

【原著】

耳かき用スコープを用いた 中耳圧外傷テレメディスンの試み

和田孝次郎¹⁾, 鈴木信哉²⁾, 望月 徹³⁾, 四ノ宮成祥⁴⁾, 小島泰史⁵⁾
藤田 智⁶⁾, 高木 元⁷⁾, 森松嘉孝⁸⁾, 小柳津卓哉⁵⁾, 新関祐美⁵⁾, 柳下和慶⁵⁾
防衛医科大学校脳神経外科学講座¹⁾
亀田総合病院救命救急科²⁾
東京慈恵会医科大学 医学部環境保健医学講座³⁾
防衛医科大学校 本部⁴⁾
東京医科歯科大学病院高気圧治療部⁵⁾
名寄市立総合病院救命救急センター⁶⁾
日本医科大学 総合診療科⁷⁾
久留米大学 医学部環境医学講座⁸⁾

【はじめに】 圧気潜函工法加圧時の問題として圧外傷がある。加圧時の圧外傷のほとんどが中耳圧外傷である。鼓膜の直接観察が、圧外傷の判断に必要であるが、作業現場に医師がいることは少ない。耳垢をとるための耳スコープが各社より市販されており、遠隔地からこれら市販耳スコープを用いた鼓膜観察評価が可能であるかについて検討した。

【方法】 まず、圧外傷の経験についてアンケート調査を行った。耳かき用として市販されている耳スコープ（A社製2機種、B社製1機種、C社製1機種）と、医療用耳スコープを使用し比較検討した。①正常ボランティア5人に各自の鼓膜を観察記録してもらった。ボランティアに耳スコープの操作性について3段階でアンケート調査を行った。②得られた画像は耳鼻咽喉科専門医が鼓膜の評価が可能かについて4段階で判定した。③市販耳スコープを用いた動画をリアルタイムに転送する方法について検討した。

【結果および考察】 ①市販の耳スコープの操作性の問題はアンケートでは指摘されなかった。医療用耳スコープは5人中2人が操作性が悪いと回答した。②すべての耳スコープで鼓膜の状態の評価が可能との結果であった。特にA社500万画素の評価が高かった。③スマートフォンとパソコンを有線で繋ぎミラーリングソフトを用いてスマートフォンの画像をパソコン上に導出し、パソコンのWi-Fiで会議用ソフトを経由して遠隔地への画像送信がリアルタイムに可能となる事がわかった。

キーワード 圧外傷, 内耳型減圧症, 鑑別診断, 遠隔診療

【Original】

A trial of middle ear barotrauma telemedicine using a commercial ear cleaning otoscope.

Kojiro Wada¹⁾, Shinya Suzuki²⁾, Toru Mochizuki³⁾, Nariyoshi Shinomiya⁴⁾, Yasushi Kojima⁵⁾,
Satoshi Fujita⁶⁾, Gen Takagi⁷⁾, Yoshitaka Morimatsu⁸⁾, Takuya Oyaizu⁵⁾, Yumi Niizeki⁵⁾,
Kazuyoshi Yagishita⁵⁾

1) Department of Neurosurgery, National Defense Medical College

2) Emergency and Trauma Department, Kameda Medical Center

3) Department of Public Health and Environmental Medicine, The Jikei University School of Medicine

- 4) Headquarters, National Defense Medical College
- 5) Hyperbaric Medical Center, Tokyo Medical and Dental University Hospital
- 6) Emergency and critical care center, Nayoro City General Hospital
- 7) Department of ER and General Medicine, Nippon Medical School Hospital
- 8) Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine

Abstract

[Background] The most common problem during compression is barotrauma. Most of the barotrauma during compression is middle ear barotrauma. Direct observation of the eardrum is necessary to determine barotrauma, but doctors are rarely present at the work site. Ear scopes for removing ear wax are commercially available from various companies. We investigated whether it is possible to observe and evaluate the tympanic membrane using these commercially available ear scopes from remote locations.

