

スクーバダイビングに伴う耳管調圧機能

芝 山 正 治

A Study of the Auditory Tube Function in Scuba Diving

Masaharu SHIBAYAMA

I はじめに

潜水 (scuba diving: スクーバダイビング) に伴う高気圧障害は、ウェットスーツやドライスーツなどのsqueeze (締め付け現象) による単純な障害から減圧症や肺の破裂などの直接生命に影響する重大な障害まで様々である^{1)~3)}。本論は、この高気圧環境で生じる障害の中で、中耳腔の換気調節を行っている耳管の機能不全が原因で生じる squeeze について提言を行った。

耳管機能不全から生じる中耳腔の圧外傷は、直接生命への危険が少ないため軽視されがちである。しかし、鼓膜穿孔や内耳の損傷が生じると、種々の症状が生じて思わぬ事故に発展する恐れもある。

近年、スポーツダイバーの人口増加が著しく、この中耳腔の換気を行う耳管機能不全が原因と考えられる圧外傷で耳鼻咽喉科を受診するケースが多くなっている。中耳腔を換気する耳管の開閉運動は、常圧環境では、嚥下運動に付随して行われている。しかし、スクーバダイビングでは約1分間の短時間に2倍の気圧変化、いわゆる水面の1気圧から水深10mの2気圧に変化するため、嚥下運動及び Valsalva 法 (耳抜き) を用いて耳管を強制的に開放し、中耳腔内圧と外圧との平衡を保つ必要が生じる。この耳管を強制的に開放して中耳腔の調圧を図る方法が耳抜きと呼ばれている。もし、この耳抜きが行われずに潜降を続けると中耳腔内は極端な陰圧となり、初期には、この陰圧部分を滲出液や血液が充填し、陰圧の高度化とともに鼓膜の穿孔や内耳窓破裂に伴う外リンパ液の中耳腔への漏出という重篤な圧外傷を引き起こす^{4,5)}。したがって、潜水のような気圧変化に遭遇する

場合は、初歩的な圧外傷である耳の障害を予防するために耳抜きの方法を訓練する必要がある。

これからスクーバダイビングを始める者を対象に高圧タンク室 (加圧室) で加圧による耳抜きテストを行ったところ、耳抜きができなかった者が3.6% (4/112耳) に認められた。この事は、最近の傾向としてレジャーで潜水を楽しんでいる、いわゆるスポーツダイバーの中に、耳管機能が悪く耳抜きができない者または耳抜きが難しい者が含まれている可能性を示唆している。そして、この結果は、潜水人口の増加とともに耳管調圧不全による障害も多くなることを予想させる。そこで、これらの傷害についての研究を渉猟すると、動物を用いた研究は多くみうけられる⁶⁾が、人に関する研究は少ない⁷⁾。特に、水中という異常圧環境下における体位変換での影響や潜水が繰り返し行われた場合の耳管機能がどのような対応をとるかなどを比較した研究は皆無と言わざるを得ない。この様に圧力環境での耳管機能に関する研究も数少ない現況に対して、耳管機能が潜水を繰り返して行った場合や体位を換えることでどのような影響を受けるかを音響耳管検査法と Valsalva 法を組み合わせた音響 Valsalva 検査装置を用いて耳管開放圧を測定して検討し、また、潜水中の潜降体位が、耳抜きにどのような影響を与えるかも合わせて検討し、結語に示す新知見を得た。

II 検査装置および方法

1. 音響 Valsalva 検査装置

音響耳管検査と Valsalva 法を組み合わせた検査法は音響 Valsalva 検査法と呼ばれ、その原理は、鼻孔に圧力センサーと反対側の鼻孔に音源スピーカーを設置し、

検査を行う耳管の外耳道側にマイクロホンを固定し、被検者は鼻歌を歌う要領で肺から息を鼻腔へ送り、圧力がある一定以上に高まると耳管が開放し、外耳道に設置されているマイクロホンに音圧が伝わると同時に耳管が開放した圧力も記録される。負荷された圧力は、バイパスに落とされそれ以上の圧力が中耳腔などに負荷されないようにセットされている^{8,9)}。

