

●笑顔の溢れる健康長寿を目指して●
 ～歯科医療の未来を切り拓く～

直接／間接修復におけるユニバーサルボンディング材のマネジメント ～予知性の高い接着修復の達成を目指す～

愛知学院大学歯学部 保存修復学講座 特殊診療科教授 富士谷盛興

1. 時代はユニバーサル

接着歯学はここ十数年大きく進歩しており、とくにボンディング材はさまざまな技術革新が導入され、臨床使用において「簡便化する（ステップの簡略化）」ならびに「汎用性を持たせる（ユニバーサル化）」が実現している。これらの材料には、テクニックセンシティブではなく（臨床手技に左右されにくい）、口腔内の過酷な環境下で種々の被着体と長期にわたって「確実に」接着する信頼性も必要である。

本講演では、直接あるいは間接修復におけるユニバーサルボンディング材の効果的使用法について臨床的観点より知識を整理し、予知性の高い接着修復の達成を目指すための方策について言及したい。

2. 簡便性と汎用性

1) 3ステップから1ステップへ

歯質、とくに象牙質に対する確実なレジン接着のためには、3つの歯面処理、すなわちエッチング、プライミング、ボンディングを行う3ステップのエッチ&リンスシステムが必要である。これを、酸性の親水性モノマーを活用した2ステップのセルフエッチ（セルフエッチングプライミング）システムに発展させ、さらに疎水性モノマー

が含有されるボンディング材をも統合しオールインワンに簡略化したものが1ステップボンディング材である（図1）。したがって、1ステップボンディング材といえども、エッチング、プライミング、ボンディングの3つの歯面処理が行われていることに留意したい（図2）。

2) 1ステップからユニバーサルへ

現在のユニバーサルタイプの1ステップボンディング材とは、組成あるいは触媒やプライマーに工夫を加えることで実現した「多用途に使用できる」ボンディング材のことを示す（表）。学術的に“ユニバーサル”という用語があるわけではないので、各メーカーが謳うユニバーサルには基準がなく、添付文書等で確認しておく必要がある。なお、最近では、より確実な接着性を指向して、2ステップセルフエッチシステムのユニバーサルボンディング材も開発されている。

3. ユニバーサルボンディング材の性能を最大限に引き出す

1) 確実なエナメル質接着のためのセレクトティブエナメルエッチング

エナメル質は、そのほとんどが無機質（ハイドロキシアパタイト）であるため、リン酸を用いた



ふじたにもりおき

1982年3月 東京医科歯科大学歯学部 卒業
 1986年3月 東京医科歯科大学大学院 修了
 1986年3月 東京医科歯科大学 歯科保存学第一講座 助手
 1988年7月 米国ハーバード大学・フォーサイデンタルセンター客員研究員（～1989年9月）
 1995年4月 東京医科歯科大学歯学部 講師（保存修復学）
 2001年4月 広島大学歯学部 助教授（保存修復学）
 2008年7月 愛知学院大学歯学部 准教授（保存修復学）
 2012年8月 モンゴル国立医療科学大学 客員教授
 2014年8月 愛知学院大学歯学部保存修復学講座 特殊診療科教授
 愛知学院大学歯学部附属病院 審美歯科診療部 部長
 現在に至る

