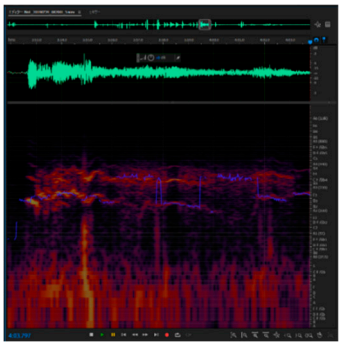
108　上気道音の集積データによる換気困難患者評価法の確立	堤　保夫

【目的】呼吸停止時や心肺蘇生時などの緊急時では、停止または減弱した患者の呼吸を外的に補助する必要がある。バッグ・マスク換気による気道確保と呼吸補助は医療従事者がまず行う基本的な手技であり、救急科・麻酔科研修などで一定期間のトレーニングを行うべきとされている。また、熟練者であっても一定の割合でバッグ・マスク換気が困難な患者も存在し、不適切なバッグ・マスク換気が患者の予後を悪化させることなどが知られている。緊急時の確実なバッグ･マスク換気は容易ではなく､バッグ･マスク換気の成否は患者の生死を左右する基本的かつ重要な課題である。バッグ・マスク換気を困難にする原因として、舌根沈下や声門閉鎖などが知られている。これらの対処法はそれぞれ異なるので、バッグ・マスク換気が難しい場合、その原因を早期に診断することが重要となる。一般に、換気が正常に行われているか否かの判断には施行者の主観的な評価（バッグを押したときの手応え、聴診器による呼吸音の聴診、胸郭の動きの観察など）およびモニタによる客観的な評価（カプノグラフィー、パルスオキシメーター）が用いられる。しかし、主観的評価が行えるようになるには熟練が必要であり、客観的評価については現行のモニタでは換気が行えていることの証明にはなるものの、対処法の異なる舌根沈下と声門閉鎖を区別することができないという問題点がある。本研究は、この主観的な評価により行っている上気道閉塞の原因の診断を、上気道音をモニタしスペクトラム解析することにより、客観的に評価する評価方法を確立することを目的とした。

【方法】広島大学病院倫理委員会の承認のもと患者本人から同意を得られた予定手術患者を対象とした。全身麻酔導入前に咽頭マイク／アンプ（Nanzu electric Co.）、を輪状軟骨部に装着し、全身麻酔時における同部位で音声の評価を行った。全身麻酔薬投与後にバッグ・マスク換気を行い、主観的な換気状況の評価を記載した。同時に上気道音を録音した。記録した上気道音は、術後にスペクトラム解析を行い、麻酔導入中のイベントと紐づけることで、イベント時の上気道音の特徴を抽出した。麻酔科医の診断した気道閉塞の原因と、既存の異常呼吸音の集積データによる上気道音の診断を比較した。

【結果】本モニタ装着に伴う合併症は特に認められなかった。声門閉鎖は､バッグ･マスク換気の初期段階で 4 人(57%)の患者に発生し、数秒から数分以内に消失した。声門閉鎖について、麻酔科医は測定期間中に 39 ポイント（4 人の患者からそれぞれで 2、4、15、18 ポイントを取得）を声門閉鎖と認識した。この声門閉鎖時の上気道音を既存の異常呼吸音集積データにより解析したところ、39 ポイントのうち 5 ポイントを「rhonchi（いびき音）」、34 ポイントを「喘鳴」と診断した。また、無呼吸を「rhonchi（いびき音）」、「喘鳴」、または「減衰音」と診断した。その他、測定期間中に舌根沈下､声門閉鎖､気管チューブの挿入及びカフの拡張／脱気､食道挿管時の送気による咽頭からのリーク、声門上気道確保器具の位置異常、嚥下など、さまざまな状況においてそれぞれ特徴的な音声を聴取できた。今後、聴取した音声を上気道音の集積データ（ライブラリ）としこれを機械学習させることで気道確保における医療支援システムの構築を行う予定である。迅速な解決が求められる換気困難時では、リアルタイムに換気状態の良否のみならずその原因の判別が行えることが望ましい。上気道音のモニタリングと自動解析は上気道の異常を詳細に連続評価する新たなモニタとなる可能性がある。

