

【原著】

当院における高気圧酸素治療加圧時の耳痛の発生状況に関する調査

桑田紗也加, 横溝伸也, 井桁洋貴
飯塚病院 臨床工学部

【要約】

背景：高気圧酸素療法（HBOT）は高気圧環境下で純酸素を投与し低酸素障害を改善する治療法であり、圧変動が耳痛を引き起こす。

目的：当院における HBOT 施行中の耳痛発生状況とその背景を調査する。

方法：令和 4 年 12 月 19 日～令和 5 年 12 月 19 日に HBOT を受けた 126 名（治療件数 1,717 件）を対象に、性別、年齢階層、疾患別、初回治療群・非初回治療群に分け、それぞれにおける耳痛発生率および層別の耳痛発生時の気圧について検討を行った。

結果：全体の耳痛発生率は 8.4%であった。特に 80 歳以上の高齢者や初回治療群で耳痛の発生率が高く、加圧初期に耳痛が多く発生する傾向が確認された。加齢に伴う耳管のコンプライアンス低下や、加圧変化への未順応が要因と考えられる。

結語：高齢者や HBOT 初回施行時、加圧初期における耳痛リスクに留意し、丁寧な観察、耳痛の発生を緩和するための対応が重要である。

キーワード

高気圧酸素療法, 中耳気圧外傷, 内耳気圧外傷

【Original】

Investigation into the incidence of otalgia during pressurization in hyperbaric oxygen therapy

Sayaka Kuwata, Shinya Yokomizo, Hiroki Igeta
Aso Iizuka Hospital, Department of Clinical Engineering

【Abstract】

Background: Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is a treatment method that delivers pure oxygen in a high-pressure environment to improve hypoxic conditions. However, pressure fluctuations can cause otalgia.

Objective: To investigate the incidence and underlying factors of ear pain during HBOT at our facility.

Methods: A total of 126 patients who underwent HBOT between December 19, 2022, and December 19, 2023 (1,717 treatment sessions), were analyzed. Patients were categorized by sex, age group, disease type, and whether it was their first or a subsequent treatment. The incidence rate of otalgia and the pressure at which otalgia occurred in each subgroup were examined.

Results: The overall incidence rate of otalgia was 8.4%. Incidence was particularly high in elderly patients aged eighty and above, as well as in those undergoing HBOT for the first time. Otalgia tended to occur more frequently during the initial pressurization phase. These findings

suggest that reduced Eustachian tube compliance due to aging and lack of adaptation to pressure changes are contributing factors.

Conclusion: Special attention should be paid to the risk of otalgia in elderly patients, during initial HBOT sessions, and in the early stages of pressurization. Careful monitoring and measures to alleviate otalgia are essential.

Keywords

hyperbaric oxygen therapy, middle ear barotrauma, inner ear barotrauma

【背景】

高気圧酸素療法 (Hyperbaric Oxygen Therapy : HBOT) は、高気圧環境下で純酸素を投与し、溶解型酸素を増加させ、高い酸素分圧の動脈血を造ることにより、低酸素障害を改善しようとする治療法である¹⁾。

HBOT 施行中は、高い環境圧で過ごすことになる上、治療圧に到達するまでの加圧操作や治療終了後の減圧操作など圧変動にも曝露される。こうした圧力変化は、生体に種々の物理的、生理学的影響を与える²⁾。その中でも、中耳気圧外傷は加圧時に中耳腔を均圧出来ないことにより耳痛が出現する²⁾。

実際、当院においても HBOT 加圧時に耳痛を訴える患者が散見される。また加圧中は、患者の表情などの視覚的サインが読み取りにくい場合があり、対応に難渋することもある。石井ら³⁾は、加圧時に実際パニック症状を起こした症例を経験しており、治療に携わる技師として、加圧中の耳痛の発生頻度について把握しておくことは、HBOT を安全に遂行する上で重要であるが、耳痛の発生頻度等の詳細については分かっていない。

今回、我々は HBOT 施行中の耳痛について検討を行ったので報告する。

【目的】

当院における HBOT 施行中の耳痛発生状況とその背景について調査する。

【方法】

令和4年12月19日～令和5年12月19日に当院で HBOT を受けた患者 126 人 (治療件数 1,717

件) を対象とし、さらに疾患別に治療回数 1～10 回, 11～20 回, 21～31 回の 3 区分に分け、治療件数のデータ収集を行う。

当院では、高気圧酸素治療における加圧方法として直線的加圧および非直線的加圧のいずれの方法も用い、患者の状態を観察しながら、治療担当技師が適宜判断している。加圧に要する時間に関しては、あらかじめ固定した加圧時間を設けてはならず、治療圧に安全かつ確実に到達することを目標として加圧を行う。そのため、患者の耳抜き状況や訴え等に応じて加圧速度を柔軟に調整している。また、初回治療については必ず医師が立ち会い、治療を開始する。治療中に患者より治療拒否や継続困難の訴えがあった場合には、医師の判断により治療を中止する対応を取っている。

対象者を性別および年齢階層別、初回治療群・非初回治療群、疾患別に分け、それぞれにおける耳痛発生率および耳痛発生時の気圧について検討した。実際の治療では、気圧 (PSIG) を 0 から 14.7 まで加圧する。圧区分を 0～3.0, 3.1～5.0, 5.1～7.0 および 7.1～14.7 に分け、合計 6,868 ポイントにおいて耳痛の発生状況について調査した。耳痛の発生状況は、圧力が 3, 5, 7 および 10 に到達した際に、患者に耳痛の有無を確認し、耳痛の訴えが 1 度でもあれば耳痛ありと定義した。

統計解析は、分割表の検定は Fisher's exact probability test を、傾向性の検定には Cochran-Armitage test を用いた。また、圧力を時間として代用し、耳痛発生をイベントとした生存時間解析も行った。初回治療群・非初回治療それぞれにおける生存曲線の比較については log rank test および Wilcoxon test を用いた。統計ソフトは Stata

(Ver. 18.5) を用いた。有意水準は5%とし、 $p < 0.05$ の場合、有意差有と判断した。なお、本研究は飯塚病院倫理委員会の承認を得て行った（承認番号：22-147）。