[Methods] First, we conducted a questionnaire survey on the experience of barotrauma. We used commercially available otoscopes (two models from Company A, one model from Company B, and one model from Company C) and medical otoscopes for comparison. (1) Five normal volunteers were asked to observe and record their own eardrums. Volunteers were given a 3-point questionnaire regarding the operability of the otoscope. (2) The obtained images were evaluated by an otolaryngologist on a 4-point scale to determine whether the eardrum could be evaluated. (3) A method of transferring video using a commercial otoscope in real time was investigated.

[Results] (1) No operability problems with commercial otoscopes were pointed out in the questionnaire. Two out of five respondents answered that the operability of medical otoscopes was poor. (2) All of the otoscopes were capable of evaluating the condition of the eardrum, with Company A's 5-megapixel otoscope receiving particularly high marks. (3) We found that it was possible to connect a smartphone to a PC via a wire and use mirroring software to derive images from the smartphone onto the PC, and then transmit the images to remote locations in real time via the PC's Wi-Fi conference software.

keywords

inner ear barotrauma, inner ear decompression sickness, differential diagnosis, tele-medicine

はじめに

圧気潜函工法加圧時の問題として圧外傷がある。加圧時の圧外傷のほとんどが中耳圧外傷であり、時に鼓膜穿孔を起こしたり、内耳窓破裂による外リンパ瘻を引き起こしたりすることが報告されている¹⁾。圧外傷を放置すると時に難聴、乳突蜂巣炎、さらには髄膜炎を引き起こす危険性があり、早期に適切な処置を行う必要がある。中耳圧外傷の診断には鼓膜の状態を観察する必要がある^{2, 3)}。さらに、潜函工が作業終了後にめまいを訴えた場合、内耳型減圧症と内耳圧外傷の鑑別が必要となる。内耳型減圧症では緊急再圧治療が必要であり、内耳圧外傷では再圧治療は逆に禁忌となり、聴力回復のためには耳鼻科的な緊急処置が必要となる⁴⁾。加圧時の耳抜きの問題について聴取する事が鑑別に役立つとされるが、両者の鑑別は難しく時に困難との報告もある⁴⁾。また、病歴の聴

取ができないような意識障害を伴った患者では病歴の聴取はできない。このため、鑑別診断には鼓膜の観察が非常に役立つと報告されている⁵⁾。しかしながら、作業現場に医師がいることは少ないため、鼓膜の状態をリアルタイムに知ることは難しい。現在、耳の中を見ながら耳垢を取り除ける耳スコープが各社より市販されている。スコープから得られる画質は年々向上してきており、スマートフォンをモニターにして録画や写真撮影が可能なものもある。この市販されている耳スコープから得られる画像を遠隔地から転送できれば、中耳圧外傷の診断がリアルタイムにできる可能性があるのではないかと考えた。市販されている耳スコープには多くの種類があり、先端の太さ、スコープ画質、輝度、のみならず、モニターも一体型のものやスマートフォンやパソコンに導出するもの、さらには接続方法も有線あるいは無線LAN等様々である。まず、

これら市販されている耳スコープの中で、いくつかのものを用いた鼓膜の撮影を行い、これを医療用の耳スコープの画像を含めて耳鼻科専門医に撮影機種は知らない状態で比較検討してもらい、市販耳スコープを用いた中耳圧外傷診断の可能について評価を行った。続いて評価可能と判断された市販耳スコープを用いた遠隔地からの鼓膜の動画情報をリアルタイムに送信する方法について検討したので報告する。

対象および方法

1. 中耳圧外傷のアンケート

潜函工358人に中耳圧外傷の経験の有無についてアンケート調査を行い、年齢、経験年数、喫煙歴、身長、体重、減圧症の既往、内服の有無について関連性があるか検討した。統計はカイ二乗検定を用いて解析した。

