研 究

外耳圧の内耳への伝達に関する研究

—内耳窓破裂の発症機転の検討—

西原 信成・暁 清文・柳原 尚明

Pressure Transmission from the External Ear Canal
to the Inner Ear—An Experimental Study on the Incidental Mechanism of
Perilymphatic Fistulae—

Shinsei Nishihara, Kiyofumi Gyo and Naoaki Yanagihara

(Ehime University)

The inner ear pressure (P_{IE}) in response to pressure changes in the external ear canal was measured in guinea pigs during opening and closing of the fenestrum of the otic bulla. Opening of the bulla caused only a transient change in the P_{IE} , and the P_{IE} was lower than when the bulla was closed, because the applied pressure was transmitted to the inner ear exclusively via the ossicular chain. When the otic bulla was closed, the pressure was transmitted not only via the ossicular chain but also via the round window through the middle ear cavity. When the bulla was closed, the P_{IE} was increased more by a positive pressure load than by a corresponding negative one. The P_{IE} showed a linear relationship to the ear canal pressure at least within ± 200 mmH₂O, as long as pressure was applied slowly to the ear canal. When the loading pressure was changed abruptly, a bouncing response, possibly reflecting elasticity of the round window, was evoked. It diminished or disappeared when the round window was ruptured artificially.

Key words: pressure loading test, bouncing response, perilymphatic fistula

はじめに

外リンパ瘻における内耳窓膜破裂の発症機序としては、髄液圧の上昇に伴う **explosive route** (外方爆発経路) と外耳や耳管経由で圧が加わる **implosive route** (内方爆発経路) の

2つの経路が考えられる¹⁾. このうち **explosive route** についてはこれまでも様々な実験的研究が行われ、髄液圧上昇時の内耳窓膜への影響が明らかにされているが、**implosive route** についての研究はほとんど行われていない。

今回, **implosive route** による内耳窓膜破裂の発症機序を明らかにする目的で, 実験的にモルモットの外耳に圧負荷を加え, 内耳圧への影響を研究した. さらに蝸牛窓膜破裂時の外耳圧伝達の特徴についても検討したので報告する.

実験方法

実験にはプライエル反射正常の成熟モルモット9匹を使用した. まず, **pentobarbital 40mg/kg** 腹腔内投与により麻酔し気管切開を行った. 気管内チューブを挿入後, **tubocurarine chloride 0.3mg/kg** 腹腔内投与による筋弛緩下に, レスピレーターを用いて調節呼吸とした. 筋弛緩剤は適時追加した. 頭部を実験台に固定, 耳介を切断し, インピーダンス・オージオメータ (**Grason Stadler 1720 B**) の加減圧チューブを延長し, 外耳圧モニター用のチューブと共に外耳道に挿入後, 歯科用セメントでシールドを行った. 外耳圧モニターには豊田工機製の圧力トランスジューサ (**PD 104K-1 F**) ならびに増幅器 (**AA 3004**) を用いた. これらの装置は測定前にあらかじめ校正を行った. 手動モードで外耳道に圧を負荷し, 内耳圧の測

定を行った.

内耳圧の測定には **WPI 社 MODEL 900 Micro pressure System** を用いた. 本装置による圧測定の原理については, すでに報告されているので省略する²⁾³⁾⁴⁾. 中耳骨胞を開いた後, プローブのガラス毛细管を内耳に小孔を開けて挿入し, 周囲をエポキシ系接着剤と歯科用セメントでシールドした. 内耳圧測定は, 外側半規管, 前庭, 蝸牛の第4回転または第1回転で行った. 内耳圧と外耳圧の測定結果はペンレコーダ (日本電気三栄 **8 K-21**) を用いて記録した (図1). 外耳圧負荷の条件は8.5秒かけて200mm H_2O まで加圧あるいは減圧を行い, 12秒間そのままとし, その後, 急に弁を開いて大気圧に戻すものとした (図2). まず, 中耳骨胞を開放した状態 (鼓室開放時) とこれを歯科用セメントで閉鎖した状態 (鼓室閉鎖時) の測定を行った後, 蝸牛窓膜を極小ピックで破り同様の測定を行った. なお, 今回の実験では耳管は閉鎖していない. これはできるだけ自然の状態での外耳圧負荷の伝達特性を見たかったからである.

