AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE COCHLEAR RESPONSE TO THE CHANGE IN INTRALABYRINTHINE PRESSURE

By

S. FUNASAKA

*From the Department of Oto-Rhino-Laryngology, Faculty of Medicine
University of Tokyo (Director: Prof. I. Kirikae)*

The change in the potential of the scala vestibuli and in the cochlear microphonics were investigated at various intralabyrinthine pressure. In this study, the intralabyrinthine pressure were increased by blowing the physiological saline solution into the scala vestibuli and by inward pushing of the stapes.

The potential of the scala vestibuli was observed to rise nearly 1mV. in a few seconds when the positive pressure was applied to the scala vestibuli by injecting the saline solution; and reduced very slowly, showing hysteresis-like response, on withdrawal of the pressure. The change of the potential was well maintained as long as the pressure was applied.

Potential elevation was also observed when the stapes was pushed into the cochlea. The value of the elevation was in the range between 100 and 250 microvolts, and it was approximately 1/4 of the magnitude of the cochlear microphonics induced by stapes vibration, the amplitude of which was equalized to the displacement of stapes pushing.

Judging from the relation between the potential elevation and the intralabyrinthine pressure, it was revealed that the curve of the potential elevation had a capacitative character.

The microphonic response showed the transient decrease in its amplitude when positive pressure was applied to the scala vestibuli. After 0.2 seconds, the decreased amplitude of the microphonics recovered to the value before pressure increase. At this time, the potential of the scala vestibuli was still elevating as stated above.

From the results, it was concluded as follows:

The Reissner's membrane had high impedance to DC and low to AC. It was verified that it had a suitable character to correspond to the resistance-capacitance coupling circuit. The cochlea had a visco-elastic character with its local relaxation, and it showed functional stability against intralabyrinthine pressure change. The pressure difference between the scala vestibuli and scala tympani was assumed to be mainly compensated by the downward movement of the basilar membrane.

蝸牛内圧変動に際する蝸牛の電氣的反応に 関する実験的研究

東京大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：切替一郎教授）

船 坂 宗 太 郎
フナ サカ ソウ タロウ

目 次

緒 言

研究 方法

I 実験 装置

II 実験動物並びに実験方法

実験 結果

I 細小ガラス管による前庭階加圧時の反応

II 鎧骨を駆動した時の反応

考 按

- ① 前庭階電位の上昇について一電氣的にみたライスネル膜の性質一
- ② 内耳圧変化に対する前庭階電位の反応態度について一電氣的歪からみた蝸牛の性質一
- ③ 前庭階電位変動と蝸牛反応変動との関係一蝸牛の安定性一
- ④ 前庭階電位の上昇持続時間について一前庭階・鼓室階の圧差に対する補償作用一

要 約

参考文献

緒 言

蝸牛の外リンパ腔は蝸牛小管を介して頭蓋腔と密接な関連を有し、内耳圧は髄液圧とともに変動すると言われており、また血管神経異常によつておこる内リンパ腔の圧亢進の存在も古くから唱えられている。したがつて内耳圧変動と内耳機能もしくは聴力との関係については、幾多の臨床的実験的探究がなされてきたが、未だに一定の結論に達していない。すなわち 1930 年 Kerekes¹⁰⁾ は臨床実験に基いて、内耳圧の増大または減少はいずれも聴力の低下をもたらすことを提唱したが、これに対し Hughson & Crowe⁹⁾ は異張溶液の静脈内注射によつて脳圧とともに内耳圧を変化させると、内耳圧の下降の場合のみに彼のいわゆる聴神経電圧の低下が認められると反論した。近年に至り Lempert¹¹⁾ らは猿を用い、半器官膨大部より外リンパ液圧を 10mmHg～50mmHg 増加させたところ、蝸牛反応（以下 CM と略す）には変化を見なかつたと報告している。

一方迷路水腫症例は一般に聴力の低下を伴うものであり、この事実を裏付けるものとして、Tonndorf¹⁴⁾ は模型実験により内リンパ水腫では、蝸牛内での最大振幅部位が移動すると述べ、坂本¹⁶⁾ は前庭階に直接液を注入し内耳液に 10mm～20mmHg の加圧をして、CM の 10db～15db の低下をみたと報告している。これらを要約すると、上記の如く内耳圧と聴力との関係は未だに一定の結論が出ていない。

