A STUDY OF BONE CONDUCTION HEARING DURING THE PERIODICAL CHANGES OF MEATAL PRESSURE IN REFERENCE TO CLINICAL PRACTICE (A NEW INTERPRETATION OF GÉLLÉ'S TEST)

By

R. NAKASHIMA, M.D.

*From the Department of Oto-Rhino-Laryngology, Osaka University
Medical School (Director: Prof. T. Hasegawa)*

The well-known Gellé's test for the diagnosis of otosclerosis has been interpreted from a new point of view, and developed the new test method that is more sensitive and simple than previous one.

The apparatus consists of audiometer, manometer and Politzer's balloon.

The procedure of the test is as follows:

The bone conduction sound of 250~4000cps, 40db above threshold is imparted to the ear to be tested, then the pressure of external auditory canal is changed periodically by pressing Politzer's balloon twice a second. The pressure is gradually enhanced and the pressure when the bone conducting tone starts to pulsate is measured by the manometer.

The results obtained with various deafness were as follows:

- 1) The pressure was below 5 mmHg with those of normal hearing and perceptive deafness.
- 2) The pressure was above 60 mmHg in otosclerosis.
- 3) In the case of other conductive deafness the pressure was 10~60 mmHg regardless to the presence of drum perforation.

The pulsation of the bone conducting tone in this method has been proved by the experiments on the living human ear to be due to the distortion of the inner ear.

This new method which mechanism is fundamentally different from the usual modified Gellé's test, has been designated by the author as "dynamic Gellé's test". The original Gellé's test must be a kind of this dynamic method.

外耳道動的加圧による骨導聴力の変動に関する 研究並びにその臨床的応用 (Gellé 検査法の新解釈)

大阪大学医学部耳鼻咽喉科学教室 (主任: 長谷川高敏教授)

大学院学生 中 島 礼 士
ナカ シマ レイ シ

本論文の要旨は第58回日本耳鼻咽喉科学会総会において発表した。

目	次
第1章 緒 言	
第2章 基礎的研究	
第1節 研究対象	
第2節 研究装置	

第3節 研究方法
第4節 研究成績
第5節 小 括
第3章 臨床的研究
第1節 検査対象

第2節 検査装置

第3節 検査方法

第4節 検査成績

第5節 小 括

第4章 Géllé 現象の成立機転について

第1節 加圧方法について

第2節 外耳道圧の変動様式と骨導聴力変動様式との関係

第3節 聴器の歪について

第4節 実験的伝音難聴耳と動 G 法

第5節 小 括

第5章 考 按

第6章 結 語

第1章 緒 言

外耳道に耳栓をしたり、鼓膜面上に錘を乗せたりして、伝音系に負荷を加えた場合骨導聴力が変化することは古くから知られていた。既に 1827 年 Wheatstone は「圧を加えることなく外耳道入口部を指で塞ぐと自分の声が大きく聞え、音叉を頭部にあてゝ外耳道を閉鎖すると音が大きくなる」と述べている。Lucae (1863) も同様の現象を観察し、ある種の中耳性難聴では外耳道閉塞によつても骨導聴力が変化せぬことまで明らかにした。この負荷骨導の変化を検査して難聴の鑑別診断に応用する方法はその後数多く研究された。即ち Géllé (1881)¹⁾, Bing (1899)²⁾, Runge (1923)³⁾, Campbell & Macfarlan (1948)⁴⁾, 恩地 (1951-55)⁵⁾, 6), 7), 8), Thullen (1952)⁹⁾, 角田 (1954, 56)^{10), 11)}, 松下 (1957)¹²⁾ 等の検査法はすべてこの負荷による骨導聴力の変化を測定する方法である。この中耳硬化症の勝れた診断法として古くから用いられている Géllé 検査法—即ち外耳道加圧時の聴力検査は、その後 Griessman (1921), van Dishoeck (1938)^{14), 15)}, Rasmussen (1946)^{16), 17)}, Thullen (1954)⁹⁾, 松下 (1957)¹²⁾ 等によつて夫々改良せられ、耳硬化症の診断のみでなく、他の中耳伝音障碍の検出にも応用されて来た。しかしこれ等の改良法も加圧方法、検査音の与え方等に差異はあつても、外耳道に一定の陽圧又は陰圧を加えた際の気導又は骨導聴力の変化を測定するもので、原理的には同一のもの即ち、静的加圧による Géllé 検査法 (以下「静 G 法」と略す) とも云えるものである。

これに反し外耳道圧を絶えず変化させた際の聴力の変化を測定する方法、即ち動的加圧による Géllé 検査法 (以下「動 G 法」と略す) とも云うべきものについて

は当教室の内藤 (1948)^{18), 19), 20)}, 辰巳 (1953)²¹⁾ が静 G 法に比し優れた方法であると述べているが詳細な研究は未だ行なわれていない。そこで著者はこの動 G 法について更に詳細な研究を行い、この方法が簡単、鋭敏に伝音系の固着度を診断し得、原理的にも静 G 法と全く異なつた検査法であることを知つたのでここに報告する次第である。

第2章 基礎的研究

第1節 研究対象

阪大耳鼻咽喉科教室員並びに看護婦で耳鏡検査で外耳道及び鼓膜に異常を認めず純音聴力が気導骨導共に正常なるもの 10 名 20 耳を選んだ。

第2節 研究装置

大要を第 1 図に示す。ポリツェル球 (以下ボ球と略す) に接続したガラス T 字管の一方に Tycos 型マノメーター (血圧計に使用しているもので 0~300mmHg 最小目盛 2mmHg)、一方に肉厚ゴム管を介し耳栓をつける。耳栓はプラスチック製、外径夫々 7, 8, 9, 10mm。

第1図 検査装置

内径 2mm のもの 4 種を用意し被検者の外耳道孔の大きさにより適宜とりかえた。耳栓の外耳道挿入部はゴムで被い耳栓装着時の疼痛を和らげ且外耳道腔が可及的気密になるようにした。外耳道圧は比較的短時間内に変化するため、この気密度は静 G 法程嚴重にする必要はない。