2. 耳スコープによるテレメディスンの評価

次に、市販されている外耳道を観察しながら耳かきができる耳スコープ（A社製2種、B社製1種、C社製1種）と、医療用耳スコープ（NIDEK社製）を使用し正常ボランティア5人の鼓膜を各自観察記録し、耳鼻科医による画像の評価を行った。使用した耳スコープの一覧および公表されている性能情報を表1に示す。A社製2種とB社製1種はWi-Fiを用いてコードレスの画像転送システムを有し、スマートフォン画面での観察が可能であった。C社製1種はコード付きの耳スコープで、パソコンへの画像出力が必要であった。

2-1. 操作性の評価

ボランティア5人に各自の鼓膜を耳スコープで各自観察してもらい、デジタルデータを動画として保存した。医療用はボランティアが交代で使用し撮影を行った。

使用後にそれぞれの耳スコープの操作性について、○：扱いやすい、△：やや扱い難い、×：扱い難いの3段階評価によるアンケートを行った。

2-2. 耳鼻科専門医による画像評価

耳鼻科専門医に保存した正常ボランティア5人の動画データを用いた鼓膜の評価を以下の3段階で行ってもらった。使用した機器の情報についてはブラインドとした。

◎：可能、○：可能だが細部は困難、△：困難、×：不能

の4段階評価を行ってもらった。

2-3. 動画転送方法

市販の耳スコープを用いたりリモートでの診療を可能にするために、撮影動画のリアルタイムな転送方法について検討した。

結果

1. 中耳圧外傷のアンケート

表2に結果を示す。潜函工358人中120人（34%）が中耳圧外傷の経験があると回答した。年齢、経験年数、喫煙歴、身長、体重、内服の有無について統計上有意差を認めなかった。中耳圧外傷の経験のある潜函工は有意に（ $P<0.01$ ）減圧症の経験を有していた。

2-1. 操作性の評価

表3に結果を示す。今回検討した市販耳スコープではすべて、操作性の問題指摘はなかった。医療用耳スコープは2人が扱い難いとの評価であった。

2-2. 耳鼻科専門医による画像評価

図1に動画から作成した画像を示す。表4に耳鼻科専門医による評価結果を示す。市販の耳スコープのデータを用いた鼓膜の評価は、B社の1例を除き全て可

表1. 使用した5種類の耳スコープ性能一覧表

	画質	画素数	防水	Wi-Fi	カメラサイズ (先端の直径)
A社1	1080P	300万	○	○	3.5mm
A社2	1200P	500万	○	○	3.5mm
B社	1200P	500万	○	○	3.5mm
C社	不明	100万	○	×	5.5mm
医療用	不明	200万	○	×	チップ

表2. 潜函工358人の中耳圧外傷アンケート調査結果

中耳圧外傷の経験	あり (n=120)	なし (n=238)	P
年齢 (歳)	44.3±11.4	43.4±12.4	—
経験年数 (年)	15.8±11.3	13.5±10.3	—
喫煙歴あり	69 (57.5%)	150 (63.0%)	—
身長 (cm)	171±6.2	171±6.1	—
体重 (kg)	72±9.8	73±12.3	—
減圧症の既往あり	33 (27.5%)	21 (8.8%)	<0.01
内服あり	27 (27.5%)	40 (16.8%)	—

年齢、経験年数、身長、体重：mean±SD

能であるとの結果であり、特にA社500万画素の評価が高かった。

2-3. 動画転送方法

評価の高かったA社500万画素の耳スコープを用いて、リモート診療を可能にするため、撮影動画のリアルタイムな転送方法について検討した。A社500万画素の耳スコープはWi-Fiを用いたスマートフォンへの画像導出となっている。この導出された画像をスマートフォンを用いて会議用アプリ（Zoomを使用）で転送しようとする、Wi-Fiを同時に使用する機能がスマートフォンにはないため、一旦画像を保存してアプリを切り替える必要が生じ、リアルタイムの転送はできなかった。撮影画像を同時に転送するためには、Wi-Fiを同時に使用できる環境の設定が必要であることが判明した。これには、パソコンに有線でスマートフォンを繋ぎミラーリングアプリを使用してスマートフォンに映し出されている画像をパソコンに導出しながら、パソコンのWi-Fi機能を使用して会議用アプリを使用すれば、遠隔地のスマートフォン上での画像共有が可能となることが検証できた。

