拡大が生じている可能性が示された。よって、骨格性 I 級不正咬合における上下顎両側小白歯抜去を伴う矯正歯科治療が気道狭窄を惹起する可能性は低く、OSAS を誘発させるほどの上気道への影響はないと考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、懇篤なる御指導と御校閲を承りました岡山大学学術研究院医歯薬学域歯科矯正学分野上岡寛教授に深甚なる謝意を表します。また、懇切なる御校閲と本研究の遂行に際し、御指導をいただきました岡山大学学術研究院医歯薬学域歯科矯正学分野中村政裕先生ならびに岡山大学学術研究院医

歯薬学域歯科矯正学分野井澤俊准教授, 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科歯科矯正学分野河野加奈助教に謹んで感謝の意を表します. さらに本研究の立案当初から終始懇切なる御助言, 御指導をいただきました川邊紀章先生および鳥取大学医学部感覚運動医学講座口腔顎顔面病態外科学分野片岡伴記助教に謹んで感謝の意を表します. 最後に本研究を行うにあたり, 多くの御援助と御協力をいただきました岡山大学大学院医歯薬学総合研究科歯科矯正学分野の先生方に厚く御礼申し上げます.

文 献

- 1) Benjafield AV, Ayas NT, Eastwood PR, Heinzer R, Ip MSM, Morrell MJ, Nunez CM, Patel SR, Penzel T, Pépin JL, Peppard PE, Sinha S, Tufik S, Valentine K, Malhotra A. Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. *Lancet Respir Med.* 2019; 7(8): 687-698.
- 2) 佐藤 誠. 睡眠時無呼吸症候群 (SAS) の疫学. *日内会誌.* 2020; 109: 1059-1065,
- 3) Malhotra A, White DP. Obstructive sleep apnoea. *Lancet.* 2002; 360(9328): 237-45.
- 4) Young T, Peppard PE, Gottlieb DJ. Epidemiology of obstructive sleep apnea: a population health perspective. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 165(9): 1217-39.

- 5) Hoekema A, Hovinga B, Stegenga B, De Bont LG. Craniofacial morphology and obstructive sleep apnoea: a cephalometric analysis. *J Oral Rehabil.* 2003; 30(7): 690-6.
- 6) Jordan AS, McSharry DG, Malhotra A. Adult obstructive sleep apnoea. *Lancet.* 2014; 383(9918): 736-47.
- 7) Irlandese G, De Stefani A, Mezzofranco L, Milano F, Di Giosia M, Bruno G, Gracco A. Dental arch form and interdental widths evaluation in adult Caucasian patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Cranio.* 2023; 41(2): 151-159.
- 8) Okushi T, Tonogi M, Arisaka T, Kobayashi S, Tsukamoto Y, Morishita H, Sato K, Sano C, Chiba S, Yamane GY, Nakajima T. Effect of maxillomandibular advancement on morphology of velopharyngeal space. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 69(3): 877-84.
- 9) Torres HM, Valladares-Neto J, Torres ÉM, Freitas RZ, Silva MA. Effect of genioplasty on the pharyngeal airway space following maxillomandibular advancement surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017; 75(1): 189.e1-189.e12.

- 10) Rückschloß T, Ristow O, Berger M, Engel M, Freudlsperger C, Hoffmann J, Seeberger R. Relations between mandible-only advancement surgery, the extent of the posterior airway space, and the position of the hyoid bone in Class II patients: a three-dimensional analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2019; 57(10): 1032-1038.
- 11) Villa MP, Malagola C, Pagani J, Montesano M, Rizzoli A, Guilleminault C, Ronchetti R. Rapid maxillary expansion in children with obstructive sleep apnea syndrome: 12-month follow-up. *Sleep Med.* 2007; 8(2): 128-34.
- 12) Wang Q, Jia P, Anderson NK, Wang L, Lin J. Changes of pharyngeal airway size and hyoid bone position following orthodontic treatment of Class I bimaxillary protrusion. *Angle Orthod.* 2012; 82(1): 115-21.
- 13) Chen Y, Hong L, Wang CL, Zhang SJ, Cao C, Wei F, Lv T, Zhang F, Liu DX. Effect of large incisor retraction on upper airway morphology in adult bimaxillary protrusion patients. *Angle Orthod.* 2012; 82(6): 9 64-70.

- 14) Al Maaitah E, El Said N, Abu Alhaija ES. First premolar extraction effects on upper airway dimension in bimaxillary proclination patients. *Angle Orthod.* 2012; 82(5): 853-9.
- 15) Orabi N, Flores-Mir C, Elshebiny T, Elkordy S, Palomo JM. Pharyngeal airway dimensional changes after orthodontic treatment with premolar extractions: A systematic review with meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021; 160(4): 503-515.e3.
- 16) Hu RD, Zhang XH, Pan KF, Liu YH. [Obstructive site of the upper airway in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome: analysis of dynamic MRI]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2006; 41(4): 222-5.
- 17) Moriwaki H, Inoue Y, Namba K, Suto Y, Chiba S, Moriyama H. Clinical significance of upper airway obstruction pattern during apneic episodes on ultrafast dynamic magnetic resonance imaging. *Auris Nasus Larynx.* 2009; 36(2): 187-91.