検査音源として Atlas-Audiometer 及びその骨導子を用い、250, 500, 1000, 2000, 4000cps の 5 音について検査した。

第3節 研究方法

動的加圧の一法として、著者は最も簡単な周期運動である単振動を用いることにした。即ち被検耳に第 2 節で述べた装置の耳栓を挿入し軽く圧迫保持せしめて、ボ球を指で押えた時に雑音を生じぬことを確かめた後、検側乳突部に骨導子をあてゝ骨導音を聴取せしめる。次にボ球を手指で周期的に押えたり離したりすると外耳道圧はそれに従つてほぼ正弦波的に変化する。ボ球を押える

力を次第に強めて行くと、今迄連続的に聴えていた骨導音が脈音となり初める。この時の外耳道圧の変動値 (mmHg) を以て本検査法の陽転値ときめた。このような方法で、骨導音の強さを閾値上 (耳栓による骨導上昇があるので厳密には耳栓骨導閾値上) 10~40db まで 10 db 間隔、加圧周期を毎秒約 1 回~4 回迄変化させた時の陽転値の変化を調べた。

第4節 研究成績

250, 500, 1000, 2000, 4000cps の各検査音についての動 G 法陽転値 (20 耳の平均) を第 1, 2 表に示す。但し 250~2000cps の間では同じ成績が得られたのでこれを 1 つの表にまとめた。

第1表 正常者動法陽転値 (250~2000cps)

加圧周期 (回/秒)	骨導音の大きさ (db)			
	10	20	30	40
1	2 (mmHg)	2	2	2
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2
4	2	2	2	2

第2表 正常者動 G 法陽転値 (4000cps)

加圧周期 (回/秒)	骨導音の大きさ (db)			
	10	20	30	40
1	10 (mmHg)	8	8	8
2	6	4	4	4
3	6	4	4	4
4	4	2	2	2

第5節 小 括

以上の結果を要約すると、250~2000cps 迄は骨導音の大きさ及び加圧周期に関係なく、全例共、圧力計の最小目盛である。2mmHg で陽性となつた。4000cps では骨導音の大きさによる陽転値の差は殆んど認められなかつたが、加圧周期が速くなるにつれ陽転値は小となる傾向を示した。これについては第 4 章において述べる。

第3章 臨床的研究

前章において述べた如く動 G 法により、正常者において一定の成績を得たので各種難聴者についても同様の研究を行つてみた。

第1節 検査対象

昭和 32 年 8 月より昭和 33 年 2 月迄の間に阪大耳鼻咽

喉科を訪れた難聴患者の中、感音系難聴 26 名 52 耳、伝音系難聴 94 名 145 耳計 120 名 197 耳について検査した。

第2節 検査装置

前章に述べた装置を使用

第3節 検査方法

既述の如く、正常者の動 G 法陽転値は骨導音の大きさ、加圧周期により大差が認められぬ故、難聴患者の検査に際しては骨導音の大きさ及び加圧周期をほぼ一定した。即ち骨導音の強さは患者の最も聞きやすい大きさである閾値上 30~40db とし、加圧周期は手動で最も行いやすいように 1 秒約 2 回とした。骨導聴力の左右差が 10db 以上の場合は、聴力損失大なる側検査の際反対側は白色雑音で遮蔽した。その他の操作は前節に述べた通りである。

第4節 検査成績

第1項 感音系難聴

耳鏡検査で異常を認めず純音聴力検査で気導骨導聴力が同程度の障害を示すもの 26 名 52 耳の検査成績を第 3 表に示す。但し聴力損失が大で閾値上 30~40db の骨導音が得られぬ時は Audiometer 最大出力の骨導音を使用した。

第3表 感音系難聴耳 (52 耳)

陽転時外耳道圧力 (mmHg)	骨導音周波数 (cps)				
	250	500	1000	2000	4000
2 以下	49	49	49	49	49
5 "	3	3	3	3	3
計 (耳)	52	52	52	52	52

第2項 非穿孔性中耳炎

慢性中耳カタルで鼓膜陥凹があり耳管の通気度不良のもの、非穿孔性中耳炎等 25 名 41 耳の検査成績を第 4 表に示した。但し鼓膜陥凹が強度で鼓室壁と癒着せるもの

第4表 非穿孔性中耳炎 (41 耳)

陽転時外耳道圧力 (mmHg)	骨導音周波数 (cps)				
	250	500	1000	2000	4000
2 以下	18	15	12	15	15
5 "	6	9	12	9	8
10 "	12	12	11	10	11
20 "	5	5	6	7	7
計 (耳)	41	41	41	41	41

の成績は別項に示すことにした。

第3項 穿孔性中耳炎

鼓膜に種々の程度の穿孔があり耳漏難聴を訴える所謂慢性穿孔性中耳炎の外に、鼓膜穿孔のみで耳漏なく中耳粘膜の病変も著明でない乾性鼓膜穿孔も含めた38名51耳の検査成績を第5表に示した。但し鼓膜と鼓室壁との間に癒着のあるものは別項に述べることにした。

第5表 穿孔性中耳炎 (51耳)

陽転時外耳道圧力 (mmHg)	骨導音周波数 (cps)				
	250	500	1000	2000	4000
2 以下	—	—	—	—	—
5 "	3	3	3	3	3
10 "	9	7	7	8	8
20 "	21	19	20	21	18
40 "	18	22	21	19	21
60 "					1
計 (耳)	51	51	51	51	51

第4項 鼓膜癒着症

鼓膜が強度に陥凹して鼓室壁と癒着し、ブリューニングス拡大耳鏡で送気しても鼓膜に可動性の認められぬもの14名19耳の検査成績を第6表に示した。

第6表 鼓膜癒着症 (19耳)

陽転時外耳道圧力 (mmHg)	骨導音周波数 (cps)				
	250	500	1000	2000	4000
2 以下	—	—	—	—	—
5 "	—	—	—	—	—
10 "	1	1	1	1	1
20 "	2	3	3	3	2
40 "	8	7	8	7	9
60 "	3	3	2	3	2
60 以上	5	5	5	5	5
計 (耳)	19	19	19	19	19