考察

耳スコープは耳鼻咽喉科での診療のみならず、内科の一般診療でも使用されている機器である。中耳炎、鼓膜の損傷、コレステリン肉芽腫の診断には必須の機

器とされる⁶⁻¹⁰⁾。中耳圧外傷の診断の遅れは、中耳炎から時に髄膜炎を引き起こすことがあり、さらには内耳圧外傷を合併していた場合には難聴の原因となるため、早期の診断と必要に応じた適切な処置が必要とされる¹⁾。今回のアンケート調査で中耳圧外傷を34%の潜函工夫が経験していた。このことは、健康管理上、耳の管理が重要な項目であることを示したデータといえる。また、中耳圧外傷を経験したことのある潜函工夫のほうが有意に減圧症の経験が多かった。関連性は不明ではあるが、今後原因について検討していく必要がある。潜函工夫が作業後めまいを訴えた場合、内耳型減圧症と内耳圧外傷の鑑別が必要となる⁹⁾。内耳型減圧症と内耳圧外傷の鑑別は、症状だけでは判断できない場合が少なくない。有用な鑑別法としてHOOYAH法が報告されている¹¹⁾。HOOYAH法は1) H: hard to clear 耳抜き不良; 2) O: onset of symptoms 症状の発現時期; 3) O: otoscopic exam

耳スコープ所見; 4) Y: your dive profile ダイビングプロフィール; 5) A: additional symptoms 随伴所見 and 6) H: hearing. 聴力の6項目で構成されている。この中にも耳スコープの所見が含まれており、耳スコープが鑑別に重要なツールとなるのは間違いない。

耳鼻咽喉科診療への内視鏡ビデオシステムの導入は、外耳道深部や鼻副鼻腔、咽喉頭などの詳細な観察、画像の保存が可能になるなど、メリットが多い⁶⁻¹⁰⁾。今回評価した医療用耳スコープは耳鼻科専門医による画像評価は良好であったものの、ボランティアによるアンケートでは使用感が悪く、結果的に十分

表3. ボランティアによる耳スコープの使用感アンケート

	症例1	症例2	症例3	症例4	症例5
A社 300万画素	○	○	○	○	○
A社 500万画素	○	○	○	○	○
B社 500万画素	○	○	○	○	○
C社 200万画素	○	○	○	△	○
医療用 200万画素	×	○	○	○	×

○:扱いやすい △:やや扱い難い ×:扱い難い

表4. 耳鼻科専門医による耳スコープ撮影動画の評価

	症例1	症例2	症例3	症例4	症例5
A社 300万画素	○	◎	◎	◎	◎
A社 500万画素	◎	◎	◎	◎	◎
B社 500万画素	○	○	○	○	△
C社 100万画素	○	○	○	○	○
医療用 200万画素	×	◎	◎	○	×

