

White Paper :

① コミュニケーション

—それは聴覚リハビリテーションの第一目標—

<要約>

- 社会的孤立が続くと認知機能に悪影響を及ぼします。社会的活動に必要なのはコミュニケーションです。コミュニケーションは①聞き取り環境をよくすること、②自分の声がどう聞こえているかに自信を持つこと、この2つが重要であると考えます。
- Signia Nx シリーズは全体の利得を下げることなく、自声に対処する新しい技術の OVP (Own Voice Processing : 自声処理) を搭載。OVP は自声と外部の音を分けて処理する画期的な技術です。ドイツで行われた研究結果では、自分の声に不満を持つ方の約 75% に改善が見られました。

② Nx シリーズの音質評価

—初めての補聴器装用への受け入れ—

<要約>

- 音質は、悲しみ、幸せ、ワクワク感、落ち着き、喜怒哀楽など多くの感情と結びついています。したがって、補聴器の音質には、より高い忠実性が求められます。
- Signia Nx シリーズにおける日常的な様々な環境下、指向性ビームフォーミング技術、入力リミッター、ストリーミング信号、音楽での音質評価を行い、本製品は音質に関わるすべての分野を網羅しているということが明確なものとなりました。



コミュニケーション —それは聴覚リハビリテーションの第一目標—

著者：Erik Harry Høydal

Hearing Review、2017年

みんなをおしゃべりにします (Makes people talk)— これは、スウェーデンののど飴メーカー、レイクロールのユーモラスな広告の一節です。補聴器フィッティングの目指すべき指針も同じようなものだと言えるでしょう。つまり「もっと会話が楽しくなる」それが私たちの目指すところだと思いませんか？

難聴者が正しく理解して、返答することができなければ、聞こえてもあまり役には立ちません。社会的な活動に役立つのは「聴くこと」だけではなく、「コミュニケーション」です。ところで専門家である皆さんの中には、難聴者が難聴のせいで社会的な活動を控えてしまい塞ぎこんでしまったなどの経験のある方も多いと思います。社会的孤立と精神的安定との間には関連性がある^{1,2}ということはよく知られており、難聴に対処しないまま放置すると、多くの場合は社会的孤立を招きます。そのため、難聴者に会話やコミュニケーションを活発にしてもらうことが、聴覚リハビリテーションの主な目的のひとつとなっています。

難聴と精神的な安定の関連性のほか、間接的ながら難聴を認知症とも関連付ける研究もいくつか存在しており、難聴に対処しないまま放置することの悪影響は、近年注目の話題になっています。また、難聴と認知能力の低下には関連性があると推測されますが、その因果関係が確立されている訳ではありません。今、分かっていることは、聴力の低下によって社会生活が減退するということです。また、聴力の改善によって、多くの場合は会話中の認知負荷が緩和されるということもあります³。つまり、認知能力の低下した人の場合、適切に調整された補聴器を使えば、認知資源が解放されて、コミュニケーションがとりやすくなる可能性があるということになります。

ジョンズ・ホプキンス大学のフランク・リン博士らは、このトピックに関する長期的な研究を実施しました⁴。この研究では、難聴のある方々に、6年以上にわたり繰り返し認知テストを受けてもらいました。その結果、難聴者は聴力の正常な人と比べて30～40% 認知能力が低下したということが分かりました。認知能力低下のレベルは、難聴の程度に直接的に関係していました。難聴を抱える高齢者は、聴力の正常な高齢者と比べて、平均3.2年早く認知能力の大幅な低下を示しました。リン博士らは、認知能力低下の理由として⁴、難聴と社会的孤立の関係性が挙げられるとしています。これまでの研究からも、孤独が認知能力の低下の危険因子であるということが分かっています¹。聴力の低下により、脳が音の処理に多くのエネルギーを費やさねばならず、その分、記憶や思考のためのエネルギーが失われているという可能性もあります³。理論的には、人が日常生活を送り、その中で課題に取り組むことを止めると、認知能力が低下し始めると言われています。これらの点から、難聴者にとっても会話やコミュニケーションが重要であることが分かります。

コミュニケーションの促進

私たちは、社会生活の中での聞き取り環境をできる限り最適化していく必要があります。まず、騒がしい環境の中で言葉を十分に聞き取り、理解できるようにするには、十分にプラスの信号対雑音比 (SN 比) を確保することが重要です。次に、聞き取ることが過度に困難な場合、人は聴くことに疲労感を感じ、社会的な活動を途中で止めてしまったり、参加の頻度を減らすようになったりします。この解決策は、リスニングエフォート (聞き取りの労力) を軽減することです。

会話の聞き取りにはこの2点が重要であり、これがコミュニケーション量に直接的な影響を及ぼします。つまり、相手が何と言ったかが分からなければ、会話に入りにくくなるということです。

もうひとつの重要な要素が、自分の声自分がどのように聞こえているかという点です。自分の声を聞くことは、安定した抛り所であり、自分自身のアイデンティティの一部でもあります。補聴器装用者の場合、聞こえてくる自分の声が、いつも聞いている自分の声と違えば違ふほど、不快感や違和感が強くなります。場合によっては、この点が原因で補聴器が返品され、補聴器の装用計画全体が頓挫してしまうこともあります。聞こえの専門家として、このことを軽視することはできません。

会話を理解するためには、適切な増幅が必要です。しかし残念なことに、十分な増幅を行えば、多くの場合は聞き心地が低下してしまいます。装用者からは、自分の声が大きく聞こえすぎたり、不自然に聞こえたりといった苦情がよく寄せられます。この問題を解決するために、専門家は多くの場合、補聴器を確実に装用してもらうために増幅を抑えることになります。そうすると、今度は当然のことながら、重要な会話帯域の増幅も抑えられ、言葉の聞き取りが悪くなってしまいます。

聴力の重要性を理解するためには、Killion と Mueller による「Count-The-Dots-Audiogram」^{5,6} が参考になります (図1 参照)。