第5項 耳硬化症

臨床所見、純音聴力検査より耳硬化症と診断し、内耳開窓術により聴力改善の認められたもの17名34耳についての手術前の検査成績を第7表に示した。但しこの群の患者は昭和28年4月より昭和33年2月迄のものである。

第7表 耳硬化症 (34耳)

陽転時外耳道圧力 (mmHg)	骨導音周波数 (cps)				
	250	500	1000	2000	4000
2 以下	—	—	—	—	—
5 "	—	—	—	—	—
10 "	1	1	1	1	1
20 "	1	1	1	1	1
40 "	—	—	—	—	—
60 "	1	1	1	1	1
60 以上	31	31	31	31	31
計 (耳)	34	34	34	34	34

第5節 小 括

以上述べた全症例の検査成績の中 250, 1000, 4000cps についての成績を一括して第8, 9, 10表に示す。

第8表 各疾患の動 G 法成績 (250cps)

疾 患 名	陽転時外耳道圧力 (mmHg)							計 (耳) ↓
	2	5	10	20	40	60	60~	
感音系難聴	49	3						52
非穿孔性中耳炎	18	6	12	5				41
穿孔性中耳炎		3	9	21	18			51
鼓膜癒着症			1	2	8	3	5	19
耳硬化症			1	1		1	31	34

第9表 各疾患の動 G 法成績 (1000cps)

疾 患 名	陽転時外耳道圧力 (mmHg)							計 (耳) ↓
	2	5	10	20	40	60	60~	
感音系難聴	49	3						52
非穿孔性中耳炎	12	12	11	6				41
穿孔性中耳炎		3	7	20	21			53
鼓膜癒着症			1	3	8	2	5	19
耳硬化症			1	1		1	31	34

第10表 各疾患の動 G 法成績 (4000cps)

疾 患 名	陽転時外耳道圧力 (mmHg)							計 (耳) ↓
	2	5	10	20	40	60	60~	
感音系難聴	49	3						52
非穿孔性中耳炎	15	8	11	7				41
穿孔性中耳炎		3	8	18	21	1		51
鼓膜癒着症			1	2	9	2	5	19
耳硬化症			1	1		1	31	34

1) 感音系難聴

52 耳中 49 耳は正常者と同様 2mmHg 以下で陽性と
なり残りの 3 耳も 2～5mmHg で陽性となった。

2) 非穿孔性中耳炎

この群では一般に聴力障害は軽度のものが多く、動 G
法の陽転値も 20mmHg より大となる例はなかった。
しかしながら聴力損失と陽転値との間に一定の関係は認
められなかった。

3) 穿孔性中耳炎

この群には陽転値が正常者に近いものとしからざるも
のとある。前者は鼓膜穿孔のみで中耳は乾燥し粘膜の病
変も少ないもので聴力損失は軽度である。後者は鼓膜穿孔
のみでなく中耳粘膜の肥厚、耳漏等のある所謂慢性穿孔
性中耳炎で聴力損失も 40～60db に及ぶものである。
このような例では動 G 法は各周波数において 20～40
mmHg のものが大部分を占めるが耳鏡検査による中耳
病変の程度あるいは聴力損失との間には一定の関係は認
められなかったが、この群で陽転値が 40mmHg をこえ
るものはわずか 1 例であった。

4) 鼓膜癒着症

一般に陽転値は大で 40mmHg 以上のものが 19 耳中
15 耳であつたが、鼓膜癒着の広範囲なものが大なる値
をとるとは限らなかった。これは後述の如く動 G 法が
鼓膜の可動性のみに影響されるのではなく、耳小骨連鎖の
機能とも関係するためであろう。

5) 耳硬化症

伝音系難聴の中でも最も大きい値を示し 34 耳中 31 耳
は 60mmHg の圧変動でも陽転しなかった。

以上の成績から、著者の行つた動 G 法による伝音機
能障害度の診断基準として大略次のことが云える。

1) 陽転値が 5mmHg 以下であれば伝音系はほぼ正
常である。

2) 陽転値が 10～20mmHg のものは伝音系の軽度
障害。

3) 陽転値が 30～50mmHg のものは伝音系の中等度
障害。

4) 陽転値が 60mmHg 以上のものは伝音系の高度
障害である。

第 4 章 Géllé 現象の成立機転について

外耳道に一定の圧力を加えた際骨導聴力が低下する
(静的 Géllé 現象) 原因については従来二つの見解があ
つた。一つは外耳道圧が鼓膜、耳小骨を介して内耳に及
び、内耳圧が亢進して感覚細胞の感度が低下し、ために

聴力が悪化すると云う説であり、他は加圧により中耳伝
音系の Impedance が増加し、骨導成分中の骨鼓室伝導
が不良となり聴力が低下すると云う説である。しかし近
年 Wever 等 (1942)²²⁾ の研究により、加圧による聴力
の低下は大部分が中耳の Impedance の変化によるも
のと云う説が一般に支持されている。更に恩地 (1954)⁹⁾
は耳栓骨導に関する研究の中で、Géllé 現象についても
研究しその成立機転を明らかにした。即ち「耳栓により
増加した鼓膜の振幅が加圧により減少するため骨導聴力
が低下する。従つて Géllé 現象は耳栓骨導差の起る周
波数範囲においてのみ現れ、その閾値上昇も外耳道開放
時の骨導閾値以上にはならぬ。又鼓膜に穿孔ある場合は
外耳道加圧は穿孔を通して中耳の空氣に及ぶから鼓膜内
外の氣圧は等しくなり鼓膜の振動を抑制することはでき
ず Géllé 現象は現われない。つまり Géllé 現象は鼓膜
の Impedance の変化によつて影響されるため錠骨固着
のみの検出法でない。」と述べている。これ等の研究は
すべて静 G 法による聴力低下についての研究である。