本検査法による記録可能な最大圧力は、1000mmH₂O（水深1m相当圧）を限度とした。この理由は、過度の鼻腔内圧が加わると中耳腔のみならず内耳の障害を引き起こす危険性があるからである。

2. 繰り返し潜水に伴う耳管開放圧の検査および期間
潜水回数と耳管開放機能の相関を検討するため、音響 Valsalva 検査装置を用い、耳管の開放圧を潜水前後に検査した。

実際に潜水が行われた海域の水深は、最大で10mあり、1日5～10回の潜降および浮上を行なわせた。これらの潜水の期間は、2週間に亘り行われた。2日連続で行い、5日間の休止日をはさんで、また2日間行い、合計4日間の実施日数とした。

3. 異なる体位による潜降方法

実海域の潜水において潜降方法の違いが耳管開放能にどのような影響を与えるかを調べた。潜降方法は、頭から潜降する head-down と足から潜降する head-up の2方法により行われた。潜降は、海面と海底とをロープで連絡し、そのロープに添って水深10mまで潜降する方法とした。

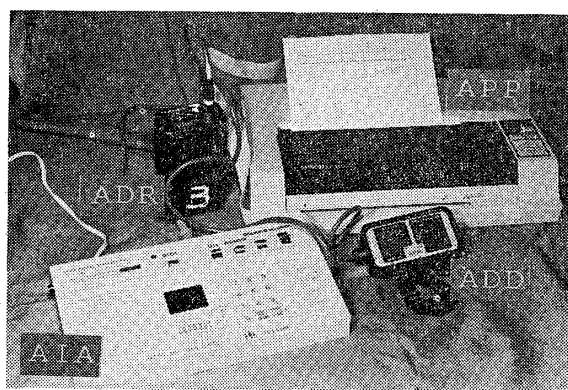


図1 ダイビング・データ・レコーダ (DDR) 装置

ADR：ダイビングレコーダ（レコーダ本体）

ADD：デジタルディスプレイ（表示器）

AIA：インフォメーションアダプター
（ADRからの読み込み器）

APP：カラープリンタープロッター
（プリンター）

4. ダイビング・データ・レコーダ

潜水中の潜水プロフィールを調べるため、ダイビング・データ・レコーダ (DDR) を用いて記録した(図1)。このDDRは、アドニスエンジニアリング社製のADR コンピュータシステム (adonis diving recording computer system) を使用した。この機種は、ADR (ダイビングレコーダー)、ADD (デジタルディスプレイ)、AIA (インフォメーションアダプター)、APP (カラープリンタープロッター) の4つのシステムで構成されている。この中、潜水者が携行するものは、ADRおよびADDである¹⁰⁾。

III 被検者

被検者はこれから潜水をはじめる初心者 (novice) 28名とスポーツダイバーでその潜水を指導する熟練者 (expert: instructor) 6名であり、既往歴及び現症歴についてはいずれも異常を認めぬ健康成人である。それぞれの平均年齢は、24.0±6.1歳、35.4±5.9歳である(表1)。しかし、各検査の実施日は、実海域や実験室で行われたため、それぞれの検査における全項目を検査できた被検者は異なってしまった。それらの内訳は、

1. 繰り返し潜水に伴う耳管開放の検査を行った被検者
初心者で14名（平均年齢23±4.6歳，男子5名，女子9名）であり，指導者で4名（平均年齢33±4.3歳，全員男子）の合計18名である。

2. 異なる体位による潜降方法の被検者
初心者で25名（平均年齢24±5.4歳，男子10名，女子15名）であり，指導者で6名（平均年齢37±4.4歳，男子4名，女子2名）の合計31名である。

表1 被検者数及び年齢

	人数	年齢 (才)	潜水歴 (年)	性別	別数
初心者	28	24.0 6.1	—	12	16
指導者	6	35.4 5.9	7.1 3.9	4	2

IV 結果

1. 繰り返し潜水に伴う耳管開放圧
期間中に調べられた耳管開放圧の結果を表2及び図2に示す。第1日目の潜水が始まる前に検査した値は、初心者が 414±37mmH₂O であり、指導者が 289±66mm

