STUDY ON THE ACOUSTIC REFLEX IN BINAURAL HEARING BY MEANS OF THE IMPEDANCE METHOD

NAOSHI KODAMA, M. D.

*Department of Otorhinolaryngology, Fukushima Medical College, Fukushima
(Director: J. Ouchi, M. D.)*

The human acoustic reflex in binaural and monaural hearing were observed in free field by means of the impedance method to clarify the mechanisms of the intratympanic muscles.

The results were obtained as follows.

1) When the sound source was the front, the impedance-change was larger in binaural hearing than in monaural hearing. (Phenomenon I)

2) When the sound source was the side, the difference of the impedance-change between both ear was smaller in binaural hearing than in monaural hearing, furthermore the impedance-change was larger of ipsilateral ear of the sound source than of contralateral one everytime. (Phenomenon II)

3) It was deduced that both Phenomenon I and II obtained from this study were caused by that the binaural interaction generated in superior olivary complex had influence on the acoustic reflex with bilateral arc.

4) The meaning of Phenomenon I was that the binaural summation as result of binaural interaction was confirmed by observation on the acoustic reflex.

The meaning of Phenomenon II was that the intratympanic muscles which contracted as reflection of binaural interaction was able to transmit loud sound changing for attenuated one to each inner ear keeping the approximate value of sound pressure-difference between both ear.

In conclusion, it was suggested that the acoustic reflex not only protect inner ear from loud sound but also participate in the mechanisms of the directional hearing.

A83—0822—22020

インピーダンス法による両耳聴時の音響 性耳小骨筋反射に関する研究

福島県立医科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：大内 仁教授）

小 玉 直 志

緒 言

一側耳の音刺激により両側の耳小骨筋が反射性に収縮することを、1899年 Hammerschlag¹⁾ が鼓膜張筋について、また 1929年 Lüscher²⁾ が鐙骨筋について見出して以来、多くの追試を経て耳小骨筋が両側性反射弓を有することは現在広く容認されているところである。従っ

て一側聾の患者、あるいは実験的に一側耳のみに音刺激を与えた片耳聴の場合を除けば、両耳で音を聴取した場合には、夫々の側の耳小骨筋反射が、同側から入った音のみならず他側からの音でも影響を受けるだろうことは推測されてしかるべきである。しかしながら従来行われて来た耳小骨筋の機能に関する実験のほとんどは一側耳

のみの音刺激で行われたものであり、耳小骨筋の両側性反射弓のもつ意義について検討を加えたのは、両耳聴時の耳小骨筋反射を家兎の蝸牛電気反応を指標として観察した教室の多田（1968）^{3）}のみである。

そこで今回著者は、人の両耳聴時と片耳聴時の音響性耳小骨筋反射をインピーダンス変化測定法で観察することにより、両耳で音を聴取した場合反対耳からの音の影響がどのような形でそれぞれの耳小骨筋反射に影響を及ぼすのか、耳小骨筋が両側性に反射性収縮を起すことがいかなる意義を有するのかなどについて検討を加えたので報告する次第である。

実験方法

I 実験装置のブロック図は図1に示すごとく、音刺激系と記録系に分かれている。

1) 音刺激系

正弦波発振器（トリオ MO-88S）からの 1 kHz のゲナルを、減衰器（トリオ T-121-4D）、増幅器（トオ MP-5）を介し、電子スイッチ（リオン SB-103A）より立上り、立下り時間 10msec、持続時間 1.5 sec 短音とし、これをドライバーユニット（フォステク D 221）に導き、自由音場で発振させた。そして、これを両側外耳道に夫々同規格のマイクロフォンを組込んだ人の頭部モデル（テクニクス RP-3280E、以下頭部モデルと略す）でとらえ、2チャンネル増幅器（ソニ TC-K 7）を介して被検者の両側外耳道に装着された probe に導くことにより、自由音場で被検者が直接聴したような状態を閉管法で再現した。そしてこのような状態の両耳聴と比較すべき片耳聴の音刺激は、頭部モデルからの左右いずれかの出力を遮断して行った。この遮断した側の probe は装着したままにして置き、耳の役割を果たさせた。

図1 ブロック図（説明本文）

A 頭部モデルの右側外耳道の位置でとらえた音波形

B 頭部モデル及び増幅器を介して probe より発振された音波形

図 2 刺 激 音 波 形

左側の波形は立上りの部分、右側の波形は全体を示しているが、
いずれも A と B にはほとんど差は認められない

図 2 は、自由音場で音源から発振された音を、頭部モデルの右側外耳道に組込んであるマイクロフォンをはずし、鼓膜面に相当する位置にプローブチューブマイクロフォンを置いてとらえた時の音波形と、頭部モデルおよび増幅器を介して probe に導かれて発振された時の音を、同じプローブチューブマイクロフォンでとらえた音波形を示したものであるが、両者間にはほとんど相違を認めていない。また左側についても同様の方法で検討してみたが、やはり右側と同様の結果が得られており、自由音場での音刺激を閉管法で再現し得たことを示している。