【結果】

対象者の初回治療時の年齢は最年少13歳，最高齢92歳，中央値67歳，四分位範囲は[57.3-77.0]歳であった。性別は男性75人(59.5%)，女性51人(40.5%)であった。年齢区分では70~79歳が33人(26.2%)と最多で，次いで60~69歳が31人(24.6%)であった(表1-A)。総治療件数は1,717件であり，70歳~79歳が538件(31.3%)，難治性潰瘍を伴う末梢循環障害が859件(50.0%)で最多であった(表2-B)。対象疾患を全治療回数別でみると，突発性難聴は全症件が1~10回であるのに対し，難治性潰瘍を伴う末梢循環障害ならびに骨髄炎および放射線障害では21~31回が最多であった(表1-B)。

1. HBOT 施行中の耳痛発生率

治療患者全体の耳痛発生率は126人中68人(54.0%)であった(表2-A)。全治療における耳痛発生率は1,717件中145件(8.4%)であった(表2-B)。

2. 治療患者 (n=126) における各分類の耳痛発生率

男性の耳痛発生率は，男性40/75人(53.3%)，女性の耳痛発生率は，女性28/51人(54.9%)であり，性別による明らかな差は認めなかった(表2-A, $p = 1.00$, Fisher's exact probability test)。

年齢別耳痛発生率は，それぞれ10~29歳：1/4人(25.0%)，30~39歳：2/5人(40.0%)，40~49歳：4/13人(30.8%)，50~59歳：7/17人(41.2%)，60~69歳：13/31人(41.9%)，70~79歳：22/33人(66.7%)，80歳以上：19/23人(82.6%)であり，高齢になるにつれ耳痛発生率は高くなる傾向にあった(表2-A, $p < 0.001$, Cochran-Armitage test)。

さらに性別で層別すると，男性はそれぞれ10~29歳：0/2人(0.0%)，30~39歳：2/3人(66.7%)，40~49歳：2/7人(28.6%)，50~59歳：5/13人(38.5%)，60~69歳：11/24人(45.8%)，70~79歳：13/16人(81.3%)，80歳以上：7/10人(70.0%)であるのに対し(表3-A, $p = 0.009$, Cochran-Armitage test)，女性はそれぞれ10~29歳：1/2人(50.0%)，30~39歳：0/2人(0.0%)，40~49歳：2/6人(33.3%)，50~59歳：2/4人(50.0%)，60~69歳：2/7人(28.6%)，70~79歳：

表1. 対象患者

【A】患者 (n=126)		【B】総治療件数 (n=1,717)					
年齢(歳) * 初回治療時	最年少	13	全治療回数 (回)				
	最高齢	92	1~10	11~20	21~31	合計	
	中央値	67					
	四分位範囲	57.3-77.0					
性別	男	75 (59.5%)					
	女	51 (40.5%)					
年齢区分	10歳~29歳	4 (3.2%)					
	30歳~39歳	5 (4.0%)					
	40歳~49歳	13 (10.3%)					
	50歳~59歳	17 (13.5%)					
	60歳~69歳	31 (24.6%)					
	70歳~79歳	33 (26.2%)					
主病名	80歳以上	23 (18.2%)					
	突発性難聴	38 (30.2%)	突発性難聴	355 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	355 (100.0%)
	難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	40 (31.7%)	難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	53 (6.2%)	64 (7.4%)	742 (86.4%)	859 (100.0%)
	骨髄炎及び放射線障害	10 (7.9%)	骨髄炎及び放射線障害	26 (16.5%)	44 (27.8%)	88 (55.7%)	158 (100.0%)
	その他	38 (30.2%)	その他	205 (59.4%)	80 (23.2%)	60 (17.4%)	345 (100.0%)
			合計治療件数	639 (37.2%)	188 (10.9%)	890 (51.8%)	1,717 (100.0%)

表2. 耳痛発生率

【A】患者に対する耳痛発生率 (n=126)				【B】総治療件数に対する耳痛発生率 (n=1,717)			
	耳痛有	耳痛無	p value		耳痛有 (n=145)	耳痛無 (n=1,572)	p value
男性	40 (53.3%)	35 (46.7%)	P=1.00	男性	90(9.6%)	852(90.4%)	p=0.081
女性	28 (54.9%)	23 (45.1%)		女性	55(7.1%)	720(92.9%)	
10~29歳	1 (25.0%)	3 (75.0%)	p<0.001	10~29歳	1(4.0%)	24(96.0%)	p=0.005
30~39歳	2 (40.0%)	3 (60.0%)		30~39歳	2(6.7%)	28(93.3%)	
40~49歳	4 (30.8%)	9 (69.2%)		40~49歳	6(5.0%)	114(95.0%)	
50~59歳	7 (41.2%)	10 (58.8%)		50~59歳	13(5.5%)	223(94.5%)	
60~69歳	13 (41.9%)	18 (58.0%)		60~69歳	28(6.4%)	408(93.6%)	
70~79歳	22 (66.7%)	11 (33.3%)		70~79歳	56(10.4%)	482(89.6%)	
80歳以上	19 (82.6%)	4 (17.4%)		80歳以上	39(11.7%)	293(88.3%)	
初回	55 (43.7%)	71 (56.3%)	p<0.001	初回	55 (43.7%)	71 (56.3%)	p<0.001
非初回*	43 (35.5%)	78 (64.5%)		非初回	90 (5.7%)	1,501 (94.3%)	
突発性難聴	18 (47.4%)	20 (52.6%)	p=0.456	突発性難聴	28 (7.9%)	327 (92.1%)	p<0.001
難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	25 (62.5%)	15 (37.5%)		難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	59 (6.9%)	800 (93.1%)	
骨髄炎及び放射線障害	4 (40.0%)	6 (60.0%)		骨髄炎及び放射線障害	7 (4.4%)	151 (95.6%)	
その他	21 (55.3%)	17 (44.7%)		その他	51 (14.8%)	294 (85.2%)	