- 18) Chuang LP, Chen NH, Li HY, Lin SW, Chou YT, Wang CJ, Liao YF, Tsai YH. Dynamic upper airway changes during sleep in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Acta Otolaryngol.* 2009; 129(12): 1474-9.
- 19) Bharadwaj R, Ravikumar A, Krishnaswamy NR. Evaluation of craniofacial morphology in patients with obstructive sleep apnea using lateral cephalometry and dynamic MRI. *Indian J Dent Res.* 2011; 22(6): 739-48.
- 20) Barrera JE. Sleep magnetic resonance imaging: dynamic characteristics of the airway during sleep in obstructive sleep apnea syndrome. *Laryngoscope.* 2011; 121(6): 1327-35.
- 21) Kavcic P, Koren A, Koritnik B, Fajdiga I, Groselj LD. Sleep magnetic resonance imaging with electroencephalogram in obstructive sleep apnea syndrome. *Laryngoscope.* 2015; 125(6): 1485-90.
- 22) Huon LK, Liu SY, Shih TT, Chen YJ, Lo MT, Wang PC. Dynamic upper airway collapse observed from sleep MRI: BMI-matched severe and mild OSA patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2016; 273(11): 4021-4026.

23) Feng Y, Keenan BT, Wang S, Leinwand S, Wiemken A, Pack AI, Schwab RJ.

Dynamic upper airway imaging during wakefulness in obese subjects with and without sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018; 198(11): 1435-1443.

24) Stuck BA, Maurer JT. Airway evaluation in obstructive sleep apnea. *Sleep Med Rev.* 2008; 12(6): 411-36.

25) Gurani SF, Cattaneo PM, Rafaelsen SR, Pedersen MR, Thorn JJ, Pinholt EM. The effect of altered head and tongue posture on upper airway volume based on a validated upper airway analysis-An MRI pilot study. *Orthod Craniofac Res.* 2020; 23(1): 102-109.

26) 井上直彦. 最新歯科矯正アトラス. 鈴木祥井, 東京, 医歯薬出版, 1972, 232-235, 286-300.

27) 根津浩. バイオプログレッシブ診断学. 永田賢司, 菊池誠, 東京, ロッキーマウンテンモリタ, 1984, 44-59.

28) 宮下邦彦. カラーアトラス X線解剖学とセファロ分析法. 東京, クインテッセンス, 1986, 250-261.

29) 山内和夫. 歯学生のための歯科矯正学. 作田守, 東京, 医歯薬出版, 1993, 165-181.

30) 北井則行. 頭部エックス線規格写真分析. 飯田順一郎, 葛西一貴, 後藤滋巳, 末石研二, 槇宏太郎, 山城隆, 歯科矯正学. 第6版, 医歯薬出版, 2019, 157-169.

31) Zhang J, Chen G, Li W, Xu T, Gao X. Upper airway changes after orthodontic extraction treatment in adults: a preliminary study using cone beam computed tomography. PLoS One. 2015; 10(11): e0143233.

32) 根津允. 機能的顎矯正装置で治療した上顎前突症例における口腔周囲筋の圧力変化 FR-II と Twin Block appliance の治療効. 2018. PhD Thesis. 奥羽大学.

33) Kim AM, Keenan BT, Jackson N, Chan EL, Staley B, Poptani H, Torigian DA, Pack AI, Schwab RJ. Tongue fat and its relationship to obstructive sleep apnea. Sleep. 2014 Oct 1; 37(10): 1639-48.

34) Schwab RJ, Gupta KB, Geftter WB, Metzger LJ, Hoffman EA, Pack AI. Upper airway and soft tissue anatomy in normal subjects and patients with sleep-disordered breathing. Significance of the lateral pharyngeal walls. Am J Respir Crit Care Med. 1995 Nov; 152(5 Pt 1): 1673-89.

35) Horner RL, Mohiaddin RH, Lowell DG, Shea SA, Burman ED, Longmore DB, Guz A. Sites and sizes of fat deposits around the pharynx in obese patients with obstructive sleep apnoea and weight matched controls. *Eur Respir J*. 1989 Jul; 2(7): 613-22.

36) Yucel A, Unlu M, Haktanir A, Acar M, Fidan F. Evaluation of the upper airway cross-sectional area changes in different degrees of severity of obstructive sleep apnea syndrome: cephalometric and dynamic CT study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2005 Nov-Dec; 26(10): 2624-9.

37) Butterfield KJ, Marks PL, McLean L, Newton J. Linear and volumetric airway changes after maxillomandibular advancement for obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg*. 2015 Jun; 73(6): 1133-42.