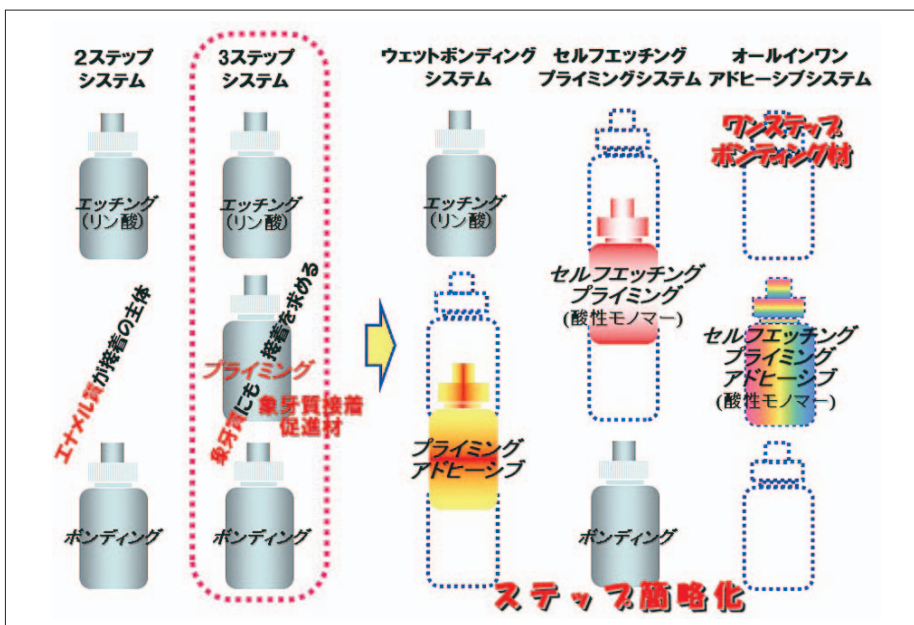


図1 歯質接着システムの変遷

表 ユニバーサルボンディング材*とは

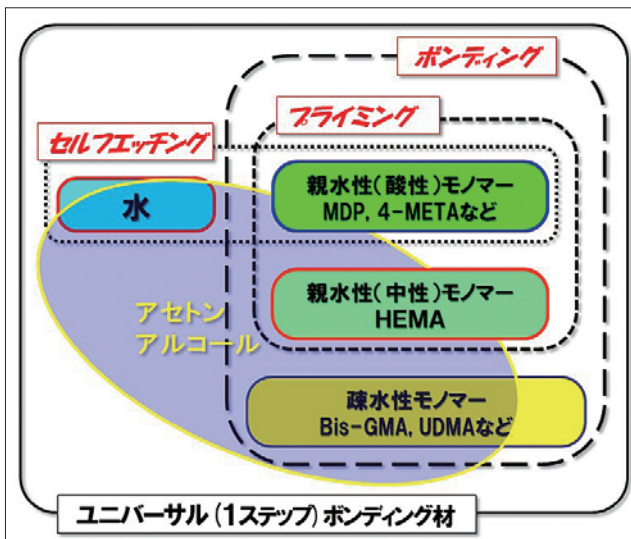


図2 ユニバーサル（1ステップ）ボンディング材の構成（3ステップは行われている）

1. 歯質だけでなく、金属、コンポジットレジン、セラミックスにも接着できるボンディング材の組成を改良、あるいは金属接着性プライマーやセラミックプライマーを添加することにより、口腔内の様々な被着体に接着できる。補修修復、あるいは間接修復における支台歯や補綴装置内面のプライマーとして推奨しているメーカーもある。
 2. セルフエッチングだけでなく、セレクトティブ（エナメル）エッチングやウェットボンディング（プロットドライ）など、さまざまな処理面に接着できる
 3. レジン修復のボンディング材だけでなく、レジンセメントやコア用レジンのボンディング材に共用できる
ボンディング材あるいはセメント、コア用レジンに触媒等を添加することにより、両者が接触した際に接触界面より化学重合が進行する。光が十分届かない部分の重合不全の防止策であり、「接触重合」、「タッチキュア」とも称する。同一メーカーの製品の組合せで使用することを基本とする。
 - (4)** アクチベーター（活性化剤）併用によりデュアルキュア化が可能オプションとして用意されている。
- * 1ステップボンディング材の組成、触媒やプライマーに工夫を加えることで実現した「多用途に使用できる」ボンディング材。明確な学術的基準がないので、用途を添付文書で確認する必要がある。
** (4)をユニバーサル性の由来の一つに加える見解もある。

エッチング（エッチ&リンス）によって耐久性に優れた確実なレジン接着が得られる（図1）。ところが、ユニバーサルボンディング材のセルフエッチングを担う酸性モノマーの脱灰力はリン酸

に比べマイルドであり、接着性、とくに長期の接着耐久性に不安が残る。そのため、エナメル質窩縁のみに予めリン酸エッチングを施し（セレクトティブエナメルエッチング）、その後は窩洞全体



図3 ユニバーサルボンディング材のマネジメント

をボンディングする方策が推奨されている(図3)¹⁾。

2) 確実な象牙質接着のための4か条

象牙質の組成はエナメル質と異なり、約70%が無機質で、残りの約20%が有機質(コラーゲン)、約10%が水分である。最近では、エッチ&リンス面を含め様々な処理面に接着できるユニバーサルボンディング材もあるが、一般的に親水性の機能性モノマー(酸性モノマー、MDPが代表的なもの)によるセルフエッチングというマイルドな酸処理の方が効果的である¹⁾。またMDPは、カルシウムと強固に化学結合し接着耐久性に寄与することが示されているが、ボンディング材に含有される疎水性のモノマー(代表的なものに、Bis-GMAやUDMA)は、約3割が水物である象牙質への浸透、すなわち象牙質含浸が困難である(図2)。