而るに著者の行つた動 G 法による Géllé 現象は静
G 法により起る Géllé 現象と異なつた性質を有する。
即ち耳栓骨導差の起らぬ高音においても骨導聴力の変化
は明らかに認められ、又鼓膜穿孔耳でも聴力障害が軽度
であれば陽転値は正常者に近い値を示す。このように静
G 法と動 G 法が異なつた成績を示すので、著者はその
原因を追求するため以下の如き考察を試みた。

第 1 節 加圧方法に対する考察

人間の最低可聴周波数は約 20cps であり、これ以下
では皮膚に触覚として感ずるのみで音としては感じない
と云われている²³⁾。しかし 20cps 以下の低音でも空氣
の振動と云う点で本質的には相異のないものであるから
耳に対して、より高い音と同じような影響を与えるもの
と考えられる。

Békésy (1934)²⁴⁾ はゆつくりした周期の空氣振動の
聴閾を測定しているが、この実験によると低域では閾値
が急速に上昇し 2cps では約 140db の音圧で聴覚を起
すと述べている (第 2 図)。

著者の行つた動 G 法において外耳道圧を 2cps の周
期で変動させた場合、正常者の陽転値は約 2mmHg で
あるが、これを音圧に換算すると約 140db となり Bé-
késy の実験による 2cps の閾値とはほぼ一致する。

このようなことから、外耳道圧を毎秒 2 回の割合で正
弦波的に変動さすと云うことは、耳に 2cps の純音を与
えたものと考えられ静 G 法の如く外耳道に一定の圧を

第2図 低音の聴閾 (Békésy 1934)

作用した時とは様子が異なつたものである。即ち著者の動 G 法は気導によつて 2cps の音を、骨導によつて 250~4000cps の音を与え、気導音の強さにより骨導音がどのように影響されるかを検査する方法である。

第2節 外耳道圧の變動様式と骨導聴力變動様式との関係

被検者として鼓膜に所見なく聴力正常なものの 10 名 10 耳を選んだ。検側乳突部に骨導レシーバーを当て閾値上 5db の音をきかしながら、外耳道圧を正弦波状及び階段状に変化し、各々の場合の骨導音の大きさの変化を図示せしめた。結果を第3図に示す。

即ち外耳道圧を約 2cps, 2mmHg で正弦波的に變動

第3図 外耳道圧變動と骨導音大きさ變動との関係

- (a) 外耳道圧変化 約 2cps 2mmHg
(c) 同 0~15mmHg 迄 3db 宛階段状に変化
(b), (d), (e), (f) 5db 骨導音大きさの変化

さすと、骨導音は 10 例共丁度圧變動の周期で変調された脈音として感ずる。今外耳道圧変化の周期を f_1 、骨導音の周波数を f_2 とするとこの場合生じた脈音は f_2 , $f_2 - f_1$, $f_2 + f_1$ の三つの周波数の合成されたものであることはよく知られている。即ち f_1 , f_2 の二つによつて生ずる複合音の一種である $f_2 - f_1$, $f_2 + f_1$ なる成分が含まれている。

耳に周波数の異なつた 2 音 f_a , f_b を同時に開かした場合、原音と全く異なつた周波数の複合音が生ずることは既に Sorge (1774), Tartini (1754) 等によつて観察されており、又その周波数は $m f_a \pm n f_b$ で現わされ、聴器の非直線性歪によつて起るものであることが Helmholtz (1856) によつて理論的にも説明されている。外耳道圧を正弦波形的に変化させた場合この空気振動と骨導音との間に聴器の非直線性歪による複合音が生ずるとすれば耳には原音の他にこれ等の複合音が聞えるわけである。たゞこの場合 f_b に相当する周波数は 2cps であるため音として感じ難く f_a に相当する骨導音及びその第一次複合音である $f_a - f_b$, $f_a + f_b$ が主となり、これ等が脈音となつて聞えるのであろう。

次に外耳道圧を 3mmHg Step 階段状に上昇した場合、骨導音の大きさは圧が変化する部で著るしく小さくなるが、圧が定常状態になると骨導音は加圧前の大きさにもどるもの (6 例) 加圧前より少し小さく感ずるもの (3 例) が多く、加圧瞬時に音の減弱を認めぬものは 1 例であつた。

外耳道加圧による骨導音の減弱が中耳伝音系の Impedance の変化によるものであれば、階段状に圧を変化させた場合骨導音も階段状に減弱する筈である。故に図の如く加圧瞬時に見られる著明な骨導音の減弱は中耳性のもとは考えられず恐らく内耳に起因するものであろう。

第3節 聴器の歪について

耳に純音を開かした場合原音に含まれない高調音や複合音が聞えるのは前述の如く聴器の歪によるものであるが、その発生部位についての研究は数多くなされている。

Dahman (1929), Kobrak (1948) は外耳道加圧時の鼓膜の偏位が減圧時の偏位より小な所から歪音の発生を鼓膜に求めている。しかしこの実験に用いた圧力は極めて大であり正常可聴範囲内の音で容易に認められる歪音を説明するには不十分である。Békésy (1934) の干渉管を用いた実験によれば、鼓膜においては歪音は殆ん

と発生せず、又外耳道に圧力を加え鼓膜、耳小骨を偏位せしむると複合音は著明に認められるが高調音はあまり変化しない。この事から彼は複合音は主として耳小骨連鎖で高調音は内耳で起るものであらうと述べている。

しかしながら Dennert (1887), Bingham (1907), Lewis & Reger (1933) 等は中耳疾患で鼓膜や耳小骨の大部分を欠くものでも、正常者とほぼ同様の歪音を聞くことから聴器の歪が中耳のみに起因するものでないと述べている。Wever, Bray & Lawrence (1940, 1941)²⁷⁾ 27) 28) 29), Wever & Lawrence (1954)³¹⁾ は聴器の歪の発生部位について蝸牛電気反応を指標として動物実験を行つた結果 1) 中耳伝音系を除去しても歪音に変化しない。2) 中耳腔に圧力を加えても歪音に変化が認められない。3) 刺激音を強くした場合内耳に伝わった音が歪むより先に蝸牛電気反応に歪が見られる。4) 2音を同時に聞かした時蝸牛電気反応に現われる干渉現象 (Interference) は歪音発生のために原音のエネルギーが消費されて起るものであり、この干渉現象は感覚細胞の障碍時に著明に見られる。等のことから聴器の歪は主として内耳の感覚細胞の所にあると結論した。