◎:評価可能 ○:辛うじて評価可能 △:細かい評価不能 ×:評価不能

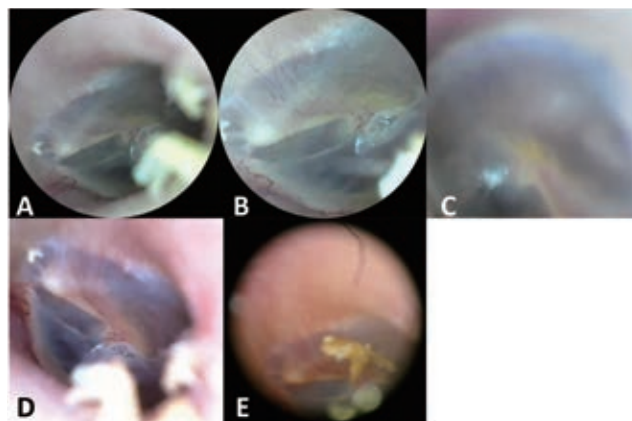


図1: 動画から作成した画像

な鼓膜撮影ができない症例が2例あり、他の市販耳スコープと比較し劣る結果となった。これは他の市販の耳スコープと違い外耳道に挿入する先端形状が異なっていたことが一因ではないかと考えられる。市販耳スコープは棒状であるため挿入が容易であるが、医療用は円錐状となっているため挿入深度及び角度が制限されてしまう、このため外耳道を手動的にまっすぐにして鼓膜を観察する必要がある。ボランティアが取り回しに不慣れであったため、うまくこの操作ができなかった可能性がある。耳鼻科での外来処置や鼓膜の観察には一般的に額帯鏡が用いられていることが多く、未だ耳スコープを導入している施設は少ない。これは、カメラや光源が高価であること、機材の大きさ、煩雑なケーブルの取り回しなどが欠点となっていることが原因と報告されている⁷⁾。今後の改良に期待したい。

一方、市販耳スコープは、耳の中を見ながら耳垢の掃除ができるグッズとして一般市民向けに流通している。自分の耳だけでなく、子供や介護現場での耳掃除にも利用されており、様々な種類の耳スコープが市販されている。これらは、スコープのサイズ、モニターの画質、モニター付きの物からスマートフォン対応のもの、有線での接続と無線のもの、さまざまである。光源はほとんどがLEDで明るく、発熱の問題は少ない。値段は3,000円から10,000円程度と医療用のスコープと比較すると安価である。今回、スコープ部のサイズを3.0mmと3.5mmの2種類、カメラの画素数が無線では300万画素と500万画素、有線で100万画素、医療用は200万画素のものを用いて検討を行った。画素数とは映像素子に並んだ光をデジタル信号に変える画素の数とされ、映像を作る際の点(ピクセル)の数となる。フルハイビジョン(2K)では画素数1,920×1,080(横×縦)を用いることが多く、207万画素となる。4Kで829万~885万画素であることから、300万画素、500万画素のカメラはハイビジョン以上4K以下の解像度と考えられる。画素数だけを比較すれば、医療用スコープに匹敵する解像度といえる。しかしながら、画素数の多寡が画質を左右するとは限らないようである。高画素機のデメリットについてよく言われるのは、同じ面積の中に多くのセンサーを詰め込むと、一つ一つの受光素子が光を受ける面積が小さくなり、ノイズ

が出たりダイナミックレンジの低下を招くといわれている。このため、小さなカメラではこの危険性について検証する必要がある。今回の結果からは同じ500万画素でも製造会社により若干の画質のばらつきがあることが分かった。同じ製造会社の製品では画素数が多いもののほうが画質は良かった。

感染の観点からは、作業者ごとに耳スコープを変えることが良いと考えるが、保管、管理が問題となる。森らは耳鏡をはじめとする耳鼻咽喉科診療機器での細菌汚染に関する定量的評価の検討から70%アルコール綿清拭による消毒により、患者から患者への感染の危険性は抑えられると報告しており、消毒はアルコール綿での清拭で十分と考える¹²⁻¹⁴⁾。ただし、アルコールアレルギーの人への使用はできないため、この場合は揮発する時間を待って使用することが求められる。大きな汚れは洗浄する必要がある。市販耳スコープは水洗いによる洗浄ができるように防水機能も備わっているものが多い。A社500万画素の耳スコープはカタログ上IP67と表記されている。これは、電子機器などの防水や防塵に関する程度を示す等級文字でIP保護等級と呼ばれる。JIS C 0920やIEC 60529が標準化の仕様で家電品のカタログや説明書には、JIS保護等級と記載されている。IP67とは、以下のような等級の中で最初の数字6、2番目の数字7によって、それぞれ防塵・防水の等級が決められている。防水機能は5以上あれば通常の使用では十分とされる。長時間、雨に濡れるような使い方の場合には、6,7,8程度の防水が必要とされている。6は強力なジェット噴流水による噴流水によっても機器が影響を受けない、7は一時的に水中に沈めた場合でも機器が影響を受けないとされており、通常の流水による洗浄では影響を受けないと考えられる。しかしながら、スコープ部分のみの防水機能であり、本体を濡らさないように取り扱い上注意が必要である。