ところで内耳の作用機序に関しては、Békésy¹⁾⁻⁶⁾ により蝸牛の諸構造の物理的性質やその振動様式が解明され、さらに蝸牛内静電位の分布状態—いわゆる electroanatomy—が調べられて、音響刺激によつて蝸牛内におこる過程が明らかとなつてきた。このような観点から、すでに Békésy¹⁾ は内耳圧が増加したときの蝸牛内振動を観察して、内耳圧増加は内耳における音響伝達のメカニズムにはなんらの影響を及ぼさぬとしており、また Tasaki¹⁸⁾ らは内耳液圧変動は基底板の上下変位をもたらし、その結果として、中央階静電位の変動が惹起されることを認めている。これらの事柄から、基底板およびコルチ氏器は、たとえ変位した状態にあつてもその振動様式や生理的活動には果して変化のないものであろうか、また中央階静電位変動は CM にいかなる影響を及ぼすものであろうかなどという点が問題となつてくる。

かくて内耳圧変動と聴覚なる問題を扱うにあつては、内耳圧の変動を直ちに聴覚の低下、上昇や CM 電圧値の増減に結びつけるのではなくして、まず内耳圧変動に際しての内耳の物理的電位的な変化を調べ、これに基いて、内耳圧変動の CM もしくは聴覚に及ぼす影響を論ずるという順序が合理的であると考えられる。

また Tasaki¹⁸⁾ らの発見した内耳圧変動による中央階静電位の変動は、基底板の上下動なる機械的振動が（恐らくは毛細胞を介して）中央階静電位を変調 (modulate) することを示すものであり、したがつて音響刺激という速かな内耳圧変動の場合でも、同じような中央階電位の変動が生じ、これが CM 現象として発現すること

を推論させるものである。すなわち基板の変位による中央階静電位変動は、【CM の発生機序を理解するために意義ある現象である。したがつてもし加圧による基板変位と音響刺激とを重ね合わせて与え、その電氣的反応を観察すれば、CM と静電位変動との関係がより明らかになるであろうし、さらに中央階と外リンパ腔の各静電位変動を比較すれば、蝸牛内 CM 形成回路につき何等かの手がかりが得られる筈である。

著者は以上の事柄を検討するために前庭階に挿入された細小ガラス管を通じて蝸牛内圧を変化させ、あるいは鐙骨の急激な蝸牛内方変位によつて蝸牛内圧を増加させて前庭階電位の変動を追求し、また音響刺激もしくは鐙骨に 200～3,000cps の振動を与えた条件の下で前記の各各を行つた。その結果内耳圧変動に際しての蝸牛の電氣的歪、その歪と CM との関係、前庭階電位変動と中央階電位変動との間の関係、またその各階を境するライスネル膜の電氣的性質につき知見を得たので報告する。

研究方法

I 実験装置

a) 前庭階電位並びに CM は直流増幅した後ブラウン管オシロスコープに導き、連続撮影装置で記録した。直流増幅器の周波数特性は DC-3KC まで平坦である。

b) 音響刺激の目的には音声周波発振器(横河製, OV-CR-201) にクリスタルスピーカーを接続して音源とした。

第1図

装置模型図

細小ガラス管による加圧

鐙骨内方変位による加圧

第2図

c) 鐙骨を駆動するためには、特に考案した可動線輪型振動針を用い、これを前記音声周波発振器に連結して交流駆動し、また直流電源に連結して直流駆動した(図1参照)。直流電源電圧を変化させることによつて直流駆動距離は変化するが、電圧と駆動距離との関係は図2の如くである。

II 実験動物並びに実験方法

体重 400～500gr のモルモットを用い自由音場で行つた。ブライエル音響性耳介反射を検した後 25% ウレタン溶液 (6cc/kg) の腹腔内注射で麻酔し、背位に固定、気管切開後中耳骨包を開放した。

a) 電極挿入、蝸牛基礎回転前庭階において、鐙骨附着部より蝸牛頂に向かい約 5mm の部分に先端の径 10～20μ に研磨した鋼線を電極として挿入した。電極はマイクロマニプレーターにつけたマイクロモーターの軸に装着し、ドリルとして挿入し電極として放置固定するもので、これにより内耳液漏出をほとんどみずに電極挿入ができた。不関電極は蝸牛頂あるいは基礎回転鼓室階においた。これらはいずれもシリコンワニスによつて完全に絶縁した。

b) ガラス管挿入並びに加圧内径約 50μ のガラス管を蝸牛基礎回転で、鐙骨より蝸牛頂に向かい約 2.5mm の部分に挿入した。すなわちガラス管をマイクロマニプレーター(ミニチヤ型)に固定し挿入部分に近くおき、別にマイクロモーターにより蝸牛骨壁に径 60～70μ の穴をあけ直ちにガラス管を挿入した。これにより内耳液漏出を可及的少なくすることができた。挿入部はアルギン酸および歯科用セメントで固定し、加圧時の液漏を防いだ。このガラス管は圧測定用のマノメータに連結し