2) 記 録 系

音響性耳小骨筋反射の測定は、2 台の acoustic impedance bridge (Madsen ZO-72) で同時に行い、これを 2 台の X-Y レコーダ (渡辺測器 WX 440) で記録した。この際 probe からの音刺激は外部からの出力で行われているため、Madsen ZO-72 に内蔵されているオーディオメータの出力は遮断した状態で行った。また探 査 音 は 220 Hz とした。

以上の装置で実験を行うにあたり、音刺激装置と記録

装置を連動させる目的で、2 台の X-Y レコーダと電子スイッチをパルス発生装置 (日本光電 MSE-20) により駆動し、X-Y レコーダのペンが動き始めてから 1 秒後に音刺激が加わるようにした。また器械の操作音などが頭部モデルを介して被検者の耳に入るのを防ぐため、音源および頭部モデルと被検者および測定器類は夫々異なる防音室に配置した。(図 3, 4)

II 音刺激方法について

図 3 音刺激装置 (自由音場における音源と頭部モデル)

図 4 測定装置

音源と頭部モデルの方向関係は、両耳に入る音の強さ、位相および時間に全く差のない状態、すなわち音源を頭部モデルの正面に置いた場合と、両耳から入る音の違いが最も大きくなるような状態、すなわち音源を頭部モデルの真横に置いた場合の2つの方法を取り、夫々の場合について両耳聴、片耳聴の実験を行うこととし、以下の5つの組合せを設定した。(図5)

すなわち、図5の(1)、(2)は、音源を頭部モデルの正面に置いた場合の両耳聴と片耳聴、(3)、(4)、(5)は、夫々音源を頭部モデルの真横に置いた場合の両耳聴、音源側耳による片耳聴、そして音源と反対側耳による片耳聴である。

また、音源から頭部モデルの頭頂部までの距離は50cmと1mの2種類とし、夫々の距離について前述の(1)～(5)の実験を行った。そして、その時に被検者に与えられる音圧は、音源が正面の場合、両耳共50cmが103dB SPL、

図 5 音源の方向と、その時の両耳聴と片耳聴の組合せ

図 6 音源が正面 50cm の場合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形

1m が 95 dB SPL、音源が真横の場合、音源側耳が夫々 105 dB SPL、99 dB SPL、そして音源と反対側耳では夫々 90 dB SPL、88 dB SPL であった。

Ⅲ 実験対象

両耳とも聴力正常で、耳疾患の既往歴がなく、かつ両耳とも以下に述べる条件のすべてを満たす成人10名を実験対象とした。

- 1) 耳小骨筋反射域値が正常範囲であること。
- 2) static compliance が正常範囲であること。
- 3) reversed reflex の出現がないこと。
- 4) tympanogram がA型であること。

実験成績

I 音源が正面の場合の両耳聴と片耳聴の比較

1) 距離 50cm の場合

図6は、代表例 N.K. における音源が正面 50cm の場

合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形であるが、この時の実測値は、両耳聴時が29mm、片耳聴時が17mmとなり、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きい結果が得られた。

つぎに、代表例を含めた被検者全例について、耳小骨筋反射波形の実測値をもとに、縦軸に両耳聴時のインピーダンス変化量を、横軸に片耳聴時のそれをプロットし

図7 音源が正面50cmの場合の両耳聴と片耳聴の比較

被検者によりインピーダンス変化量にバラツキはあるが、いずれの被検者も両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きい

図8 音源が正面1mの場合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形

図9 音源が正面1mの場合の両耳聴と片耳聴の比較

距離50cmの場合と同様いずれの被検者も両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きい

てみると図7のごとくになる。

被検者により、両耳聴、片耳聴いずれもインピーダンス変化量にかなりのバラツキはあるが、いずれの例も代表例に見られたごとく、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きいことがわかった。

2) 距離1mの場合

図8は、同じ代表例における音源が正面1mの場合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形、そして図9は、代表例を含めた被検者全例についての両耳聴時と片耳聴時のインピーダンス変化量を、距離50cmの場合と同様の方法で比較して見たものである。

やはり被検者により、両耳聴、片耳聴いずれもインピーダンス変化量にバラツキはあるものの、全例に共通して距離50cmの場合と同様、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きい結果が得られた。

Ⅱ 音源が真横の場合の両耳聴と片耳聴の比較

1) 距離50cmの場合

図10は、同じ代表例における音源が真横50cmの場合の両耳聴時と片耳聴時に得られた耳小骨筋反射波形であり、表1は、代表例を含めた被検者全例のインピーダンス変化量を、耳小骨筋反射波形の実測値で表わしたものである。

