ABNORMAL BÉKÉSY TRACINGS IN EARS WITH SENSORINEURAL DEAFNESS

By

TOKURO SUZUKI, M.D.

*From the Department of Otolaryngology, Faculty of Medicine,
Shinshu University, Matsumoto*

Amplitude of fixed-frequency Békésy tracing in normal and abnormal ears was discussed. The paper covers following items: (1) components of amplitude of Békésy tracing, (2) normal amplitude for continuous and interrupted tones, (3) abnormal narrow amplitude in the ears with sensorineural deafness, (4) relation between narrow amplitude

and recruitment phenomenon, (5) narrow amplitude and frequency of test tones, (6) narrow amplitude for continuous and interrupted test tones, (7) decrease in amplitude in normal ears after exposure to loud tones, (8) relation between narrow amplitude and abnormal auditory adaptation.

感音性難聴が Békésy オージオグラム上に 示す異常現象に関連して

信州大学医学部耳鼻咽喉科学教室教授

鈴木 篤 郎
すずき とく ろう

目 次

1. 緒 言
2. 振幅の構成
3. 正常振幅
4. 持続音振幅と断続音振幅
5. 感音性難聴における異常振幅
6. 振幅縮小と recruitment
7. 振幅変調脈音による振幅縮小の消長
8. 正常耳音響負荷後の振幅縮小
9. 結 語

1. 緒 言

1947 年 Békésy²⁾ によつて発表された連続周波数自記オージオメータ (Békésy オージオメータ) は、その後一般閾値測定のために使用されるよりは、難聴の鑑別診断のための一つの新しい手段として検討され、その見地から多くの研究がなされてきた。わが国においても立木²⁰⁾、志井田¹⁷⁾、田口¹⁹⁾、小関¹²⁾等の業績をはじめいくつかの研究が発表されている。

現在、鑑別診断という観点に立つて Békésy オージ

オグラムを見る時、感音性難聴のあるものに出現する次の二つの特異な現象を指摘することができる。それは、

1. 振幅の異常縮小

2. 固定周波数閾値が時間の経過と共に上昇する現象である。この2現象は共に正常耳、伝音性難聴耳には殆んど認められず、感音性難聴に特有な現象である。これらがいかなる異常聴覚機構と結びついておるのか、又感音性難聴の細別診断上いかなる意味を有するのか等の問題については既にかなり詳細な検討がなされているが、決定的判断を下せる程の材料が得難く、なお意見の一致を見ない部分も残っている。それは動物実験や剖検による確証を得ることの困難なこの種の心理学的研究手段のもつ共通した制約によるものであろう。ここでは特にこの2項目中の振幅とその異常縮小に関する若干の問題を取上げて検討して見たい。

2. 振幅の構成

Békésy²⁾ は自己のオージオメータを発表した論文で、このオージオグラムの示す鋸歯状振幅を音の強さの弁別閾値 (difference limen, 以下 DL) という言葉に

置きかえて記載している。Békésy 自身この DL という言葉を厳重な意味での DL と同意義で使ったかどうかは疑問であるが、その後多くの研究者^{15) 16)}は少なくとも振幅と DL を密接な関係のあるものと見做してきている。

これに対して Hirsh, Palva & Goodman⁶⁾は振幅は DL を測定しているのではなく、絶対閾値の周閉の変動を示すものであるとし、Landes⁹⁾もその実験成績から同じ意見を発表している。

振幅が DL と密接な関係があるかどうかは別として、振幅が音のきこえはじめのレベルときこえなくなるレベルとの間の幅（これを閾値幅と呼んでおく）を示そうとしていることは間違いない。ただ Békésy オージオグラム上の振幅はこの閾値幅がそのまま示されているのではなく、その他の要因もすべて dB 値に換算されて組込まれていることに注意せねばならぬ。そしてそれは坂本¹⁶⁾の指摘したような被検者の注意力、慣れ、精神機能、反応時間等種々のものによつて左右されるものであろう。Békésy²⁾自身もすでに閾値音が full loudness に達するまでに 0.5～1.0 秒、さらにスイッチをおすまでに 0.2 秒を要することを指摘している。一つの振幅値のなかにはこのような時間的要素が 2 度含まれることになるから、上記 Békésy の示した時間数を 2 倍して dB 値に換算すると、その合計はオージオメータのレベル推移速度が 2dB/sec であれば 2.8～4.8dB ということになる。