た。以上の操作により、ときとして内耳出血をみることもあるが、かゝる場合は実験を中止した。加圧用の液には生理的食塩水を用い、それを 38°C に加温して使用した。加えた圧は 10mmHg より 90mmHg までである。音響刺激をともに与えた場合は 500, 700, 1,000, 2,000cps の純音を使用し、発振器の出力が CM の直線部分の範囲内で実験した。

c) 蝸骨駆動 a) の操作を行った後、鼓膜、槌骨、砧骨を除去し、露出した蝸骨頭に可動線輪型振動針の先端を接着した (図 1 参照)。

可動線輪型振動針の交流駆動は、200, 700, 1,000, 2,000, 3,000cps の正弦波で行い、発振器の出力は b) と同じく CM が直線部分の範囲内にあるように調節した。これに 40 μ の駆動距離すなわち直流電圧 4Volt の直流駆動を平行して与えた。また直流駆動のみで駆動距離 20 μ より 228 μ まで、(すなわち直流駆動電圧 2Volt より 2Volt ずつ増加し 22Volt まで) 蝸骨を蝸牛内方に向かつて押し前庭階電位の変動を観察した。

実験結果

1 細小ガラス管による前庭階加圧時の反応

a) 前庭階に 10 乃至 90mmHg の加圧を行い、前庭階電位の上昇を認めた。上昇値は 500 μ V ないし 1.1mV であった。加圧と上昇値との相関関係は実験条件が複雑であるために動物によつて一定しないが、6 例中 4 例に加圧の値と上昇値の間に比例関係が認められ、特に表 1 に表示した例では加圧 30mmHg まで、

$$P \propto \frac{V}{t}$$

但し t を一定にしても成立する必要がある。

P: 前庭階加圧の値

V: 前庭階電位上昇値

t: 上昇するに要した時間

を満足する値が得られた。他の 2 例はすでに 10mmHg

表 1 ガラス管による液圧増加と前庭階電位上昇の 1 例

加 圧	上 昇 値	500 μ V 上 昇 時 間
15mmHg	500 μ V	2.0秒
20	600	1.7
25	900	1.3
30	1.1mV	1.1

刺激と反応との間に $P \propto \frac{V}{t}$ の関係がほぼ成立

(P: 加えた圧 V: 電位上昇値、t: 上昇時間)

表 2 ガラス管による液圧増加と前庭階電位上昇の 1 例

加 圧	6 割 上 昇 時 間	上 昇 値	1.2mV 上 昇 時 間	持 続 時 間
10mmHg	9.5sec	1.6mV	11.4	圧 存
20	4.1	1.9	4.9	〃
30	2.7	2.2	2.8	〃
40	2.0	2.2	1.9	〃
50	1.6	2.0	1.6	〃
70	1.5	2.2	1.4	〃
90	1.4	2.2	1.3	〃

圧存とは加圧中上昇が存続していることを示す

の加圧よりかゝる線型性は失われ、上昇勾配のみが圧に對し比例的な関係にあつた (表 2)。

上昇した前庭階電位はそのまゝ持続し、また加圧したのち、前庭階に挿入した細小ガラス管の基部において、生理的食塩水の蝸牛への交通を遮断したときも変わらず、加圧の持続する限り、その値を保っていることが判明した。圧を除去すると前庭階電位は下降し、10 数秒で加圧前の値に復した。例外的な 1 例では前庭階電位の上昇が最大値に達したのち、きわめて徐々に低下するのを認めたが、この例では圧を除いた後の前庭階電位は加圧前の値をこえて低下し、いわゆる undershoot を呈した。

b) 音響刺激を与えつゝ前庭階を加圧した場合、CM は一過性に消失し直ちに回復する。回復後の CM の振幅はもとの振幅に比し、多くは不変であるが、変化した少数の場合も 2db 以内の僅かな変動にすぎなかつた。

たゞし 50mmHg ないし 70mmHg 以上の過大の加圧

第 3 表

蝸牛反応の
一過性低下

加 圧	a	b	CM
10 mmHg	0.03 sec	0.10 sec	不変
20	0.03	0.10	不変
30	0.03	0.10	不変
40	0.05	0.12	-2db
50	0.03	0.13	-8db