表2 初心者と指導者の潜水実施日数の経過に伴う
耳管開放圧及び耳管開放率の変化

	初 心 者			指 導 者		
	開放圧 mmH ₂ O mean±SE	陽性率 % mean		開放圧 mmH ₂ O mean±SE	陽性率 % mean	
コントロール	414 37	100		289 66	100	
第1日目の潜水後	503 44	89		469 96	88	
第2日目の潜水後	558 35 ☆	79		553 111	100	
5日間の休憩						
第3日目の潜水前	505 44	82		400 59	100	
第3日目の潜水後	556 44 ☆	82		451 79	100	
第4日目の潜水後	525 45	89		425 89	100	

☆: p<0.05

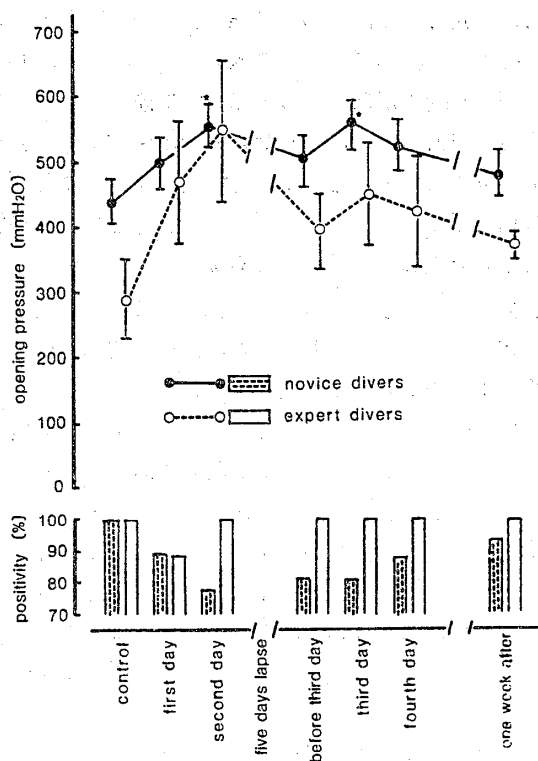


図2 繰り返し潜水にともなう耳管開放圧と耳管開放の陽性率

☆: p<0.05, mean±SE

H₂O であった。これを control 値とした。実海域で潜水を行った時の初心者の値は、いずれも潜水終了後に高い値を認めた。また、指導者においても初心者同様高い値が認められた。初心者の耳管開放圧は、control と比較して第2及び3日目の潜水終了後に上昇し、有意な差

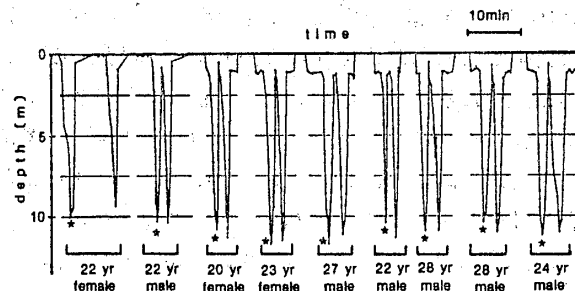


図3 異なる体位による潜降方法により水深10mまで潜水が行えた潜水プロフィール (正常者)

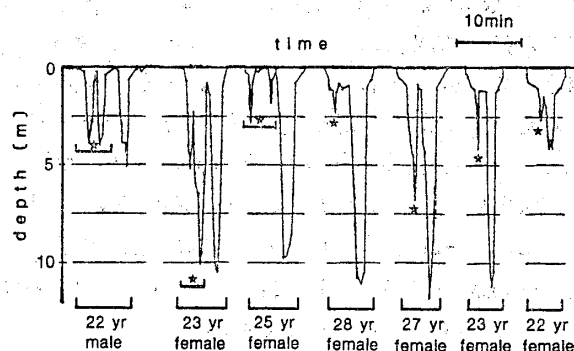


図4 異なる体位による潜降方法により水深10mまで潜水が行えなかった潜水プロフィール

★: 1回目頭からの潜降 (head-down), 無印: 2回目足からの潜降 (head-up), 潜水プロフィールの下段の数字は、年齢 (性別)