そこで、音源が真横の場合は、両耳聴、片耳聴夫々の場合の両耳聞すなわち音源側耳と、音源と反対側耳のイ

図10 音源が真横 50cm の場合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形

表 1 音源が真横 50cm の場合の両耳聴時と片耳聴時のインピーダンス変化量（実測値）

被検者		測定耳											
		N. K	M. H	T. T	M. S	Y. S	K. K	Y. O	S. O	I. M	Y. K		
両耳聴	音源側耳	28	30	10	20	30	17	68	65	50	55		
	音源と反対側耳	26	23	9	14	23	15	56	64	41	38		
片耳聴	音源側耳	25	38	9	16	34	12	63	62	45	57		
	音源と反対側耳	10	6	4	6	15	4	26	23	6	6		

(単位 mm)

表 2 音源が真横 1m の場合の両耳聴時と片耳聴時のインピーダンス変化量（実側値）

被検者		測定耳											
		N. K	M. H	T. T	M. S	Y. S	K. K	Y. O	S. O	I. M	Y. K		
両耳聴	音源側耳	20	22	8	9	18	11	57	57	23	26		
	音源と反対側耳	18	12	7	8	15	10	53	54	20	22		
片耳聴	音源側耳	19	29	7	7	22	5	51	54	22	34		
	音源と反対側耳	6	3	3	4	8	3	21	8	5	3		

(単位 mm)

ンピーダンス変化量の差を求め、これらを比較することで両耳聴と片耳聴の違いを検討して見た。

まず代表例 N. K. について検討して見ると、両耳聴の場合の音源側耳および音源と反対側耳の実測値は夫々 28mm, 26mm, 片耳聴の場合は夫々 25mm, 10mm となり、両耳間のインピーダンス変化量の差は両耳聴時の

方が片耳聴時よりも小さく、しかも常に音源側耳の方が音源と反対側耳よりもインピーダンス変化量が大い結果が得られた。

次に表 1 をもとに、代表例を含めた被検者全例について同様の方法で両耳聴、片耳聴夫々の場合の両耳間のインピーダンス変化量の差を求め、縦軸に両耳聴時、横軸

に片耳聴時の値をプロットして見たのが図11である。

被検者により、両耳聴、片耳聴夫々の場合の両耳間のインピーダンス変化量の差にバラツキはあるものの、代表例に見られた現象が全例に共通して認められた。

2) 距離 1 m の場合

図12は、同一代表例における音源が真横 1 m の場合の両耳聴と片耳聴の耳小骨筋反射波形であり、表2は代表例を含めた被検者全例について得られたインピーダンス変化量を実測値で表わしたものである。

そこで、距離 50cm の場合と同様の方法で両耳聴と片耳聴の比較をして見ると図13のごとくになる。

やはり被検者により両耳聴、片耳聴夫々の場合の両耳間のインピーダンス変化量の差にバラツキはあるものの、全例に共通して距離 50cm の場合と同様、両耳間のインピーダンス変化量の差は、両耳聴時の方が片耳聴時よりも小さく、しかも常に音源側耳の方が音源と反対側耳よりもインピーダンス変化量が大きいうち結果が得られた。

考 按

I 実験方法について

音響性耳小骨筋反射については、1878年 Hensen⁴⁾ が犬の鼓膜張筋で観察して以来、各種動物、人を対象として多くの研究が行われて来た。これらの研究で行われた音響性耳小骨筋反射の観察法としては、直視法、光学的測定法、筋電図学的測定法、外耳道圧測定法、蝸牛電気反応測定法、インピーダンス変化測定法などがあるが、