第3図

ガラス管による圧増加に対する反応

第4図

鐮骨内方変位による前庭階電位上昇

表 4 鐮骨内方変位による前庭階電位上昇

駆 動 電圧	距離	上昇に要した時間		電 位 上昇値	上昇持続時間
		下降に要した時間	下降に要した時間		
2V	20μ	0.22sec	0.2sec	100μV	3.6秒以上
4	40	0.27	0.25	140	4 秒以上
6	60	0.27	0.30	120	8 秒以上
8	80	0.25	0.21	100	5 秒
10	100	0.20	0.26	100	5 秒以上
12	120	0.20	0.20	150	7 秒以上
14	140	0.12	0.14	150	15 秒
16	160	0.15	0.14	200	16 秒以上
18	180	0.1	0.11	200	6 秒以上
20	200	0.1	0.16	170	4 秒以上
22	228	0.07	0.06	250	10 秒以上

では、回復後の CM 振幅は原値よりも小さく、たとえば表3の例では50mmHgの加圧でCMの振幅が8dbも減少した。

CMの振幅消失に要する時間は加圧とは関係なく0.03秒で、また回復までに要する時間は10mmHgの加圧で0.10秒、50mmHgの加圧で0.13秒で、表3の如く加圧が大となれば、この回復時間も大となる傾向があった。

Ⅱ 鐮骨を駆動した時の反応

a) 鐮骨を蝸牛内方に向かって押す
と前庭階電位は上昇した。鐮骨を駆動する直流電圧と前庭階電位上昇値との関係は、表4の如くである、すなわち駆動直流電圧が大となれば前庭階電位上昇値も大となる傾向があったが、この上昇値はⅠに比べきわめて小さく、100μVより250μVの間であつた(表4、図4)。

鐮骨が内方に変位した場合の前庭階電位の上昇値は、鐮骨がこの変位距離に等しい振幅で振動する場合の前庭階電位の變動、すなわちCMの電圧に比べ1/4以下できわめて小さかつた。

なお前庭階電位の上昇に要する時間は、表4の如く鐮骨の変位が大きくな

るにつれて減少した。

かゝる鐮骨の内方変位による前庭階電位の上昇は数秒より40秒にわたつて持続した。前庭階電位は鐮骨を原位置に復すると上昇前の値に下降したが、下降に要する時間は上昇に要する時間に等しい(表4)。

b) この可動線輪に直流と交流とを同時に通電すると、鐮骨は蝸牛内方に変位した状態で振動し、CMと前庭階電位變動と重なり合いの状態を観察することができ。得られた電位変化のうち直流的变化分を観察すると、その上昇に要する時間および上昇値はともに、振動の加わっていない場合の鐮骨内方変位によつておこつた前庭階電位上昇と一致するのがみられ、鐮骨を原位置に復した時の直流的变化の下降現象も、振動の加わっていない場合の前庭階電位下降に一致した。したがつてこの直流変化は前庭階電位變動に基くものであり、得られた

第5図

鐙骨内方変位による蝸牛反応の変化

鐙骨駆動電圧 4V

表5 鐙骨内方変位による蝸牛反応の変化

音の 周波数	蝸牛反 応変化	前庭階電位変化			
		上昇に要 した時間	下降に要 した時間	上昇値	持続時間
200cps	(-)	不明	不明	不明	
700	+4db	0.28sec	0.3sec	100 μ V	10秒以上
1000	-4	0.2	0.2	130	4秒以上
2000	(-)	0.2	0.2	150	5秒以上
3000	+2	0.2	0.1	200	4秒以上

直流電源電圧 4V

電位変化はいわば CM が前庭階電位に重なった (superpose) 現象であることが判明した (表5, 図5)。

CM の振幅は 1 の b) と同じく一過性に消失し直ちに回復した。回復時の振幅の大きさは 1 例をあげると表5の如くで、200cps, 2,000cps においては変化をみず、700cps では約 4db 増大、1,000cps では 4db 減少、3,000cps においては 2db 増大などと周波数により一様でなかった。且つ振幅増減と周波数との関係も一定せずモルモットによって異っていたが、振幅の増減はいずれも 4db 以内であった。

考 按

- ① 前庭階電位の上昇値について一電氣的にみたライスネル膜の性質—

著者は前庭階液圧を前庭階に挿入した細小ガラス管を通じて直接に加圧し、前庭階電位の上昇を見ることができた。その値はときに 2mV 以上に達することもあるが、多く 500 μ V～1mV であった。Tasaki¹³⁾等は同じ方法を用いて基底板の下方変位による 5mV～10mV、