これらを踏まえたとうえで、ユニバーサルボン

ディング材の性能を最大限に引き出すには、「ムラなく」「十分に」エッチングとプライミングをすることでボンディング成分もしっかりと浸透させることがとくに重要である。図3に示した4か条を実践することで、ユニバーサル(1ステップ)ボンディング材の象牙質接着性は格段に向上する。

3) 0秒塗布、即強圧エアブロー

「塗布後待ち時間なし」、「即強圧エアブロー」が可能なユニバーサルボンディング材が最近市販されており、臨床操作の簡便性から使用頻度も高いようである。主として水分の量や親水性モノマーの調整、および重合性の向上等により実現されており、臨床では窩洞全体に過不足なく塗布するには数秒はかかるので、それにより処理時間は担保されている。

各メーカーは自社の従来品の時間がかかる処理法に比べ接着強さに遜色ないとしているが、最近

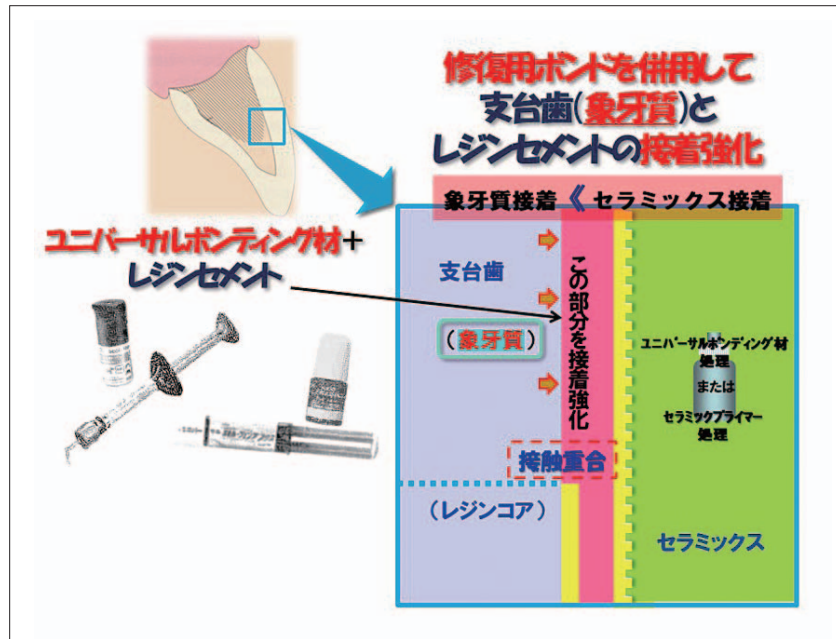


図4 セラミック修復物装着におけるユニバーサルボンディング材併用レジンセメントと各種接着性プライマー

では、2回塗り法、ラビング（スクラブ、擦り塗り）法、アジテーション（攪拌）法などアクティブ処理を求める製品もある。これらを総合的に勘案すると、0秒塗布を謳っているユニバーサルボンディング材においても「バラツキが少ない安定した」確実な接着を求めるには、4か条を実践する方が無難と言えよう。ただし、施術の環境によっては、0秒・即強圧エアブローを施さざるを得ない場合もあるので、添付文書でよく確認し適材適所で使用すると良い。

4) フロアブルレジンを戦略的に用いる

填塞したレジンペーストは光重合により収縮するので、接着が不十分であると界面にギャップが生じ、褐線、歯髄刺激、あるいは二次齲蝕等が発生する危険性がある。そのため、レジンの重合収縮応力に打ち勝つより強固な接着が求められる。

一方、最近のフロアブルレジンは、種々の機械

的・物理的諸性質が向上し、修復用レジンとしてシリンジより直接填塞できるという意味でインジェクタブルレジンと呼ばれている。さらにインジェクタブルレジンは、その低い弾性係数（硬くて脆いというより「粘る」ようなイメージ）や高い窩壁適合性により、図3に示す3つの役割を担うとされている。そのため、レジンペーストに先立ちインジェクタブルレジンを填塞すると、初期接着性ならびに接着耐久性の向上が期待される。さらに、填塞したインジェクタブルレジンの色調を参考にペーストレジンの色調の選択にも役立つ。