実験対象を人とした場合には、直視法、筋電図学的測定法などのように外科的操作を加えて直接観察するのは困難なため、外耳道圧測定法、インピーダンス変化測定法

縦軸：両耳聴時の音源側耳と、音源と反対側耳のインピーダンス変化量の差

横軸：片耳聴時の音源側耳と、音源と反対側耳のインピーダンス変化量の差

図11 音源が真横 50 cm の場合の両耳聴と片耳聴の比較

被検者により、両耳聴、片耳聴いずれもその値にバラツキはあるが、全例両耳聴時の方が片耳聴時よりも両耳間のインピーダンス変化量の差が小さい

図12 音源が真横 1 m の場合の両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射波形

縦軸：両耳聴時の音源側耳と、音源と反対側耳のインピーダンス変化量の差
横軸：片耳聴時の音源側耳と、音源と反対側耳のインピーダンス変化量の差

図13 音源が真横1mの場合の両耳聴と片耳聴の比較

距離 50 cm の場合と同様、いずれの被検者も両耳聴時の方が片耳聴時よりも両耳間のインピーダンス変化量の差が小さい

などの間接的な方法が用いられている。

このうち、今回著者が用いたインピーダンス変化測定法は、Metz(1951)⁹⁾、Jepsen(1951)⁶⁾、Møller(1958)⁷⁾、Terkildsen et al(1960)⁸⁾、Zwislocki(1961)⁹⁾等の基礎的研究を経て実用化され、今やルーチンの臨床検査法として広く利用されつつあるが、従来の装置は測定耳と反対側から音刺激を与える仕組み（いわゆる contralateral stimulation）であった為、著者のごとく測定耳からの音刺激をも必要とする両耳聴時の耳小骨筋反射の観察は不可能であった。しかし最近になり測定耳からの音刺激（いわゆる ipsilateral stimulation）も行えるように改良された装置が製品化されたので、今回の実験はこのタイプである Madsen ZO-72 を用いて行った訳である。

この acoustic impedance bridge Madsen ZO-72 は、この装置の測定原理上、耳小骨筋反射の大きさを絶対的な物理量としてとらえることは出来ないが、X-Y レコーダ上に記録された反応の大きさ（実測値）が相対的な量としてのインピーダンス変化量の意味を持つようになっている。そこで、今回の実験では、実際に X-Y レコーダ上に記録された反射波形の実測値をインピーダンス

変化量として検討を行い、acoustic impedance bridge の感度目盛、および X-Y レコーダの記録条件は実験を通して常に一定の値に固定して行った。

次に、両耳聴についての実験を行う場合の音刺激法についてであるが、大別すると free field method と earphone method があり、生理的な状態での両耳聴の観察の場合は free field method が、両耳から入る音の時間差と音圧差を分離して音呈示して音方向感成立機序の解析などを目的とする場合には earphone method が適している。

今回著者が目的としたのは生理的な状態での両耳聴の検討であるので free field method による音刺激を必要とした訳であるが、インピーダンス変化測定法で音響性耳小骨筋反射を観察する為には外耳道を probe で密閉することになり、free field method による実験が行えぬ理由から、これを可能ならしめるように若干の工夫を行った。

すなわち、自由音場で与えられた刺激音を人頭大の頭部モデルの両側外耳道に組込んである2つのマイクロフォンでとらえ、2チャンネル増幅器を介して被検者の両側外耳道に装着された probe に導くことにより、自由音場で被検者が直接刺激音を聴取したような状態を再現した訳である。

このように、自由音場で与えられた音を2つのマイクロフォンを組込んだ頭部モデルを介してイヤフォンで与える方法は、久保田(1957)¹⁰⁾、服部ら(1969)¹¹⁾が音方向感等に関する実験で用いており、被検者に直接音を与えるのはイヤフォンであるが、内容的には前述の earphone method とは異なり、むしろ free field method というべきである。著者は、頭部モデルには被検者の外耳道に装着された probe の先端の位置とほぼ等しい部位に小型のマイクロフォンが組込まれている精度の高いものを用い、出来るだけ忠実に自由音場の音刺激を再現するよう心掛けた。

Ⅱ 今回の実験で認められた現象の成立機序について
両耳聴時の音響性耳小骨筋反射について実験的研究を行った多田³⁾は、耳小骨筋の生理的機能として従来最も一般的に容認されている内耳保護作用のみでは説明のつかない現象を見出し、この現象は、従来行われて来た一側耳音刺激の状態だけではなく両耳聴の状態についても検討することではじめて見出し得るものであるとし、耳小骨筋は音方向知覚に参与する中耳内機構ではないかと推論した。しかしながら、その後も両耳聴時の耳小骨筋

反射についての報告は見当らず、この考えが一般的に容認されているとは言い難い。

そこで、今回著者は人の両耳聴時と片耳聴時における耳小骨筋反射をインピーダンス変化測定法によって観察した訳であるが、実験対象、測定方法および成績についての表現方法は異なるものの、多田が見出したものとはほぼ同様の現象を被検者全例に共通して認めることが出来た。

すなわち、1) 音源が正面の場合、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大いこと（以下現象Ⅰと略す）、および 2) 音源が真横の場合、両耳間のインピーダンス変化量の差は両耳聴時の方が片耳聴時よりも小さく、しかも常に音源側耳の方が音源と反対側耳よりもインピーダンス変化量が大いこと（以下現象Ⅱと略す）の2つの現象である。

そこで、この2つの現象の成立機序について少しく考察してみたい。

現象Ⅰは、音源が正面の場合、すなわち左右耳に同時に同一音が入った場合の両耳聴と、この時に一側耳の刺激音を遮断した片耳聴の場合のインピーダンス変化量を比較した時に見られた現象であり、現象Ⅱは、音源が真横の場合、すなわち左右耳に入る音に音圧差、時間差、位相差などの違いが生じた場合の、両耳聴、片耳聴夫々の実験条件下における両耳間のインピーダンス変化量の差を比較した時に見られた現象である。