ときには 20mV～30mV の中央階静電位の上昇を認めたが、著者の求め得た前庭階電位の変動は同じ方向の変化を示すので、中央階静電位の変動が前庭階に波及したものであると考えられる。すなわち前庭階電位の上昇は中央階電位の上昇とともに基底板の下方変位によって生ずるものであろう。

前庭階液圧変化の場合、中央階電位の変化 (Tasaki¹³⁾等) と前庭階電位の変化 (著者) とを比較すると、それぞれの変化の値の比は 10:1 となっている。他方 CM について比較してみると中央階と前庭階における CM

の振幅比は 5:2 ないし 3:1 である⁸⁾⁻⁽ⁱ⁾。

次に鐙骨を駆動した場合、鐙骨の交流的な動き、すなわち振動に対する反応電圧 (CM) と直流的な動き、すなわち鐙骨の蝸牛内方変位に対する反応電圧とを比較すると後者は前者の 1/4 以下であつてはるかに値が小さい—(ii)。

(i) (ii) の結果から考えるとライスネル膜は交流には低インピーダンス、直流には高インピーダンスを有していると思われる—(iii)。

鐙骨を可動線輪にて急激に内方変位した場合、その駆動力は鐙骨ならびに内耳液の質量、蝸牛窓膜の弾性、基底板のステフネスに比べて充分に大きいので、鐙骨は可動線輪に加えられた電流変化と一致した変位を示す。しかして内耳液は非圧縮性であるから、結局基底板の変位は鐙骨の変位に対応したものであると考えることができる (文献 4) 参照)。

しかるに可動線輪に加えられた電圧変化は矩形波形的であつても、測定される前庭階電位の変動は上昇、下降ともいわゆる角がとれた形となつている。このことは基底板の振動→中央階の電位変動→前庭階の電位変動の電位変動なる一連の系のうちに容量的な部分が含まれていることを意味している—(iv)。

これら (iii), (iv) を考え合わせると、ライスネル膜に電氣的容量が存在することになる。(i), (ii), (iii) より電氣的抵抗の存在も考えられるのでライスネル膜は電氣的には抵抗と容量の結合したものと等価であるとみなしてよからう。すでに神経線維の被膜には、かゝる抵抗容量結合回路が想定されているが、組織学的にみてその

第6図

構造が非常に異なるにかゝらず、ラリスネル膜にも同様回路があることは興味深いものである。また Davis⁷⁾ は 1953 年図 6 の如き蝸牛内回路を想定しているが、上記の結果から前庭階を通る抵抗容量を含む回路を更に考えるべきではなからうか。かつてはラリスネル膜は音響生理学の立場から、その存在がむしろ軽視される傾向があつたが、Békésy⁸⁾ の蝸牛内静電位の発見及び Smith¹²⁾ 等の内外リンパ液の分析結果より、内外リンパ腔の電位差の保持、すなわち Na, K イオンの濃度差の保持の点で重要な意義を有することが判明した。しかし単にそれのみにとどまらず、先に述べたようにラリスネル膜は交流的な刺激の場合に蝸牛内回路の形成を容易ならしめる性質を有し、このことは蝸牛を音響刺激に応ぜしめるためにきわめて合目的なものと考えられる。

すなわち蝸牛は元来平衡器より発達したものであつて、ラリスネル膜は内リンパ嚢の壁の一部として内リンパ液及び内リンパ腔電位の保持に重要な役割をもちつゝも、蝸牛内振動を妨げない菲薄な構造を有しており、しかもここに結論したような電氣的容量の含有は、音感受器として進化した蝸牛の活動機序の上にきわめて重要な意義を有するものである。

② 内耳圧変化に対する前庭階電位の反応態度について—電氣的歪からみた蝸牛の性質—

鐮骨を蝸牛の内方に変位した場合、前庭階電位上昇は鐮骨の変位とは非線型 (non-linear) の関係にあることの示された。すなわち、前庭階電位の上昇が最大値に達

するまでの時間は、変位が大になるにつれて短縮するが (表 4)、かゝる反応形成式は線型な反応系にはないことなのである。なおこのことは反応がいわゆる頭打ちになつたことを意味するのではなく、表 4 の如く鐮骨の内方変位が大となれば前庭階電位の上昇値も大となる故、反応が非線型領域にあるということを示すものである。

もつとも振動針の変位をいわゆるコンデンサー法で実測すると、500cps における OV-CR-201 発振器の出力ダイアル目盛 16db の出力を加えた場合の振幅に相当する変位を生ずる直流駆動電圧は 4volt であり、表 4 にあげられた駆動電圧のうち少なくとも 8volt 以上は CM のいわゆる直線部分を越えた領域になつているわけである。