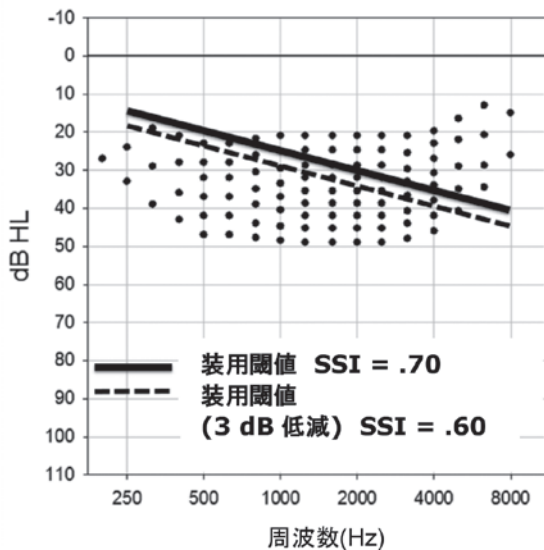


図1：語音了解度指数 (Speech Intelligibility Index ; SII) を推測するための Killion と Mueller の「Count-The-Dots-Audiogram」⁶。この図に示されているのは、規範的なフィッティングのための代表的な装用閾値と、利得を 3 dB 抑えた場合の装用閾値です。

難聴者の装用閾値をこのシートに記入することで、装用閾値の線の下側にあるドット数をカウントし、会話の了解度を推測することができます。ラインの下側に 70 個のドットがある場合、語音了解度指数は 70% となります。つまり、この難聴者は理論的には会話の 70% を聞き取れるということです。そして、図1に示すように、増幅をわずか 3 ~ 4 dB 抑えただけで、ドット数が 10 個、語音了解度指数が 10% 低下するということが分かります。このため、専門家である私たちは、処方された計算式の目標値に利得を近づけながら、装用閾値を検証することが必要です。

現在、多くの専門家が知っているように、処方された目標値に合わせたフィッティングが装用者にすぐに受け入れられるとは限らず、特に、初めて補聴器を装用する難聴者において顕著に見られます。装用者自身の声が、金属的に聞こえたり、大きく、あるいは不自然に聞こえたりするケースは数多く見られます。専門家による最も一般的な解決策は、装用者自身の声がより自然に聞こえるようになるまで、特定の周波数の利得を抑えることです。ここで、先程挙げた「Count-The-Dots-Audiogram」を検討してみると、語音了解度指数という点から見て、この方法のマイナス面が直接的に示されています。実際には、「自分の声」の問題を解決するには 3 dB 以上利得を抑える必要がある場合が多く、そうすると、さらに大きな語音了解度指数の低下が生じてしまいます。

オープンフィッティング

近年のハウリング抑制機能の向上により、より多くの利用者にオープンフィッティングを使ってもらえるようになりました。通常、オープンフィッティングは、こもり感の軽減により、着け心地は向上しますが、マイナス面も存在します。まず、オープンフィッティングでは音響的な隙間により低域を増幅できないため、低域の聞こえが健聴に近くないと推奨できません。次に、前述のように、自分の声が金属的で不自然に聞こえる問題は、高域の利得が原因ですが、この点は、基本的にはオープンフィッティングでもクローズフィッティングでも同じです。最後に、近年の技術であるビーム指向性や、指向性マイク、雑音抑制機能などの優れたメリットは、オープンフィッティングではその効果が十分に発揮されません。オープンフィッティングの場合、騒がしい環境下では、外耳道に直接入る外の音が、補聴器から出力された「雑音のない」信号をマスキングしてしまいます。それにより、クローズフィッティングで得られるであろう効果が抑えられてしまいます。1,500 Hz までは、オープンチップの隙間から直接入る音が、通常は補聴器の出力よりも優性となります。つまり、この周波数までは補聴器の信号処理がほとんど、あるいはまったく影響しないということになります⁷。これは、特に騒がしい環境での聞こえに困っている難聴者の場合は、外耳道を密閉するアプローチ(クローズフィッティング)の方が良いという明確な理由となります。

聞き心地と満足感

オープンフィッティングでは多くの場合、自分の声に関して満足していると思われています。しかし、これを裏付けるデータはあるでしょうか？

この質問に答えるために、私たちは、ここ3年半以内に補聴器を購入した方を対象に調査を実施しました。調査は、米国とドイツで実施され、合わせて384人が参加しました。うち、78%が補聴器経験者(2年以上)でした。参加者に難聴の程度を自己申告してもらったところ、46%が軽度～中等度、39%が高度～重度となりました(残り15%は「分からない」と回答)。

参加者には、満足度を5ポイントの尺度(1=まったく満足していない～5=非常に満足している)で評価してもらいました。自分の声の音について満足していると回答したのはわずか41%でした。これは驚くべき結果でした。調査対象の難聴者がフォローアップの再調整を受けており、そのほとんどが2年以上の補聴器経験者にも関わらず、不満を感じている方の割合が非常に高いということが分かりました。これは、こもり感やその影響だけが自分の声の満足度に関与する問題ではないということを示唆しています。さらにオープンフィッティング補聴器の利用者でも、多くの方が自分の声について不満を持っている結果となりました。

聞き心地と満足感

Signia 補聴器の最新のプラットフォーム、Nx シリーズの信号処理では、自分の声の問題を直接的に解消します。OVP(Own Voice Processing；自声処理)と呼ばれる新技術が、装用者自身の声を検出して処理、外部の音はそのまま影響を受けないようにします⁸。つまり、装用者が発言している間は、常に両耳通信によって補聴器がこれを検出し、外部の音と自身の声を分けて音声処理します。よって、会話を理解するための一般的な利得設定は変更しないまま、新しいOVP技術より自分の声の問題は抜本的に対処することができ、この技術を利用することで、専門家は、補聴器の利得を下げ聞き取りを犠牲にすることなく、自分の声の問題にも対処できるようになります。