このように、現象Ⅰ、Ⅱは、夫々音刺激条件が異なる状態で認められたものであるが、いずれにせよ両耳聴と片耳聴の違いを観察することで認められた現象であることには変わりはない。すなわち、両耳聴におけるインピーダンス変化量とは、測定耳のみならず反対側耳にも何らかの音刺激が与えられた状態で得られたものであるのに対し、片耳聴時のインピーダンス変化量とは、反対側耳からの音刺激がなく測定耳のみの音刺激で得られたものであるということである。従って、これらの両耳聴で見られた現象は、一に反対側耳の音刺激の影響が、耳小骨筋を介して測定耳のインピーダンス変化量に影響を及ぼしたために起って来たものと考えられる。

その成立機序について多田³⁾は、両耳聴における両耳相互作用が最初に行われる上オリーブ核複合体が耳小骨筋の反射弓内にあることより、ここで行われた両耳相互作用が耳小骨筋反射に反映したものであろうと推論している。

音響性耳小骨筋反射が両側性反射弓を有することは現

在広く容認されているところであるが、その反射弓について Hammerschlag (1899)¹²⁾、Møller (1961)¹³⁾、Keidel (1966)¹⁴⁾らは一致して次のごとく述べている。

すなわち、同側反射弓については、同側音刺激→同側蝸牛→同側蝸牛神経核→同側上オリーブ核→同側顔面神経核および三叉神経核→同側耳小骨筋反射収縮。

また反対側反射弓については、同側音刺激→同側蝸牛→同側蝸牛神経核→同側上オリーブ核→台形体→反対側上オリーブ核→反対側顔面神経核および三叉神経核→反対側耳小骨筋反射収縮、のごとくである。

一方両耳聴については、従来神経解剖学的、神経生理学的、心理生理学的検索が種々行われて来ており、この間にあって聴覚求心路の交叉性、非交叉性線維が最初に会合するのは上オリーブ核複合体、特にその中の副核であるということ¹⁵⁾、また両耳聴における両耳相互作用がこの場所において行われていることが立証されており¹⁶⁾、その後このことを支持する報告も多く見られる^{17)~20)}。

すなわち、上オリーブ核付近はその微妙な生理作用によって両耳聴の生理に重要な意味を持つことが明らかにされている。しかもこの部位は耳小骨筋反射弓の経路内であり、Møller¹³⁾が述べたごとく、音響性耳小骨筋反射がこの部位の nervous activity を反映した状態で出現するとすれば、両耳聴時に、この部に起る両耳相互作用が何らかの形で両耳の耳小骨筋反射に影響を及ぼすだろうことは推論しうるであろう。

したがって、今回認められた現象Ⅰ、Ⅱの成立機序に関与する場として上オリーブ核付近を想定することが適当であろうと考える。

Ⅲ 今回の実験で認められた現象の意義について

今回の実験で認められた現象の意義を考える場合、まず従来言われている耳小骨筋の生理作用について考える必要があろう。

従来報告されている耳小骨筋機能の諸説を人別すると、intensity control theory, frequency selection theory, labyrinthine pressure theory, fixation theory の4つに分けられるが、これらのうち特に intensity control theory が一般的に容認されている。そして、この説には本来伝音効果増強作用も含まれているのであるが、現実には音響強度を減衰の方向に調節する作用が重視され、内耳を強大音から保護するという、いわゆる protection theory^{21)~31)}として理解されている。

これらのうち、とくに、過大音響曝露に対する猫の耳小骨筋反射を観察し、耳小骨筋反射が平均以上のものは

反射の貧弱なものより damage が少なかったと述べた Simmons (1963)³²⁾ の報告,あるいは、騒音職場で働く人の耳小骨筋反射を観察し、聴力の低下を来たきなかった群は音響外傷を受けた群に比し著しく耳小骨筋反射が大きかったと述べた中田(1968)³¹⁾の報告を見る時、やはり耳小骨筋の機能としては、まず第1に、強大音より内耳を保護する作用を有すると考えるのが妥当であろう。

しかしながらこのような考えは、今回の著者の片耳聴の実験条件のごとく、いずれも各一側耳内、すなわち反対側耳からの音の影響がない状態における耳小骨筋の作用を検討して得られたものであり、今回の著者の両耳聴の実験条件、すなわち両耳から入った音が、同側のみならず夫々反射弓を介して他側の耳小骨筋にも影響を及ぼした状態で検討し得られたものではないことに留意する必要がある。

したがって、今回著者が両耳聴時と片耳聴時の耳小骨筋反射の違いをインピーダンス変化測定法で観察することによって認められた現象Ⅰ、Ⅱは、従来言われている内耳保護作用以外の立場からも考察を進めてみる必要があると考える。