4. ユニバーサルボンディング材併用レジンセメントと各種接着性プライマー

1) 接触重合（タッチキュア）

各種セラミック修復物の装着にレジンセメントは必須であるが、その重合収縮応力による歪みは

接着の困難な象牙質面に集中する。そのため、光が届きにくい当該部における接着強化を図るため、レジンセメントとボンディング材が接触した界面から化学重合が開始される「接触重合（タッチキュア）」を導入したボンディング材が併用されるようになった（図4）。接触重合はコア用レジンにも導入されており、レジン修復のボンディング材だけでなく、レジンセメントやコア用レジンのボンディング材にも共用できるということからユニバーサル化が図られている（表）。なお、添加されている触媒等の観点から、同一メーカーの組合せを基本とする。

2) 各種接着性プライマー

ユニバーサルボンディング材は種々の被着面に接着可能なため、金属やセラミックスの接着性プライマーとしても使用でき、コストパフォーマンスを宣伝しているメーカーも多い。その一方、強固な接着を得るためには、被着面に応じたプライミングを別個行った方が良いという製品もある。ユニバーサルボンディング材をプライマーとして使用した場合、修復物に塗布したレジンセメントは接触重合によりさらに硬化が促進するので、とくに複数歯に修復物を装着する際には注意を要する。

補修修復や修復物の装着においては、保持形態の有無など患歯の状況、あるいは患者の協力度等を勘案して、被着面に合わせた各種プライマー処理を別個に施した後ユニバーサルボンディング材を塗布することも選択肢として用意しておくことを推奨する（図4）。なお、その際は、被着面をサンドブラスト処理、リン酸洗浄後、金属接着性プライマー、セラミックプライマーの順に処理し、最後に歯質を含めてユニバーサルボンディング材を塗布する。

5. ユニバーサルボンディング材、予知性の高い接着修復の達成を目指すには

ボンディング材は、その簡便化・汎用化という点でここ数十年の間に確かに大きな進歩を遂げている。さらに、最近の研究の潮流は、ハイブリッド層の劣化を軽減し、象牙質への接着耐久性向上のためのタンパク分解酵素の作用抑制や代替エッチング剤の開発等である。

ところが、ボンディング材の信頼性、予知性の高さについては、長期間の無作為化臨床試験成績やメタアナリシス、すなわち全世界の臨床データが未だ不足しているため疑問が残る²⁾。また、実験室ベースの接着性向上と修復物の臨床性能との間には、一般的に不一致があることは否めないのが現状である²⁾。

現在のところ、ユニバーサルボンディング材を用いた外れない、刺激の出ない直接あるいは間接修復のためには、「確実なエナメル質接着のためのセレクトティブエナメルエッチング」、「確実な象牙質接着のための4か条」を実践するとともに「フロアブルレジンを戦略的に使用」し（図3）、症例に応じて「金属接着性プライマーあるいはセラミックプライマー」を併用することが推奨される。

参考文献

- 1) Cuevas-Suarez CE, et al.: Bonding performance of universal adhesives: An updated systematic review and meta-analysis. J Adhes Dent 2019; 21: 7-26.
- 2) Cadenaro M, et al.: Progress in dental adhesive materials. J Dent Res 2023; 102: 254-262.

◎笑顔の溢れる健康長寿を目指して◎
 ～歯科医療の未来を切り拓く～

睡眠時無呼吸治療の最前線

亀田総合病院 顎変形症治療センター 睡眠外科
 日本大学歯学部, 神奈川歯科大学 外木 守雄

はじめに

閉塞性睡眠時無呼吸 (Obstructive sleep apnea 以下 OSA) は、睡眠中に上気道の狭窄および閉塞が起こり、低呼吸または無呼吸が発生して、これにより断眠が起こり十分に眠れないことから日中にさまざまな障害をもたらす病気であり、10秒以上の呼吸停止を無呼吸、3%以上 PaO₂が低下した状態を低呼吸と定義される。

就寝中の上気道は、重力などにより、軟口蓋・舌根部が沈下して上気道は狭小する。さらに深い睡眠状態に入ると上気道を構成する粘膜・筋肉群 (おとがい舌骨筋・舌筋などの上気道拡大筋) が、活性を失い弛緩するため、上気道はさらに狭小、閉塞する。これに加え吸気時には気道を内側へ引き寄せる陰圧 (静圧) が発生してより気道を狭くして、気流による振動が生じる。これらの現象は“いびき”として知られる。近年では、病態研究が進み OSA の初期症状の重要な所見にはいびきがあり、これを改善するための治療が展開されるようになっている。

