補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの関係

吉田悠加, 西村忠己, 福田美美, 齋藤 修, 細井裕司

奈良県立医科大学耳鼻咽喉・頭頸部外科

要旨：補聴器特性図の周波数レスポンスから簡易的に利得を算出する方法が「補聴器適合検査の指針（2008）」¹⁾に示されている。この方法がファンクショナルゲインとどの程度一致しているかを比較するため、難聴者52名（男23名，女29名）の補聴外来受診患者を対象に、指針¹⁾に従い250, 500, 1000, 2000, 4000Hzの5周波数について検討した。各周波数とも利得算出方法間で有意な相関があった。250, 500, 1000Hzでは利得算出方法間で有意差はみられなかったが、2000, 4000Hzでは有意差がみられた。両利得算出方法の平均値で最も差がみられたのは2000Hzでファンクショナルゲインの方が7.6dB大きかった。純音聴力検査，ファンクショナルゲインからの誤差を考えるとこれらの結果は許容範囲内であり，補聴器適合を判定する際補聴器特性図から利得を算出する方法を用いても問題はないと考えられた。

キーワード

補聴器フィッティング，補聴器適合検査，適合検査指針

はじめに

補聴器の状態を評価する場合は補聴器特性測定装置での補聴器特性図の測定，実耳挿入利得の測定，音場での閾値検査，語音弁別検査，雑音負荷条件下での語音明瞭度の測定の結果を元に評価する。補聴器特性測定装置での補聴器特性図の測定や実耳挿入利得の測定では入力音レベルごとの周波数レスポンスが連続的に示され，短時間で各周波数の利得がどの程度であるか知ることができる。また入力音レベルごとの出力特性の測定ができるためノンリニア補聴器の特性評価も可能である。一方音場の検査では補聴器非装用時と装用時の閾値検査をすることで閾値の改善の程度，語音弁別検査することで語音明瞭度がどの程度改善したか知ることができる。

補聴器適合の状態を評価するには上述の検査を複数実施するのが望ましいが，音場での検査は相応の検査室と機器が必要であり，すべての耳鼻咽喉科に

において評価できないと思われる。それらを測定する設備を備えていなくても，補聴器特性図の周波数レスポンスから簡易的に利得を算出する方法が日本聴覚医学会の「補聴器適合検査の指針（2008）」¹⁾で示されている。この方法では補聴器の使用状態での60 dB SPL入力時の周波数レスポンスを測定し，それらの出力値から換算式を利用して装用時閾値を簡易的に推定する。この方法を用いれば，オーディオグラム上で適合の状態を判断することができ，例えば難聴者が補聴器とその補聴器特性図を持参し来院した場合に，純音聴力検査を行うだけで大まかな適合の状態の評価が可能となる¹⁾。

しかしこの方法はあくまでも補聴器特性図から推定される装用時閾値であり，補聴器装用下で測定した閾値と比較し，どの程度一致しているか検討する必要があると思われる。そこで補聴器を適合する際に一般的によく用いられ，指針¹⁾にも示されている音場閾値検査での補聴器非装用閾値と装用閾値の差

によって求まる利得（ファンクショナルゲイン）を用い、補聴器特性図から算出した利得と比較した。

対象と方法

対象は2008年1月から2010年7月までに当科補聴外来を受診し、補聴器をフィッティングした難聴者52名（男23名、女29名）である。平均年齢は70.6±13.1歳、補聴器非装用閾値の3分法平均聴力レベルは56.9±12.1dBであった。

補聴器のフィッティングは純音聴力検査、語音聴力検査、UCLなどの結果をもとに行った。今回の対象者は片耳に補聴器をフィッティングした者とし、装用耳は不良聴耳にフィッティングを希望した1名を除き良聴耳に、両耳に差がない場合は装用者の希望にあわせて装用した。機種選択は聴覚機能検査の結果と装用者の希望を考慮して行った。実際にフィッティングを行った補聴器は試聴用のノンリニア増幅の耳かけ型補聴器20種類であった。

フィッティングした補聴器について補聴器特性図を元に算出した利得とファンクショナルゲインを比較した。求めた周波数は250, 500, 1000, 2000, 4000Hzの5周波数とした。両者の値の算出方法は補聴器適合検査の指針（2008）¹⁾に従った。それらの方法を以下に示した。