1) 現象Ⅰについて

まず現象Ⅰ、すなわち音源が正面の場合、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きいこと、についてであるが、このことは両耳に、同時に同一音が入った方が片耳から入った場合よりもインピーダンス変化量が大きいということである。

従来、両耳に同一の音刺激を与えた場合両耳加重現象が生じることが種々の心理生理学的、電気生理学的検索で確認されており、その報告も多く見られる^{32)~37)}。これらのうち Hall(1964)³⁶⁾は、上オリーブ核複合体の副核ニューロンで両耳加重現象の存在を認めている。

したがって、両耳相互作用が最初に行われる上オリーブ核複合体が耳小骨筋反射弓の経路内にあることを考えれば、現象Ⅰは、両耳相互作用の結果生じた両耳加重現象が耳小骨筋反射に反映したことにより認められたものであると推察することが出来る。

2) 現象Ⅱについて

つぎに現象Ⅱ、すなわち音源が真横の場合、両耳間のインピーダンス変化量の差は両耳聴時の方が片聴時よりも小さく、しかも常に音源側耳の方が音源と反対側耳よりもインピーダンス変化量が大きいこと、がいかなる意義を持つのかということについて考察してみたい。

今回著者が耳小骨筋反射測定の指標としたインピーダ

ンス変化量は、鼓膜および中耳伝音系の音響抵抗としての意味を持っており、その変化量が大きい程音響抵抗が大きいことを示している。したがって、鼓膜に到達した音がどの程度減衰されて内耳に伝わるかは、耳小骨筋が反射収縮を起した時のインピーダンス変化量に左右されることになる。

そこで、このような見地より現象Ⅱを考察するならば、強大音刺激を与えた場合、両耳聴、片耳聴いずれにしても鼓膜面に到達した音が減衰されて内耳に伝達されることに変わりはないが、両耳間のインピーダンス変化量の差が小さい状態である両耳聴は、その差が大きい片耳聴に比し、両耳間の鼓膜面の音圧差を出来るだけ保ちながら内耳に伝えるという点に関しては明らかに有利であると考えることが出来る。換言すれば、耳小骨筋が収縮することによって減衰されて内耳に到達した時の両耳間の音圧差は、片耳聴時よりも両耳聴時の方が鼓膜面の音圧差により近くなるということである。

ただ今回著者が行ったインピーダンス変化測定法では、左右鼓膜面の音圧差は測定可能であるが、減衰されて内耳に到達した時の音圧差は測定不可能であり、その差が実際のどの程度なのかということについては言及出来

図14 片耳聴時および両耳聴時の鼓膜面の音圧と耳小骨筋収縮時に内耳に伝達される音圧との比較(多田による)

ない。そこで、このことを家兎について、蝸牛電気反応を指標として観察した多田³¹⁾の成績を図に示すことで説明してみたい。

これによると、左右の鼓膜面の音圧差が5 dBの場合、減衰されて内耳に到達した時の音圧差は片耳聴で2.0 dB、両耳聴で4.5 dBとなっており、明らかに両耳聴の方が夫々の鼓膜面をうった音を、鼓膜面の音圧差により近い状態で内耳に伝達しているという結果が得られている。したがって、この成績は著者の推論の妥当性を裏付けるものと解釈することが出来る。

そこで、以上述べて来た現象Ⅱについての検討結果をまとめると次のごとくである。

両耳で音を聴く際に、ある音圧差を持って左右の鼓膜面に到達した音が夫々減衰されて内耳に伝えられる場合、片耳聴時の実験のごとく、他側に入った音の影響を受けないで耳小骨筋が収縮するのであれば、その音圧差は鼓膜面到達時の音圧差よりもかなり小さくなる。しかしながら、より生理的な状態である両耳聴では、耳小骨筋が両側性反射弓を有するが故に、同側のみならず他側に入った音の影響をも夫々の耳小骨筋が受けて収縮することにより、左右耳に入った音が、鼓膜面の音圧差に近い値を保ったまま内耳に伝達されると考えることが出来る。

然らばこのように考えた耳小骨筋の働きは日常生活の中でいかなる意味を持つのであろうか。

このことを考えるにあたり、今回の現象が両耳聴について検討した結果得られたものであることに再度注目する必要がある。

すなわち、両耳聴の機能としては、音の方向感、両耳加重効果、両耳分離能、両耳合成能などがあるが³⁸⁾、中でも音の方向感は最も顕著な現象であり、日常生活においても重要な役割を果たしている³⁹⁾、ということであり、また両耳聴時の耳小骨筋反射に影響を及ぼすだろうと推定した上オリーブ核複合体が音方向知覚に大きく関与している¹⁶⁾¹⁷⁾²⁰⁾³⁶⁾³⁹⁾ということである。