我々歯科医師が製作する口腔内装置は、このイビキ、低・無呼吸に大きな効果があり、睡眠時の呼吸不全を治すことで睡眠効率を改善して“睡眠の質を高める”ことが知られている。しかし、この睡眠関連呼吸障害は、単純に局所的な治療すな

わち口腔内装置 (Oral appliance: OA) を行えば症状が改善するものではなく、個々の OSA の病態に沿った適切な治療法が選択されないと効果が得られないばかりか、生命予後にも関与することから、この疾患には十分な知識と注意が必要である。

1. OSA の病因論¹⁾

1) 解剖学的の上気道狭小、閉塞の原因¹⁾

鼻内疾患、鼻閉や扁桃肥大など咽頭軟部組織の物理的な狭小や、小顎など顎顔面形態の骨格的異常による上気道 (咽頭気道) などの解剖学的狭小により発症する。肥満も OSA 発症の危険因子であるが、肥満患者の全てが OSA を発症するわけではない。では、どのような患者が OSA になりやすいのが我々の最新の研究では、骨格性下顎後退症に加え開咬を併っているものに気道が狭く OSA のリスクが高いことが判明した。さらに、上下顎の水平前後的位置関係に異常がなくても、SNA, SNBおよびFacial Axis (以下, Fx) が小さいと、気道狭窄を示したことから、顎変形症と不正咬合は気道形態と密接に関連していることが示唆された (図1)²⁾。我々アジア人に OSA の有病率が高いのは人種による顔貌の特徴に由来すると考えられている。また、顔貌が似ることから



とのぎ もりお

1983年3月 東京歯科大学卒業 歯学博士
 1992年10月 日本口腔外科学会認定医, 1996年 専門医/指導医, 2014年 理事
 2002年10月 Stanford 大学機能再建外科, 睡眠外科, 客員研究員
 2008年4月 日本顎顔面インプラント学会 認定医/指導医, 理事
 2010年1月 日本口腔診断学会 認定医・指導医, 2016年 理事
 2012年4月 日本大学歯学部口腔外科学第1講座 教授
 2013年4月 日本睡眠学会 睡眠医療歯科専門医, 2012年 理事
 2014年4月 日本睡眠歯科学会 認定医/指導医, 2012年 理事長
 2023年4月 日本大学歯学部 特命教授・付属歯科病院 医療技術顧問
 2023年4月 亀田総合病院 顎変形症治療センター長, 睡眠外科いびき外来
 2023年4月 神奈川歯科大学 特任教授

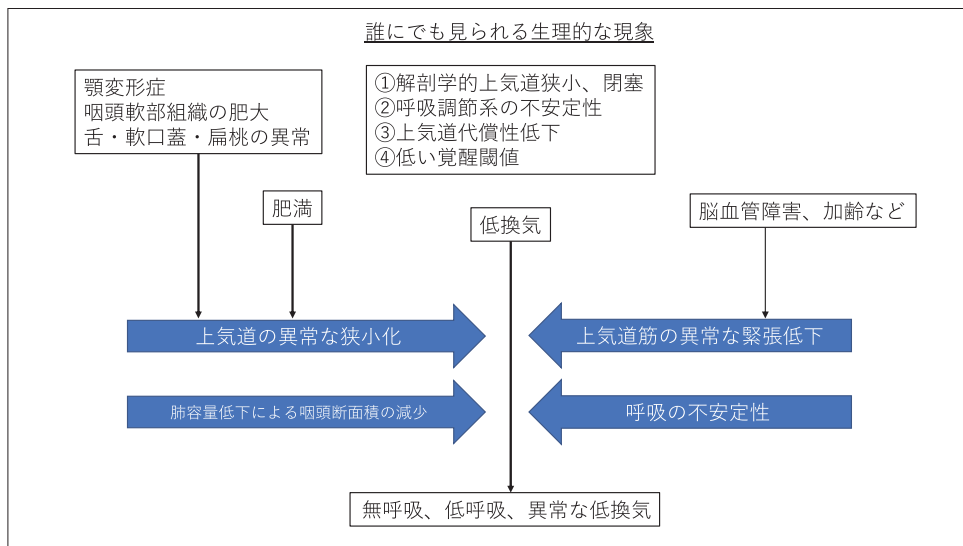


図1 閉塞性睡眠時無呼吸症の原因
 (「榊原博樹編：睡眠時無呼吸症候群 診療ハンドブック，医学書院，2010。」
 図I-22より引用改変)