(p<0.05) が認められた。

陽性率 (図2の下段) は、1000mmH₂O までの圧力を加えて耳管が開放した者の割合である。潜水開始前には初心者及び指導者とも全員が開放したが、その後の初心者の陽性率は、第2日目の潜水終了後に79% (22/28耳) と最も低下し、第2日目以外も100%の陽性率は認められなかった。指導者の陽性率は、第1日目の潜水終了後のみが88% (7/8耳) と低下したが、他の潜水後の陽性率は全例が開放した。

2. 異なる体位による潜降方法と耳管開放機能

異なる体位による潜降方法の被検者は、その日にスクーバ潜水で5～7mの潜水を経験した者を対象とした。潜降方法の順位は、第1回目に頭からの潜降 (head-down) を行い、第2回目に足から潜降 (head-up) とした。記録はDDRを被検者に装着して行った。2方法の異なる潜降が可能であった者の潜水プロフィールを図3に示す。潜降途中で耳抜きができず中止した者の潜水プロフィールを図4に示す。図4において、1番目に示されている22歳男子は、head-downの潜降を2回行ったが水深3.5mで耳抜きができず、また耳痛を訴えたため

head-down の潜降を中止した。続いて head-up の体位で潜降を行ったが水深 5 m で同じように耳痛を訴えたため中止した事例である。また、2 番目に示されている 23 歳女性のケースは、水深 5 m まで head-down で潜降したが耳痛を訴え水深 2.5 m まで一度浮上し、その水深で再び耳抜きを行い耳痛が治まったので head-down の体位で水深 10 m まで潜降した。続いて head-up の体位で潜降を行ったところ 10 m まで問題なく潜降できたケースである。これらの結果をまとめると、head-down の潜降方法で水深 10 m まで潜水できなかった者は初心者で 25 名中 8 名 (32.0%) に認められ、指導者でも 6 名中 1 名 (16.7%) に認められた。また、head-up の潜降方法で潜水できなかった者が、初心者で 2 名 (8.0%) に認められたが、指導者では認められず全員が水深 10 m まで潜水できた。また、head-down と head-up のいずれの潜降方法を用いても潜水できなかった者が初心者で 2 名の 8 % に認められた、head-down の潜降方法で中止した 9 名の平均水深は 3.7 ± 1.6 m であり、head-up の 2 名においては 4.6 ± 0.7 m であった (表 3)。

表 3 異なる潜降方法により潜水を中止した者の割合及びその水深

	頭よりの潜降	足よりの潜降
初心者	8/25 人 32.0%	2/25 人 8.0%
指導者	1/6 人 16.7%	0/6 人 0.0%
中止水深 mean	3.7 m	4.6 m
±SD	1.6 m	0.7 m

(水深 10 m までの潜水)

V 考 察

本研究は、頻回の潜水などが行われた時の耳管機能を音響 Valsalva 検査法^{8,9)}で検討することである。音響 Valsalva 検査装置の特徴は、耳管開放機能を数値で表現できるため様々な条件下の検討ができることである。

中耳腔の圧外傷は、耳管機能の不全から生じる。中耳腔が存在する意義を考えると聴覚機能の中の音を増幅して内耳に効率よく伝える機能が第一である。中耳腔の音増幅には、鼓膜の可動性を限りなく効率よく保つことが必要であり、鼓膜の裏側に限りなく大気圧に近い空気層を有する必要がある。この目的のために中耳腔 (鼓室 + 乳突蜂巣) にはガス産生機構があり、この気体が鼓膜の振動効率を維持する働きがある^{11,12)}。この機構に対して耳管は、常圧環境では、中耳腔から外界に向かって経耳管性の産生ガスの排出を行い、異常な環境圧に暴露され