したがって、両耳聴による音の方向感の要素として、左右耳の強度差、時間差、位相差^{20)38)40)~42)}が言われていることを考える時、強大音を両耳で聴取した場合、左右耳の耳小骨筋が、同側のみならず反対側耳からの音でも影響を受けて反射性収縮を起すことによって、その強大音を夫々の鼓膜面の音圧差に近い値を保ったまま減衰して内耳に伝えることが出来るという著者の検討結果は、内耳を保護すると同時に、音方向感の要素の1つで

ある強度差にも関連を有しているのではないかと考えるのはあながち無理なことではないであろう。

さらに、耳小骨筋が位相および強度の繊細な調整を行うことにより、沢山の音源のどれか1つに頭を固定し自分の注意を向けることを可能にしているのではないかとしたLawrence (1965)⁴³⁾の“rotation of attention theory”もあることを考えれば、反射性の器官として聴覚の一部を構成する耳小骨筋に、多田³¹⁾が推論したごとく、内耳保護作用以外にも聴覚の本質的作用である音方向知覚に関与する働きがあることも考えてよいと思われる。

総括並びに結語

自由音場における人の両耳聴時と片耳聴時の音響性耳小骨筋反射の態度をインピーダンス変化測定法を指標として観察し、次のごとき結果を得た。

1) 音源が正面の場合、両耳聴時の方が片耳聴時よりもインピーダンス変化量が大きいこと(すなわち現象Ⅰ)を認めた。

2) 音源が真横の場合、両耳間のインピーダンス変化量の差は両耳聴時の方が片耳聴時よりも小さく、しかも常に耳源側耳の方が音源と反対側耳よりもインピーダンス変化量が大きいこと(すなわち現象Ⅱ)を認めた。

3) 今回の実験において見出された現象Ⅰ、Ⅱは、いずれも上オリーブ核付近で生じた両耳相互作用が両側性反射弓を有する耳小骨筋反射に影響を及ぼした結果起ったものと推論した。

4) 今回の実験において見出された現象Ⅰの意義は、両耳相互作用の結果生じた両耳加現象が耳小骨筋反射を観察することで確認されたことにあったと考えた。

また現象Ⅱは、強大音が両耳に入った場合、耳小骨筋が両耳相互作用を反映した状態で反射的に収縮することによって、その強大音を夫々の鼓膜面の音圧差に近い値を保ったまま減衰して内耳に伝達することが出来るという点にあると考えた。このことから、音響性耳小骨筋反射は、強大音聴取時に、内耳を保護すると同時に音方向知覚にも関与するものであろうと推論した。

参考文献

- 1) *Hammerschlag V*: Ueber den Tensorreflex. *Ohrenh.* 46; 1-13, 1899.
- 2) *Lüscher E*: Die Funktion des Musculus stapedius beim Menschen. *Ztschr Hals-Nasen-u. Ohrenh.* 23; 105-132, 1929.