図1 実験装置のブロック図

結 果

外耳圧負荷時の内耳圧の測定は9匹のモルモットでおこなった。その代表例を図3に示す。内耳圧はその測定部位を変えても結果にはほとんど差はみられなかった。鼓室閉鎖時には外耳圧変化に対応した変化が内耳圧にも敏感に反映

し、ピークに達した後にその値を維持するのに対し、鼓室開放時にはこの変化は一過性で、すぐに大気圧に戻った。鼓室開放時の内耳圧変化の大きさは外耳道陽圧負荷では $20.4 \pm 13.9 \text{ mm H}_2\text{O}$ ($n=9$)、陰圧負荷では $22.4 \pm 13.9 \text{ mm H}_2\text{O}$ ($n=9$) であり、両者の間に t 検定で有意の

図2 外耳圧負荷の方法

図3 外耳圧負荷による内耳圧の変化

差はなかった ($p > 0.05$). 鼓室閉鎖時の内耳圧変化の大きさは, 陽圧負荷では $115.2 \pm 28.4 \text{ mmH}_2\text{O}$ ($n=9$), 陰圧負荷では $68.5 \pm 24.9 \text{ mmH}_2\text{O}$ ($n=9$) であり, 陽圧負荷の方が有意に大きかった ($p < 0.01$). また, 鼓室閉鎖時の内耳圧変化は, 陽圧負荷でも陰圧負荷でも鼓室開放時よりも有意に大きかった ($p < 0.01$).

蝸牛窓破裂前後での外耳圧負荷時の内耳圧測定は2例で行った. 結果の1例を図4に示す. この例では, 破裂前には負荷した外耳圧を急に大気圧に戻した時にバウンス波が見られたが, 破裂後にはこのバウンス波は消失した. また, 他の1例ではバウンス波は著明に減少した.

考 按

外耳圧の内耳への伝達には, 鼓室から耳小骨連鎖を介する経路と, 直接中耳腔を介する経路とがある. 今回の実験で行ったように, 鼓室開放の状態では外耳圧を負荷しても中耳腔は外気に開放されているので中耳圧は変化せず, 中耳腔を介する経路によっては圧は伝わらない. したがって, 鼓室開放時と閉鎖時の内耳圧変化の

差は中耳腔を介する経路による圧負荷に相当するものと考えられる. 今回の実験結果から, 少なくとも緩徐に外耳圧を加えるという条件下では, 外耳圧はかなりの割合で中耳腔を介して内耳に伝わるものと考えられる. Ivarsson ら⁵⁾ のヒト側頭骨での実験でも同様に, 耳小骨連鎖を介する経路よりも中耳腔を介する経路の方が内耳に与える影響は数倍大きいとしている.

今回の実験では鼓室閉鎖時には陽圧負荷時と陰圧負荷時で内耳圧変化の大きさに差がみられた. Guinan ら⁶⁾ はネコを用いた実験で, ストロボ光照明下に音刺激に対するアブミ骨の変位振幅を測定し, 中耳腔を大気に開放した状態ではアブミ骨は内耳側よりは中耳側への変位振幅の方が大きかったと報告している. 我々の実験結果では, 鼓室開放時には彼らの報告と同様に陰圧負荷時の方が陽圧負荷時よりも内耳に伝達される圧の変化は大きい傾向にあるが統計学的には有意差はみられなかった. しかし, 鼓室閉鎖時にはこの関係は逆で, 陽圧負荷時の方が陰圧負荷時よりも内耳への圧伝達は大きく, この差は統計学的にも有意差がみられた. Densert

図4 蝸牛窓破裂前後の内耳圧変化
矢印はバウンス波を示す. 蝸牛窓破裂後には消失した.

ら⁷⁾ もネコを用いた実験で同様な結果を報告をしている。彼らはこのような現象の生ずる原因として、蝸牛小管が不完全な方向弁的な働きをするためではないかと推察している。すなわち、脳脊髄液は内耳に容易に流入するが、外リンパは内耳から流出しにくく、したがって陰圧負荷時には脳脊髄液が流入して内耳圧が変化するのがさまたげるのに対して、陽圧負荷時には外リンパの流出が起こりにくく圧が高まるためと考えている。ところで、外耳圧負荷時の蝸牛窓膜への圧負荷の方向は、今回の実験では直接には観察できなかったものの、鼓室閉鎖時と開放時で異なっている可能性が考えられる。すなわち、鼓室開放時には陽圧負荷の場合には耳小骨を介して内耳圧は上昇するが中耳圧は変化しないため蝸牛窓膜には中耳向きの圧が働き、陰圧負荷の場合には逆に蝸牛窓膜には内耳向きへの圧が働く。一方、鼓室閉鎖時には陽圧を負荷