OSAは親から子へと遺伝する可能性がある。また、食事習慣の変化に伴う咀嚼筋の発達不全，下顎の矮小化と後下方回転もOSA発症を助長させていると考えられる。

2) 呼吸調節系の不安定性¹⁾

OSAは多数存在する睡眠障害の中でも睡眠関連呼吸障害に分類される。この睡眠(REM睡眠)に伴う筋機能の低下などの機能異常により、解剖学的因子と神経調節因子間のバランスがくずれてOSAが発症すると考えられている。睡眠中には、一時的に閉塞した気道もいずれは再開通し、それが周期的に閉塞(換気停止)と再開通(換気再開)を繰り返している。換気停止による血中のCO₂分圧の上昇は呼吸中枢へのフィードバックを介し、横隔膜や上気道開大筋であるおとがい舌骨筋・舌骨の筋活動を促し、閉塞後も吸気努力を続けることで更に上気道には陰圧がかかり閉塞が増大する。このような呼吸調節機能が不調和ある

いは制御不調がOSAとなって発症する。

3) 上気道代償性低下¹⁾

上気道周囲には20対以上の筋肉群が存在し、嚥下、発声、呼吸などの複雑な生理機能に参与している。神経調節系の異常により、上気道を開大・維持する筋肉群の活動が低下(筋肉の緩み)すれば、上気道は虚脱・閉塞しやすくなる。一方、横隔膜を主体とする呼吸筋活動は吸気時に上気道を陰圧化し虚脱させる方向に作用する。筋肉の緩みを理解するには、お酒をたくさん飲んだ後にいきをかきやすいことなどから分かりやすい。

すなわち、上気道の開存性は上気道筋活動と呼吸筋活動のバランスにより成り立っている。睡眠時は上気道開大筋の活動は著しく低下し、気道抵抗は高まる。上気道の代償性の低下、すなわち気道粘膜の張りがなくなることで、虚脱が高まり、閉塞し無呼吸を起こすやすい状態となっている。

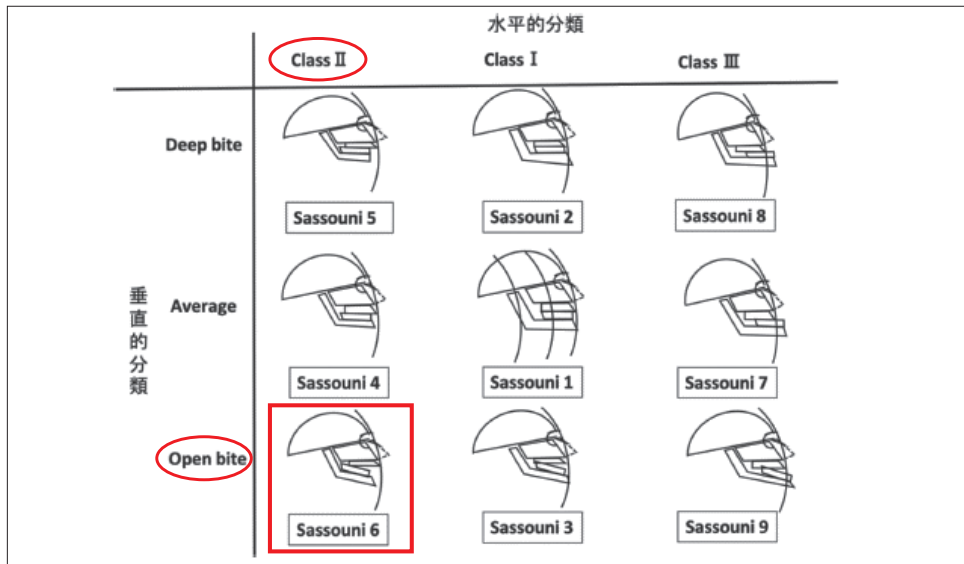


図2 顎変形症患者のサッスーニ弧線分析による OSA 患者の検討
この分析では、咬合関係がクラス2で開咬症患者に最も OSA が多かったことを示している。(参考文献²⁾より引用改変)

4) 低い覚醒閾値¹⁾

加齢に伴い、睡眠欲求も低くなり、あまり寝ていられなくなる。また、睡眠も浅くなり、少しの刺激でも覚醒するようになる。このような状態になると良眠が得られないばかりか、熟睡感が無くなる。“若い頃はいくらでも寝ていられたのに年を取ったら寝ていられなくなった”という感想を持たれている方も多いと思われる。