脚 注

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科

機能再生・再建科学専攻

口腔・顎・顔面機能再生制御学講座

歯科矯正学分野

(指導：上岡 寛教授)

本論文の一部は以下の学会において発表した。

第66回 中・四国矯正歯科学会大会 (2023年7月, 徳島)

図表の説明

図1. 被験者の選定方法

図2. 頭部エックス線規格写真分析における計測項目

上段：骨格性分析項目

下段左：歯槽性分析項目の角度計測項目

下段右：歯槽性分析項目の線計測項目

図3. Kinetic MRIによる上気道形態計測項目

①軟口蓋後方気道領域（咽頭部上気道の口蓋平面から口蓋垂下端を通る口蓋平面に平行な線まで）の面積

②舌根部後方気道領域（咽頭部上気道の口蓋平面に平行な口蓋垂下端を通る線から喉頭蓋基部を通る口蓋平面に平行な線まで）の面積

図4. Volumetric MRIによる上気道形態計測項目

a)-1, 3 矢状断

a)-2, 4 三次元構築画像

①軟口蓋後方気道領域（咽頭部上気道の口蓋平面から口蓋垂下端を通る口蓋平面に平行な線まで）の容積

②舌根部後方気道領域（咽頭部上気道の口蓋平面に平行な口蓋垂下端を通る線から喉頭蓋基部を通る口蓋平面に平行な線まで）の容積

b)-1 矢状断

b)-2 三次元構築画像

b)-3 最狭窄部水平断

③咽頭部上気道（口蓋平面から喉頭蓋基部を通る口蓋平面に平行な線まで）の最狭窄部の水平断面積

④最狭窄部水平断の幅径

⑤最狭窄部水平断の前後径

表 1. 被験者データ

表 2. 側面頭部エックス線規格写真分析計測項目

表 3. 矯正歯科治療前後における顎顔面骨格形態の変化

表 4. Kinetic MRI による咽頭部上気道断面計測値

矯正歯科治療前の各60枚の平均値，最大値，中央値，最小値の10症例の平均値と矯正歯科治療後の各60枚の平均値，最大値，中央値，最小値の10症例の平均値およびその変化量と P 値を表に示す.

表 5. Volumetric MRI による上気道測定値

対象 10 症例における矯正歯科治療前の咽頭部上気道容積の平均値と矯正歯科治療後の咽頭部上気道容積の平均値およびその変化量と P 値を表に示す.

表 6. 咽頭部上気道断面計測値の変化量と歯槽性の変化量との相関

ピアソンの相関係数を使用して算出した各変数間の r 値および P 値を表に示す.

表 7. 上気道容積および最狭窄部水平断形態の変化量と歯槽性量の変化との相関

ピアソンの相関係数を使用して算出した各変数間の r 値および P 値を表に示す.

図 1.