1. 補聴器特性図から利得を算出する方法

補聴器特性測定装置（RION社製、LH-11）を用いて特性図を測定し、補聴器の使用状態での60dB SPL入力時の周波数レスポンスの曲線から250, 500, 1000, 2000, 4000Hzの周波数での出力音圧レベルを求めた。それらの出力音圧レベルから入力音圧レベル（60dB）を減算した。今回の算出法では2cm³カプラを用いて特性を測定した。そのため裸耳利得とヒトの耳と2cm³カプラの感度差を考慮した補正を行う必要があった。指針¹⁾に示されている利得算出のために補正值（表1）を加算し利得を算

出した。

2. ファンクショナルゲインの求め方

補聴器装用耳について当科検査室の防音室内でウォーブルトーンを用いて非装用時と装用時の音場閾値検査を行った。その際音源スピーカーは指針¹⁾に従い難聴者の正面1メートルに設置した。求めた非装用閾値から装用閾値を減算し補聴器の利得（ファンクショナルゲイン）を算出した。なお検査時、非検査耳は印象剤を注入し遮蔽を行った。

結果の解析は測定方法と周波数を被検者内要因とする2要因の分散分析を行った。また補聴器特性図から求められた利得とファンクショナルゲインについて周波数ごとにPearsonの相関係数を求め検討した。

結 果

補聴器特性図から簡易的に算出した利得とファンクショナルゲインの平均値の関係について周波数ごとに図1に示した。250, 500Hzでは算出した利得が、1000, 2000, 4000Hzではファンクショナルゲインの方が大きくなった。分散分析の結果、周波数（ $F(4, 204) = 73.84, p < 0.001$ ）及び利得算出方法（ $F(1, 51) = 18.52, p < 0.001$ ）に主効果を認めた。また周波数と利得算出方法の交互作用（ $F(4, 204) = 19.45, p < 0.001$ ）を認めた。よって単純主効果の検定を行った結果、2000Hzで（ $F(1, 255) = 75.19, p < 0.001$ ）と4000Hz（ $F(1, 255) = 19.43, p < 0.001$ ）での利得算出方法間に有意差を認めた。しかしその他の周波数では有意差はなかった。

次に250Hzから4000Hzまでの補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの関係を図2に示した。すべての周波数において利得があがるほどファンクショナルゲインがあがるという有意な正の相関がみられた。各周波数での補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの相関係

表1 利得算出のための補正值（「補聴器適合検査の指針（2008）」¹⁾より）

周波数 (Hz)	250	500	1000	2000	4000
裸耳利得 (dB)	0	1.5	2.5	12.0	14.5
ヒトの耳と2cm ³ カプラの感度差 (dB)	3.5	4	5.5	8.5	9.5
補正值(dB)	3.5	2.5	3	-3.5	-5.0

数を表2に示した。1000Hz ($r=0.80$, $p<0.01$), 500Hz ($r=0.74$, $p<0.01$), 4000Hz ($r=0.66$, $p<0.01$), 250Hz ($r=0.62$, $p<0.01$), 2000Hz ($r=0.55$, $p<0.01$) の順に相関が高い結果となった。特に 500Hz と 1000Hz に強い相関があった。対して 2000Hz では相関があるものの5周波数の中では一番低い結果となった。

図1 各周波数の補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの平均値の関係

考 察

各周波数とも補聴器特性図から算出した値とファンクショナルゲインに有意な相関があった。250, 500, 1000Hz では補聴器特性図から算出した値とファンクショナルゲインの平均値に差はほとんど認められず、250, 500Hz は補聴器特性図から算出した値が、1000, 2000, 4000Hz はファンクショナルゲインの方が大きくなった。両利得算出方法から求めた平均値の差が最も大きい周波数は2000Hzでファンクショナルゲインの方が7.6dB大きかった。今回の両利得算出方法から求めた値に差が生じた原因には純音聴力検査やファンクショナルゲインの

表2 各周波数での補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの相関係数

周波数 (Hz)	250	500	1000	2000	4000
相関係数	0.62	0.74	0.80	0.55	0.66
p 値	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