る時のみに外界の気体と中耳腔の気体交換を行うというシステムが耳管の役割である。これらの耳管機能を踏まえて今回の実験を考察する。

1. 圧暴露と耳管開放機能

運動生理学的な一般的考え方として、運動や作業が繰り返して行われると、練習効果の生じることが知られている。本研究の繰り返し潜水が行われた結果では、それとは一見異なるごとき現象を認めた。潜水を続けていると度重なる能動的耳管開放が必要であるために局所疲労による耳管開放運動機能の一時的劣化をきたして、耳抜き動作に必要な以上の圧力を加えないと耳管調圧ができなくなる結果を得た。すなわち、連続した潜水回数 (日数) が増すほどに耳管開放圧は、初回の耳管開放圧より高い圧力を必要とした。本研究の検査結果から、control 値とその後の潜水を継続した値とを比較すると初心者及び指導者の両者でともにより高い耳管開放圧値を示した。この事は、常圧環境の耳管開放の生理学的機能から全く外れた行為であり、いわば機能障害の一種の形態といえる。熟練した潜水者でも繰り返し潜水を行うと、耳抜きの耳管開放機能が低下すると経験的に述べることに符合する現象である。このような結果を総合すると度重なる潜水で特に初心者などでは、耳管開放を過度に必要とし、この調圧頻度の増加が、局所の疲労を生じて耳管開放圧の劣化を引き起こしていると推察される。

日常生活における中耳腔の換気機能は、生理的に中耳腔にガス代謝^{11,12)}が生じたときに、嚥下運動に伴う耳管開放で中耳側から咽頭に向かってガスが常に一方向に排出され、これが換気の正常機能である。その正常機能に対して、潜水では逆のルートをとる結果となり、本来の耳管機能の生理学的メカニズムの逆転現象を起こし、生体にとっては非生理的な現象と言わなくてはならない。即ち、潜水することは、生体周囲の環境圧力が陽圧となるため中耳腔内の陰圧を解消する手段として強制的に嚥下運動や Valsalva 法によって耳抜きを行おう結果となる。

2. 高圧環境の耳管開放様式と年齢変化

潜水中に嚥下運動と Valsalva 法との両者を併用して耳抜きを行うことで耳管開放を行っているものは、初心者では 63% であり、指導者で 43% の存在を認めている¹³⁾。

音響 Valsalva 法を用いた報告では、一般成人の平均耳管開放圧は 386 mmHg であり^{7,14)}、本研究の初心者の平均開放圧、 444 mmHg と比較して差異は認められなかった。また、指導者の値は 289 mmHg と初心者と比較して有意に低い差が認められた ($p < 0.05$)。しかし、この値は指導者の被検者例数が少なかったため、その原

因に関する考察は検討を要し、今後の課題とした。

年代別の耳管開放圧は、若年から高齢者にしたがって徐々に、より高い圧力を必要とし、40歳代を境に開放圧が平坦化する傾向が認められており、この現象は、aging であると報告されている。耳管開放圧について我々が行った研究と比較すると、職業潜水者の耳管開放圧を調べたところ、一般人と比較して $541\text{mmH}_2\text{O}$ と47%も高い値であった^{7,14)}。職業潜水者が暴露される環境は、一般のスポーツダイバーと比較して、深度も深く、また潜降及び浮上が急峻で強制的に Valsalva 法の耳抜きによる中耳腔換気を頻繁に行わなければならない。この中耳腔換気は、本来の耳管機能に対して非生理的な負担を過大に加えていることになる。潜水による中耳腔換気は、耳管を経由した中耳腔から逆方向に強制換気を余儀なくされており、中耳腔の粘膜に対して空洞換気的气体交換に作用して粘膜変化を引き起こす危険性がある。このことは手術の全身麻酔で笑気ガスが用いられ、術後に中耳腔が陰圧を形成する Blackstock and Gettes¹⁵⁾ の報告もあり、耳管開大筋自身の疲労、耳管粘膜への強制換気の影響などが耳管開放機能を低下させると考えられる。また、潜水を職業とするものの耳管開放機能が一般成人の値と比較して高い値を示していた。この点については、常に水中環境で耳抜きを行う必要があり、このため強制的な換気の圧力を外界の条件圧に依存して効率の良い耳管開放機能を形作っている結果と考えられた。即ち、特に潜水漁法を行う漁師らの耳抜きは、適当な環境圧変化を利用して一定の圧変化が生じた時点で Valsalva を行っている。この方法は、外圧を旨く利用した方法で鼻腔に負荷する胸腔内圧が少なく耳管の開放が行われる特異な調圧機能を身に付けている結果と考えられる。