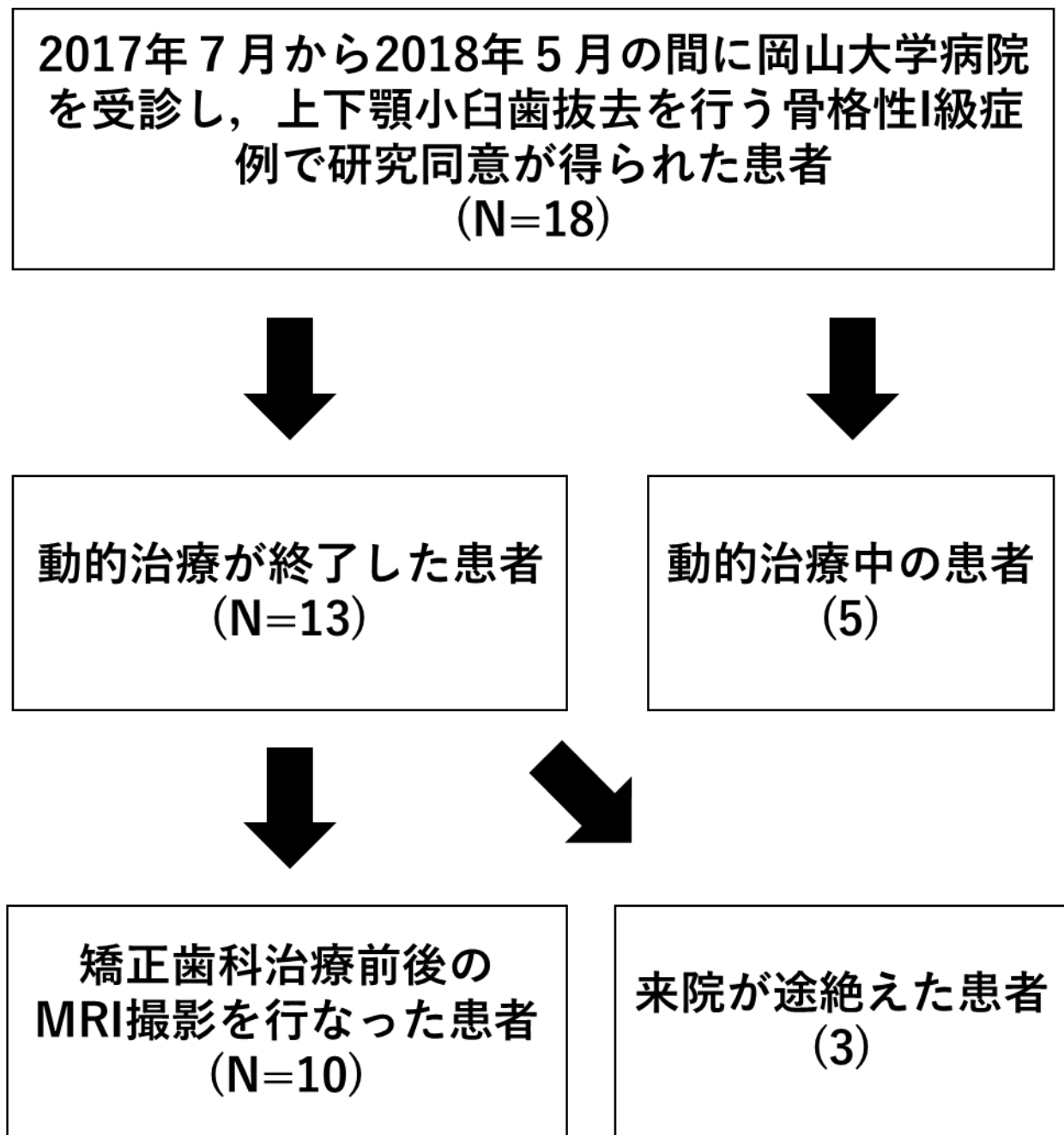


图 2.

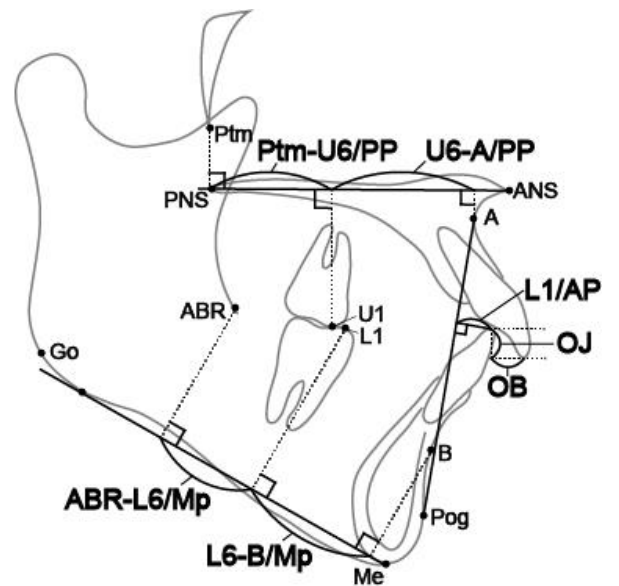
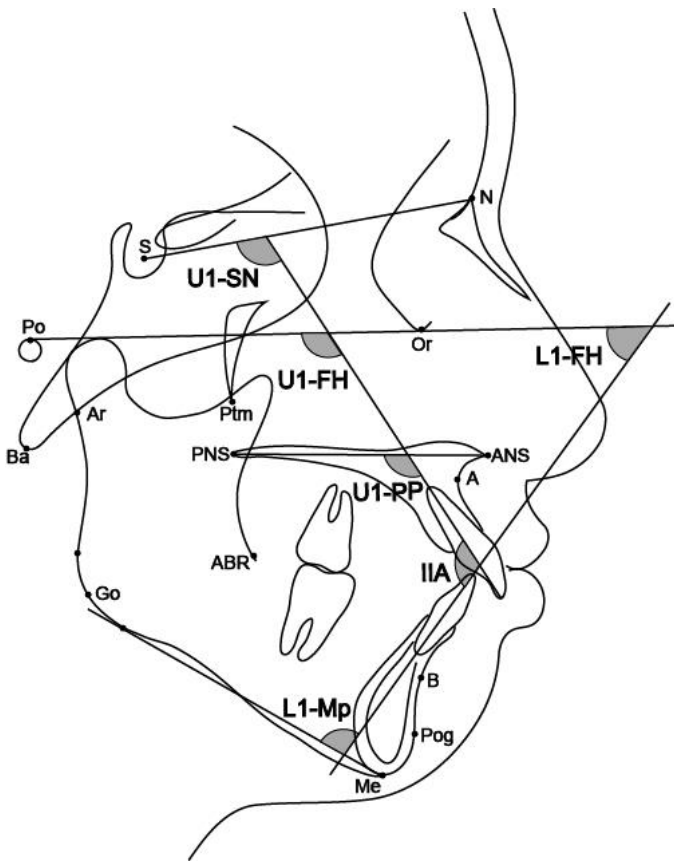
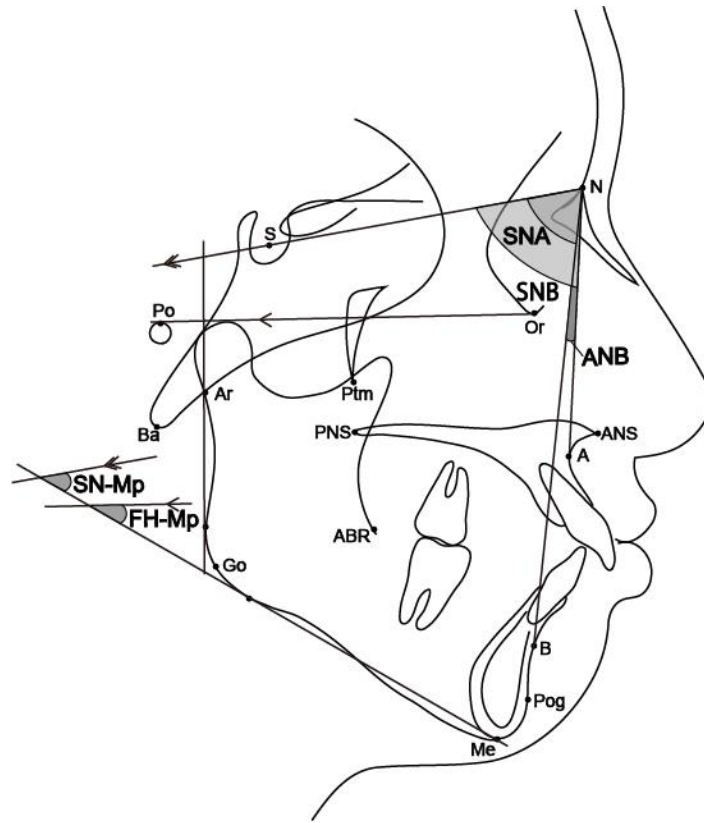