このような（広い意味での）反応時間を知るためには閾値に近い音の断続による反応時間を測定し、それから推定するのが最も簡単である。坂本¹⁶⁾は閾値上 5dB の音の断続と、それによつて被検者がスイッチを操作するまでの時間の dB 換算値（はみだし）を直接 Békésy オージオグラム上で測定し、この値はレベル推移速度 2dB/sec で 2～4dB であり、これを除いた真の閾値幅は約 2.5dB であると報告している。われわれは正常耳における Békésy 振幅の構成について検討する目的で次のⅠ、Ⅱ、Ⅲの観察を試みた。

観察Ⅰ（A）上記坂本氏法の追試。但し同氏の実験方法は音の断続を行う検者の側の反応時間が測定値へ混入する可能性があると思われたので、反応時間を 2 現象オシロスコープに撮影された刺激音及びスイッチ操作の両波形より測定した。（B）閾値上 5dB の音の手動による任意断続に対する反応時間の測定。

正常 4 耳による成績は第 1 表に示すごとく、両方法共

第 1 表 1000cps, 5dB SL 音の断続に対する反応時間—観察Ⅰ

被検者	観 察 A		観 察 B	
	off	on	off	on
a	0.64*	0.36	0.62	0.45
b	1.07	0.60	0.82	0.58
c	1.17	0.61	1.00	0.81
d	0.28	0.47	0.52	0.45

* 数値は 15～25 回の平均測定値、単位秒

ほぼ同一成績で、on, off 反応時間を合計し、dB 値に換算すると、レベル推移速度 2dB/sec の場合 1.5～3.6 dB となつた（新井峻）。

観察Ⅱ： Békésy オージオ検査の際の音感の出現、消失は音の増強、減弱によるものであつて、音の断続によるものではない。上記の観察はこの点で問題がある。そこで音の断続の代りに音の増強、減弱を利用し、少しでも実際の状態に近づこうと試みた。即ち被検耳がある強さの音を基準に、これを 5dB 減弱、復元を繰返した際にそれに伴つて音感の消失、出現を繰返すような強さの音を求め、5dB の変化に対する音感の消失、出現によつてスイッチを操作させ、その反応時間を前記 4 耳について測定した。第 2 表がその成績で、この値を同じように on, off 合計して dB 値にすると、レベル推移速度 2dB/sec の場合で 2.7～4.7dB となり、観察Ⅰの音の断続の場合よりやや大きい値を示すようになった（新井峻）。

第 2 表 1000cps 閾値音の 5dB 変化に対する反応時間—観察Ⅱ

被 検 者	減	増
a	1.02	1.07
b	0.96	0.66
c	1.22	1.13
d	0.49	0.84

観察Ⅲ： 上記Ⅰ及びⅡと全く異つた見地から Békésy 振幅の構成を検討して見た。Békésy オージオグラムのレベル推移速度 1dB/sec と 2dB/sec の際の振幅を同一人で比較すると、常に後者の方が大きい。これは振幅の中に時間的要素が含まれており、この部分が 2dB/sec の場合に 2 倍の振幅として換算されるため

あると解せられる。そこで Békésy 振幅を時間と無関係の真の閾値幅 (T) とそれ以外のすべての時間的要素の dB 換算値 (R) とより構成されているものと考え、そしてこの場合の R は推移速度 1dB/sec の場合に (R/2) になるものとする。