図2 各周波数の補聴器特性図から算出した利得とファンクショナルゲインの関係

閾値測定時に生じる誤差、補聴器特性図から利得を算出する際に生じる誤差、補聴器特性図の 60dB SPL 入力時の挿入利得からの装用閾値を推定する点、ノンリニア増幅の場合入力音レベルごとの利得が異なる点が考えられた。以下各要因について検討した。

まず純音聴力検査やファンクショナルゲインの閾値測定時に生じる誤差について検討した。補聴器特性図は 1dB ステップで計測が可能であるが、閾値検査は 5dB ステップで測定することから、補聴器特性図から算出した利得は 1dB 単位で、閾値検査から算出した利得は 5dB 単位で求まる。そのため 5dB 未満の誤差については有意な差とは言い難いと思われた。また閾値検査には再現性の問題がある。過去の報告では短時間後の再検査時の変動の標準偏差はファンクショナルゲインでは 5~8dB とされている²⁾。これらのことから今回の結果で生じた 7.6dB の値は許容範囲であると考えられた。

次に補聴器特性図から生じる誤差について検討した。今回の算出方法では裸耳利得と 2cm³ カプラの感度差は考慮されているものの、指針に触れられている外耳道の形状による個人差、補聴器の種類の違いやマイクロホン・ゲイン、出力音口効果、通気口の効果等が考慮されていない。外耳道の形状は外耳道容積が大きくなると共鳴腔が小さくなり、外耳道容積が小さくなると共鳴腔が大きくなる。そのため例えば外耳道の最深部の容積が小さくなると補聴器特性図から算出した値よりも実際の利得は大きくなる³⁾。外耳道の形状は当然個人差があり、このことによる誤差が含まれるのは避けることができない。また補聴器の種類が異なると利得に及ぼす影響は変化する。これはマイクロホン・ゲインや外耳道容積が異なるためである。マイクロホン・ゲインとはマイクロホンの位置の効果のことで、マイクロホンに入力する音は耳介、頭、体、衣類等に対して反射や吸収が起こり、これらの影響を受けて変化する³⁾。小寺によると箱型補聴器ではマイクロホンが本体にある場合は胸ポケットに入れて使用すると 500Hz から 4000Hz までの広い周波数帯で後方の音が弱まる³⁾。挿入用補聴器ではマイクロホンの位置が外耳孔に近いと、耳介の集音効果で補聴器装用耳の前方 45° からの音をもっともよく増幅し、高周波数帯については耳かけ型に比べて指向性がある³⁾。耳か

け型補聴器のマイクロホンは耳介の上方にあるので挿入形に比べて全方向からの音が聞こえるとされる³⁾。耳かけ型補聴器の場合、補聴器装用耳前方 0° では 2000Hz が 3dB と全周波数の中で値が最も大きい⁴⁾。今回の補聴器はすべて耳かけ型であり、2000Hz で 7.6dB とファンクショナルゲインの方が大きくなったのはマイクロホン・ゲインの影響があるかもしれない。その他に影響を及ぼす因子として音道、音響ダンパー、ベント等がある。Dillon によると音道径は高音域利得と補聴器の出力に影響する⁴⁾。音響ダンパーは音道内で使用され中音域の周波数レスポンスの調節に用いられる⁴⁾。ベントは通気の効果とともに低音域の利得や最大出力に影響する⁴⁾。耳かけ型補聴器では音道径は高音域の 2000Hz 以上、音響ダンパーは中音域の 800~2500Hz、ベントは低音域の 1000Hz までの周波数の利得を抑える⁵⁾とされる。