图 3.



图 4. a)

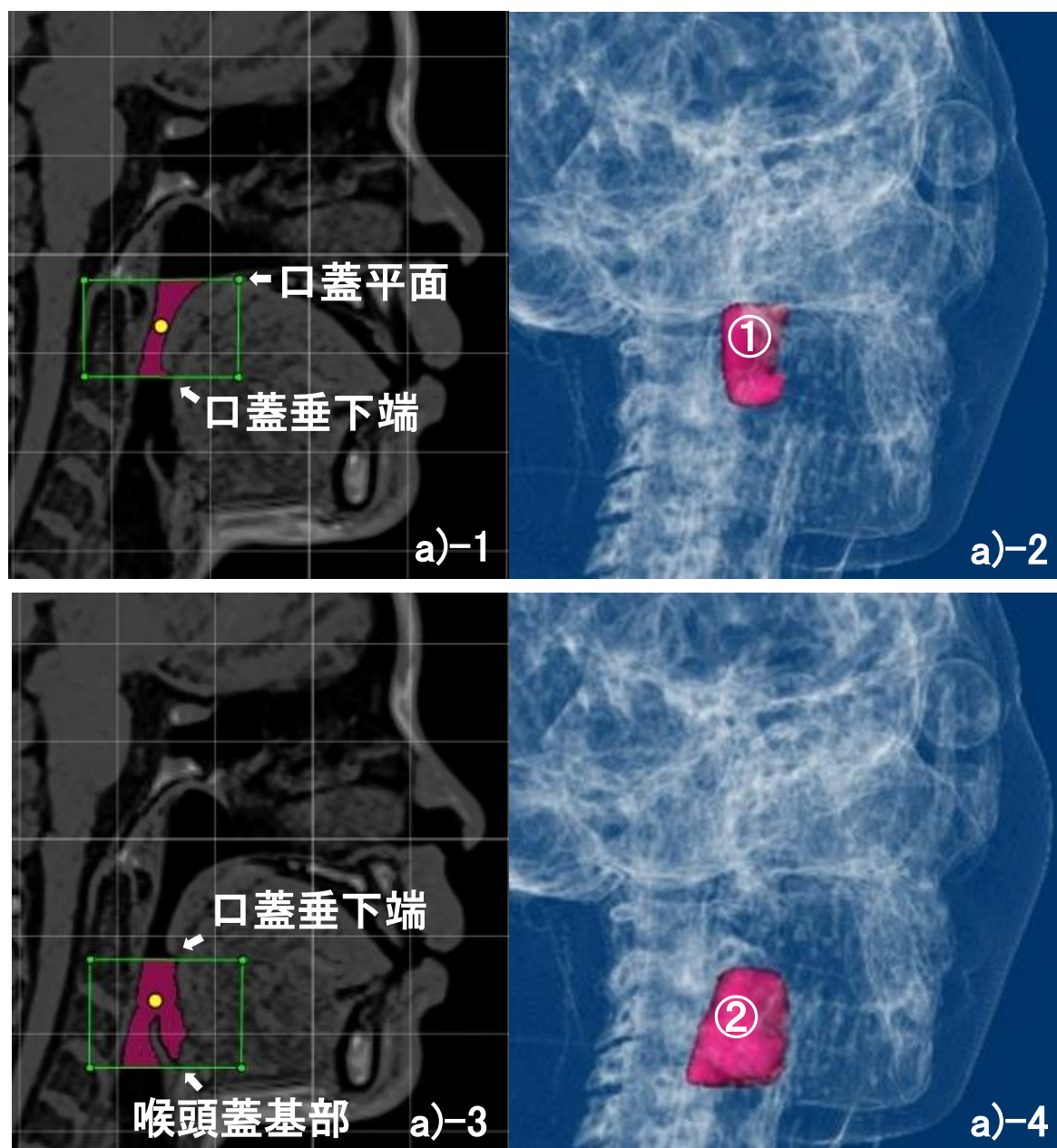


図 4. b)