*初回治療のみの5例は除く

表3. 性別を年齢で層別した耳痛発生率

【A】患者に対する耳痛発生率 (n=126)							
	男性(n=75)			女性(n=51)			
	耳痛有(n=40)	耳痛無(n=35)	p value	耳痛有(n=28)	耳痛無(n=23)	p value	
10~29歳	0 (0.0%)	2(100.0%)	p=0.009	1(50.0%)	1(50.0%)	p=0.008	
30~39歳	2(66.7%)	1(33.3%)		0(0.0%)	2(100.0%)		
40~49歳	2(28.6%)	5(71.4%)		2(33.3%)	4(66.7%)		
50~59歳	5(38.5%)	8(61.5%)		2(50.0%)	2(50.0%)		
60~69歳	11 (45.8%)	13(54.2%)		2(28.6%)	5(71.4%)		
70~79歳	13 (81.3%)	3(18.8%)		9(52.9%)	8(47.1%)		
80歳以上	7 (70.0%)	3(30.0%)		12(92.3%)	1(7.7%)		

【B】総治療件数に対する耳痛発生率 (n=1,717)							
	男性(n=942)			女性(n=775)			
	耳痛有(n=90)	耳痛無(n=852)	p value	耳痛有(n=55)	耳痛無(n=720)	p value	
10~29歳	0(0.0%)	11(100.0%)	p<0.001	1(7.1%)	13(92.9%)	p=0.129	
30~39歳	2(18.2%)	9(81.8%)		0(0.0%)	19(100.0%)		
40~49歳	3(4.1%)	70(95.9%)		3(6.4%)	44(93.6%)		
50~59歳	9(4.8%)	180(95.2%)		4(8.5%)	43(91.5%)		
60~69歳	23(6.9%)	311(93.1%)		5(4.9%)	97(95.1%)		
70~79歳	36(18.6%)	158(81.4%)		20(5.8%)	324(94.2%)		
80歳以上	17(13.1%)	113(86.9%)		22(10.9%)	180(89.1%)		

9/17人 (52.9%), 80歳以上: 12/13人 (92.3%)であった(表3-A, p=0.008, Cochran-Armitage test)。

初回治療群の耳痛発生率は55人 (43.7%, n=126), 非初回治療群の耳痛発生率は43人 (35.5%, n=121)であった(表2-A, p < 0.001, Fisher's

exact probability test)。

初回群, 非初回群を層別で見ると, 初回群の性別間ではp=0.856 (Fisher's exact probability test) 疾患別はp=0.361 (Fisher's exact probability test) 年齢区分別はp=0.011 (Fisher's exact probability test) p=0.003 (Cochran-Armitage test), 非初回群の性別

間は $p=0.848$ (Fisher's exact probability test) 疾患別は $p=0.105$ (Fisher's exact probability test) 年齢区分別は $p=0.095$ (Fisher's exact probability test) $p=0.029$ (Cochran-Armitage test) となった (表 4)。

疾患別耳痛発生率は、突発性難聴 18/38 人 (47.4%)、難治性潰瘍を伴う末梢循環障害 25/40 人 (62.5%)、骨髄炎及び放射線障害 4/10 人 (40.0%)、その他 21/38 人 (55.3%) であった (表 2-A, $p=0.456$, Fisher's exact probability test)。

3. 全治療 (n = 1,717) における各分類の耳痛発生率

男性の耳痛発生率は 90/942 件 (9.6%)、女性の耳痛発生率は 55/775 件 (7.1%) であり、明らかな差は認めなかった (表 2-B, $p=0.081$, Fisher's exact probability test)。

年齢別耳痛発生率は、10~29 歳 : 1/25 件 (4.0%)、30~39 歳 : 2/30 件 (6.7%)、40~49 歳 : 6/120 件 (5.0%)、50~59 歳 : 13/236 件 (5.5%)、60~69 歳 : 28/436 件 (6.4%)、70~79 歳 : 56/538 件 (10.4%)、80 歳以上 : 39/332 件 (11.7%) であり、高齢になるにつれ耳痛発生率は高くなる傾向にあった

(表 2-B, $p=0.005$, Cochran-Armitage test)。

さらに性別で層別すると、男性はそれぞれ 10~29 歳 : 0/11 件 (0.0%)、30~39 歳 : 2/11 件 (18.2%)、40~49 歳 : 3/73 件 (4.1%)、50~59 歳 : 9/189 件 (4.8%)、60~69 歳 : 23/334 件 (6.9%)、70~79 歳 : 36/194 件 (18.6%)、80 歳以上 : 17/130 件 (13.1%) であるのに対し (表 3-B, $p<0.001$, Cochran-Armitage test)、女性は 10~29 歳 : 1/14 件 (7.1%)、30~39 歳 : 0/19 件 (0.0%)、40~49 歳 : 3/47 件 (6.4%)、50~59 歳 : 4/47 件 (8.5%)、60~69 歳 : 5/102 件 (4.9%)、70~79 歳 : 20/344 件 (5.8%)、80 歳以上 : 22/202 件 (10.9%) であった (表 3-B, $p=0.129$, Cochran-Armitage test)。

初回治療群の耳痛発生率は 55 件 (43.7%, $n=126$)、非初回治療群の耳痛発生率は 90 件 (5.7%, $n=1,591$) であった (表 2-B, $p<0.001$, Fisher's exact probability test)。

初回群、非初回群を層別で見ると、初回群の性別間は $p=0.856$ (Fisher's exact probability test) 疾患別は $p=0.361$ (Fisher's exact probability test) 年齢区分別は $p=0.011$ (Fisher's exact probability test)

表 4. 初回群・非初回群 : 層別耳痛発生率 (n=126)