マスク換気中の上気道音のスペクトログラム解析



108. 上気道音の集積データによる換気困難患者評価法の確立

堤　保夫

広島大学 大学院医系科学研究科 麻酔蘇生学

Key words：上気道音，気道閉塞，マスク換気，換気困難，周波数解析

緒　言

呼吸停止時や心肺蘇生時などの緊急時において、バッグ・マスク換気による気道確保と酸素化の維持は医療従事者が習得すべき基本的な手技であり、救急科・麻酔科研修などで一定期間のトレーニングを行うべきとされている。また、熟練者であっても一定の割合でマスク換気が困難な患者も存在し、不適切なマスク換気が患者の予後を悪化させることなどが知られている［1〜3］。そのため、緊急時のマスク換気は容易ではなく危険を伴う手技である、との認識が必要である。すなわち、適切なマスク換気の習得は患者の生死を左右する基本的かつ重要な課題である。

換気困難の多くは、舌根沈下もしくは声門閉鎖が原因で発生することが知られており、対処法の異なる換気を妨げる要因を早期に特定することが重要となる。一般に換気が行われているか否かの判断には主観的評価（バッグの手応え、聴診器による呼吸音の聴診、胸郭の動きの観察など）および客観的評価（カプノグラフィー、パルスオキシメーター）が用いられる。しかし、主観的評価が行えるようになるには熟練が必要であり、客観的評価については換気が行えていることの証明にはなるものの、対処法の異なる舌根沈下と声門閉鎖を区別することができないという問題点がある。近年、鎮静時の気道評価における前頸部の聴診の有用性が報告されたが、聴診器により得られる音情報は共有が困難であるのみならず、聴診器の装着により他の作業を行うことが著しく妨げられるため連続的なモニタリングが困難であるなどの問題点がある。すなわち、適切なマスク換気を行ううえで、従来法はいずれも確実性や迅速性また簡便性などにおいて問題があるのみならず、換気を妨げる要因の特定にはあまり役立たない。

これを解決する方法として、我々の研究グループはリハビリテーションなどで使用される嚥下音を収音することのできる咽頭マイク（SH-12jkl、anzu electric Co.）に注目した。咽頭音マイクを用いることで呼吸音を集積し、周波数解析することでマスク換気が適切に行えているか否かを判断し、さらに集積した多数のデータを基に、人工知能によって周波判別することによって換気を妨げる要因を即座に鑑別することが可能となる、ことを考案した。本方法の特徴は簡便・リアルタイム・複数の医療従事者でのモニタが可能であることのほか、換気を妨げる要因を即座に鑑別できることなどがある。

麻酔科医は日々周術期において呼吸管理を行っている。円滑な手術操作のために筋弛緩剤を投与することで、自発呼吸を止め、人工呼吸を行っている。申請者らの研究グループは、予備的研究としてこれまでに麻酔導入時に筋弛緩剤の投与前・投与後にて咽頭マイクにてモニタすることで、正常の呼吸・声門閉鎖・舌根沈下・気道内分泌物などが明瞭に音として区別することが可能であることを確認している。

本研究が目指す課題は、「上気道音のモニタ」が適切なマスク換気の習得に役立つこと、および集積した音データを基に換気困難の原因特定に役立つこと、を明らかにすることである。本研究の究極的な目標としては「マスク換気における上気道音のモニタ」が安全なマスク換気を行うための標準的モニタとして救急の現場にて一般化することである。

方　法

1. 対象患者の選定と倫理的配慮

広島大学病院で全身麻酔を受けた成人患者を対象とした。研究内容について広島大学病院倫理委員会で承認後、対象患者から文書による研究の同意を得た。

2. 研究の測定項目および用いた測定機材

・従来モニタ：パルスオキシメーター、カプノグラフィー、気道内圧、呼気流量

・換気音モニタ：咽頭マイク／アンプ（SH-12jkl、NZ-680-A1、Nanzu electric Co.）（図 1）

・音声解析：周波数解析装置（Adobe Audition、Adobe Systems Co.）

3. 研究プロトコルおよびプライマリーアウトカム

研究 1：上気道音による換気困難の評価法の確立

研究 1 では、従来モニタ・熟練者・咽頭マイクによる上気道音モニタ・周波数解析装置による判別を行い。全身麻酔導入後かつ筋弛緩薬未投与の段階で生じうる上気道音を記録し判別する（図 1）。