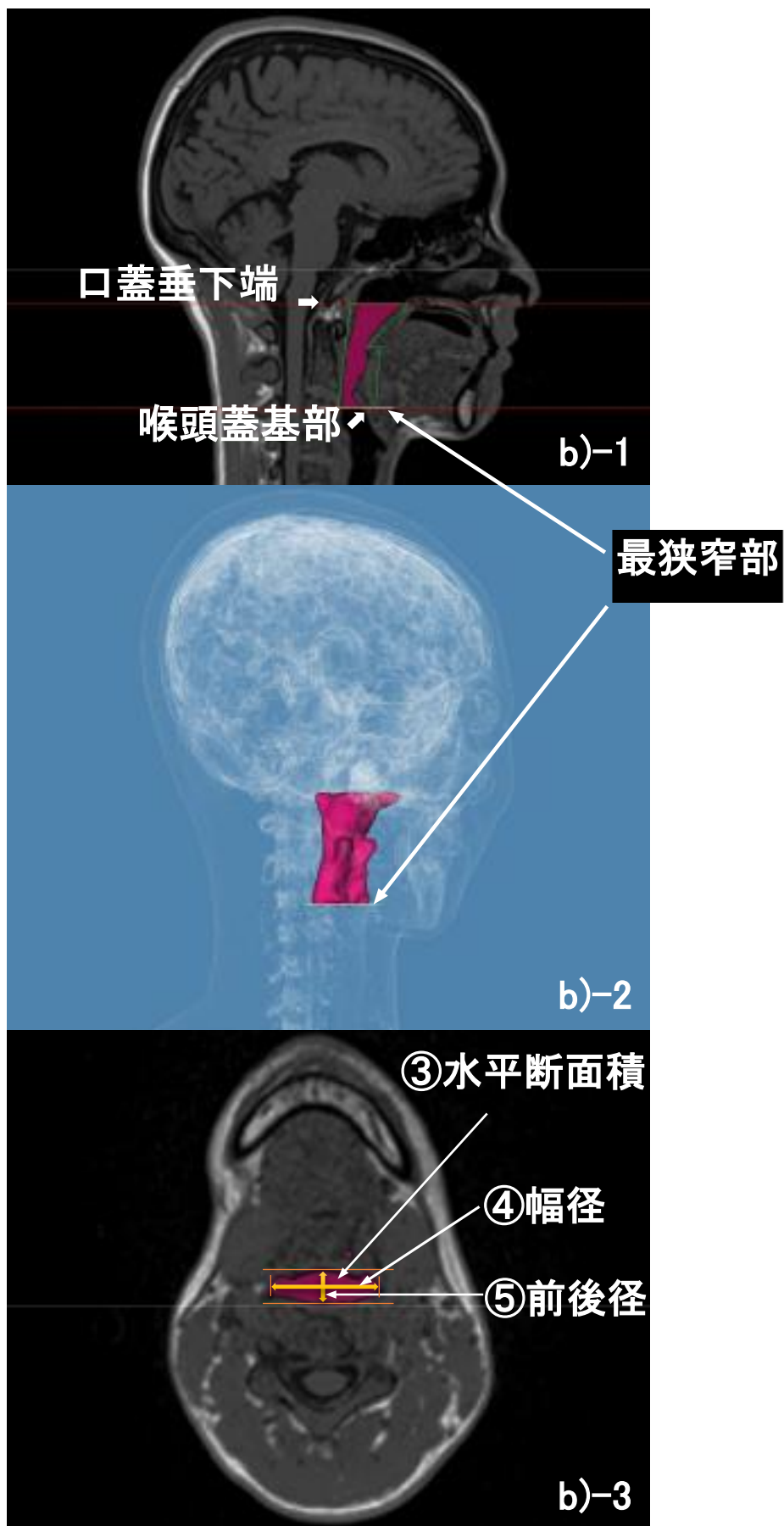


表 1. 被験者データ

症例 No.	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI	動的治療 期間(年)
1	女	21.8	153.0	45.0	19.2	2.3
2	女	21.0	160.0	47.0	18.4	2.9
3	男	21.9	168.0	52.0	18.4	3.0
4	女	19.1	161.0	52.0	20.1	3.0
5	女	19.8	168.0	65.0	23.0	4.5
6	女	26.3	155.0	48.0	20.0	3.7
7	女	23.7	160.0	46.0	18.0	2.7
8	男	30.5	167.5	63.6	22.7	3.1
9	女	19.1	165.6	63.5	23.2	2.5
10	女	24.2	151.0	50.0	21.9	3.0
平均		22.7	160.9	53.2	20.5	3.1
標準偏差		3.39	6.03	7.42	1.94	0.59

表 2.