これ等の実験からもわかるように聴器には中耳、内耳共に歪を有しており、就中内耳における歪の方が大きく、中耳の歪は Békésy の実験の如く加圧等によつて振動の状態を変化した際に認めやすくなるものと考えられる。従つて前節の実験即ち外耳道圧を段階的に上昇した場合、加圧時に認められる骨導音の著明な減弱は内耳歪に起因するものであり、圧が定常状態になった時の僅かの骨導音の減弱は中耳歪によるものであらう。

第4節 実験的伝音系難聴耳と動 G 法

中耳は外耳道に入つた音響エネルギーを内耳に伝送する一種の機械的変圧器であり、鼓膜耳小骨並びにその支持組織の組合せにより広い周波数範囲の空気振動を忠実に内耳液の振動に変換している。このような振動系の構成組織を単なる物理的なものと考えれば、数式的にその動作を理解することも可能である。古くは Frank (1918, 1923) に始まり Johansen (1948)³¹⁾ 恩地 (1949)³²⁾ Wever & Lawrence (1950, 1954)³⁰⁾ 33) Zwislocki (1957)³⁴⁾ 等の研究は解剖学による知見から中耳を質量、弾性、摩擦の三要素の組合せによる振動系と考え、その特性を数式的に解明しているものである。

一般にこのような振動系は質量のみが増加すれば高音の伝送能率が不良となり、弾性のみ増加すれば低音の伝送能率が悪化する。そこで著者は人工的に中耳に負荷を

与えてその質量又は弾性のみを増加させた場合、動 G 法の値がどのように変化するかを調べて見た。

1) 伝音系の質量を増加した場合

鼓膜面上に錘又は液体を負荷すると鼓膜の質量は増加し高音聴力は低下する。(Bárány 1909³⁵⁾, Runge 1923³⁾, Lüscher 1939³⁶⁾ 広瀬 1957³⁷⁾) 第4図は鼓膜面上に生理的食塩水8滴を滴下した時の聴力像である。

第4図 生理的食塩水8滴負荷耳

滴下前の気導骨導聴力を 0db とすると、滴下後気導聴力は 1000cps 迄は殆んど変化なくそれより高音では周波数が高くなるにつれ聴力損失が増加している。一方骨導聴力は耳栓骨導と同様 250~2000cps の間に 15~5db の閾値下降が見られる。

このような実験的伝音障碍耳について動 G 法を行つた結果 250~4000cps の検査音で陽転値はすべて 4 mmHg 以下であり正常者に近い値を示した。

2) 伝音系の弾性を増加した場合

実験的に伝音系の弾性を増加させるため第5図の如くクリスタルレシーバーの振動膜を取除きその代りに薄いアルミ箔を張つたものを作成し使用した³⁸⁾。

第5図

第6図はこのレシーバーを外耳道に装着した時の聴力
線である。レシーバー装着前の気導骨導聴力を 0db と
すると装着後の気導聴力は弾性増加のため 4000cps より
低音になるに従つて聴力損失が増加している。8000
cps 附近に見られる聴力損失はアルミ箔の質量及びレシ
ーバー装着による影響によるものと考えられる。一方骨
導聴力は耳径骨導と同様 250~2000cps で 15~5db の
閾値低下が見られる。

第1図の装置の耳栓の代りにこのレシーバーを取り付
けこの実験的伝音難聴耳に動 G 法を行つた結果、陽
転値は非常に大きく 250~4000cps の各検査音で 50~60
mmHg であつた。

この実験からもわかるように伝音系難聴耳でも質量の
みの増加で低音の聴力損失がない時は 2cps の圧変動は
正常耳の場合と同じ程度で内耳に達するため動 G 法陽
転値は小であり、反対に弾性の増加により低音の聴力損
失が著明となつた時は 2cps の圧変動は内耳に伝わりに
く、従つて動 G 法陽転値も大となると考えられる。
即ち 2cps の圧変動が内耳へ伝送される程度により動 G
法の値が変化して来る。

第5節 小 括

以上述べたことから著者の行つた動 G 法を原理的に
考えて見ると、骨導で種々の周波数の検査音を聞かした
ながら外耳道に約 2cps の空気振動を与え、この二つが内
耳歪により複合音を生じ脈音として感じられるのを検査
する方法——換言すれば内耳歪を利用し 2cps の如く、
一音のみでは認め難い低音の伝送能力を測定する方法
と云える。この場合第2図からもわかる如くこのよう

な低音の伝送能力は周波数による差が大であるから動
G 法の陽転値も加圧周期により異なるべきである。第2
章の正常聴力者の成績で 4000cps の検査音で動 G 法陽
転値が加圧周期が早くなるにつれ小となる傾向を示した
のはこのためであろう。但し 2000cps 以下ではこの傾
向が見られなかつたのは、二音の周波数がより接近して
いるため加圧周期が遅くとも歪が起りやすいものと考え
られる (Békésy (1934) 56)。

低音の伝送能力は主として中耳の弾性によつて左右さ
れるから動 G 法は中耳伝音系の弾性の大小を示し、従
つてその固着の程度を測定し得るものである。

第5章 考 按

外耳道加圧時の骨導聴力の変動に注目し、これをを初
めて難聴の鑑別診断に応用したのは Géllé (1881) であ
る。Thullen¹⁹⁾によれば「この検査はポリツェル球と
外耳道とを気密のゴム管でつなぎ、音の鳴っている音叉
をポリ球又はゴム管の上において耳に音を伝えながら、球
を押して外耳道に圧を加えた時の音叉音の変化を調べる
方法である。正常聴力者では加圧により音は小さくなる
が靨骨固着がある場合は音が不変である」と述べてい
る。

しかしながら Géllé の原法では外耳道を気密にする
ことが困難であり、又出力が減衰する音叉を音源として
用いるため正確な測定が困難であるとの理由から、多く
の改良法が考按された。