2つの別々の信号処理を設けることは、装用者の発言時と第三者の発言時を十分に区別できる非常に高速なシステム処理を必要とします。Signia Nx シリーズでは、補聴器に装用者の声を学習させることで、この処理を実現します。この学習は、補聴器を着けたまま装用者が10秒ほど発話するだけで完了します。補聴器は、装用者の口から補聴器の音響パスを分析し(図2)、この分析に基づいて、補聴器は周囲から話しかけられる会話や外部の音と、装用者の自声を別々に検出することができます。風邪など何らかの理由で装用者の声に変化した場合でも、補聴器は、装用者の声の周波数特性ではなく、装用者の口から補聴器へ伝わる音響パスを分析しているため、検出は正確に行われます。

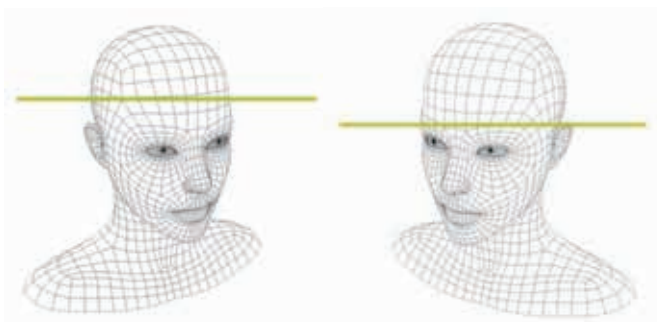


図2：Signia Nx シリーズのフィッティング時、補聴器は装用者の声の音響パスを分析します。装用者の頭の形や、補聴器の装用位置が、正確な検出を行うためのパラメーターとなります。

研究のエビデンス

ドイツの Hörzentrum Oldenburg で、この新たな OVP 技術を臨床的に調査しました。両耳感音性難聴〔純音平均聴力 (PTA)=48.4 dB HL〕の難聴者 42 人の両耳に、Signia Nx 補聴器をフィッティングし、自分の声の聞こえについて評価してもらいました。OVP 機能をオフ時には、42 人中 20 人が自分の声が不満と表明し、音が鋭く聞こえる、金属的に聞こえる、反響する、大きすぎる、不自然だといった意見が出ました。「不満を表明したグループ」に OVP 機能をオンにすると、75% が自分の声の質が目立って改善されたと答えました。これにより、自分の声に対して満足していると答えた参加者は当初の 52%(42 人中 22 人) から 88%(42 人中 37 人) に増加しました。これらの装用者は、不自然に歪んだ自分の声に悩まされたり、増幅を抑えたりすることなく、補聴器の十分な性能を発揮できる状態になったといえます。

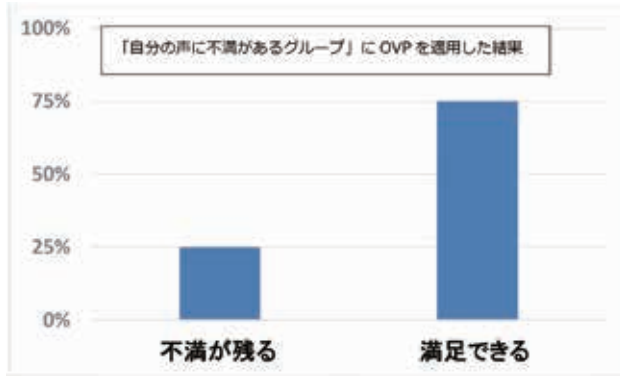


図 3：満足していないと答えた参加者 20 人中 15 人 (75%) が OVP 機能の適用後自分の声に満足できると回答しました。

Hörzentrum Oldenburg で行われた 2 つ目の研究 (n=32) では、参加者〔純音平均聴力 (PTA)=51.8 dB HL〕に自分の声を聞く様々なタスク中に、OVP 機能オンの補聴器と OVP 機能オフの補聴器を試してもらいました。イヤチップ/イヤドームの種類により、参加者を 3 つのグループに分け、内訳は、オープンドーム型 10 人、クローズドーム型 11 人、セミオープン型 11 人とししました。研究室での試用後、参加者に各自の好みの補聴器を選択してもらったところ、OVP 機能を「オフ」にすることを選んだのは 5 人 (15%) のみでした (図 4)。

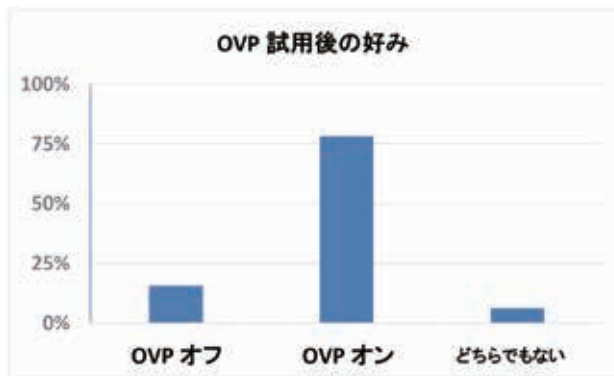


図 4：OVP のオンまたはオフを選んだ参加者の割合。自分の声について、32 人中 25 人 (78%) が OVP 機能オンを選びました。

さて、補聴器の調整を行う方ならばほとんどが知っているように、装用者の声に対して補聴器の音をより快適にするのは、難しいことではありません。単純に増幅を十分に抑えれば、ほとんどの人にとって音は快適なものとなります。OVP 技術で大きく違うところは、これが、会話相手も含めた「外部の」音の増幅には影響しないという点です。このシステムは、装用者が発言したときだけ反応します。これまで考察してきたように、これによって装用者は、自分の声の快適さのために利得を抑えることなく、語音理解に必要な利得を維持することができるのです。

まとめ

人々に、おしゃべりを楽しんだりアクティブに過ごしてもらうには、必要な先進技術を提供し、何よりも、聞こえを犠牲にしたり、雑音抑制アルゴリズムを制限することのないようにしなければなりません。十分な利得を提供し、補聴器の自発的な受け入れを強化していくことで、難聴者が補聴器を引き出しに入れっぱなしにしたり、返品したりするといったケースを減らし、より積極的に社会的な活動に参加できるようになります。Signia の OVP 自声処理技術により、難聴者が補聴器に順応しやすくなるほか、十分な利得を提供することで、社会的にアクティブな生活を送って頂くことが期待できます。

