

Phonak Insight●

聴覚情報処理と認知機能の変化—高齢者のための最適な補聴器フィッティング—

聴覚情報処理および認知機能の変化は加齢に伴う自然な過程の一部であり、特に騒音下における聞き取りに大きな影響を及ぼす可能性があります。Windleら（2023年¹）の論文では、高齢者が加齢によって経験する聴覚機能の低下と、それに伴うことばの理解への影響について概説しています。

本稿では高齢者に対する補聴器フィッティングの推奨事項を整理するとともに、フォナックが提供する主要技術がどのようにSN比を改善し聴取努力を軽減するかを解説します。

Stacey Rich, 2024年12月

重要なポイント

- 加齢に伴う聴覚情報処理能力および認知機能の変化は、高齢者への補聴器選定およびフィッティング時に考慮すべき重要な要素です。
- 音の歪みを最小限に抑えバイノーラルキューを維持することを目的として、補聴器設定を最適化するための基本原則および推奨事項が提示されています。
- 補聴器装用を成功に導くためには、ニーズと能力を個別に評価し、装用者と共有された目標を設定したうえで適切な支援戦略を立てる「パーソンセンタード・アプローチ（本人中心のアプローチ）」が推奨されています。

考慮すべき事項

- 専門家は、圧縮率の設定やノイズリダクション、その他の高度な補聴器機能が音の歪みを引き起こす可能性があることを認識し、それらを慎重に検討する必要があります。
- 最適なことばの明瞭性と快適性を実現するためには、複数のフィッティングを比較検討することが重要です。
- SN比を改善するために、指向性マイクロホンやワイヤレス補聴援助システムの活用が推奨されます。

加齢に伴う認知と聞こえ

はじめに

高齢者の人口は今後も増加を続けると予測されており、65歳以上の成人は2050年までに倍増し80歳以上の人口は3倍に達すると見込まれています²。世界保健機関（WHO）は、この傾向の背景として医療の進歩や生活習慣の改善を挙げています³。

近年、聴覚と認知機能の関連性、特に未治療の難聴と認知機能低下との関係、および補聴器の使用が認知機能の維持にもたらす潜在的な利益に注目が集まっています。大多数の高齢者は認知症を発症しないものの、加齢に伴う聴覚および認知機能の変化と、それがことばの聞き取りと理解に及ぼす影響について理解を深める必要があります。

2023年にWindleら¹は、加齢に伴う自然な過程として生じる聴覚情報処理および認知機能の変化について論じた総説論文を発表しました。あわせて、高齢者に対する補聴器の選定およびプログラミングへの示唆についても述べられています。

本論文では明示的に言及されていないものの、著者らはこうした推奨事項が難聴を有する高齢者だけでなく、認知機能の低下がみられる高齢者にとっても同様に重要であるとしています。本稿では彼らの主な知見および推奨事項を要約します。

聴覚情報処理および認知の変化

年齢を重ねるにつれて聴覚や理解をつかさどる脳の領域では神経の結びつきが減少し、これにより音の時間的処理能力や音源定位の正確性に影響が及ぶ可能性があります。神経接続の減少は異なる周波数（またはピッチ）を聞き分ける能力にも影響を及ぼし、音声や音楽の聞き取りを難しくします。これらの変化が重なることで、騒がしい環境の中で特定の音を聞き分けたり特定の話者に注意を向けたり、ことばを明瞭に理解したりすることが難しくなります。

音声の包絡線（エンベロープ）と時間微細構造（テンポラル・ファイン・ストラクチャー）は、人が音声を聞き取り、意味を理解するうえで極めて重要な要素です。

包絡線は音声全体の振幅変動に関する手がかりを提供し、話者の識別や周波数認識、音源定位に寄与します。一方時間微細構造は音声のピッチやフォルマントなどの詳細な音響情報を提供します。しかし難聴があると、これらの周波数および時間的な手がかりの活用が困難になり、騒音下でのことばの聞き取りと理解がより困難になります。