推移速度 1dB/sec 及び 2dB/sec の際の振幅を A_1 , A_2 とすると、

$$A_1 = T + R/2$$

$$A_2 = T + R$$

従つて

$$T = 2A_1 - A_2$$

$$R = 2(A_2 - A_1)$$

と、閾値幅及び反応時間 (dB 換算値) が計算される。

正常耳 10 耳につき 1000cps での測定成績を第 3 表に示すが、このようにして計算すると閾値幅は 0.1~1.7 dB (平均 0.97dB) とかなり小さく、これ以外の時間的要因はレベル推移速度 2dB/sec の場合には 3.0~6.6dB (平均 4.56dB) に達し、上記 I・II の成績よりさらに大きい値が得られた。

第 3 表 レベル推移速度による振幅差から算出された閾値幅と反応時間 (1000cps) — 観察 III

被 検 者	振 幅 (dB)		閾 値 幅 (dB)	反 応 時 間 (dB)
	1dB/sec	2dB/sec		
1	4.1	6.9	1.3	5.6
2	3.5	5.5	1.5	4.0
3	3.0	5.5	0.5	5.0
4	3.3	5.9	0.7	5.2
5	3.4	6.7	0.1	6.6
6	3.7	5.7	1.7	4.0
7	3.0	5.6	0.4	5.2
8	2.7	4.2	1.2	3.0
9	2.9	4.7	1.1	3.6
10	2.9	4.6	1.2	3.4
平 均	3.25	5.53	0.97	4.56

勿論この成績は Békésy 振幅を一定の仮定の下に構成した上で得られたもので、厳密に云えばやはり一種のモデル実験にすぎない。さらに本観察は 2dB step のオーディオメータを使用しながら step による影響を顧慮していない点にも問題がある。しかしこの成績によれば Békésy オーディオメータにおいても真の閾値幅というものは実際はかなり小さいものではないだろうかと

いう推測も生れてくるので、今後さらに条件をととのえて十分な検討を加えて見る必要があろう (新井峻, 坂部長正)。

3. 正常 振 幅

振幅の異常縮小を論ずるためには、その前提としていかなるものを正常とするかの範囲を決定せねばならぬ。従来 Békésy オーディオグラムの正常振幅に関する記載として、Lundborg¹¹⁾ は 50 の正常耳より 6~12dB (多くは 6~9dB) の値を出し、Liere & Reger¹⁰⁾ は正常耳振幅を 4~10dB としている。Palva¹²⁾ は 16 人の正常耳を使用して各周波数ごとに測定し、かなり大きい個体差のあることを示したが、5dB 未満の振幅を示す例は 1 例に過ぎなかつたことから、Palva は 5dB をもつて正常振幅の限界とした。田口¹³⁾ も 5dB 未満を異常縮小としたが、小関¹²⁾ は 16dB 以上を増大、5~15dB を正常、3~4dB を移行、2dB 以下を縮小と 4 型に分類した。

われわれは 20~30 歳までの正常耳 50 耳によつて固定周波数の振幅を測定した (リオン 1014 型自記オーディオメータ, 減衰器 2dB step, レベル推移速度 2dB/sec)。その結果は第 4 表に示すごとく、大略 3~10dB の範囲にあり、平均値も前記 Palva の成績に比べてかなり小さい。この差はおそらく装置、特にレベル推移速度、減衰器の step の dB 値、被検者の馴れの程度等によつ生じたものであろう (窪田桂)。

第 4 表 正常耳平均振幅

周 波 数 (cps)	持 続 音 (dB)		断 続 音 (dB)	
	変動範囲	平 均	変動範囲	平 均
500	4 — 9	6.27	4 — 10	6.48
1000	3 — 8	6.04	4 — 10	6.32
2000	3 — 8	5.84	4 — 9	6.27
4000	3 — 9	5.49	3 — 9	6.00
8000	3 — 9	5.45	3 — 9	5.81

4. 持続音振幅と断続音振幅

Jerger⁸⁾ が 1960 年感音性難聴における振幅の異常縮小が持続音に限つて認められ、断続音では認められないことを指摘して以来、両者の関係が注目されるようになった。前記 Palva は毎秒 1, 2, 4, 8, 12 回, on-off 比 50% の断続音で正常耳における振幅を測定した。その結果すべての周波数において断続音振幅は持続音振幅よ