参考文献

1. Leigh-Hunt N, Bagguley D, Bash K, Turner V, Turnbull S, Valtorta N, Caan W. An overview of systematic reviews on the public health consequences of social isolation and loneliness. *Public Health*. 2017; 152:157-171.
2. Kuiper JS, Zuidersma M, Oude Voshaar RC, Zuidema SU, van den Heuvel ER, Stolk RP, Smidt N. Social relationships and risk of dementia: A systematic review and meta-analysis of longitudinal cohort studies. *Ageing Research Reviews*, 2015; 22:39-57.
3. Hornsby BY. The Effects of Hearing Aid Use on Listening Effort and Mental Fatigue Associated With Sustained Speech Processing Demands *Ear & Hearing*. 2013;34(5):523–534
4. Lin FR, Yaffe K, Xia J, Xue Q, Harris TB, Purchase-Helzner E, Satterfield S, Ayonayon HN, Ferrucci L, Simonsick EM, Health ABC Study Group FT. Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. *JAMA Intern Med*. 2013;173(4):293–299.
5. Mueller HG, Killion MC. An easy method for calculation of the articulation index. *Hearing Journal*. 1990; 43(9):14-17.
6. Killion MC, Mueller HG. Twenty years later: A NEW Count-The-Dots method. *Hearing Journal*. 2010; 63(1):10,12-14,16-17
7. Dillon H. *Hearing Aids* (2nd ed.) Turrumurra, Australia: Boomerang Press; 2012.
8. Signia OVP Feature in Brief. 2017. www.signia-pro.com/scientific_marketing

著者 Erik Harry B. Høydal



Erik Harry B. Høydal は、2014 年からシバントス社に入社しました。聴覚の臨床に関する経歴のほか、音楽と耳鳴に関する研究にも取り組んできました。ノルウェー科学技術大学 (NTNU) で臨床健康科学の理学修士を取得したほか、トロンヘイムの聴覚学プログラムで教鞭を執りました。同氏は、以前はノルウェー聴覚学者協会の一員として、難聴について啓発する政治活動にも携わりました。2016 年にエアランゲンのシバントス本社に移籍し、現在は科学的研究とポートフォリオ管理を担当しています。

Nx シリーズの音質評価 —初めての補聴器装用への受け入れ—

一般的に健聴者といわれる正常な聞こえをお持ちの方は、日常生活において「音質」を意識することはあまりありません。ただし、自宅で本格的な音楽鑑賞をする場合には、音質がこだわりポイントとなり、オーディオシステム、スピーカー、ヘッドホン、ストリーミング機器を吟味することになります。しかし、これは娯楽の側面が強く、日常的な活動に影響を与えるようなものではありません。

では、難聴者の場合はどうでしょうか？ 難聴者にとっては、あらゆる音源・種類の入力において、最適な音質が欠けています。加齢性難聴の場合、通常、変化は緩やかですが、周りの音の聞こえ方が以前より悪くなったということで難聴を自覚します。この方に補聴器フィッティングを行う際には、聴力低下によって既に忘れてしまっているような音が、補聴器の効果で聞こえるようになるため、最初の問題は「音質」となります。まず初めの目標は、補聴器で処理された信号を、装用者にとって「自然に」聞こえるようにすることです。自然に聞こえなければ、補聴器の装用機会が減少するか、場合によっては補聴器の使用を止めてしまうことにもなりかねません。これらの点を踏まえると、「補聴器の全体的な満足度」の要因の上位 10 項目を調べた調査において、10 項目中 5 項目が音質に関するもの（音の明瞭さ、自然さ、豊かさ / 忠実さ、大きな音の快適さ、自分の声）であった¹ ことも当然だと言えます。

音質は、感情にも関連しています。様々な音によって、悲しみ、幸せ、ワクワク感、落ち着き、喜怒哀楽など、多くの感情が呼び起されます。感情価は、音の固有の魅力（「快」、ポジティブな価値）あるいは嫌悪（「不快」、ネガティブな価値）を示します。ヴァンダービルト大学で最近実施された研究では、年齢グループを合わせた正常聴力の高齢者と、両側性感音難聴者（軽度から中等度 / 高度難聴・左右の聴力差なし）の感情価を比較しました²。著者は、難聴が進行するにつれて、感情的反応の範囲が減少すると報告しています。感情価の評価は、快い音に対する反応は低下し、不快な音に対する反応で上昇しました。つまり、すべての音において、正常聴力の被験者の評価よりも「どちらでもない・ニュートラル」に近づいていると言えます。これらのデータから、感音難聴の被験者は、正常聴力の被験者と比べて、音による感情的な影響が少なく、正常聴力の人の方が楽しいと感じる活動を十分に楽しめていない可能性が示唆されると述べています。このような、難聴による負の影響として考えられる点を悪化させないようにすることも、補聴器の音質に高い忠実性が求められる理由の 1 つです。

音質と音声の聞き取りやすさの両立：妥協は必要か？

私たちはこれまでも、補聴器の設計や処理における音質の重要性について考察してきました。しかし、ほとんどの難聴者が困っているのは、特に雑音下の環境における会話の理解を改善したいということです。新たな処理アルゴリズムの設計時には、この点にも十分に重点を置く必要があります。もちろん、日常生活で補聴器が本当の意味で役立つものとなるようにする必要もあります。この点について、この数年間にわたり、Signia 補聴器は、独立した研究施設において、同世代の補聴器を装用した難聴者と健聴者による、雑音下の環境での音声理解をテストしました。結果、補聴器を装用した難聴者が健聴者を凌ぐレベルにまで改善するという結果を示しました³。また、ウェスタンオンタリオ大学での研究では、この両耳ビームフォーミング技術により、音声認識が無指向性の場合と比べて 50% 以上改善されるということが明らかになりました⁴。さらに、Signia のビーム指向性により、リスニングエフォート（聞き取りの労力）も大幅に減少します。この点については、複数の施設による試験において、主観的評価と客観的な脳波検査 (EEG ; electroencephalogram) 分析の両方に基づいて文書化されています⁵。