		初回			非初回 [*]		
		耳痛有 (n=55)	耳痛無 (n=71)	p value	耳痛有 (n=43)	耳痛無 (n=78)	p value
性別	男性	32 (42.7%)	43 (57.3%)	$p=0.856$ †)	25 (34.7%)	47 (65.3%)	$p=0.848$ †)
	女性	23 (45.1%)	28 (54.9%)		18 (36.7%)	31 (60.8%)	
主病名	突発性難聴	15 (39.5%)	23 (60.5%)	$p=0.361$ †)	8 (21.6%)	29 (76.3%)	$p=0.105$ †)
	難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	20 (50.0%)	20 (50.0%)		19 (48.7%)	20 (50.0%)	
	骨髄炎及び放射線障害	2 (20.0%)	8 (80.0%)		3 (33.3%)	6 (60.0%)	
	その他	18 (47.4%)	20 (52.6%)		13 (36.1%)	23 (60.5%)	
年齢区分	10~29歳	1 (25.0%)	3 (75.0%)	$p=0.011$ †) $p=0.003$ ‡)	0 (0.0%)	3 (100.0%)	$p=0.095$ †) $p=0.029$ ‡)
	30~39歳	2 (40.0%)	3 (60.0%)		0 (0.0%)	5 (100.0%)	
	40~49歳	3 (23.1%)	10 (76.9%)		3 (27.3%)	8 (72.7%)	
	50~59歳	4 (23.5%)	13 (76.5%)		5 (29.4%)	12 (70.6%)	
	60~69歳	10 (32.3%)	21 (67.7%)		10 (32.3%)	20 (66.7%)	
	70~79歳	22 (66.7%)	11 (33.3%)		11 (33.3%)	21 (63.6%)	
	80歳以上	13 (56.5%)	10 (43.5%)		14 (60.9%)	9 (39.1%)	

*初回治療のみの 5 例は除く

† Fisher's exact probability test

‡ Cochran-Armitage test

p=0.003 (Cochran-Armitage test), 非初回群の性別間では p=0.063 (Fisher's exact probability test) 疾患別は p=0.001 (Fisher's exact probability test) 年齢区分別は p=0.106 (Fisher's exact probability test) p=0.001 (Cochran-Armitage test) となった (表 5)。

疾患別耳痛発生率は, 突発性難聴 28/355 件 (7.9%), 難治性潰瘍を伴う末梢循環障害 59/859 件 (6.9%), 骨髄炎及び放射線障害 7/158 件 (4.4%), その他 51/345 件 (14.8%) であった (表 2-B, p < 0.001, Fisher's exact probability test)。

4. 圧区分毎の耳痛発生率 (n = 6,868)

全治療の耳痛発生率は 241 ポイント (3.5%) であった。圧区分で比較すると 0~3 : 77 ポイント (4.5%), 3.1~5 : 68 ポイント (4.0%), 5.1~7 : 50 ポイント (2.9%), 7.1~14.7 : 46 ポイント (2.7%) であった (表 6-A, p=0.001, Cochran-Armitage test)。

初回の耳痛発生率は 104 ポイント (20.6%, n=504) であった。圧区分で比較すると 0~3.0 : 39 ポイント (31.0%), 3.1~5 : 27 ポイント (21.4%), 5.1~7 : 17 ポイント (14.5%), 7.1~14.7 : 21 ポイント

(16.7%) であった (表 6-A, p=0.002, Cochran-Armitage test)。非初回の耳痛発生率は 137 ポイント (8.6%, n=6,364) であった。圧区分で比較すると 0~3 : 38 ポイント (2.4%), 3.1~5 : 41 ポイント (2.6%), 5.1~7 : 33 ポイント (2.1%), 7.1~14.7 : 25 ポイント (1.6%) であった (表 6-A, p=0.070, Cochran-Armitage test)。

男性の全 3,768 ポイントにおける耳痛発生率は 155 ポイント (4.3%) であった。圧区分で比較すると 0~3.0 : 51 ポイント (5.4%), 3.1~5.0 : 41 ポイント (4.4%), 5.1~7.0 : 32 ポイント (3.4%), 7.1~14.7 : 31 ポイント (3.3%) であった (表 6-B, p=0.011, Cochran-Armitage test)。女性の全 3,100 ポイントにおける耳痛発生率は 86 ポイント (2.8%) であった。圧区分で比較すると 0~3.0 : 26 ポイント (3.4%), 3.1~5.0 : 27 ポイント (3.5%), 5.1~7.0 : 18 ポイント (2.3%), 7.1~14.7 : 15 ポイント (1.9%) であった (表 6-B, p=0.040, Cochran-Armitage test)。

疾患別の耳痛発生率は突発性難聴 1,420 ポイント中 48 ポイント (3.4%) であった。圧区分で

表 5. 初回群・非初回群：層別耳痛発生率 (n=1,717)

		初回 (n=126)		p value	非初回 (n=1,591)		p value
		耳痛有 (n=55)	耳痛無 (n=71)		耳痛有 (n=90)	耳痛無 (n=1,501)	
性別	男性	32 (42.7%)	43 (57.3%)	p=0.856†)	58 (6.7%)	809 (99.3%)	p=0.063†)
	女性	23 (45.1%)	28 (54.9%)		32 (4.4%)	692 (95.6%)	
主病名	突発性難聴	15 (39.5%)	23 (60.5%)	p=0.361†)	13 (4.1%)	304 (95.9%)	p=0.001†)
	難治性潰瘍を伴う末梢循環障害	20 (50.0%)	20 (50.0%)		39 (4.8%)	780 (95.2%)	
	骨髄炎及び放射線障害	2 (20.0%)	8 (80.0%)		5 (3.4%)	143 (96.6%)	
	その他	18 (47.4%)	20 (52.6%)		33 (10.7%)	274 (89.3%)	
年齢区分	10~29歳	1 (25.0%)	3 (75.0%)	p=0.011†) p=0.003‡)	0 (0.0%)	21 (100.0%)	p=0.106†) p=0.001‡)
	30~39歳	2 (40.0%)	3 (60.0%)		0 (0.0%)	25 (100.0%)	
	40~49歳	3 (23.1%)	10 (76.9%)		3 (2.8%)	104 (97.2%)	
	50~59歳	4 (23.5%)	13 (76.5%)		9 (4.1%)	210 (95.9%)	
	60~69歳	10 (32.3%)	21 (67.7%)		18 (4.4%)	387 (95.6%)	
	70~79歳	22 (66.7%)	11 (33.3%)		34 (67.3%)	471 (93.3%)	
	80歳以上	13 (56.5%)	10 (43.5%)	26 (8.4%)	283 (91.6%)		