りやや大きい値を示し、その差は $0.1 \sim 1.5\text{dB}$ であつた。立木、坂本等²¹⁾は良く訓練された正常5耳を使用し、断続音 (4/sec, on-off 50%) 振幅と持続音振幅とを比較し、 2dB step のオージオメータでは 1000cps で約 1dB , 4000cps で約 2dB 断続振幅が大きいという結果を示した。

われわれも断続音振幅と持続音振幅とを比較して見た。既に第4表に示すように、平均値においてはやはりすべての周波数において断続音振幅が持続音振幅より大きい、その差は $0.2 \sim 0.5\text{dB}$ の程度に止つた。

次にわれわれは持続音、断続音両種の振幅の関係を考慮した振幅の正常限界を決定するため、第5表に示した

第1図 振幅の正常範囲を示す棄却楕円図形

測定値から正常振幅の棄却限界 (危険率 0.05) を棄却楕円法によつて求めた。第1図はそのなかの 1000cps 及び 4000cps のものであるが、他の周波数の図形もほぼ似た形であつた。この棄却楕円以外にあるものは、たとえば持続音の振幅が正常値の範囲内でも正常とは見なし難いことを示している (窪田桂)。

5. 感音性難聴における異常振幅

感音性難聴における振幅の異常縮小は recruitment の表現として Békésy 以来指摘されている所であるが、田口¹⁹⁾は内耳性難聴 202 耳中 151 耳 (約 75%) に 5dB 未満の振幅縮小を認めたのに対し、後迷路性難聴と思われる症例 92 耳中 26 耳 (約 28%) に振幅縮小を認め、本現象は前者に多いことを示した。小関¹²⁾も内耳性難聴 163 耳中振幅 2dB 以下 76 耳 (約 47%)、 $3 \sim 4\text{dB}$ 49 耳 (30%) を見出し、前記田口の成績とほぼ一致した値を示した。

われわれは前項の棄却楕円図形を使用し、この上に感音性難聴 (主として内耳性難聴の振幅を点で描き、棄却楕円以外にはみ出すものの割合を数えて見ると、 1000cps で約 61% , 4000cps で約 74% のものが正常範囲をはみ出していることがわかつた (第2図)。勿論この場合は正常範囲外のものが総て包含されているのである

第2図 感音性難聴耳の振幅、楕円は正常範囲 (縦軸断続音、横軸持続音振幅)

が、やはり持続音振幅の縮小を特徴とするものが異常音幅の大多数を占めていることはこの図から明瞭に認めることができる(窪田桂)。

6. 振幅縮小と recruitment

持続音による Békésy 振幅の異常縮小が感音性難聴の中の特に内耳病変に伴って出現することはほぼ確認された事実である。一方内耳病変に伴う現象として recruitment が知られている(Dix & Hallpike⁸⁾)。従って両者が共に主として内耳性難聴に出現する現象であり、診断的には著明な振幅縮小があればこれを内耳病変の一つの指標と見做してよいという点では異論はない。しかし振幅縮小と recruitment との関係については、今日意見は一致しておらず、いくつかの考え方が発表されているが、多くの者は両者の間の関係を肯定している。即ち、振幅縮小も recruitment も共に主として内耳性難聴に認められる現象であり、少なくとも recruitment のある症例でないと振幅縮小は認められないこと、振幅と閾値上刺激音の DL 値との間には有意の相関のあること、recruitment があれば閾値附近の loudness は急峻な増大を示す筈で、その結果として振幅縮小が予想されること等がその主なる理由としてあげられている。

これに対し 1960 年 Jerger⁸⁾ は Békésy オーディオグラムと聴器病変所在との関係を、前者と recruitment との関係にすりかえるべきではないと指摘し、1962 年鈴木等¹⁸⁾ は感音性難聴に見られる異常振幅縮小の現象を recruitment によるよりは、むしろ聴覚の異常順応 abnormal auditory adaptation と呼ばれている一連の現象の系列に属するものと考えた方がよいであろうとし、同年 Harbert & Young⁴⁾ も振幅縮小は 0.1 秒以内に発現する abnormal rapid adaptation に起因するものと考え、その発現部位として第 1 次ノイロンの樹状突起病変を想定している。