前述の音声認識に関する研究結果は、Signia primax プラットフォームによって得られたものです。Signia Nx シリーズの両耳ビームフォーミングでも、これまでの世代の製品と同等以上の結果が出ることを確認するために、セミオープンフィッティングとオープンフィッティングの両方を使用して、製品の比較試験が行われました。この結果を図 1 に示します。

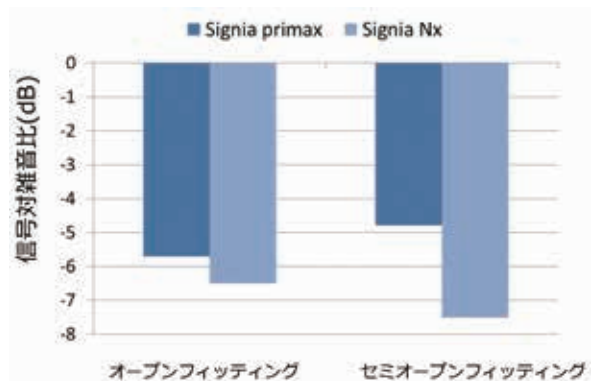


図 1：Signia Nx と primax の両耳ビームフォーミングを比較したドイツのマトリクステスト (SRT-80) の平均結果。オープンとセミオープンドームで実施された試験。

試験は、ドイツのマトリクステスト (OLSA ; Oldenburg Sentence Test) を使用して実施され、平均の結果は、信号対雑音比 (SN 比) (SRT-80 試験法) で表されています。primax と比較して Nx シリーズにおけるオープンフィッティングの場合は約 1 dB、セミオープンフィッティングでは 2 dB の改善が認められます。この信号対雑音比 (SN 比) の改善は、雑音下の環境での聞こえが試される多くの状況における音声理解に対して大きな影響を及ぼす可能性があります。ドイツのマトリクステストの心理測定関数の傾斜は 17.1%/dB となりました。

これらの調査研究の結果は印象的ですが、「音声理解を最大限にする処理を行いながら、最適な音質を維持できるのか?」という疑問が浮かびます。新しい Signia Nx シリーズならば、その答えは、紛れもなく「可能」となります。

装用者の最初の受け入れ

補聴器フィッティングプロセスで最も重要な段階の 1 つとして、初めて補聴器を試す人への試聴が挙げられます。目標は、増幅された会話と環境音をできるだけ自然なものにすることです。これが達成されなければ、新規装用者はすぐに補聴器の使用を止めてしまう可能性があります。Signia Nx シリーズの最初の受け入れについて調べるために、ドイツの Oldenburg Hörzentrum で研究が行われました。高音漸傾型難聴者の両耳に、処方式 Nx-fit にプログラミングした補聴器をフィッティングしました (平均聴力図については図 2 を参照)。初期フィッティング後すぐに、被験者に音声認識の満足度 (静かな環境と雑音下の環境) と、音楽や環境騒音の評価をしてもらいました。評価は、4 ポイントの満足度 (1= まったく満足していない、4= 非常に満足している) で行われました。

この受け入れに関する研究の結果は図 3 に示されています。音声認識と環境音の両方については、すべての評価が最も高い評価尺度に近くなっており、全体の評価も 3.5 以上となっています。「雑音下の会話」という難しい条件でも、「満足している」という評価が得られました。

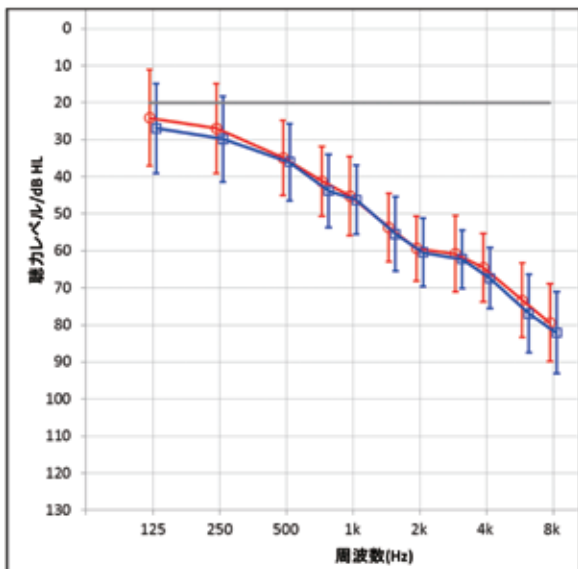


図 2 : 被験者の左右耳の平均聴力図 (赤 = 右、青 = 左)

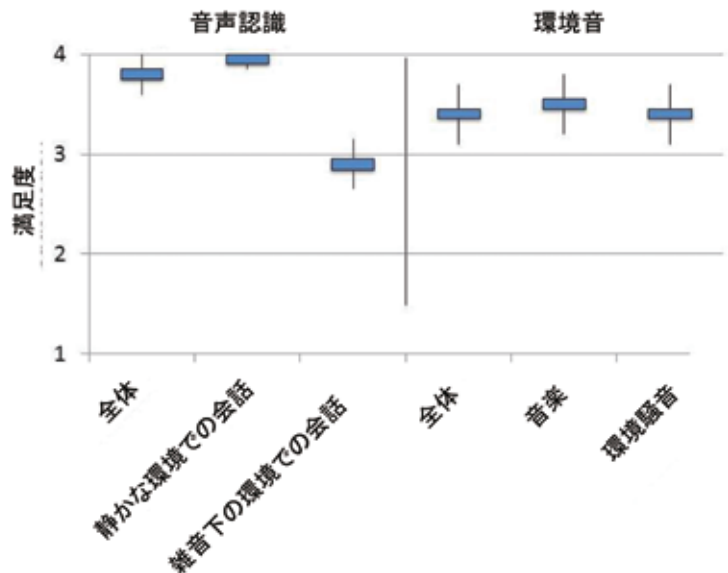


図 3 : 初期フィッティング (Nx-Fit) 後に調査した、Signia Nx の満足度評価 (4 ポイントの尺度)。会話認識と、音楽および環境騒音の環境音の両方が調査対象。