† Fisher's exact probability test

‡ Cochran-Armitage test

表 6. 圧区分毎の耳痛発生率 (n=6,868)

【A】全治療・初回群・非初回群

圧区分 (PSIG)	全治療			初回 (n=504)			非初回 (n=6,364)		
	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value
0~3.0	77 (4.5%)	1,640 (95.5%)	p=0.001	39 (31.0%)	87 (69.0%)	p=0.002	38 (2.4%)	1,553 (97.6%)	p=0.070
3.1~5.0	68 (4.0%)	1,649 (96.0%)		27 (21.4%)	99 (77.6%)		41 (2.6%)	1,550 (97.4%)	
5.1~7.0	50 (2.9%)	1,667 (97.1%)		17 (14.5%)	109 (86.5%)		33 (2.1%)	1,558 (97.9%)	
7.1~14.7	46 (2.7%)	1,671 (97.3%)		21 (16.7%)	105 (83.3%)		25 (1.6%)	1,566 (98.4%)	
合計	241(3.5%)	6,627 (96.5%)		104 (20.6%)	400 (79.4%)		137 (8.6%)	6,227 (97.8%)	

【B】性別

圧区分 (PSIG)	男性 (n=3,768)			女性 (n=3,100)		
	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value
0~3.0	51 (5.4%)	891 (94.6%)	p=0.011	26 (3.4%)	749 (96.6%)	p=0.040
3.1~5.0	41 (4.4%)	901 (95.6%)		27 (3.5%)	748 (96.5%)	
5.1~7.0	32 (3.4%)	910 (96.6%)		18 (2.3%)	757 (97.7%)	
7.1~14.7	31 (3.3%)	911 (96.7%)		15 (1.9%)	760 (98.1%)	
合計	155 (4.3%)	3,613 (96.0%)		86 (2.8%)	3,014 (97.2%)	

比較すると0~3.0:15ポイント(4.2%), 3.1~5.0:11ポイント(3.1%), 5.1~7.0:10ポイント(2.8%), 7.1~14.7:12ポイント(3.4%)であった(表7-A, p=0.511, Cochran-Armitage test)。難治性潰瘍を伴う末梢循環障害では全3,436ポイント中93ポイント(2.7%)であった。圧区分で比較すると0~3:27ポイント(3.1%), 3.1~5:30ポイント(3.5%), 5.1~7.0:20ポイント(2.3%), 7.1~14.7:16ポイント(1.9%)であった(表7-A, p=0.043, Cochran-Armitage test)。骨髄炎及び放射線障害では全632ポイント中10ポイント(1.6%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:1ポイント(0.6%), 3.1~5.0:2ポイント(1.3%), 5.1~7.0:4ポイント(2.5%), 7.1~14.7:3ポイント(1.9%)であった(表7-A, p=0.254, Cochran-Armitage test)。

年齢別の耳痛発生率は10~29歳では全100ポイント中1ポイント(1.0%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:1ポイント(4.0%), 3.1~5.0:0ポイント(0%), 5.1~7.0:0ポイント(0%), 7.1~14.7:0ポイント(0%)であった(表7-B, p=0.178, Cochran-Armitage test)。30歳~39歳では全120ポイント中5ポイント(4.2%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:2ポイント(6.7%),

3.1~5.0:1ポイント(3.3%), 5.1~7.0:1ポイント(3.3%), 7.1~14.7:1ポイント(3.3%)であった(表7-B, p=0.540, Cochran-Armitage test)。40歳~49歳では全480ポイント中12ポイント(2.5%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:4ポイント(3.3%), 3.1~5.0:3ポイント(2.5%), 5.1~7.0:2ポイント(1.7%), 7.1~14.7:3ポイント(2.5%)であった(表7-B, p=0.601, Cochran-Armitage test)。50歳~59歳では全944ポイント中28ポイント(3.0%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:7ポイント(3.0%), 3.1~5.0:6ポイント(2.5%), 5.1~7.0:8ポイント(3.4%), 7.1~14.7:7ポイント(3.0%)であった(表7-B, p=0.864, Cochran-Armitage test)。

60歳~69歳では全1,744ポイント中46ポイント(2.6%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:16ポイント(3.7%), 3.1~5.0:13ポイント(3.0%), 5.1~7.0:8ポイント(1.8%), 7.1~14.7:9ポイント(2.1%)であった(表7-B, p=0.082, Cochran-Armitage test)。70歳~79歳では全2,152ポイント中87ポイント(4.0%)であった。圧区分で比較すると0~3.0:33ポイント(6.1%), 3.1~5.0:22ポイント(4.1%), 5.1~7.0:16ポイント(3.0%), 7.1~14.7:16ポイント(3.0%)であった

表 7. 圧区分毎の耳痛発生率 (n=6,868)

[A] 疾患

圧区分 (PSIG)	突発性難聴(n=1,420)			難治性潰瘍を伴う末梢循環障害(n=3,436)			骨髄炎及び放射線障害(n=632)			その他(n=1,380)		
	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value
0~3.0	15(4.2%)	340(95.8%)	p=0.511	27(3.1%)	832(96.9%)	p=0.043	1(0.6%)	157(99.4%)	p=0.254	34(9.9%)	311(90.1%)	p=0.001
3.1~5.0	11(3.1%)	344(96.9%)		30(3.5%)	829(96.5%)		2(1.3%)	156(98.7%)		25(7.2%)	320(92.8%)	
5.1~7.0	10(2.8%)	345(97.2%)		20(2.3%)	839(97.7%)		4(2.5%)	154(97.5%)		16(4.6%)	329(95.4%)	
7.1~14.7	12(3.4%)	343(96.6%)		16(1.9%)	843(98.1%)		3(1.9%)	155(98.1%)		15(4.3%)	330(95.7%)	
合計	48(3.4%)	1372(96.6%)		93(2.7%)	3,343(97.3%)		10(1.6%)	622 (98.4%)		90(6.5%)	1,290(93.5%)	