しかし鐮骨を原位置に復する時は内方変位の場合と等しい時間で前庭階電位は原値に下降するので、弾性体としての性質は未だ一部残存していることになり、非線型でありながら弾性的性質も有している系であるとみなしてよい。

一方細小ガラス管による前庭階液圧増加の場合、前庭階電位の上昇値は鐮骨内方変位の場合に比べ大であるが、表 1 にみられる如く加圧と電位上昇との間に比例関係を示すことが認められた。すなわち前庭階電位の上昇勾配及び上昇電圧値はほぼ加圧に比例し、 $P \propto \frac{V}{t}$ 及び $P \propto V$ (P, V, t は実験結果 I の a) 参照) なる関係がある。しかし加圧の状態より急激に原値まで減圧した場合はゆつくりとした前庭階電位の低下を示し、いわばヒステリシスを有している。

かくてこの場合は線型領域でありながら、ヒステリシスを有する非弾性系の性質があらわれていることになる。したがって蝸牛は、圧変化に対して、きわめて複雑な反応系として応ずると考えられる。

ところで、このヒステリシス様の電位下降の経過は、数秒より 10 数秒にわたるが、このようにゆつくりとした変動は、単に機械的なものゝみに基くものとしては蝸牛を構築している諸構造の大きさから考えて理解しがたく粘性的な変化も関与していると考えざるを得ない。すなわち鐮骨の振動が蝸牛の電氣現象として発現するには、粘性を示す変換系が関与していなければならず、このように機械的な変換系、粘性を示す変換系が混在しているために、蝸牛はその機能において上記の如き複雑な反応系を示すのであろう。

この複雑な反応形式、すなわち非線型領域にありなが

ら弾性的な反応を有し、線型領域にありながらヒステリシスを示す性質を有する系は、粘弾性的な系として扱うことができる。かくて蝸牛は粘弾性の系である故に、適刺激に対しては、刺激の強さに応じた反応を示し、感受器としての機能を全うするが、外リンパの大きな圧変動に際しては、粘性的に応じ、機能上よりみた破壊現象はおこりにくいものであることが明らかとなつた。

たゞし以上の実験で前庭階に加えた圧は前庭階に挿入された細小ガラス管の基部で計測しており、計測された圧の一部のみが蝸牛に伝わる可能性もあるが、このことは蝸牛が粘弾性の性質をおびているとの結論を妨げるものではない。

③ 前庭階電位変動と CM 変動との関係 —蝸牛の安定性—

細小ガラス管による前庭階液圧上昇においても、鑑骨の蝸牛内方変位による前庭階液圧上昇においても、CM の増減には認むべき傾向が得られなかつた。内耳圧変動にさいしての聴力変動は前述のように多数の先人の業績があるが、著者の得た結果からは前庭階液圧上昇は CM にはさしたる影響を及ぼさないことが明らかとなつた。したがつて著者は内耳圧増加は CM に対し認むべき障礙作用をもたないという Békésy, Lempert 等と一致した結論を下したい。ところで細小ガラス管による、および鑑骨内方変位による前庭階加圧に際して、ともに CM の一過性消失が認められた。かかる CM の一過性消失は、すでに Wiggers¹⁵⁾ が耳内筋収縮時にも生ずることを認めているものであるが、著者の実験では、中耳伝音系の作用がなくても、すなわち内耳のみで、この一過性消失が生ずることが明らかとなつた。さて鑑骨直流駆動の場合には僅かであつても可動線輪の on-effect が含まれることが当然予想されるので除外し、細小ガラス管による加圧の場合について、CM の一過性消失の時間的経過を検討したい。

CM の一過性消失の時間的経過は前庭階電位上昇のそれと比較すると、きわめて速くであり、前庭階電位が未だ上昇中であるにもかかわらず CM の振幅はもとの値に回復する—(v)。また 0mmHg→10mmHg→20mmHg という圧変化を前庭階に加えた場合、10mmHg→20mmHg の場合の電位上昇曲線は、0mmHg→10mmHg の場合の電位上昇曲線に一致した—(vi)。かくして(v)、(vi)より内耳は内圧の変化が加わつても、0.2 秒以内に圧変化が加わる以前の状態に、ほぼ等しい応答性を有し得るものであると結論される。このような反応形式をも

つ系は、非線型応答の各点において、速かな local relaxation を示している系と称されるが、蝸牛はこのような系であるための条件を満足しており、またこれは先に述べた粘弾性的な事象の一発現として理解され得るものである。