分析項目	定義
骨格評価	
SNA 角(SNA)	SN 平面と直線 NA とのなす角度 頭蓋底に対する上顎歯槽基底部の前後的位置
SNB 角(SNB)	SN 平面と直線 NB とのなす角度 頭蓋底に対する下顎歯槽基底部の前後的位置
ANB 角(ANB)	直線 AN と直線 NB とのなす角度 上下顎歯槽基底部の前後的位置関係
SN 平面に対する下顎下縁平面角(SN-Mp)	下顎下縁平面と SN 平面とのなす角度
フランクフルト平面に対する下顎下縁平面角(FH-Mp)	下顎下縁平面とフランクフルト平面とのなす角度
歯槽評価	
SN 平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-SN)	上顎中切歯歯軸と SN 平面とのなす角度
フランクフルト平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-FH)	上顎中切歯歯軸とフランクフルト平面とのなす角度
口蓋平面に対する上顎中切歯歯軸傾斜角(U1-PP)	上顎中切歯歯軸と口蓋平面とのなす角度
フランクフルト平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-FH)	下顎中切歯歯軸とフランクフルト平面とのなす角度
下顎下縁平面に対する下顎中切歯歯軸傾斜角(L1-MP)	下顎中切歯歯軸と下顎下縁平面とのなす角度
上下顎中切歯歯軸傾斜角(IIA)	上下顎中切歯歯軸が交叉する角度
下顎中切歯突出度(L1/AP)	直線 A-ポゴニオン(Pog)に対する下顎中切歯切縁の前後的な位置
上顎大白歯と歯槽骨後方限界との距離(Ptm-U6/PP)	口蓋平面に U6 と Ptm を投影した時の距離
上顎大白歯と歯槽骨前方限界との距離(U6-A/PP)	口蓋平面に A 点と U6 を投影した時の距離
下顎大白歯の歯槽骨後方限界との距離(ABR-L6/Mp)	下顎下縁平面に L6 と ABR を投影した時の距離
下顎大白歯の歯槽骨前方限界との距離(L6-B/Mp)	下顎下縁平面に B 点と L6 を投影した時の距離
オーバージェット(OJ)	上下顎中切歯切縁の水平被蓋
オーバーバイト(OB)	上下顎中切歯切縁の垂直被蓋

表 3. 矯正歯科治療の前後における顎顔面骨格形態の変化

		治療前		治療後		変化量		P
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
骨格評価								
SNA	(°)	82.33	4.17	82.25	4.60	-0.08	0.42	0.8051
SNB	(°)	79.03	5.17	78.81	78.81	-0.22	0.08	0.1456
ANB	(°)	3.28	1.21	3.40	1.07	0.12	-0.14	0.7094
SN-Mp	(°)	36.13	5.43	35.73	5.88	-0.40	0.45	0.1970
FH-Mp	(°)	26.86	3.13	26.48	3.50	-0.38	0.37	0.2386
歯槽評価								
U1-SN	(°)	115.10	9.59	100.17	6.92	-14.93	-2.67	0.0011**
U1-FH	(°)	124.39	7.30	109.41	6.97	-14.98	-0.33	0.0011**
U1-PP	(°)	123.62	7.47	108.73	6.86	-14.89	-0.62	0.0013**
L1-FH	(°)	55.22	7.63	62.42	7.26	7.2	-0.37	0.0734
L1-MP	(°)	97.92	8.90	91.10	7.57	-6.82	-1.33	0.0906
IIA	(°)	110.83	9.25	133.00	10.50	22.17	1.25	0.0021**
L1/AP	(mm)	7.52	2.81	2.45	1.37	-5.07	-1.44	0.0006**
Ptm-U6/PP	(mm)	24.60	3.85	26.80	3.42	2.20	-0.42	0.0051**
U6-A/PP	(mm)	25.10	2.83	22.47	2.12	-2.63	-0.71	0.0022**
ABR-L6/Mp	(mm)	21.64	2.24	24.79	2.96	3.15	0.72	0.0040**
L6-B/Mp	(mm)	25.55	2.22	22.62	3.06	-2.93	0.84	0.0003**
OJ	(mm)	4.76	3.09	3.23	0.73	-1.53	-2.36	0.2293
OB	(mm)	1.28	1.89	2.26	0.51	0.98	-1.38	0.1061

対応のある *t* 検定：**P*<0.05 ***P*<0.01

表 4. Kinetic MRI による上気道断面積計測値

		治療前		治療後		変化量		P
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
軟口蓋後方気道領域面積 (mm ²)	平均値	268.91	33.64	229.18	52.18	-39.73	18.54	0.0312*
	最大値	311.70	43.78	263.20	63.45	-48.50	19.67	0.0319*
	中央値	268.75	33.64	229.40	51.34	-39.35	17.70	0.0302*
	最小値	227.80	28.59	187.30	40.58	-40.50	11.99	0.0102*
舌根部後方気道領域面積 (mm ²)	平均値	284.65	65.19	224.39	73.76	-60.26	8.57	0.0159*
	最大値	342.60	75.68	260.00	77.77	-82.60	2.08	0.0068*
	中央値	283.95	64.88	225.60	73.97	-58.35	9.10	0.0154*
	最小値	224.90	61.54	179.00	65.79	-45.90	4.25	0.0569