[B] 年齢区分

圧区分 (PSIG)	10~29歳 (n=100)			30~39歳 (n=120)			40~49歳 (n=480)			50~59歳 (n=944)			60~69歳 (n=1,744)			70~79歳 (n=2,152)			80歳以上 (n=1,328)		
	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value	耳痛有	耳痛無	p value
0~3	1 (4.0%)	24 (96.0%)	p=0.178	2 (6.7%)	28 (93.3%)	p=0.540	4 (3.3%)	116 (96.7%)	p=0.601	7 (3.0%)	229 (97.0%)	p=0.864	16 (3.7%)	420 (96.3%)	p=0.082	33 (6.1%)	505 (93.9%)	p=0.005	14 (4.2%)	318 (95.8%)	p=0.245
3.1~5.0	0 (0.0%)	25 (100%)		1 (3.3%)	29 (96.7%)		3 (2.5%)	117 (97.5%)		6 (2.5%)	230 (97.5%)		13 (3.0%)	423 (97.0%)		22 (4.1%)	516 (95.9%)		23 (6.9%)	309 (93.1%)	
5.1~7.0	0 (0.0%)	25 (100%)		1 (3.3%)	29 (96.7%)		2 (1.7%)	118 (98.3%)		8 (3.4%)	228 (96.6%)		8 (1.8%)	428 (98.2%)		16 (3.0%)	522 (97.0%)		15 (4.5%)	317 (95.5%)	
7.1~14.7	0 (0.0%)	25 (100%)		1 (3.3%)	29 (96.7%)		3 (2.5%)	117 (97.5%)		7 (3.0%)	229 (97.0%)		9 (2.1%)	427 (97.9%)		16 (3.0%)	522 (97.0%)		10 (3.0%)	322 (97.0%)	
合計	1 (1.0%)	99 (99.0%)		5 (4.2%)	115 (95.8%)		12 (2.5%)	468 (97.5%)		28 (3.0%)	916 (97.0%)		46 (2.6%)	1,698 (97.4%)		87 (4.0%)	2,065 (96.0%)		62 (4.7%)	1,266 (95.3%)	

(表 7-B, p=0.005, Cochran-Armitage test)。80歳以上では全 1,328 ポイント中 62 ポイント (4.7%)であった。圧区分で比較すると 0~3.0 : 14 ポイント (4.2%), 3.1~5.0 : 23 ポイント (6.9%), 5.1~7.0 : 15 ポイント (4.5%), 7.1~14.7 : 10 ポイント (3.0%)であった (表 7-B, p=0.245, Cochran-Armitage test)。

初回群 (n=126)・非初回群 (n=1,591) で耳痛発生率を比較したところ、観測された耳痛は初回群・非初回群それぞれにおいて 55 人 (43.7%), 90 人 (5.7%) であった。治療中の圧力を時間として代用し、耳痛発生をイベントとした生存時間解析では、初回群と非初回群の間で両曲線に有意な差を認めた (p < 0.001 for log rank test, p < 0.001 for Wilcoxon test)。性別で層別しても同様の結果であった (図 1)。

なお、全治療例 (n=1,717) において、耳痛により治療が中止となった症例は 2 件であり、そのうち 1 件ではその後に治療の継続が可能であったが、1 件は治療の継続ができなかった。また、耳痛により耳鼻咽喉科への受診を要した症例は 7 件であった (なお、突発性難聴に対して治療を行った 38 件は耳鼻咽喉科での受診が前提であったため除外した)。

合併症としては、中耳炎が 5 件、浮腫が 1 件認められた。耳痛に対する処置としては、鼓膜切開が 2 件、点耳・鼻薬による対応が 1 件、処置を要しなかった症例が 4 件であった。

【考察】

対象とした全治療の耳痛発生率は 8.4% であった。80 歳以上の高齢者層で高い耳痛発生率が認められた。

Ishijima⁴⁾, 吉岡ら⁵⁾ の新生児から高齢者までの側頭骨標本の検討によれば、成長に伴い骨部耳管の割合が増大し、軟骨部が減少する。耳管軟骨においては、耳の成熟する 8 歳頃から加齢に伴い徐々に軟骨細胞が減少し、石灰化が進むことにより、コンプライアンスは小さくなっていくこと^{6,7)}、唯一の耳管開大筋である口蓋帆張筋は加齢に伴い萎縮し、脂肪組織に置き換わっていくこと⁷⁾ が報告されている。同時に、加齢や体重減少によりオストマン脂肪体は減少し、耳管閉鎖に重要な周囲組織圧の減少を認める⁸⁾。能動的開大について耳管機能検査の音響法 (sonotubometry : SNT) で評価した結果によると、7 歳以下の幼児では SNT での耳管開大の陽性率は 60~70% と低く、10~50 歳では 80% 前後であるが、それ