3. 潜水時の体位と耳管開放機能

潜水が行われるとき、潜水の体位が問題となる。この体位に関しては、head-down の体位で潜降する時よりも、head-up すなわち立位のまま、足から潜降する体位が、調圧しやすいことが実海域で行った本研究で調べられた。常圧環境下で行われた体位変換と耳管機能に関する報告^{16~18)}によると坐位、側臥位、head-down のそれぞれの異なる体位においては耳管開放圧に最も高い圧力を必要とする体位は head-down であり、最も低い圧力で開放する体位は坐位であった。これは本研究の実海域で行った実験と一致するところである。

head-down 体位で耳抜き（耳管開放）機能が低下する理由を考察すると、体位が変化する事が耳管開放圧に直接影響することが示唆される。これに関して、Ivarsson ら^{16,18)}は、鼓膜の変位から観察し、5名のスクーバダイ

バーで背臥位から head-down において、耳管開放能が坐位よりも有意に低下したと述べている。また、Virtanen¹⁹⁾は、音響耳管検査法を用いて体位変換時の開放能を検討し、あきらかな体位の影響は認められないと報告している。しかし、これらの検査は、音圧変化のみを指標とした結果であり、本研究の方法とは異なる。

体位が耳管開放機能に影響する因子としては、大野ら²⁰⁾は耳管粘膜の腫脹が最も大きいと述べている。これは、Andreasson ら²¹⁾や寺邑²²⁾も、背臥位や head-down でともに鼓室内圧が高まり、坐位から前屈位に変換すると、中耳腔内圧が $22\text{mmH}_2\text{O}$ 上昇すると述べ、この原因については、鼓室や乳突蜂巣粘膜の容積が増加するためと報告している。容積増加の現象は、背臥位で内頸静脈を測定すると、 $88\text{mmH}_2\text{O}$ の差を生じ²³⁾、体位変換や血流の関与が大きく影響されている現象である。しかし、これらの実験条件は、常圧環境下で行われ、水中環境とは異なる。

水中環境では、浮力が働き生体の各部位における水中の位置によって加わる圧力が異なる。また、潜水でいう潜降方法は海面に平行状態または立位の状態から急激な体位変換を行うため、大久保ら²⁴⁾が述べている中耳腔内のガスの置換現象には当たらない特異的な現象であるといえる。

以上、本研究は、繰り返し潜水の耳管開放機能について考察を行った。近年、スクーバダイビングがわが国でも活発となり、50万人ものスポーツダイバー人口になろうとしている。本研究は、これらの対象群に耳の圧外傷防止に役立つ新知見を提供した。また、職業潜水に対しても労働衛生的見地から有用な情報を提供できたものとする。なお、本研究に関連する事項としては、長期潜水作業に従事した場合の耳管機能の経年変化や耳管機能の順化順応などの生理学的な解析が重要であり、これらの事項は今後解明されなければならない課題といえよう。

VI 結 語

1. 音響耳管検査装置と Valsalva 法を組み合わせる潜水に伴う耳管機能の開放能について調べた。
2. 繰り返し潜水は、耳管機能を低下させ、耳管開放圧が潜水回数とともに高い圧力を要した。
3. 水中で行われた体位変換によって、立位で潜降する体位 (head-up) と頭を下にして潜降する体位 (head-down) を比較したところ、耳管機能は head-down の体位でより過大な影響を受け、機能の低下が認められた。

文献)