対応のある *t* 検定：**P*<0.05 ***P*<0.01

表 5. Volumetric MRI による上気道測定値

	治療前		治療後		変化量		P
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
軟口蓋後方気道領域容積(mm ³)	4741.90	1598.99	4548.90	1587.75	-193.00	76.64	0.679
舌根部後方気道領域容積(mm ³)	6867.20	1644.93	6053.30	1671.46	-813.90	116.94	0.098
最狭窄部水平断面積(mm ²)	97.60	24.88	80.10	20.86	-17.50	-4.03	0.000**
最狭窄部幅径(mm)	27.25	8.32	23.67	9.68	-3.58	1.36	0.300
最狭窄部前後径(mm)	10.05	2.20	8.60	3.28	-1.45	1.08	0.172
最狭窄部縦横比	2.69	0.73	2.78	0.71	0.09	-0.01	0.812

対応のある *t* 検定：**P*<0.055 ***P*<0.01

表 6. 咽頭部上気道断面積の変化量と歯槽性の変化量との相関

		U1-SN	L1- MP	L1/AP	Ptm- U6/PP	ABR- L6/Mp	OJ	OB		
軟口蓋後方気道領域面積 (mm ²)	平均値	<i>r</i>	-0.228	0.327	0.158	-0.321	0.201	-0.575	-0.287	
		<i>P</i>	0.501	0.327	0.643	0.337	0.554	0.064	0.393	
	最大値	<i>r</i>	-0.230	0.532	0.432	-0.073	0.284	-0.758	-0.376	
		<i>P</i>	0.497	0.092	0.184	0.832	0.398	0.007**	0.255	
	中央値	<i>r</i>	-0.231	0.311	0.158	-0.307	0.223	-0.573	-0.276	
		<i>P</i>	0.495	0.352	0.642	0.356	0.510	0.065	0.411	
	最小値	<i>r</i>	-0.232	-0.167	-0.387	-0.573	-0.083	-0.110	-0.010	
		<i>P</i>	0.492	0.624	0.240	0.066	0.808	0.747	0.977	
	舌根部後方気道領域面積 (mm ²)	平均値	<i>r</i>	0.420	0.445	0.680	0.160	0.551	-0.286	-0.344
			<i>P</i>	0.198	0.170	0.0213*	0.638	0.079	0.394	0.300
		最大値	<i>r</i>	0.459	0.611	0.817	0.334	0.427	-0.428	-0.343
			<i>P</i>	0.156	0.046*	0.002**	0.316	0.190	0.189	0.301
中央値		<i>r</i>	0.404	0.427	0.667	0.143	-0.560	-0.273	-0.379	
		<i>P</i>	0.218	0.190	0.025*	0.674	0.073	0.416	0.250	
最小値		<i>r</i>	0.429	0.107	0.363	-0.055	0.612	0.046	-0.012	
		<i>P</i>	0.188	0.754	0.272	0.872	0.045*	0.893	0.971	

$r > 0.75$: 強い相関

$0.5 \leq r \leq 0.75$: 中等度の相関

$0.25 \leq r \leq 0.5$: 弱い相関

$r < 0.25$: 相関関係なし

有意水準 : * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

表 7. 咽頭部上気道容積および最狭窄部水平断形態の変化量と歯槽性量の変化との相関

		U1-SN	L1-Mp	L1/AP	Ptm- U6/PP	ABR- L6/Mp	OJ	OB
軟口蓋後方気道領域容積 (mm ³)	<i>r</i>	-0.340	-0.020	-0.357	-0.548	-0.292	-0.036	-0.368
	<i>P</i>	0.305	0.954	0.281	0.081	0.383	0.916	0.265
舌根部後方気道領域容積 (mm ³)	<i>r</i>	0.005	0.599	0.621	-0.110	0.447	-0.589	-0.547
	<i>P</i>	0.989	0.051	0.042*	0.748	0.168	0.056	0.081
最狭窄部水平断面積 (mm ²)	<i>r</i>	0.610	0.440	0.653	0.582	0.302	-0.140	0.338
	<i>P</i>	0.046*	0.176	0.029*	0.060	0.366	0.682	0.309
最狭窄部幅径 (mm)	<i>r</i>	-0.362	-0.242	-0.304	-0.351	0.203	-0.062	0.098
	<i>P</i>	0.274	0.473	0.364	0.289	0.550	0.856	0.774
最狭窄部前後径 (mm)	<i>r</i>	-0.390	-0.308	-0.340	-0.439	0.348	-0.069	0.110
	<i>P</i>	0.236	0.357	0.306	0.177	0.294	0.875	0.747

$r > 0.75$: 強い相関

$0.5 \leq r \leq 0.75$: 中等度の相関

$0.25 \leq r \leq 0.5$: 弱い相関

$r < 0.25$: 相関関係なし

有意水準 : * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$