聴覚系が音を処理する一方で、認知処理はその音に意味を与え理解する役割を担っています。Windleら¹は加齢に伴って認知機能が低下することを示すとともに、複数の処理が累積的に影響を及ぼしている可能性についても言及しています⁴。処理速度理論によれば、心的処理が遅くなることでいくつかの課題の遂行に時間がかかり、それが認知資源を消耗させ過去の出来事を記憶したりより複雑なタスクを開始したりする能力に支障が出るとされています。一方、現在の課題に関する情報を一時的に保持するワーキングメモリ（作業記憶）は容量に限りがあり、その制約のために不要な情報を適切に排除することが困難になります。聴取能力には複数の認知スキルが関与しており、特に雑音下でのことばの聞き取りといった困難な課題ではその影響が顕著になります。著者らは、雑音下での聞き取り能力と処理速度、抑制機能（不要な情報を排除する力）、ワーキングメモリおよびエピソード記憶との相関について述べています。特にワーキングメモリは雑音下や早口の音声の理解と強く関連しており、実行機能、抑制機能、処理速度もまた聴取能力や聴取努力の程度に関係しています⁴。

聴取努力の増大

努力を要する聴取の理解フレームワーク（FUEL: Framework for Understanding Effortful Listening²）によれば聴取努力とは、聴取時の困難を乗り越えるために必要とされる認知資源の配分と定義されています。聴力または認知機能のいずれかが低下すると、より多くの努力が必要となり、聴取の負荷が増加します。複数の神経系がこの聴取努力に関与しており、それはことばの理解に不可欠な要素です。さらに、加齢に伴う認知機能の変化も聴取努力に影響を与えます。これは補聴器使用に対する意欲や社会的関わりにも関係し、結果的に生活の質（QOL）や長期的な健康にも影響を及ぼす可能性があります。難聴の高齢者は聴覚入力の質が低下しており、ことばの理解に必要とされる時間的および周波数的な手がかりへのアクセスが困難になります。適切に調整された補聴器であっても、劣化した音声信号や聴覚情報処理能力、認知機能を完全に回復させることはできません。しかし、SN比を改善し不要な雑音を減らすことにより、装用者の聴取努力を軽減することが可能です。

補聴器プログラミングにおけるエビデンスに基づく基本原則

Windleら¹の総説論文では、高齢者の聴覚情報処理能力および認知機能を考慮した効果的な増幅を実現するために、エビデンスに基づく原則を以下のように提案しています。

1. 音声の包絡線に歪みを生じさせることなく、ことばを十分に可聴化すること。
2. 音声を構成する要素間の静かな間（無音区間）を保持すること。
3. 両耳間の時間差および音圧差（ITDおよびILD）を維持すること。
4. 両耳装用による干渉が認められた場合には片耳装用を検討すること。
5. 指向性を活用しSN比を改善すること。
6. ノイズリダクション機能を使用し、認知負荷および聴取努力を軽減すること。

これらの原則は補聴器の圧縮設定を最適化し、両耳での自然な聞き取りの手がかりを保ちながら、音の歪みを抑えることに重点を置いています。これによりSN比の改善と聴取努力の軽減が期待されます。

ファストコンプレッションとスローコンプレッション

高齢者においてはファストコンプレッション（以下、FAC）は音声の包絡線に含まれる手がかりを歪めるため、ことばの理解を妨げる可能性があります。具体的にはことばの無音区間において雑音を過剰に増幅し、ギャップ検出を困難にすることが懸念されます。