このことは、古くから検討されている蝸牛内圧と聴力の問題において、聴力は不変であるという結論に対し、いさゝかの根拠となり得べきものである。

さらに以上のことから、蝸牛は生体内にあつて、呼吸、血圧等により絶えずその物理的性状が変化する状態におかれていものであるが、たとえ大きな変動が蝸牛に加わつても、0.2 秒以内の時間的経過で、音響刺激に対する完全な応答性を回復し、音響感受性が常に不変であるという秀れた安定性を有していることが判明した。

④ 前庭階電位の上昇持続時間について—前庭階、鼓室階の圧差に対する補償作用—

前庭階電位の上昇持続時間は、加圧度が比較的小さいと思われる鑑骨の蝸牛内方変位の場合ですら、数秒より 40 秒にわたつており、さらに細小ガラス管を用いた実験結果においては、前庭階の加圧が続く限り、前庭階電位の上昇持続の存することが認められた。これらにより前庭階、鼓室階に圧差がある場合、基底板の変位は長時間維持されることを示した。これについては Tasaki¹³⁾ 等も前庭階液圧を同様に細小ガラス管を用いて直接増加した場合、中央階の電位変動は加圧の続く限り存していると述べている。

また細小ガラス管による前庭階加圧の場合、加圧を続行しているときの前庭階電位の反応は、加圧して電位が上昇したのち、直ちにガラス管の基部を圧迫し、液の蝸牛内流入を遮断したときの反応と一致した態度を示していた。前にも述べた通り、前庭階電位の上昇は基底板の下方変位によると考えられるものであるが、これらのことから前庭・鼓室両階に圧差を生じた場合、蝸牛孔を経る内耳液の移動は僅かであつて、両階の圧差の補償は、主として基底板の下方変位によつて行われると結論された。

前庭・鼓室両階に圧差がある場合の内耳液の容積変移(volume displacement)については Békésy²⁾ の測定があるが、それによると 10mmHg₂O の圧差に対し、蝸牛の長軸方向 1mm の部分に生ずる volume displacement は 10^{-6}cm^3 の order である。ところで蝸牛前庭階の断面積は最も小さくみて 10^{-8}cm^2 の order であり、結局最大にみて全体の体積の 10^{-2} の order の体積

が移動するにすぎない。そのうちには基底膜の下方変位による volume displacement も含まれているので、蝸牛孔による補償はさらに小さいことになる。なお基底膜の張力は非常に小さいと言われているが、このことも両階の圧差が主として基板の下方変位によつて補償されるのに好都合と思われる。著者の実験結果はこれらを裏書きした。

要 約

モルモットを使用し、細小ガラス管により直接的に、あるいは鋸骨駆動装置による鋸骨の蝸牛内方変位により、前庭階に液圧変動を加え、その際に生ずる蝸牛の電気的反應を前庭階誘導により記録観察して、次の事項が明らかとなつた。

1) 前庭階に 10mmHg より 90mmHg の圧を加えると 500 μ V より 1mV にわたる前庭階電位の上昇が認められた。鋸骨の蝸牛内方変位に際しては、前庭階電位は 100 μ V ないし 250 μ V 上昇した。これらの上昇値を前庭階電位の交流変化分 (CM) や中央階電位の上昇値を参考にしつつ検討し、且つ電位上昇の過渡部分を併わせ考究した結果、ライスネル膜は電気的に抵抗容量の結合した回路に等価な構造になつていることが判明した。このことはまた蝸牛の音感受の上にきわめて重要な意義をもっているものであると推論した。

2) 前庭階の加圧とそれによる前庭階電位上昇との間には、 $P \propto \frac{V}{t}$ (実験結果 1 の a) 参照) なる比例関係があるにもかかわらず、加圧を除くと前庭階電位はその上昇時にくらべ、きわめてゆるやかな勾配をもつて下降し、いわばヒステリシスを示した。また鋸骨変位に際して、鋸骨変位距離と前庭階電位上昇値との間に比例関係がない場合にあつても、前庭階電位の上昇および下降の経過が一致し、弾性体としての性質が併わせ示された。このような反応形式から蝸牛は粘弾性的性質を有するものであると推論した。

3) 前庭階液圧増加時、CM は一過性の消失を示した。消失より回復した後の CM 振幅は、加圧前の CM 振幅に比し、認むべき差はなかつた。これより前庭階液圧増加は CM、しいては聴力にさしたる影響を与えないことが示された。なおこの現象の検討により、蝸牛は圧変動に対し local relaxation をもつて反応しており、そのため圧が変化しても CM は直ちにもとに回復し、機能的には常に安定した刺激受容系であることが判明した。