研究 2：上気道音モニタの有用性の検証

研究 2 では、集積した多数のデータを基に、既存の呼吸音データと比較することによって周波判別する。これにより麻酔科医が診断した上気道閉塞と集積データが診断した上気道閉塞の比較を行う。診断精度が向上すれば、臨床において換気を妨げる要因を即座に鑑別することが可能となる。これらから「上気道音モニタ」により非熟練者による気道の評価能力が向上することを明らかにする。



図 1. 咽頭マイク／アンプ（SH-12jkl、NZ-680-A1、Nanzu electric Co.）
図は、咽頭マイク／アンプを用いた上気道音の測定方法を示す。図のように咽頭マイクを装着することで上気道音を測定し、記録する。

結果および考察

本モニタ装着に伴う合併症は特に認められなかった。全身麻酔薬投与後の声門閉鎖は、バッグ・マスク換気の初期段階で 4 人（57%）の患者に発生し、数秒から数分以内に消失した。声門閉鎖について、麻酔科医は測定期間中に 39 ポイント（4 人の患者からそれぞれで 2、4、15、18 ポイントを取得）を声門閉鎖と認識した。この声門閉鎖時の上気道音を既存のライブラリを搭載した集積データにより解析したところ、39 ポイントのうち 5 ポイントを「rhonchi（いびき音）」、34 ポイントを「喘鳴」と診断した。マスク換気中の上気道音のスペクトログラム解析図を図 2 に示す。集積

データによる解析はまた、無呼吸を「rhonchi（いびき音）」、「喘鳴」、または「減衰音」と診断した。声門閉鎖と舌根沈下による気道閉塞は現時点ではライブラリによる鑑別ができないため、これらのデータと学習させる必要があると考えられた。測定期間中に舌根沈下、声門閉鎖以外にも、気管チューブの挿入及びカフの拡張/脱気、食道挿管時の送気による咽頭からのリーク、声門上気道確保器具の位置異常、嚥下など、さまざまな状況においてそれぞれ特徴的な音声を聴取することができた。今後、聴取した音声を上気道音の集積データ（ライブラリ）としこれを機械学習させることで、さらなる気道確保における医療支援システムの構築を行う予定である。迅速な解決が求められる換気困難時では、リアルタイムに換気状態の良否のみならずその原因の判別が行えることが望ましい。上気道音のモニタリングと自動解析は上気道の異常を詳細に連続評価する新たなモニタとなる可能性がある。

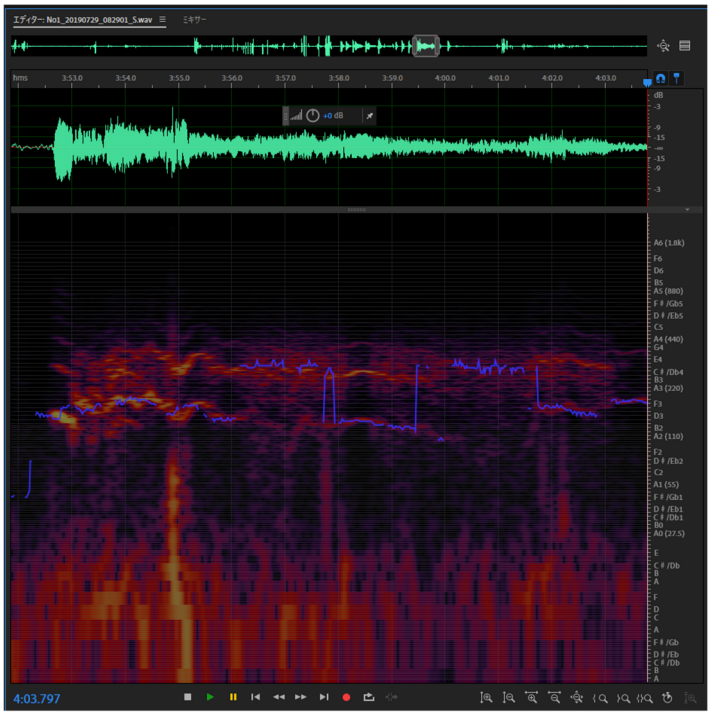


図 2. マスク換気中の上気道音のスペクトログラム解析
図はマスク換気中の上気道音のスペクトログラム解析図を示す。上段は音波、下段はスペクトル解析データを示す。スペクトラム解析データと上気道閉塞のイベント情報を紐づけることで、イベント発生時のデータの特徴を解析し自動学習の累積データとした。