最後に 60dB SPL 入力時の挿入利得からの装用閾値を推定する点、ノンリニア増幅の場合入力音レベルごとの利得が異なる点について検討した。今回検討した補聴器はすべてノンリニア補聴器である。ノンリニア補聴器は入力音のレベルによって増幅回路にフィードバックをかけ、増幅度を変化させる²⁾。そのため入力音レベルが低いときに増幅を大きくし、入力音レベルが高いときに増幅を小さくする⁵⁾。例えば 50dB SPL 入力時の周波数レスポンスから得られる利得と 90dB SPL 入力時の周波数レスポンスから得られる利得では 50dB SPL 入力から得られる利得の方が値は大きくなる。今回検討した難聴者の補聴器非装用下の聴力レベルの平均は 56.9dB であり、閾値が 60dB より低い難聴者が多かった。これらの難聴者が得る利得は 60dB SPL 入力時の周波数レスポンスから得られる利得よりも難聴者の閾値付近での利得の方が大きいと考えられた。そのため 60dB SPL 入力時の周波数レスポンスから得られる利得よりもファンクショナルゲインが大きくなる可能性があり、そのことが今回の結果の 2000, 4000 Hz のファンクショナルゲインが有意に大きくなった原因の一つかもしれない。

補聴器特性図から正確な利得を求めようとする今回考慮した裸耳利得と 2cm³ カプラの感度差以外に上述した要因を考慮する必要がある。それらを考

慮することで理論的には正確な利得を算出することができると思われるが、それにはかなりの労力と手間が必要となる。補聴器特性図を用いた利得の算出方法の最大の利点は簡便に利得を算出することであると考え、今回の両方法で求めた利得はおおよそ一致しており、補聴器の適合を判定する際補聴器特性図から簡易的に利得を算出する方法を用いても問題は無いと考えられた。なお、より厳密に適合状態を判断する場合、実際にファンクショナルゲインの測定や実時挿入利得の測定などの適合検査を実施する必要があると考えられた。

ま と め

補聴器特性図から簡易的に算出した利得とファンクショナルゲインの関係について検討を行った。各周波数とも補聴器特性図から算出した値とファンクショナルゲインに有意な相関があった。また 250, 500, 1000Hz では補聴器特性図から算出した値とファンクショナルゲインの平均値に差はほとんど認められず、250, 500Hz は補聴器特性図から算出した値が、1000, 2000, 4000Hz はファンクショナルゲインの方が大きくなった。しかしながら全体として両者の値はおおむね近似しており簡易的に適応状態の判定が可能であると考えられた。

本論文の要旨は、第55回日本聴覚医学会学術講演会（奈良）で口演した。

Comparison of the gain calculated from the frequency response curve in a hearing aid and the functional gain

Yuka Yoshida, Tadashi Nishimura, Fumi Fukuda, Osamu Saito, Hiroshi Hosoi

Department of Otolaryngology and Head & Neck Surgery, Nara Medical University

The guidelines of the test for evaluating the necessity of fitting a hearing aid (2008) proposed by Japan Audiological society states that the method to calculate the gain is based on the frequency re-

sponse curve. The purpose of this study was to compare the gain calculated from the frequency response curve with the functional gain. The subjects were fifty-two adults (23 males and 29 females) with hearing loss. We compared them at five frequency points (250, 500, 1000, 2000, and 4000Hz) according to the guidelines. At each frequency, the average values had a significant correlation between the two gains. No significant differences were found between the gains at the 250, 500 and 1000 Hz. The differences at 2000 and 4000Hz were, however, statistically significant. The functional gain at 2000Hz was 7.6dB higher than the gain calculated from the frequency response curve. Considering the errors of audiometric tests, the method of calculating the gain based on the frequency response curve may be acceptable as an assessment tool for hearing aid fitting.

参 考 文 献

- 1) 福祉医療委員会報告書：補聴器適合検査の指針 (2008)。Audiology Japan **51**: 661-686, 2008
- 2) Humes LE, Kirn EU: The reliability of functional gain. J Speech Hear Dis **55**: 193-197, 1990
- 3) 小寺一興：補聴器フィッティングの考え方。診断と治療社、東京、1999, pp14-65
- 4) Dillon H: Hearing Aids. Thieme, Stuttgart, 2001, pp74-158
- 5) 小寺一興：補聴の進歩と社会的応用。診断と治療社、東京、2006, pp54-55
(2010年12月29日受稿 2011年1月26日受理)

別冊請求先：〒634-8522

奈良県橿原市四条町840

奈良県立医科大学 耳鼻咽喉・頭頸部外科学教室

西村忠己

Tadashi Nishimura

Department of Otolaryngology and Head & Neck Surgery, Nara Medical University, 840 Shijo-cho Kashihara, Nara 634-8522, Japan