Griessman (1921) は音源に Audiometer 用い、
Pneumatic Telephone で外耳道に一定圧を加えた時
の聴力を測定し、正常耳では加圧により聴力は低下する
が減圧では不変であると述べている。

Dishoeck (1938~39)^{14) 15)} は外耳道圧を正確に加減
し得る Pneumophone を考按し、この装置を用いて正
常聴力者及び難聴者の外耳道圧を +30mmHg から -
30mmHg 迄徐々に変化さし最も聴力がよい点を測定し
た。正常聴力者ではこの圧は -2~+2mmHg の範囲
であるが耳管閉塞症患者では -10~-30mmHg であ
り、中耳腔圧と外耳道圧が等しい時に最もよい聴力が得
られると述べている。更にこの検査では鼓膜穿孔耳や耳
硬化症耳では最も聴力のよい点は認められず耳硬化症診
断の一助として Géllé 検査法より確実であると述べた。

Rasmussen (1946, 48)^{16) 17)} は Dishoeck の Pneu-
mophone を用い外耳道加圧時の聴力変化を 64~11600
cps の広い範囲にわたり観察した。正常耳及び耳硬化症
共に外耳道の加圧あるいは減圧により低域の気導音は減

弱するが 4000cps 以上では一定の成績を得られなかった。一方骨導音の場合正常者は気導の場合と同様の結果を得たが耳硬化症では音の大きさに変化はなかったと述べている。

Thullen (1954)⁹⁾ は外耳道腔を完全に気密にするため特殊な耳栓を考案し、これを用いて加圧及び減圧時の聴力変化を測定した。正常者、感音系難聴、耳管閉塞症、慢性中耳炎では加圧及び減圧により気導骨導音共小さくなるが、耳硬化症、鼓膜癒着の場合は音の大きさが不変であることを観察している。

松下 (1957)¹²⁾ は Thullen と同様の方法を各種難聴患者に応用し 2～19mmHg の加圧で骨導音が減弱する場合は伝音系は殆んど正常であり、20～40mmHg のものは伝音系の可動性に軽度の障害あり、40～90mmHg のものは中等度の障害、100～160mmHg の加圧でも音が小さくならぬものは伝音系の完全固着と述べている。

しかしながらこれ等の Géllé 改良法は原法を誤まつて解釈しているものと考えられる。何故なら前述の如く Géllé 原法は加圧にボールを用い、検査音源として出力が減衰する音叉を用いている。このような装置では外耳道圧を一定に保つことは困難であり又たとえ圧を一定にし得たとしても検査音が次第に減衰するため、被検者はその際の骨導音の減弱を明確に認識し難い。それにも拘らず正常者と耳硬化症患者で明らかな差異を認め得たのは、外耳道を加圧した瞬間の音叉音の変化に注目したものであろう。このような検査法は明らかに動的加圧法であり、その後の改良法である静的加圧法とは異なるものである。

このような見地から著者は動的加圧法の一つとして、外耳道圧を正弦波的に変動させ、同時に聴取させた骨導音が脈音となるに要する圧力を測定する方法を考案した。そしてこの方法により各種難聴者を検査した結果、伝音、感音難聴を鑑別し得るのみならず、伝音系の固着度をある程度量的に測定し得、特に耳硬化症の診断に有益であることを知った。

即ち正常聴力者及び感音系難聴者では全例 5mmHg 以下で動 G 法が陽性となつた。一方伝音系難聴耳では鼓膜の小穿孔あるいは癒着のみで聴力損失が軽度のものでは動 G 法は 5～10mmHg のものが多く、耳硬化症耳では大部分が 60mmHg でも陰性であつた。しかしながらその他の伝音系難聴はこれ等の中間値を示し、その純音聴力損失との間に一定の関係は認められなかった。

Fowler (1928)³⁹⁾ は中耳病変と聴力像との関係を物理音響学的に理解せんとして、伝音系の質量、弾性、摩擦の変化が中耳のいかなる病変に際し生ずるか、又これ等の変化と聴力像との間にはどのような関係があるかについて論じている。即ち原則的には質量が増すと高音障害を生じ、弾性が増すと低音障害が生ずべきである。臨床的には槌骨柄に耳垢が附着したり、鼓膜の肥厚や石灰沈着等の場合が前者に属し、鼓膜の癒着や周囲との癒着、鼓室小骨との中耳骨壁との癒着や鐙骨底周囲の靱帯の骨性化等が後者に属すると述べている。

Johansen (1948)³¹⁾ も同様の観点から、中耳を質量、弾性、摩擦の三要素の組合せによる単一振動系と考え、中耳の等価回路を考案している。そして各要素が夫々単独に他の 4 倍となつた時の聴閾曲線を理論的に示し、急性中耳炎の時に見られる高域障害はこの曲線中の Mass-curve に類似し、耳硬化症の初期に見られる低域損失は Stiffness-curve に類似すると述べている。

しかしながら実際には質量、弾性あるいは摩擦が各々単独に変化するような病変は少く、伝音系疾患でも種々の聴力像を示すものである。著者の行つた動 G 法は 2cps の如く遅い周期の空気振動の伝送能力を検査する方法であり、その陽転値は主として中耳伝音系の弾性的変化によつて左右されるものである。従つて伝音系疾患の場合に種々の陽転値をとり、又質量や抵抗の変化によつても影響される純音聴力損失との間に一定の関係が認められぬのも当然と考えられる。たゞ耳硬化症の如く伝音系の一部が骨性強直をきたすような場合は弾性の増加が著明であるため、動 G 法の価が極めて大きくなるのであろう。

内耳開窓術が耳硬化症のみでなく、鼓膜や耳小骨の強度の癒着の場合にも適応して効果あることが判明している現在 (堀口 1953)⁴⁰⁾ 伝音系の固着度を測定する動 G 法はこの点からも興味ある検査法である。本検査法の陽転値が 60mmHg 以上のものは伝音系の強度の固着として内耳開窓術も考えられる。