装用者の自分の声に対する印象は、補聴器の最初の受け入れに関して重要視されます。たとえば、こもって聞こえる、音が小さい、鋭く聞こえる、耳障りだ、といった印象がこれに該当します。装用者自身の声が受け入れられるものでなければ、それにより、日常的な補聴器の利用を妨げ、場合によっては補聴器の使用の中断につながる理由となります。これまでは、この問題の対処法は、負の影響を伴うものでした（単純に利得を下げると音声理解が低下するなど）。この問題に対処するために、Signia Nx シリーズは、新機能である自声処理（OVP；Own Voice Processing）を導入しました。この革新的アルゴリズムにより、装用者の声を検出し、瞬時に利得と出力を個別に処理することができます。これは、他者の声の利得や出力には影響を及ぼしません。調査研究では、この機能の大いなる成功を示す結果が出ています。この研究については、前半の論文（P2~6）にて示されています。レビュー全文については、Hoydal の論文⁶を参照してください。

補聴器の受け入れに関する研究に関しては、初期フィッティングと音質判断のあと、参加者には Signia Nx シリーズ補聴器を自宅で数週間試聴してもらい、日常的な場面での補聴器装用のあとで、SSQ(Speech, Spatial Qualities of Hearing Scale-Gatehouse および Noble, 2004 年) を使用して音質を評価してもらいました。これらの評価において使用された SSQ の代表的質問は、項目 1、2、4、13、16、18 です。評価尺度は、SSQ の標準である 0～10 の 11 ポイント（0=「まったくない」、10=「完璧である」）としました。個々で得られた平均の音質評価を図 4 に示します。ここには、Gatehouse および Noble によって報告された臨床基準（難聴者の裸耳）⁷ も示されています。

図のように、音質に関する SSQ の評価は非常に高く、実際には、健聴者の基準をわずかに下回っただけでした⁸。ほとんどの項目で、難聴者に対する Gatehouse および Noble の臨床基準を大幅に上回りました。最も大きな効果が認められたのは、運転中に他者の話を聞くことに関する項目 16 についてでした。基準と同じ評価となった質問は、声色に基づいて相手の気分を判断することについての質問（項目 13）ですが、この点については、健聴者においても一貫した結果を得るのが難しいことから、この結果は想定範囲内だと言えます。



図 4：Signia Nx の自宅での試用後に調査した、SSQ の質問による平均の品質評価。Gatehouse および Noble6 による質問に関する基準データも含む

位置情報認識と音質

私たちは、主に両耳からの 2 つの異なる信号をサンプリングすることで、脳による洗練された両耳処理システムにより音の位置情報を認識することができます。これは、両耳間レベル差 (ILD)、両耳間時間差 (ITD)、およびモノラルフィルタリング効果 (monaural filtering effect) を通じて可能となります。音の位置情報認識は、生活の安全面においても重要であり、一般的な環境認識の一助となっており、音の方向性が分かれば、音を識別しやすくなる場合もあります。

位置情報認識も、音質の重要な側面です。Byrne および Noble によるレビュー⁹にあるように聴覚は、感性の体験にとって不可欠であり、空間情報認識がその大きな部分を担っています。たとえば、鳥がとまっている大体の場所を認識することにより、鳥のさえずりの音質が向上します。また、音の具体化と空間的定位の自然な感覚も、位置確認と関連しています。音のこのような付加的音質がなければ、音自体が聞こえるようになっても、環境において「違和感」を感じる場合があります。

前述 (P7) のように、「雑音下の会話」の問題の解消に成功した方法は、両耳ビームフォーミングの活用によるものです。この処理により、周囲の位置認識がある程度阻害されることは避けられませんが、この阻害を最低限に抑え、特に中心から外れた音については、位置情報認識を維持するよう配慮されています。強化された最新の Nx プラットフォームと先行技術である primax における位置情報認識を比較した研究が行われました。試験は、両側性感音難聴（低域の聴力で 35～40 dB、高域の聴力で 70～75 dB までの難聴）の被験者 (n=19) に対して、両耳ビーム指向性を「オン」にして実施されました。同時に Signia Nx シリーズの無指向性 (TruEar) 処理についても位置情報認識の評価を行いました。

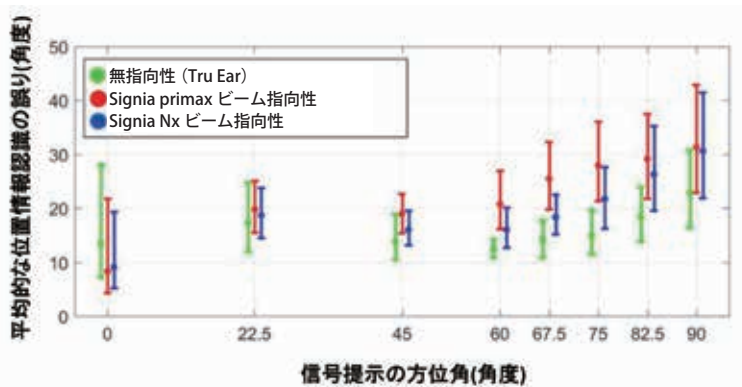


図5：信号提示の方位角の関数として、位置情報認識の誤り(角度)を表示。Signia primax および Nx の、ビームフォーミングを常時「オン」にした状態と、Nx 無指向性 (TruEar) の結果を表示。

この位置情報認識に関する試験の結果を図5に示します。期待通り、最高の結果は無指向性 (TruEar) の条件で得られました。ただし、最新の Nx 処理の結果を見ると、位置確認が TruEar 処理よりもわずかに劣る程度であり、前世代の Signia primax からの改善が見られることから、Nx シリーズにおける機能強化は成功であったと判断することができます。

ビーム指向性を有効化した場合の位置情報認識に関する懸念は、少なくとも次の3つの理由により、多くの場合は軽微な問題となります。まず、この機能は雑音レベルが高く、信号対雑音比 (SN 比) が悪い場合にのみ有効化されるものです。2つ目は、図5に示されるように、対象が ±60 度以上になるまでは、両耳ビームフォーミングを有効とした場合の位置確認は、無指向性 (TruEar) の場合とほぼ同じとなっています。複数人での会話の場合、対象の話し手はたいてい ±60 度の範囲内にいます。最後に、この機能を有効化しても視覚情報が存在していれば、位置確認が大きく低下することはありません¹⁰。ほとんどの補聴器装用者は、複数人での会話に加わる場合は、視覚情報を合わせて利用するものと考えています。