バッグ・マスク換気中の換気困難の原因は、数多くあるが、声門閉鎖と舌根沈下は比較的頻度が高く、共に気道閉塞の原因の一つである。両者の原因および対処法は異なるため、両者の判別が行えない場合においては、誤った対処を行うことにより気道閉塞の解除に不必要な時間を要し、危険なレベルの低酸素血症を招来する恐れがある。そのために、これらの原因を迅速に診断が可能なツールの開発が望まれている。本研究は、気道閉塞時の上気道音を録音し人工知能の解析と比較した。本研究は、現時点ではデータを集積し解析している段階ではあるが、バッグ・マスク換気困難の原因となるあらゆるシチュエーションのデータを集積することで、従来困難であった換気困難の原因をマスク換気中にリアルタイムで客観的に評価することが可能となる。睡眠時無呼吸症候群の研究で、上気道閉塞の呼吸音により病状を解析するシステムが確立している［4〜6］。バッグ・マスク換気はより複雑な条件について解析を行う必要があるが、本研究の上気道音のデータを蓄積し、声門閉鎖と舌根沈下の判別が瞬時に行えるようになることでバッグ・マスク換気が不確実な場合に生じる低酸素血症となる危険性が低減されるため、医療安全に大きく貢献するものと思われる。

本研究の発展性として、マスク換気を安全に行うための標準的なモニタを提案する。従来のマスク換気の問題点は酸素が気管内に送られたか否かが判らないことであった。しかし、集積した「上気道音モニタ」からのデータ解析により換気状況が鑑別可能となるため、マスク換気の適否を 1 呼吸毎に判断し即座にフィードバックすることが可能となる。「上気道音モニタ」は適切なマスク換気のモニタとなることから、医療安全上、すべてのマスク換気中に行うべき世界標準のモニタとなる可能性が高いと考えている。

共同研究者

本研究の共同研究者は、広島大学病院麻酔科の佐伯昇、中村隆治、三好寛二である。

文　献

1） Boriosi JP, Zhao Q, Preston A, Hollman GA. The utility of the pretracheal stethoscope in detecting ventilatory abnormalities during propofol sedation in children. Paediatr Anaesth. 2019 Jun 29(6):604-610. Epub 2019 Mar 13. PMID: 30801831. DOI: 10.1111/pan.13616.

2） Seet E, Nagappa M, Wong DT. Airway Management in Surgical Patients With Obstructive Sleep Apnea. Anesth Analg. 2021 May 1;132(5):1321-1327. PMID: 33857974. DOI: 10.1213/ANE.0000000000005298.

3） El-Orbany M, Woehlck HJ. Difficult mask ventilation. Anesth Analg. 2009 Dec 109(6):1870-80. PMID: 19923516. DOI: 10.1213/ANE.0b013e3181b5881c.

4） Xu H, Huang W, Yu L, Chen L. Sound spectral analysis of snoring sound and site of obstruction in obstructive sleep apnea syndrome. Acta Otolaryngol. 2010 Oct 130(10):1175-9. PMID: 20377505. DOI: 10.3109/00016481003694774.

5） Markandeya MN, Abeyratne UR. Smart Phone based Snoring Sound analysis to Identify Upper Airway Obstructions. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2019 Jul 2019:4233-4236. PMID: 31946803. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857016.

6） Sun J, Hu X, Chen C, Peng S, Ma Y. Amplitude spectrum trend-based feature for excitation location classification from snore sounds. Physiol Meas. 2020 Sep 10;41(8):085006. PMID: 32721937. DOI: 10.1088/1361-6579/abaa34.