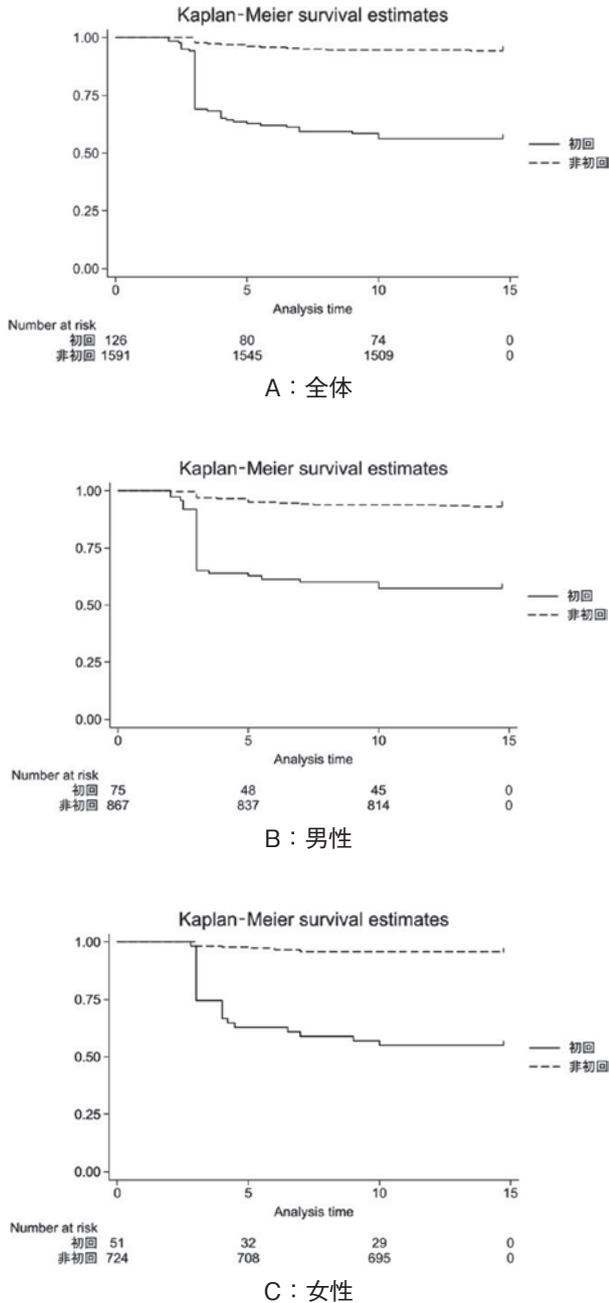


図1：全体および性で層別した初回群・非初回群における耳痛発生（Kaplan-Meier 曲線）

以降は低下し60歳以上では50~60%であったと報告されている^{9,10}。受動的開大についても耳管機能検査の耳管鼓室気流動態法（tubotympano-aerodynamography：TTAG法）において、バルサルバ手技で耳管が開大したときの鼻咽腔圧について報告されている。山口¹⁰は、8歳以下の幼児では耳管が開大したときの鼻咽腔圧は300mmH₂O前後であったが、10~50歳では400mmH₂O前後

であり、50歳以降では550mmH₂O前後と高い鼻咽腔圧が必要であったとしている。本研究でも、治療患者および治療件数どちらにおいても年齢階層が上がることで耳痛発生率が上昇する傾向が見られたことから、加齢が耳痛発生リスクの一因と考えられる。

女性においては年齢別耳痛発生率に年齢に伴う直線的な増加傾向が見られなかったことから、女性特有の内分泌的变化が耳痛発症に影響を及ぼしている可能性が示唆された。日本人女性の閉経の平均年齢は50.5歳とされている¹¹。大藏らは、閉経後にエストロゲンの分泌が急速に低下し、大脳および小脳の血流量が有意に低下することを報告している¹²。

耳管を有する内耳の内耳動脈は、前下小脳動脈の meatal loop から分岐し、内耳道内を走行しながら顔面神経、内耳神経、ならびに内耳器官に血流を供給している¹³。また、耳管内腔面に分布する毛細血管の拡張や収縮は、耳管の容積変化に関与し、鼓膜内への換気機能にも影響を与えられている¹⁴。これらの知見から、ホルモン分泌の低下に伴う循環機能の変化が耳管機能に影響を及ぼし、その結果として耳痛が発症する可能性があると考えられる。

治療患者および治療件数における耳痛発生率の性差に明らかな有意差は認めなかった。小児期までの特徴として、耳管は太くて短いことから、耳管は圧力によって受動的に耳管が開大しやすい構造であり、高気圧環境等の気圧の変化に順応しやすいと考えられている¹⁵。西平ら¹⁶によると、男女の耳管軟骨部長の差は男性が平均で1.9mm長く、耳管咽頭口の最大幅も男性が平均で0.8mm優位に長いと報告している。このように、男女間で解剖学的に小児期耳管の特徴を打ち消しあうため治療患者における耳痛発生率に有意差を認めなかったと考える。

佐藤は前庭感覚の二次ニューロンである前庭神経核細胞が気圧変化で活性化することを明らかにし、内耳に気圧センサーが存在する可能性を示した¹⁷。天気や季節の変化が契機となって痛みが悪

化する病態は「気象関連痛」あるいは「天気痛」と呼ばれている。ウェザーニューズ社（W社）とロート製薬が行った「天気調査2020」（回答者数16,482人）によれば，“天気痛をもっていますか？”という質問に対し、女性は43%が“ある”，35%が“もっている気がする”と答えたのに対し、男性はそれぞれ20%と27%であった¹⁸⁾。この結果から、女性は男性に比べて気圧変化に対する感受性が高い傾向が示唆され、女性は気圧変化に直面した際に比較的早い段階で耳抜き動作を実施することで、耳抜き動作を迅速に習得する可能性が高いと考えられる。よって、女性における治療を重ねた際の圧変化への順応が早く治療件数での結果が優位に近づいたと推測される。

難治性潰瘍を伴う末梢循環障害およびその他疾患は加圧に伴い耳痛発生率が低下する直線的な傾向が見られたが、突発性難聴、骨髄炎及び放射線障害では有意差が見られなかった。鼓室内の換気には耳管内腔面の毛細血管の拡張や収縮が影響を与えると考えられている¹⁹⁾。突発性難聴は血管障害、ウイルス感染、内リンパ水腫などが原因と推測されている²⁰⁾ため治療中の圧力適応能力が低下している可能性がある。本研究では、突発性難聴群において全圧力範囲において一定の耳痛発生率が観察されていたことは、これらの疾患背景が要因になっていると思われる。

圧区分毎の耳痛発生率は、非初回群および年齢階層、疾患8群以外において0~3区分で最も高く加圧開始時から加圧終了時にかけて耳痛発生率が低下する直線的な傾向性が認められた。HBOTの治療圧力は2~3ATAであり¹⁾水深10m~20m相当にあたる²¹⁾。水面での大気圧を1気圧とした場合、1Lの風船を水深10mに持っていくと、気体の体積は1/2の500mL収縮する。同様に、水深20mから30mに潜降した場合、気体の体積は1/3から1/4になり、1/12の²²⁾83mLしか収縮していないことになる。一般的には、深く潜れば潜るほど、より頻繁な耳抜きが必要であると誤解されがちだが、実際には上記のごとく「深く潜れば潜るほど、必要な耳抜き頻度は減少する」²¹⁾ため