高レベル入力の音質：入力リミッターについて

高い音圧が入力された際の音質は、見過ごされがちな部分です。通常、補聴器フィッティングでは、最大出力制限 (MPO) に自動利得調整 (AGC-O) を用い、強音が装用者のラウドネス不快レベル (LDL; loudness discomfort level) を超えないように、AGC-O の二ポイントを調整します。時として、入力リミッターの存在を忘れてしまいます。初期のデジタル補聴器では、この制限は 90 dB SPL 程度の低さであり、現在でも一部のモデルでは 95 dB 程度で制限が起こる補聴器もあります。補聴器装用者は、騒がしいレストラン、スポーツ観戦、音楽リスニングなどで 100 dB SPL 以上の入力レベルに晒される場合があります。入力レベルがリミッターを超えると、歪が生じやすくなるため、入力リミッターをより高いレベルに設定することはメリットがありません。最大出力制限 (MPO) の設定により、装用者のラウドネス不快レベルを超えることはありません。

Signia Nx シリーズの入力リミッターは、113 dB SPL です。入力リミッターを高くすることの負の側面としてフロアノイズの増加があり、不快感の原因となり得ます。それを避けるため、Nx シリーズでは、入力信号に基づいてリミッターが適宜自動調整されるようになっています。つまり、リミッターは、入力音が大きい場合のみ、より高い値を適応します。入力レベルが非常に高い場合は、補聴器のノイズフロアは問題になりません。さらに、この自動適応機能は、装用者の利便性を考慮した「標準」プログラムを含め、すべてのプログラムで適応されます。装用者は専用プログラムに切り替える必要もなく、専門家による特別なプログラミングも不要です。

ストリーミング信号の音質

Signia Nx シリーズでは、2.4 GHz 技術を使用したダイレクトストリーミングを採用しており、ストリーミング信号の音質を考慮することも重要となります。一般的に、音質の良い補聴器ならば、ストリーミング信号音質も良いと考えがちですが、必ずしもそうとは限りません。ダイレクトストリーミング信号を組み込むための必要な処理とアルゴリズムには、エンコーディングやその後の信号処理が含まれています。これにより、歪み、不鮮明、人工的、帯域の狭さ、明瞭度や豊かさ不足などの音質の劣化につながる場合があります。

Signia のストリーミング信号の性能を試験するために、オーディオ音質の専門家 8 名 (健聴者) の協力を得て研究を行い、オーディオ信号の判断してもらいました。また、音質の比較のため、他社補聴器メーカー 4 社の最上位クラス補聴器 (ミニ BTE・RIC) の判断も行いました。補聴器はすべて、各メーカー独自の標準フィッティング処方式、密閉型ドームを用い、40dB 水平型難聴の聴力に合わせてプログラムしました。研究の詳細は Froehlich, Junius および Branda¹¹ を参照してください。オーディオ専門家に、比較基準として補聴器の処理の無い元のオリジナル音源を聴いてもらい、無作為なブラインドテストとして実施されました。

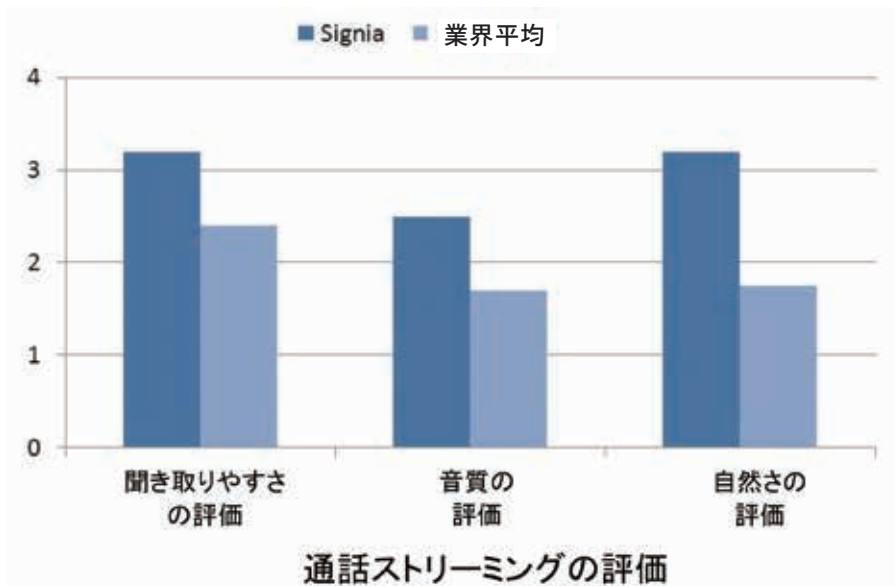


図6：4つの他社製品の平均と比較した場合の、Signiaの平均の評価。通話ストリーミングでの会話の聞き取りやすさの評価は、「0=良くない～5=とても良い」の6ポイントの尺度で実施。電話での会話の音質の評価は、「0=悪い～4=素晴らしい」の5ポイントの尺度で実施。自然さの評価は、「0=不自然～5=とても自然」の6ポイントの尺度で実施。

図6は、携帯電話による会話のストリーミング信号について、聞き取りやすさ、全体の音質、および自然さを評価した平均を示しています。結果は5ポイントの相対的な尺度で表され、3つすべての測定で、評価はSignia製品で有意に高くなりました。Signia製品は、「聞き取りやすさ」と「音質」で業界平均よりも1ポイント近く高くなっており、特に大きく上回っていたのは、「自然さ」についてです。ここでは、業界平均の評価が1.7ポイントだったのに対し、Signia製品の評価は3.2ポイントでした。