- 1) Department of the Navy: U.S. Navy Diving manual. p.3.12-15, 7.25-33, 1987, Department of the Navy, Washington, DC.
- 2) 真野喜洋: 減圧症治療の現状と問題点—東京医科歯科大学における減圧症治療の現状と問題点—. 日高圧医誌, 23(4): 185-192, 1988.
- 3) Bennet, P.B. and Elliott, D.H.: The Physiology and Medicine of Diving. p.200-238, p.262-296, p.353-382, p.507-536, 1982, Bailliere Tindall.
- 4) 大久保仁, 寺邑公子, 小山澄子, 小川明, 仲博美, 白井洋行, 渡辺勲, 真野喜洋, 芝山正治: 潜水(スクーバ)事故と耳管機能について. 耳鼻咽喉科, 59: 573-578, 1987.
- 5) Goodhill V.: Sudden deafness and round window rupture. Laryngoscope, 81: 1462-1471, 1971.
- 6) Takahashi, S.: Inner ear barotrauma. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ., 32: 19-30, 1985.
- 7) 芝山正治, 真野喜洋, 大久保仁: 漁業(追込み漁法)ダイバーの耳管機能に関する研究. 産業医学, 29: 265-270, 1987.
- 8) 大久保仁, 渡辺勲, 石川紀彦, 大柿徹, 石田博義, 羽成敬一: 音響耳管検査法—(続)WIO-01型試作機の使用経験—. 耳鼻臨床, 77: 1747-1754, 1984.
- 9) 大久保仁, 渡辺勲, 渋沢三伸, 石川紀彦, 石田彦義, 大柿徹, 羽成敬一, 大木幹文: Valsalva法の耳管開閉能と鼻腔圧について. (3)—音響耳管検査法による—. 耳鼻臨床, 78: 339-344, 1985.
- 10) 芝山正治, 真野喜洋: 追込み漁潜水作業による潜水プロフィールと労作強度. 日衛誌, 44: 587-594, 1989.
- 11) Bylander, A.K.H., Ivarsson, A.I. and Tjernstrom, O.: Middle ear pressure variation during 24 hours in children. Ann Otolaryngol. Suppl., 120: 33-35, 1985.
- 12) 大久保仁, 渡辺建介, 原田宏美, 寺邑公子, 小山澄美, 石川紀彦, 小川明, 羽成敬一, 渡辺勲: 耳管調圧機構に対する乳突蜂巣毛細血管構造の役割と中耳腔 PO_2 の変化について. 耳鼻臨床, 80: 1521-1527, 1987.
- 13) Shibayama M.: A study of the auditory tube function in scuba diving by measuring sonotubometric auditory tube function during the valsalva maneuver. St. Marianna Med. J., 18: 967-983, 1990.
- 14) 大久保仁, 渡辺勲, 石川紀彦, 渋沢三伸, 枝松秀雄, 寺邑公子, 石田博義, 大野文夫: 潜水漁法に従事するダイバーの耳管機能について. 耳鼻臨床, 80: 755-762, 1987.
- 15) Blackstock D. and Gettes M.: Negative pressure in the middle ear in children after nitrous oxide anaesthesia. Can. Anaesth. Soc. J., 33: 32-35, 1986.
- 16) Ivarsson A, Tjernström Ö. and Uddman R.: Patency of the eustachian tube in different body positions. ORL, 41: 329-340, 1979.
- 17) Rundcrantz, H.: Posture and Eustachian tube function. Acta. Otolaryngol., 68: 279-292, 1969.
- 18) Ivarsson A, Tjernstrom O, Bylander A, et al.: High speed tympanometry and ipsilateral middle ear reflex measurements using a computerized impedancemeter. Scand Audiol, 12: 157-163, 1983.
- 19) Virtanen H.: Relation of body posture to Eustachian tube function. Acta Otolaryngol., 95: 63-67, 1983.
- 20) 大野文夫, 大久保仁, 石川紀彦, 寺邑公子, 渡辺勲: 体位と耳管開閉能—音響耳管検査法による測定—. 耳鼻臨床, 80: 657-662, 1987.
- 21) Andreasson L, Ingerstedt S, Ivarsson A. et al.: Pressure dependent variation in volume of mucosal lining of the middle ear. Acta Otolaryngol., 81: 442-449, 1979.
- 22) 寺邑公子: 中耳腔内圧の変動要因に関する研究. 耳鼻臨床, 81: 1789-1801, 1988.
- 23) Jonson B. and Rundcrantz H.: Posture and pressure within the intracranial jugular vein. Acta Otolaryngol., 68: 271-275, 1965.
- 24) 大久保仁, 渡辺勲, 渡辺建介, 原田宏美, 寺邑公子, 小山澄子, 石川紀彦, 苦爪知彦, 奥野秀次: 乳突蜂巣毛細血管よりみた中耳腔換気. 耳鼻臨床, 82: 221-227, 1989.