- 3) 多田悦巳: 両耳聴時の耳小骨筋反射に関する実験的研究. 日耳鼻 71: 729-750, 1968.
- 4) *Hensen V*: Beobachtungen Über die Tätigkeit des Trommelfellspanners bei Hund und Katze. Arch f Anat Physiol 2: 312-319, 1878.
- 5) *Metz O*: Studies on the contraction of the tympanic muscles as indicated by changes in the impedance of the ear. Acta Otolaryng 39: 397-405, 1951.
- 6) *Jepsen O*: The threshold of the reflexes of the intratympanic muscles in normal material examined by means of the impedance method. Acta Oto-laryng 39: 406-408, 1951.
- 7) *Møller A R*: Intra-aural muscle contraction in man, examined by measuring acoustic impedance of the ear. Laryngoscope 68: 48-62, 1958.
- 8) *Terkildsen K et al*: An electroacoustic impedance measuring bridge for clinical use. Arch Otolaryng 72: 339-346, 1960.
- 9) *Zwislocki J*: Acoustic measurement of the middle ear function. Ann Otol Rhinol Laryngol 70: 599-606, 1961.
- 10) 久保田 肇: 中枢神経性難聴の鑑別診断に関する臨床的考察. 日耳鼻 69: 1953-1980, 1957.
- 11) 服部 浩 他: 耳科臨床用簡易方向感テスト法. 耳鼻臨床 62: 89-95, 1969.
- 12) *Hammerschlag V*: Ueber die Reflexbewegung des Musculus tensor tympani und ihre zentralen Bahnen. Arch f Ohrenh. 47: 251-275, 1899.
- 13) *Møller A R*: Bilateral contraction of the tympanic muscles in man. Ann Otol Rhinol Laryngol 70: 735-752, 1961.
- 14) *Keidel W D*: Anatomie und Electrophysiologie der zentralen akustischen Bahnen. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Band 3 Teil 3: 2013-2019, 1966.
- 15) *Stotler W A*: An experimental study of the cells and connections of the superior olivary complex of the cat. Comp Neurol, 98: 401-423, 1953.
- 16) *Galambos R et al*: Microelectrode study of superior olivary nuclei. Amer J Physiol 197: 527-536, 1959.
- 17) *Von Bergeijk W A*: Variation on a theme of Békésy: A model of binaural interaction. J Acoust Soc Am 34: 1431-1437, 1962.
- 18) 竹尾康男: 音の聴えの方向感に関する研究. 日耳鼻 67: 1272-1283, 1964.
- 19) 松崎 力: 聴覚方向感の発現機構に関する一考察. 耳展 9: 467-470, 1966.
- 20) 山本悦生: 両耳聴に関する電気生理学的実験の文献回顧, 耳鼻臨床 60: 387-393, 1967.
- 21) *Wiggers H C*: The function of the intraaural muscles. Amer J Physiol 120: 771-780, 1937.
- 22) *Weber E G et al*: The effect of the tympanic muscles upon sound transmission. Acta Otolaryng 45: 433-439, 1955.
- 23) 沢田信敏: 鼓室耳小筋の作用に就いて. 耳と臨 2: 196-199, 1955.
- 24) 江崎泰男: 音響鼓室小骨筋反射に関する実験的研究 耳と臨 4: 24-48, 1958.
- 25) *Simmons F B*: Middle ear muscle protection from the acoustic trauma of loud continuous sound. Ann Otol Rhin Laryngol 69: 1063-1071, 1960.
- 26) 河田藤治: 耳小骨筋の鼓膜及び耳小骨連鎖に及ぼす機械的影響に関する研究. 耳と臨 7: 201-214, 1961.
- 27) 伊藤 弘: 鼓室小骨筋の内耳保護作用に関する実験的研究. 日耳鼻 60: 1085-1095, 1957.
- 28) *Simmons F B*: Individual sound damage susceptibility. Ann Otol Rhin Laryngol 72: 528-547, 1963.
- 29) 永井 武: 耳小骨筋機能に関する実験的研究. 日耳鼻 71: 500-534, 1968.
- 30) 中田将風: 音響性耳小骨筋反射に関する研究. 日耳鼻 71: 1658-1669, 1968.
- 31) 中田将風: 音響性耳小骨筋反射に関する研究. 日耳鼻 71: 1670-1683, 1968.
- 32) *Reynolds G S et al*: Binaural summation of loudness. J Acoust Soc Am 32: 1337-1344, 1960.
- 33) *Marks L E*: Binaural summation of the loudness of puretones. J Acoust Soc Am 64: 107-113, 1978.
- 34) *Dermody P et al*: Loudness summation with binaural hearing aids. Scand Audiol 4: 23-28, 1975.

- 35) *Blegvad B*: Binaural summation of surface-recorded electrocochleographic responses. *Scand Audiol* 4: 233-238, 1975.
- 36) *Hall J L*: Binaural interaction in the accessory superior olivary nucleus of the cat. Cambridge, Mass. Massachusetts Institute of Technology, Technical Report 416, 1964. 山本悦生: 両耳聴に関する電気生理学的実験の文献回顧. 耳鼻臨床 60: 387-393, 1967 より引用.
- 37) 細田岩雄: 両耳聴現象の臨床的研究. 耳鼻臨床 62: 1007-1029, 1969.
- 38) 藤垣 熙: 音方向感の研究. 耳鼻臨床 62: 1459-1483, 1969.
- 39) 下山高生: 方向感に関する基礎的研究. 日耳鼻 79: 459-477, 1976.
- 40) 田村節治: 聴覚による方向識別に関する研究. 岡山医学雑誌 66: 425-429, 1954.
- 41) 大内仁他: 聴覚による音方向知覚に関する研究. 日耳鼻 60: 241-249, 1957.
- 42) 竹尾康男: 音の聴えの方向感に関する研究. 日耳鼻 67: 106-117, 1964.
- 43) *Lawrence M*: Middle ear muscle influence on binaural hearing. *Arch Otolaryng.* 82: 478-482, 1965.

稿を終るに臨み、御指導御校閲を賜った恩師大内 仁教授に深甚なる謝意を表わすと共に、研究に際し、終始御指導、御協力並びに御助言を頂いた小川克二助教授に心から感謝致します。更に御協力を頂いた福島県立医科大学耳鼻咽喉科学教室諸氏に感謝致します。

なお本論文の要旨は、第79回日耳鼻総会学術講演会において発表した。

(原稿受付 昭和 55. 5. 7日 急載)

別刷請求先 〒960 福島市杉妻町 4-45

福島県立医科大学耳鼻咽喉科学教室 小玉直志