「耳かき用スコープを用いた中耳圧外傷テレメディスン」は、緊急浮上(減圧)後などで意識のない(耳抜き動作ができない)被災者を潜水(潜函)現場の再圧室で緊急再圧した際、中耳気圧外傷の有無を遠隔医療支援している医師が把握するのに有用ではないかと考える。今後、作業現場との遠隔操作で、市販耳スコ

ープの有用性について検証を進めていきたいと考える。

結語

市販の耳スコープを用いた鼓膜の状態の評価は可能と考えられた。スマートフォンとパソコンを利用して、遠隔地への画像送信がリアルタイムに可能となる事がわかった。

本論文の要旨は第55回日本高気圧環境・潜水医学会学術集会(2021年10月:沖縄)で発表した。

本論文は、令和2年度労災疾病臨床研究事業費補助金「潜水業務における現場で出来る応急対応に関する調査研究」の助成を受けて研究を行った。

参考文献

- 1) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556090/> accessed Jan.11.2022
- 2) 枝松秀雄: 鼓膜を見て何が分かるか. JOHNS 2014:30: 165-170.
- 3) 枝松秀雄, 安田真美子, 小林真由美, ほか: 内視鏡下診療. Otol Jpn 2010:20: 31-35.
- 4) 山本 光, 濱田 昌史, 村上 知聡, ほか: ダイビング後に生じためまい症例: 内耳型減圧症と外リンパ瘻の鑑別について. Equilibrium Research 2017:76 :26-31.
- 5) Lindfors OH, Räisänen-Sokolowski AK, Hirvonen TP, et al. Inner ear barotrauma and inner ear decompression sickness: a systematic review on differential diagnostics. Diving Hyperb Med. 2021:51:328-337.
- 6) 欠畑誠治: 外耳・中耳内視鏡検査. JOHNS 2011:27: 675-682.
- 7) 榊原 昭 汎用デジタルカメラを応用した無線内視鏡ビデオシステム 耳鼻咽喉科展望 2017:60: 286-292.
- 8) 山本 裕: 慢性中耳炎, 中耳真珠腫, 乳突腔障害に対する内視鏡の使い方とコツ. JOHNS 2010:26: 47-50.
- 9) 保富宗城, 山中 昇: 小児急性中耳炎に対する内視鏡の使い方とコツ. JOHNS 2010:26: 37-42.
- 10) 吉田晴郎, 道祖尾 弦, 高橋晴雄: 滲出性中耳炎に対する内視鏡の使い方とコツ. JOHNS 26: 30-32, 2010.
- 11) Rozycki SW, Brown MJ, Camacho M. Inner ear barotrauma in divers: an evidence-based tool for evaluation and treatment. Diving Hyperb Med. 2018:48:186-193.
- 12) 森 繁人 十分な消毒が困難な耳鼻咽喉科診療機器・器具の細菌汚染に関する定量的評価 日本耳鼻咽喉科感染症・エアロゾル学会会誌 2016:4: 14-19
- 13) 池田 廉, 望月 智行, 藤野 幸夫, ほか. ATP 拭き取り検査による強酸性電解水洗浄効果判定について Progress of Digestive Endoscopy 2007:71:46-49.
- 14) 大迫 しのぶ, 伏見 了, 中田 精三, ほか. ATP+AMP 量を指標とした上部消化管内視鏡チャンネル内の汚染と洗浄消毒の評価日本環境感染学会誌 2016:31:285-291.