HBOTにおける加圧時には圧力が上昇するにつれて耳抜きの頻度が減少し、耳痛発生率が低下したと考えられる。

初回治療群の耳痛発生率は非初回群よりも高く、生存時間解析においても有意な差を認めた。大平ら²³⁾は潜水夫の耳管機能では環境圧の変化により耳管が解放しやすいタイプであると述べている。また、盛本ら²⁴⁾は、高気圧酸素治療における新規患者に対する体験加圧は、耳抜きのコツがつかめ、HBOT実施の不安排除に有用であったと報告している。加圧体験の回数を重ねることで、加圧に順応し不安が軽減され、耳痛発生が減少した可能性がある。

本研究では、14.7 PSIGまで加圧を完遂できた症例を対象としたため、治療期間中に鼓膜切開を行い耳痛が消失したケースや、イレウスチューブ挿入などの外的要因により耳抜きが困難となり耳痛が発現したケースについては考慮していない。また、既往歴や体調などの患者要因、季節や天気、時間帯などの環境因子、加圧速度や加圧停止時間などの加圧方法が装置操作者によって異なることによるバイアスが含まれている可能性は否定できない。

【結論】

今回の調査により、耳痛の発生状況を具体的に可視化することができた。特に、初回治療群、加圧初期、80歳以上で耳痛発生率が高い傾向が見られた。HBOTに従事する者は、高齢者、初回治療群及び加圧初期においては加圧時の観察を、通常の観察に加え、特に入念に行うことが必要である。今回の調査では患者要因、環境因子、加圧方法の違いを考慮しておらず、これらの要因についても加味し継続して検討することで、より安全で快適な治療提供を目指したい。

【謝辞】

本論文の作成にあたり、古賀秀信氏にはデータ分析での支援をいただきました。深く感謝の意を表します。また、上村健斗氏・指原伶一氏には多

大なるご支援・ご協力を賜りました。心より御礼申し上げます。

著者全員は高気圧環境潜水医学会へのCOI自己申告を完了しています。本論文の発表に関して開示すべきCOIはありません。

参考文献

- 1) 川島真人：高気圧環境医学概論。日本高気圧環境・潜水医学会編。高気圧酸素治療法入門第6版。東京；日本高気圧環境・潜水医学会。2017；p. 3.
- 2) 和田孝次郎，四ノ宮成祥：高気圧酸素治療の副作用（酸素中毒，気圧外傷，その他）。日本高気圧環境・潜水医学会編。高気圧酸素治療法入門第6版。東京；日本高気圧環境・潜水医学会。2017；p. 137.
- 3) 石井利幸，長見英治，久我洋史，他。：当院における第1種高気圧酸素療法装置での閉所恐怖症疑いの対策。第48回日本高気圧環境・潜水医学会学術総会 プロシーディング 2013；317.
- 4) Ishijima K, Sando I, Balaban C, Suzuki C, Takasaki K: Length of the eustachian tube and its postnatal development: Computer-aided three-dimensional reconstruction and measurement study. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2000；109：542-548.
- 5) 吉岡哲志，内藤健晴，藤井直子，片田和広，竹内健二：マルチスライスCTによるヒト耳管計測値の年齢変化について。日耳鼻会報 2008；111：523-532.
- 6) Yamaguchi N, Sando I, Hashida Y, Takahashi H, Matsune S: Histologic Study of eustachian tube Cartilage with and without congenital anomalies: A Preliminary Study. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1990；99：984-987.
- 7) Yazici ZM, Sari M, Uneri C, Midi A, Tugtepe T: Histologic changes in eustachian tube mucosa of rats after exposure to gastric reflux. *Laryngo-scope* 2008；118：849-853.
- 8) 二之湯 弦，中村高志：耳管の老化と対策。MB ENT 2022；274：2.
- 9) 大野文夫，勝田兼司，石川 勉，坂本邦彦：能動的耳管閉能の加齢による変化。耳鼻臨床 1966；89：305-309.
- 10) 山口 隆：耳管機能の年齢的变化について（第一編）正常人の耳管機能。日耳鼻会報 1944；97：668-673.
- 11) 小野陽子：04 女性ホルモン製剤（更年期障害に関する治療），みえる！わかる！婦人科・産科・女性医療のくすり。東京；南山堂。2025；p. 621.
- 12) 大藏健義：中枢性疾患と性差2 認知症と性差。臨婦産 2006；60：840.
- 13) Watt JC, McKILLOP AN: Relation of arteries to roots of nerves in posterior cranial fossa in man. *ARCHSURG* 1935；30：336-345.
- 14) 北尻雅則：耳管の交感神経分布に関する電子顕微鏡的観察。耳鼻臨床 1985；78：389-398.
- 15) 大久保仁：（付）異常環境と生体空洞換気vi 圧 外傷事故を避けるための問題点。中耳腔換気の生理学。東京；総合医学社。1994；pp. 183-187.
- 16) 西平弥子，坂田俊文，妻鳥敬一郎，他。：コーンビームCTによる耳管形態と耳管疾患との関連性についての検討。Otol Jpn 2022；32：104.
- 17) 佐藤 純：天気痛について教えてください。日本医事新報 2023；5172：36.
- 18) 佐藤 純：天気痛の本質と治療対策。日本頭痛会報誌 2022；49：81.
- 19) 大道卓也，西崎和則，東川俊彦，内藤好宏：ラット耳管の微小血管構築の観察。耳鼻臨床 1992；85：990.
- 20) 福田成司，柳田則之：特集・血流障害と高気圧酸素治療末梢循環障害（耳鼻咽喉科領域）。日本高気圧環境医学会雑誌 1997；32：67.
- 21) 三保 仁：＜外リンパ瘻関連疾患＞気圧外傷と外リンパ瘻。耳喉頭頸 2016；88：748.
- 22) PADI：The Encyclopedia of Recreational DIVING (Japanese edition). International PADI section4；p. 26.
- 23) 大平泰行，矢部多加夫，加我君孝：職業潜水夫と耳科疾患について—耳科症状と耳管機能検査を中心に。耳喉頭頸 1991；63：16.
- 24) 盛本真司，米満幸一郎，小村 寛：高気圧酸素治療における体験加圧の有用性の検討。日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2017；42：253-255.