このような考え方を支持する事実の一つとして、この異常振幅縮小が高音域に特に生じやすいということがあげられる。たとえ recruitment は同じように陽性でも低音域では振幅縮小は起り難く、高音域では著明に認められる(Palva,¹³⁾ Landes⁹⁾)。低音域は中高音域に比べると正常耳においても loudness growth はより速くであり、ことに recruitment の存在する場合はその傾向はさらに増強されるから、最も著明な振幅縮小が出現せねばならぬ筈であるが、事実はこれと相反している。

次に、感音性難聴に見られるこの異常振幅縮小が断続

音使用によつては同様には認められないという事実がある。recruitment が断続音で減少するとは考えられないから、この異常振幅縮小が recruitment に起因するよりはむしろ順応に類する現象であろうと考える方が妥当であるとするのである。

このことを第 2 図について検討して見ると、今持続音振幅 3dB 以下のものの断続音振幅の平均は 4.7dB で、3dB を越すものの断続音振幅平均 (6.5dB) に比べると差があり、全体的に見て持続音振幅の小なるものは断続音振幅も小である傾向がある。しかし持続音に見られるような著明な縮小傾向は存在しないから、上述の主張も理由あるものと見做してよいものと思われる。

最近立木²²⁾は recruitment に起因する急速な loudness growth によつて順応が出現し、その結果振幅縮小が生ずるという考えを述べ、その際生ずる順応は異常順応ではなく、正常耳にも認められる種類のものであるとしている。この考え方は極めて巧妙であり、従来 recruitment のみでは説明し難かつた上述の現象を順応という考え方を加味したことによつて無理なく説明することができる。この考えに従えば、loudness growth が急峻でさえあれば正常耳においても持続音、断続音間の振幅差が感音性難聴の場合と同様に出現してくる筈である。その意味で立木、坂本等²¹⁾の 5dB step の成績は注目すべきであるが、この点については今後さらに種々の条件下の検討を要しよう。

7. 振幅変調脈音による振幅縮小の消長

われわれは断続音と持続音との中間的性格を有する刺激音として強さが毎秒 4 回周期的に変化するいわゆる振幅変調脈音を使用して振幅を測定して見た。詳細は既に発表してあるが¹⁴⁾、感音性難聴に見られる振幅縮小は使用する脈音の変調度が増すにつれてその縮小度が減少し(振幅が大となり)、断続音振幅に回復してくることが判明した。そしてその回復率は他の異常順応現象の同一脈音使用による回復率とほとんど同じであつた。さらに振幅の回復率と変調周波数との関係を調べると¹⁵⁾、変調周波数が大となれば振幅は小となり、変調周波数が小となれば振幅は大となり断続音のそれに近づいた。そしてこの場合も振幅の回復率は他の異常順応現象のそれとほとんど同一の経過を示した(坂部長正)。

8. 正常耳音響負荷後の振幅縮小

われわれは正常耳において一定の音響負荷後の固定周波数 Békésy オーディオグラムを作成し、閾値と振幅の回復過程を調査した。成績の一部を第 3 図に示すが、閾

第3図 純音 (4000cps) 負荷後の閾値 (点線) と振幅 (実線) の回復率曲線 (Audiol. 7, 246, 1964 より)

値の回復には既に Hirsh & Ward などが発表している bounce 現象が認められたが、振幅の方はなだらかな曲線を書いて回復し、bounce 様の傾向は認められなかった。この事実から正常耳音響負荷後に見られる閾値上昇と振幅縮小とは異った回復過程をとるものと推測された (藤原敏修)。