4) 前庭階加圧時の前庭階電位上昇は加圧の存する限り持続し、したがつて加圧によつて生じた歪は長時間維持されることが明らかとなつた。この事柄より前庭階、鼓室階の圧差に対する補償は主として基板の下方変位によるものであると推論した。

参 考 文 献

- 1) Békésy, G.V.: Über die Schwingungen der Schneckentrennwand beim Preparat und Ohrmodel. Akust. Zeitsch. 7: 173~186, 1942.
- 2) Békésy, G.V.: On the elasticity of the cochlear partition. J.A.S.A. 20: 227~241, 1947.
- 3) Békésy, G.V.: The course of pattern of the electrical resistance in the cochlea of the guinea pig. (Electroanatomy of the cochlea, J.A.S.A. 23: 18~28, 1951.
- 4) Békésy, G.V.: Microphonics produced by touching the cochlea partition with a vibrating electrode. J.A.S.A. 23: 29~35, 1951.
- 5) Békésy, G.V.: D.C. resting potential inside the cochlear partition. J.A.S.A. 24: 72~76, 1952.
- 6) Békésy, G.V.: Description of some mechanical properties of the organ of Corti. J.A.S.A. 25: 770~785, 1953.
- 7) Davis, H.: Mechanism of hearing. Nerve Impulse. 4: 58~139, 1953.
- 8) Davis, H., Tasaki, I. & Goldstein, R.: Peripheral origin of activity with reference to the ear. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 17: 143~154, 1952.
- 9) Hughson, W., & Crowe, S.J.: Experimental investigation of the physiology of the ear. Acta Otolaryng. 18: 291~339, 1933.
- 10) Kerekes, G.: Weitere Beobachtungen über die Beziehungen zwischen endolabyrinthärem Druck und Hörfunktion. Zeitschr. Hals usw. H.K. 27: 411~416, 1930.
- 11) Lempert, J., Wever, E.G., Lawrence, M. & Meltzer, P.E.: Perilymph, its relation to the improvement of hearing follows fenestration of the vestibular labyrinth in clinical otosclerosis. Arch. of Otolaryng. 50: 377~387, 1949.
- 12) Smith, C.A., Lowry, O.H. & Wu, M.L.: The electrolytes of the labyrinthine fluid. Laryngoscope 64: 141~153, 1954.
- 13) Tasaki, I., Davis, H. & Eldredge, D.H.: Exploration cochlear potentials in guinea pig with a microelectrode. J.A.S.A. 26: 765~773, 1954.
- 14) Tonndorf, J.: The mechanism of hearing loss in

early cases of endolymphatic hydrops. Ann. Otol. Rhin. & Laryng. 66: 766~784, 1957. 15)
 Wiggers, H.C.: The functions of the intra-aural muscles. Am. J. Physiol. 120: 771~780, 1937. 16)
 坂本秀生: 内耳圧の実験的研究, 耳喉, 24: 149~152, 昭 27 年.

稿を終るに臨み、御懇篤なる御指導、御校閲を賜わった恩師切替一郎教授、また種々御教示を賜わり、且つ実験に対し多大の御便宜を辱うした東京医科歯科大学生理学教室勝木保次教授、

御助力を頂いた同教室小倉幸一氏、御助言、御援助を賜わった順天堂大学戸塚元吉助教授に対し、深甚なる謝意を捧げる。また御協力いただいた当教室佐藤正夫博士、沢島政行博士、野村恭也学士、鳥山稔学士、長倉政行学士に深謝する。

本論文の一部は 第 60 回日耳鼻総会、第 366 回日耳鼻関東地方会にて発表した。

(原稿到着＝昭和 35.9.5 日)

●文献送呈

薬効追加

社保適用

滲出性中耳カタルに...

セファランチン

耳鳴、耳閉、難聴を主訴とするいわゆる滲出性中耳カタルに対しては従来局所療法として鼓膜穿刺や耳管通気等が行われておりますが、セファランチンは全身的薬物療法の一つとして今回薬効が追加になり社会保険も適用されますので、是非一度御試用賜ようお願い致します。

用法・用量 1回 2～5 mgを皮下又は静注
 包装 錠剤 0.1mg・1mg・5mg (1×10錠)
 0.2mg・2mg・10mg (2×10錠)

製造販売元 **化研生薬株式会社**
 本社 東京都中央区日本橋本町2-1(三井中三番館)
 営業所 大阪府東区瓦町2-58(瓦町三和ビル)
 特約 **鳥居薬品株式会社**