2. OSA と顎口腔系との関連 (図2)

OSA の病因論からもその呼吸系の入り口である顎口腔は、OSA と深く関連する。また、睡眠中には顎口腔領域には様々な影響を受けていることが理解される。

歯科医師の行う歯冠修復、義歯、補綴治療や歯列矯正治療、外科的矯正治療、小児期の咬合誘導などは、口腔容積を変化させ、性質を大きく変える可能性がある。すなわち、通常の歯科治療や摂

食嚥下治療を行う際には、気道形態、成状を変える可能性について、絶えず念頭において治療を展開すべきであり、歯科医師こそが、呼吸、嚥下機能の維持向上を担う存在であるといえる。今後、歯科医師も“気道を診る”ことが大切であると提言する。

3. OSA の治療基本戦略³⁾ (図3)

現時点での OSA の治療方法には、全身的な治療法としては、睡眠衛生指導、減量が主であるが、局所的には、鼻腔通気性を改善する鼻処置、アデノイド切除、咽頭口蓋部拡大、点鼻薬(耳鼻咽喉科)、舌および下顎を前方に誘導することで軌道を確保する口腔内装置 OA、気道周囲の筋に対する筋機能療法(Myofunctional therapy:MFT)、顎骨の拡大を行う矯正治療、顎骨を移動する外科的矯正治療が挙げられる。