すると中耳腔も陽圧となるので蝸牛窓膜には中耳腔圧と前庭窓を介して伝わった内耳からの圧との両者が働き、その圧差で蝸牛窓膜は移動する。両者の圧伝達に時間的に多少でもギャップがあれば、蝸牛窓膜にはより急激な圧変化が生ずることになる(図5)。今後この点を明らかにするためには、耳小骨連鎖をはずした状態や、蝸牛窓、前庭窓の一方を閉鎖した状態での外耳圧伝達特性の検討が必要と考える。

いずれにしろ、正常耳の場合、耳管が開放していない状態では鼓室腔は閉鎖されているので、平手打ちなどで外耳圧が加わった場合、外耳圧は耳小骨を介してよりも、中耳腔を介して内耳に伝わる割合が大きく、またその効果は陽圧の方が陰圧よりも影響が大きいと考えられる。前庭窓と蝸牛窓の解剖学的構造の違いを考慮すると、このような外圧が加わった場合には前庭窓よりも蝸牛窓に破裂が生じやすいものと推

図5 外耳圧の内耳への伝達様式

正 常

小さい蝸牛窓膜破裂

大きい蝸牛窓膜破裂

図6 蝸牛窓膜破裂の大きさとバウンス波の関係

察される。実際、我々が経験した平手打ちによる4例の外リンパ瘻症例には、いずれも蝸牛窓膜破裂を認めた⁸⁾。

外耳圧負荷後に急に圧を戻したときにみられるバウンス波は内耳窓膜、とくに蝸牛窓膜の弾性を反映したものと言える。蝸牛窓膜破裂後にバウンス波が著明に減少ないし消失するという現象は、膜破裂の大きさに関係があると考えられる(図6)。実際、大きな破裂を起こした例ではバウンス波は消失したが、小さな破裂例では波形は減少するものの、完全には消失しなかった。この点については今後の課題としたい。また、もしこの現象が聴覚電気現象としても記録できれば、外リンパ瘻の診断にも応用できると思われ、この点についても今後さらに検討の予定である。

ま と め

成熟モルモット9匹を用いて、外耳圧変化の内耳に与える影響について実験を行い、以下の

結果を得た。

1) 外耳圧の内耳への伝達は鼓室閉鎖時の方が鼓室開放時に比べて大きかった。

2) 鼓室閉鎖時には外耳に陽圧を負荷した時の方が陰圧を負荷した時よりも内耳への圧伝達は大きい傾向があった。しかし、鼓室開放時には陰圧負荷の方が内耳への影響は大きく、統計学的に有意差を認めた。

3) 蝸牛窓膜を破裂した場合、外耳圧負荷を急激に開放したときにみられる内耳圧のバウンス現象が著明に減少あるいは消失した。

本研究は厚生省特定疾患急性高度難聴調査研究班の研究費による。

参考文献

- 1) Goodhill V, Harris I, Brockman SE, et al : Sudden deafness and labyrinthine window ruptures. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 82: 2~12, 1983.
- 2) Nagahara K, et al : Experimental study on the perilymphatic pressure. *Am J Otolaryngol* 3: 1~8, 1981.
- 3) Yoshida M and Lowry LD : Hydrostatic pressure measurement of endolymph and perilymph in the guinea pig cochlea. *Am J Otolaryngol* 5: 159~165, 1984.
- 4) 吉田雅文, 上村卓也: モルモット蝸牛内・外リンパ圧の測定. *耳鼻臨床* 78: 2517~2523, 1985.
- 5) Iversson A and Pedersen K : Volume-pressure properties of round and oval windows. *Acta Otolaryngol* 84: 38~43, 1977.
- 6) Guinan JJ and Peake WT : Middle-ear characteristics of anesthetized cats. *J Acoust Soc Am* 41: 1237~1261, 1967.
- 7) Densert O Carlborg B and Stagg J : Transmission of low frequency pressure steps to the perilymphatic fluid. *Acta Otolaryngol* 91: 55~64, 1981.
- 8) 柳原尚明: 内耳窓破裂症. 感音難聴 update (野村恭也編). 153~179頁, 医学教育出版社, 東京, 1984.

(原稿採択: 昭和63年3月2日
別刷請求先: 西原信成
〒791-02 愛媛県温泉郡重信町志津川
愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室)