9. 結 語

以上主として Békésy オーディオグラムの振幅に関する若干の問題に触れてきたが、既に多くの人によつて指摘されている如く、Békésy オーディオグラムの波形を決定するのは被検者のスイッチの操作であり、これが全く被検者の主観にゆだねられているということは、得られた成績より一定の結論を導き出す際には、他の検査法の場合よりより慎重でなければならぬことを意味する。特に Békésy 振幅を取扱う際にこのことが痛感される。Békésy オーディオメータが感音性難聴の細別診断上の一つの有力な手段として今後何等か新しい領域を開拓するであろうことは充分予想される所であるが、その際にもこの種の心理学的 approach の限界というものをはつきり認識してかかる必要があるものと考えらる。

文 献

1) Bangs, J.L. & Mullins, C.J. Recruitment testing in hearing and its implication, Arch. Oto-

laryng. 58, 582, 1953. 2) Békésy, G.: A new audiometer, Acta oto-laryng. 35, 411, 1947. 3) Dix, M.R., Hallpike, C.S. & Hood, J.D. Observation upon the loudness recruitment phenomenon with special reference to the differential diagnosis of the internal ear and the eighth nerve, J. Laryng. 52, 672, 1948. 4) Harbert, F. & Young, M.: Clinical application of hearing tests, Arch. Otolaryng. 76, 55, 1962. 5) Hedgcock, L.: The measurement of auditory recruitment, Arch. Otolaryng. 62, 515, 1955. 6) Hirsh, I.J., Palva, T. & Goodman, A.: Difference limen and recruitment, Arch. Otolaryng. 60, 525, 1954. 7) Hormia, A.L.: Difference limen of intensity in hearing impairment due to craniocerebral injury, Laryngoscope 68, 808, 1958. 8) Jerger, J.: Bekesy audiometry in analysis of auditory disorders, J. Speech & Hear. Res. 3, 275, 1960. 9) Landes, B.A.: Recruitment measured by automatic audiometry, Arch. Otolaryng. 68, 685, 1958. 10) Liere, D.M. & Reger, S.N.: Further studies of threshold shifts as measured with the Békésy-type audiometer, Ann. Otol. Rhin. Laryng. 63, 772, 1954. 11) Lundborg, T.: Diagnostic problems concerning acoustic tumors. A study of 300 verified cases and the Békésy audiogram in the differential diagnosis, Acta oto-laryng. Suppl. 99, 1952. 12) 小関進: 自記オーディオメトリーに関する臨床的観察, 第1~第3編, 日耳鼻, 62, 1105; 1364; 1756, 1959. 13) Palva, T.: Self-recording threshold audiometry and recruitment, Arch. Otolaryng. 65, 591, 1957. 14) 坂部長正: 振幅変調脈音による聴覚異常順応現象, 日耳鼻, 68, 954, 1965. 15) 坂部長正: 脈音の変調周波数の聴覚異常順応現象に及ぼす影響, 日耳鼻, 68, 1073, 1965. 16) 坂本伸一郎: 自記オーディオメーターによる聴覚の研究 (自記オーディオグラムの振幅に関する研究), 日耳鼻, 66, 1225, 1963. 17) 志井田守, 田口裕嗣: 自記オーディオメトリーによる閾値聴力の観察, 耳喉, 27, 241, 1955. 18) 鈴木篤郎, 藤原敏修, 新井峻: 自記オーディオメトリーにおける振幅縮小の成因に関する1考察, 日耳鼻, 65, 751, 1962. 19) 田口裕嗣: 固定周波数描記による聴力閾値の観察, 耳喉, 29, 688, 1957. 20) 立木孝: 自記オーディオメトリーの臨床的応用に関する基礎的研究 (その1~4), 日耳鼻, 58, 610; 1124, 1955. 日耳鼻, 59, 487, 1956. 日耳鼻, 60, 250, 1957. 21) 立木孝, 坂本伸一郎, 沼倉昌雄, 石母田実, 鈴木義人: 自記オーディオグラム振幅に関する2, 3の考察, Audiology, 8, 101, 1965. 22) 立木孝: Recruitment phenomenon, 日耳鼻, 69, 461, 1966.

(原稿到着 昭和41.8.15日)