単純な純音聴力検査以外に伝音系難聴を診断する検査法としては、前述の Géllé 原法及びその改良法の外に、液体荷重法 (Bárány 1909³⁶⁾, Runge 1923³⁾, 広瀬 1957³⁷⁾, 角田 1954¹⁰⁾, 耳栓骨導検査法 (Pohlman & Kraz 1926⁴¹⁾, Kelley & Reger 1937⁴²⁾, Sullivan, Gotlieb & Hodges⁴³⁾, 恩地^{5), 6), 7), 8)}, 液導検査法 (角田 1956¹¹⁾, 音消息子法 (Pohlman 1948, Zöllner 1951⁴⁵⁾, 戸谷 1954⁴⁶⁾ Thullen 1955⁴⁷⁾, 伝音 Impeda-

nce 測定法 (Békésy 1939⁴⁸⁾, Metz 1946⁴⁹⁾, Jepsen 1951⁵⁰⁾, 辰巳 1955⁵¹⁾ Zwislocki 1957⁵²⁾) 等があるが検査法が繁雑乃至は特殊な検査装置を必要とするため、恩地の耳栓骨導検査以外は一般に広く応用される段階に迄達していない。しかしこの恩地法は伝音系難聴の有無は診断しうるがその障害度を判定し得ぬ欠点がある。例えば第7図に示す如く乾性鼓膜穿孔により軽度の聴力障害のある例では恩地法は陰性であり、又従来の静G法も陰性となる。しかるに著者の動G法では5mmHgで陽性となり正常者に近い値を示す。

第 7 図

以上述べた如く動G法は伝音感音難聴を鑑別し得るのみでなく伝音系の固着度をある程度量的に測定し得特に耳硬化症の診断に便利な方法である。更にこの検査法は装置が簡単であり、又検査音の周波数による差が少いから実際検査する際も1000cps一音のみについて行えば十分であり日常臨床で容易に施行しうるものと考える次第である。

第6章 結 語

耳硬化症の診断法として有名なGéllé検査法について検討し次の如き結果を得た。

- 1) Géllé検査法を加圧方法により静的Géllé検査法と動的Géllé検査法の二つに大別した。前者は外耳道に一定の圧力を加えた状態の聴力変化を測定するものであり、後者は外耳道圧を絶えず変化させた際の聴力変化を測定する方法である。
- 2) 動的Géllé検査法の一法として著者は外耳道圧

を約2cpsの割合で正弦波的に変化させ、同時に聴取させた骨導音が脈音となり初める時の圧変動値(mmHg)を求める方法を考案した。

3) この方法で正常者及び各種難聴者を検査し次の如き結果を得た。

- i) 正常者及び感音系難聴耳では圧変動値は5mmHg以下であった。
- ii) 圧変動値が10~20mmHgのものは伝音系に軽度の固着があるものと思われた。
- iii) 圧変動値が30~50mmHgのものは伝音系に中等度の固着があるものと思われた。
- iv) 圧変動値が60mmHg以上のものは伝音系に強度の固着があるものと思われた。
- v) 以上の結果は検査音の強さ及び周波数により大差なかつた。

4) 外耳道圧の正弦波的変動により骨導が脈音となる原因について考察し(第4章)、これが内耳の非直線歪によるものであると考えた。

5) 従つて著者の検査法は内耳歪を利用し中耳の低音伝送能力を測定し、これによつて伝音系の固着度を調べるものである。

6) Géllé検査の原法は一種の動的加圧法に属し、その後の改良法は静的加圧法に属するものであり両者の検査法は原理的に全く異なつたものであると考えた。

7) 著者の考案した動G法は検査装置、検査方法が簡単で日常臨床に容易に応用し得るものであり特に耳硬化症の診断に便利な方法である。

参 考 文 献

- 1) Géllé: Transact. of Med. Cong. & Cong. & Sess. 3; 370, 1881, Thullen, A.: Arch. Ohr usw. Heilk. u. Z. Hals usw. Heilk. 164; 382, 1954. より引用
- 2) Bing: Mschr. Ohrenheilk. 33; 149, 1899.
- 3) Runge, H.G.: Ueber die Lehre von der Knochenleitung und über einen neuen Versuch zu ihrem weiteren Ausbau Z. Hals-usw. Heilk. 5r 289, 1923.
- 4) Campbell, E.H. & Macfarlan, D.: Test Findings Before and After Fenestration of the Labyrinth Arch. of Otolaryng. 47; 595, 1948.
- 5) 恩地豊: Géllé法に代る新検査法, 日耳鼻, 54; 102, 1951.
- 6) 恩地豊: 耳硬化症の診断について, 耳喉, 24; 93, 1952.
- 7) 恩地豊: 耳栓骨導検査法の研究, 耳喉, 26; 145, 1954.
- 8) 恩地豊: 耳栓骨導差の成立機転, 耳喉, 27; 118, 1955.
- 9)