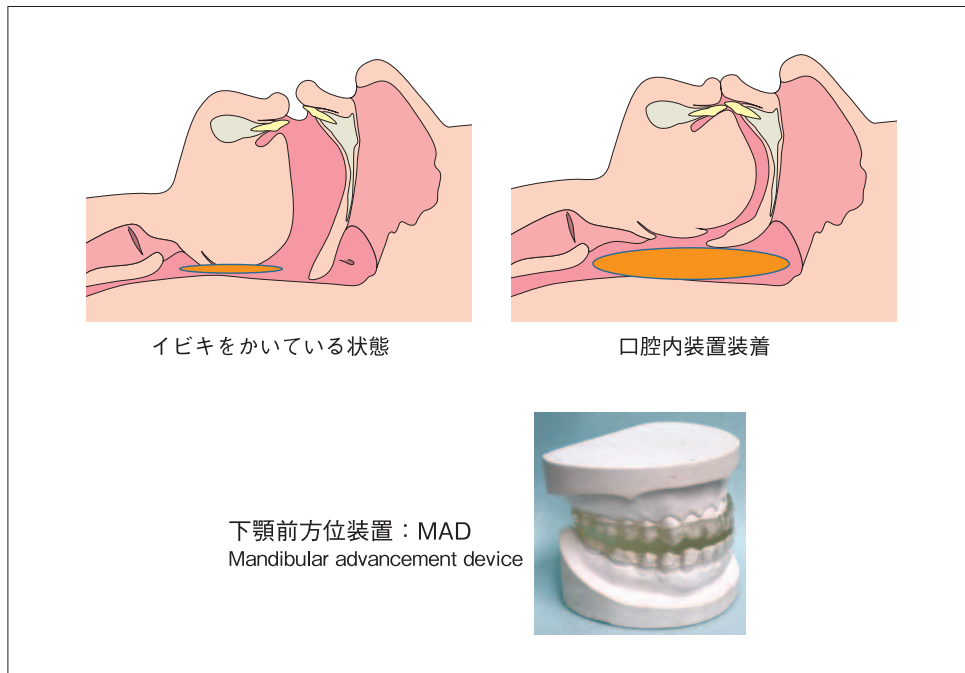


図3 口腔内装置を装着することで気道が広がる

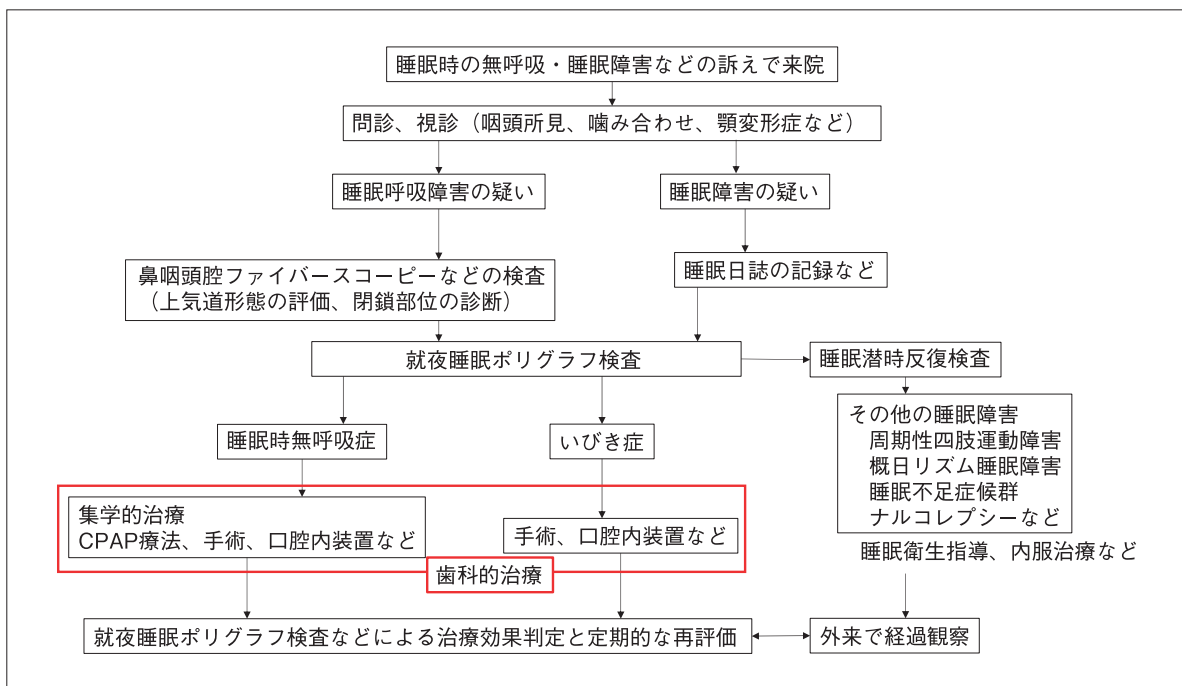


図4 一般的な睡眠医療の流れ
〔佐藤公則：睡眠時無呼吸症候群の診療メソッド，中外医学社，2016.〕より引用改変）

- 1) OA 治療患者がアクセスしやすく、保存的な治療法である OA は、多くの OSA に悩む患者さん達にとって比較的簡単に効果が期待できるため、今後多くの需要が見込まれる。しかし、OA は、単純に下顎を前に出せば良いというものではなく有効な OA を製作するには、適切な気道の確保である“歯科タイトレーション法”が必要である。講演では、有効な歯科タイトレーション法の実践を解説し、併せて、OSA に関する基本的な事項を説明する (図 4)。
- 2) 気道周囲の筋に対する筋機能療法 (Myofunctional therapy: MFT) は、1. OSA の病因論の 3) 上気道代償性低下、いわゆる緩んだ上気道粘膜の改善に関与している。現在の睡眠歯科治療の多くは下顎を前方に移動して気道を拡げる装置が主体であるが、下顎を前に出すことが困難な症例もあり、MFT の OSA に対する治療概念の確立、適切な応用法について説明する。
- 3) 顎発育誘導：小児期からの顎骨の適切な発育誘導が必要である。適切な顎口腔機能の育成は高齢期のオーラルフレイル予防にも役立つことからこれに関する最新の睡眠歯科治療の概要などを説明する³⁾。

- 4) 外科的に上下顎を移動する意義、新しい歯科的治療法の開発に貢献する知見、いま、歯科医師が気道を診ることの必要性について説明する³⁾。

おわりに

現在の睡眠関連呼吸障害に対する有効な治療法の多くは、我々歯科医師が行うべきものと考えられる。しかし、OSA が生命予後に密接に関連する疾患であることから、我々歯科医師が、適切な知識を有して治療にあたるべき疾患でもある。今回、そのために役立つ知見を詳細にお伝えしたい。

また、今後、OSA の治療を通じて、多くの国民の健康増進に歯科が役立つことを広めていければ、新しい歯科界の展開につながると期待したい。

引用文献

- 1) Williams AJ, et al: Screening for sleep apnea using pulse oximetry and a clinical score. Chest 100: 631-635. 1991.
- 2) 柳川圭一, 外木守雄, 篠塚啓二: 顎顔面骨格形態が上気道形態におよぼす影響について 日本人の側面頭部 X 線規格写真を用いた検討. 日大歯学 93巻1号, 33-43. 2019.
- 3) 西久保周一, 外木守雄: 顎の成長発育と小児呼吸機能障害との関連性について. 小児歯科臨床 第27巻, 第9号, 20-37. 2022.