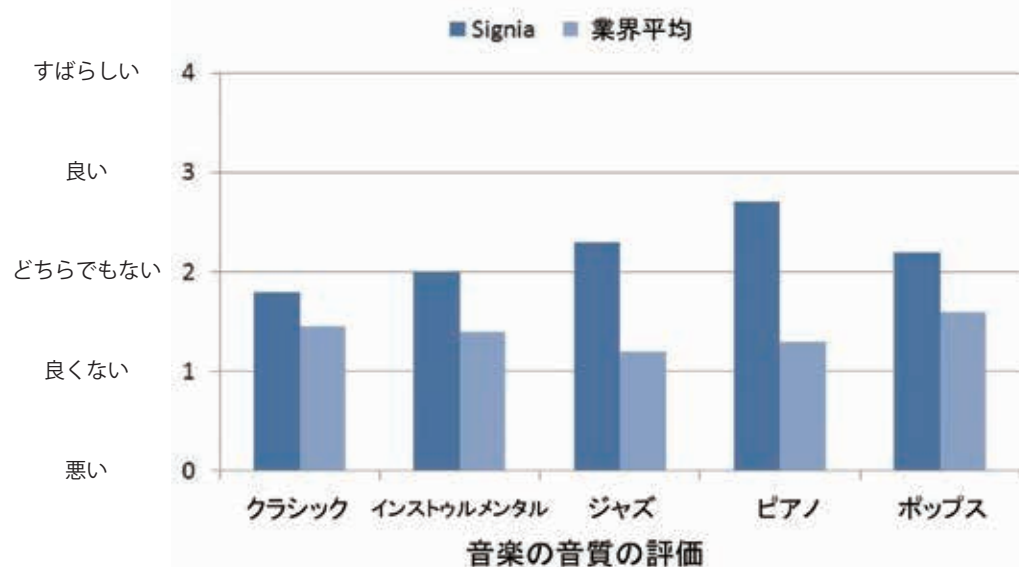


図7：5種類のジャンルの音楽に関して、4つの他社製品の平均と比較した場合の、Signiaの平均の評価。評価は、「0=悪い～4=素晴らしい」の5ポイントの尺度で実施。

多くの難聴者にとって、2.4GHzテクノロジーの音楽ストリーミングは、最も好評な利点となっています。個人的な音楽ジャンルの好みや音楽の多様性を考慮し、評価には5種類の音楽ジャンルを使用しました(クラシック/インストゥルメンタル/ジャズ/ピアノ/ポップス)。図7には、5つのジャンルにおけるオーディオ専門家によるSignia製品と業界平均が示されています。Signia製品の平均値は、業界平均を大幅に上回るものでした。これらの平均評価は、「どちらとも言えない」(評価尺度3)以上となりました。一方、業界平均は、「良くない」(評価尺度2)を上回る程度に留まりました。興味深いことに、Signiaの優位性は、ピアノ音楽を聴くときに最も大きく表れました。これは、人工的な異音が無いという別の研究(Froehlich et al¹¹を参照)に関連付けられる可能性があります。

まとめ

音質は重要ですが、全体的な補聴器のフィッティングにおいて、時として見過ごされてしまいます。会話の聞き取りについては、補聴器装用を動機付ける最初のきっかけとなり、日常生活においても継続的に重要視されます。ただし、補聴器を使い続ける決め手は音質になります。

初装における音質の印象は最も重要ではありますが、Signia製品では、フィッティング後の日常的な生活環境、位置情報認識、高レベル入力の品質およびストリーミング信号も考慮に入れています。本書では、Signia Nxシリーズに関する研究を述べました。これにより、本製品が音質に関わるすべての分野を網羅しているということが明確なものとなりました。

参考文献

1. Kochkin S (2010) MarkeTrak VIII: Consumer Satisfaction with hearing aids is slowly increasing. Hearing Journal. 63(1):19-32.
2. Picou EM (2016) How Hearing Loss and Age Affect Emotional Responses to Non-speech Sounds. J Speech Lang Hear Res. 59 (5):1233-1246.
3. Froehlich M, Freels K, Powers T. (2015, May) Speech recognition benefit obtained from binaural beamforming hearing aids: comparison to omnidirectional and individuals with normal hearing. AudiologyOnline [Article 14338].
4. Littmann V, Hoydal EH (2017) Comparison study of speech recognition using binaural beamforming narrow directionality. Hearing Review 24 (5): 34-37.
5. Littmann V, Wu YH, Froehlich M, Powers TA. (2017) Multi-center evidence of reduced listening effort using new hearing aid technology. Hearing Review. 24(2):32-34.
6. Hoydal EH (2017) Communication – the primary goal of audiologic rehabilitation. Hearing Review 24(11).
7. Gatehouse S, Noble W. (2004). The speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ). Int. J. Audiol. 43 (2): 85-99.
8. Demeester K, Topsakal V, Hendrick J, et al. (2012) Hearing disability measured by the speech, spatial and qualities of hearing scale in clinically normal-hearing and Hearing impaired middle-aged persons. Ear Hearing 33 (5): 615-626.
9. Byrne D, Noble W. (1998) Optimizing sound localization with hearing aids. Trends Amplif. 3(2): 51-73.
10. Picou EM, Aspell E, Ricketts TA (2014). Potential benefits and limitations of three types of directional processing in hearing aids. Ear Hear (3): 339-352.
11. Froehlich M, Junius D, Branda E. (2017) A comparison of signal quality of direct streaming hearing aids. Canadian Audiologist, 4 (4). <http://www.canadianaudiologist.ca/issue/volume-4-issue-4-2017>

※本資料は Signia Nx のグローバル本社開発背景による社内検証資料（翻訳版）であり、販売店様専用資料です。

※本資料にある主観的評価のみならず客観的評価は、個人の能力、主観であり、全ての人に当てはまるものではありません。

※補聴器は適切なフィッティング調整により、その効果が発揮されます。しかし、装用者の聞こえの状態によっては、その効果が異なる場合があります。

シバントス株式会社

本社・カスタマーサービス部

〒242-0001 神奈川県大和市下鶴間1623-14 三機大和ビル6F

Fax. 0800-888-4133

0800-222-4133 ヨイミミ

※本フリーコールはIP電話からはつながりません。その場合は下記番号までお問い合わせください。

Tel.046-409-4133 Fax.046-407-1133

<http://www.signia.jp>

17.11.JP65 17004054