- Thullen, A.:** Diagnostische Erfahrungen mit Hörmessung bei variierten Druck im Gehörgang. Arch. Ohr usw. Heilk. u. Z. Hals usw. Heilk. 164; 328, 1954. 10) 角田忠信: 耳小骨機能検査法 (液体 荷重骨導 検査法) について, 日耳鼻, 57; 571, 1954. 11) 角田忠信: 鑰骨固着度の検出法, 日耳鼻, 59; 1939, 1956. 12) 松下草苗: 音伝導系の可動性に関する臨床的研究, 日耳鼻, 60; 763, 1957. 13) **Griessman, B.:** Neue Methoden zur Hörprüfung Passow-Schaefer's Beit. z. Anat. Physiol. des Ohres 16; 47, 1921. **Rasmussen, H.:** Acta Oto-laryng. 34; 415, 1946. より引用 14) **Dishoeck, H.A.E. van.:** Ein Apparat zur Druckbestimmung im Mittelohr Arch. Ohr-usw. Heilk. 144; 53, 1938. 15) **Dishoeck, H.A.E. van.:** Theorie und Praxis des Pneumophons. Arch. Ohr-usw. Heilk. 146; 5, 1939. 16) **Rasmussen, H.:** Studies on the Effect upon the Hearing through Air Conduction brought about by Variations of the Pressure in the Auditory Meatus Acta Oto-laryng. 34; 415, 1946. 17) **Rasmussen, H.:** Studies on the Effect on the Air Conduction and Bone Conduction from Changes in the Meatal Pressure in Normal Subjects and Otosclerotic Patients Acta Oto-laryng. Supol. 74; 54, 1948. 18) 内藤 雋, 河村 良光: 外耳道気圧の変化と聴力との関係について (第1報) 耳鼻臨床, 41; 20, 1948. 19) 内藤 雋, 河村 良光: 外耳道気圧と聴力 (第2報) 日耳鼻, 52; 243, 1949. 20) 内藤 雋, 辰巳敏文, 山田正直: Géllé 氏法の再検討, 日耳鼻, 56; 469, 1953. 21) 辰巳敏文, 伊藤 弘: Géllé 氏検査法の検討, 日耳鼻, 58; 782, 1955. 22) **Wever, E.G., Bray, C.W., & Lawrence, M.:** The Effect of Pressure in the Middle Ear J. Exper. Psychol. 30; 40, 1942. 23) 黒木 総一郎: 聴覚の心理学, 共立出版社, 東京 1957. 24) **Békésy, G. von.:** Ueber die Hörschwelle und Fühlgrenze langsamer sinusförmiger Luftdruckschwankungen Ann. d. Physik 26; 554, 1936. 25) **Békésy, G. von.:** Ueber die nichtlinearen Verzerrungen des Ohres Ann. d. Physik. 20; 809, 1934. 26) **Wever, E.G., Bray, C.W., & Lawrence, M.:** The Origin of Combination Tones J. Exper. Psychol. 27; 217, 1940. 27) **Wever, E.G., Bray, C.W., & Lawrence, M.:** The Locus of Distortion in the Ear J. Acoust. Soc. Amer. 11; 427, 1940. 28) **Wever, E.G., Bray, C.W., & Lawrence, M.:** The Interference of Tones in the Cochlea J. Acoust. Soc. Amer. 12; 268, 1940. 29) **Wever, E.G., Bray, C.W., & Lawrence, M.:** The Effect of Middle Ear Pressure upon Distortion J. Acoust. Soc. Amer. 13; 182, 1941. 30) **Wever, E.G., & Lawrence, M.:** Physiological Acoustics; 115, 1954, Princeton Univ. Press U.S.A. 31) **Johansen, H.:** Relation of Audiograms to the Impedance Formula Acta Oto-laryng. Supple. 74; 65, 1948. 32) **Onchi, Y.:** A Study of the Mechanism of the Middle Ear J. Acoust. Soc. Amer. 21; 404, 1949. 33) **Wever, E.G., & Lawrence, M.:** Transmission Properties of the Middle Ear Ann. of Otol. 59; 5, 1950. 34) **Zwislocki, J.:** Some Impedance Measurements on Normal and Pathological Ears. J. Acoust. Soc. Amer. 29; 1312, 1957. 35) **Bárány, R.:** Ueber neue Stimmgabelversuche Mschr. Ohrenheilk. 43; 336, 1909. 36) **Lüscher, E.:** Untersuchungen über die Beeinflussung der Hörfähigkeit durch Trommelfellbelastung Acta Oto-laryng. 27; 250, 1939. 37) 広瀬 毅: 負荷聴力検査法の検討, 日耳鼻, 60; 558, 1957. 38) 坂本 節登: オーディオ工学 (下巻): 25, 154. 誠文堂新光社, 東京. 39) **Fowler, E.P.:** Theoretical Interpretation of the Functional Test Arch. of Otolaryngo. 7; 606, 1928. 40) 堀口 申作: 内耳閉塞術—その適応症について, 日耳鼻, 56, 210, 1953. 41) **Pohlman, A.G., & Kranz, F.W.:** The Influence of Partial and Complete Occlusion of the External Auditory Canals on Air and Bone Transmitted Sound Ann. of Otol. 35; 113, 1926. 42) **Kelley, N.H., & Reger, S.N.:** The Effect of Binaural Occlusion of the External Auditory Meati on the Sensitivity of the Normal Ear for Bone Conduction J. Exper. Psychol. 21; 211, 1937. 43) **Sullivan, J.A., Gottlieb, C.C., & Hodges, W.E.:** Shift of Bone Conduction Threshold on Occlusion of the External Ear Canal Laryngoscope 57; 690, 1947. 44) **Pohlman, E.M.:** Ann. of Otol. 57; 483, 1948. 45) **Zöllner, F.:** Die bisherigen Ergebniss der

Schallsondenuntersuchungen Arch. Ohr. u.s.w.
Heilk. u. Z. Hals. usw. Heilk. 159; 358, 1951.

46) 戸谷喜三: 中耳伝音障碍の治療に関する臨床実験
的研究, 日耳鼻, 57; 891, 1954. 47) *Thullen, A.*:

Die Schallonde 1955, Georg Thieme Verlag. Stu-
ttgart 48) *Békésy, G. von*: Ueber die Mecha-

nisch-akustischen Vorgänge beim Hören Acta
Oto-laryng. 27; 281, 1939. 49) *Metz, O.*: The

Acoustic Impedance Measured on Normal and
Pathological Ears Acta Oto-laryng. Suppl. 63;

1946. 50) *Jepsen, O.*: The Threshold of the

Reflex of the Intratympanic Muscles in a Normal
Material Examined by Means of the Impedance

Method Acta Oto-laryng. 39; 406, 1951. 51) 辰

己敏文: 人体聴器の音響インピーダンスの測定並びに
その耳科臨床的意義, 阪大医誌, 7; 301, 319, 331, 1955.

52) *Zwislocki, J.*: Some Measurement of the Imp-
edance at the Ear Drum J. Acoust. Soc. Amer.
29; 349, 1957.

稿を終るに臨み御懇篤なる御指導御校閲を賜
わつた長谷川高敏教授, 内藤尚助教授, 辰巳,
伊藤両博士に深く感謝します。

(原稿到着＝昭和 33. 7. 29 日一急載)