さらに話者を聞き分ける際に重要となる変調検出能力を低下させる可能性があり、残響環境における音源定位能力にも制限を及ぼすおそれがあります。

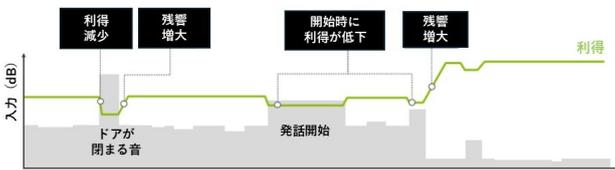


図 1:ファストコンプレッションにおけるアタックタイムとリリースタイムの表示

最後に、FACにおいて周波数バンド数を増やすことはスペクトルコントラストを低下させ、静かな環境であっても母音の明瞭さやことばの明瞭性に悪影響を及ぼす可能性があります。

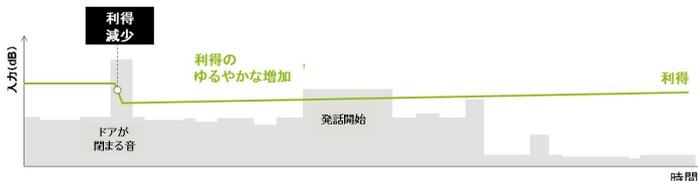


図 2:スローコンプレッションにおけるアタックタイムとリリースタイムの表示

スローコンプレッション（以下、SAC）における主な特徴は、利得の回復が緩やかである点にあります。各チャンネルで異なる利得が適用されることにより、高周波成分が強調され音声の包絡線がより適切に保持されます¹。

認知機能が低下している方にとっては、特に騒音下において、FACよりもSACの方が脳によることばの理解を助ける効果が高い可能性があります。

Gatehouseらによる一連の研究^{5,6,7}では、圧縮速度と聴取能力において、認知機能が相互に作用することが示されました。特にFACにおいては、ことばの理解と認知機能との間に負の相関関係が認められ、認知機能が高い人ほど恩恵を受ける一方で、認知機能が低い人では成果が乏しい傾向が見られました。

評価項目	スローコンプレッション (SAC)	ファストコンプレッション (FAC)
ことばの聞き取り	ノンリニアのスロー+スロー設定およびファスト+スロー設定は、リニア方式よりも高いことばの聞き取りを示した。	ファスト+ファスト設定、ファスト+スロー設定は理想的な環境下ではことばの明瞭度が高かった。
快適性	スロー+スロー設定は、快適性が最も高く、装用者から最も支持された。	ファスト設定は、スロー+スロー方式に比べて快適性が劣っていた。
装用者の好み	スロー+スロー設定およびファスト+スロー設定は、ことばの明瞭性と快適性の両方に優れているとして好まれた。	ファスト+ファスト設定は、装用者からの評価は低かった。
困難な聴取条件下での性能	ことばの明瞭性は中程度に低下したが、低いSN比の環境や高い音声レベルにおいても信頼性は維持されていた。	SN比が悪い環境や音声レベルが高い状況では、FACの利点は顕著に低下した。

表 1:軽度から中等度の感音難聴を有する高齢者における、FACおよびSACを用いたリニアおよびノンリニア補聴器のフィッティング方式の概要

両耳処理

加齢に伴い、両耳からの音情報を統合的に処理する能力は低下します。これにより、左右の耳での音の強さや到達時間の違いを正確に検出・活用する能力が損なわれる可能性があります。補聴器における両耳処理は、脳がバイノーラルキューを統合し音の空間的な位置関係を把握しやすくするための支援となります。

両耳処理は音圧差や時間差といった手がかりを保持することで、背景雑音の中から目的の音声を識別する能力を高める効果があります。またマスキング音の影響を低減することでSN比の改善にも寄与します⁸。

一部の高齢者では、両耳からの音を同時に処理することが困難となる両耳干渉が生じることがあります。このような場合、両耳装用より片耳装用の方が良好な結果を示すことがあります。両耳干渉が疑われる場合、3つの装用条件（両耳、右耳のみ、左耳のみ）におけることばの明瞭性と聴取快適性を比較します。その結果をもとに、最も適したフィッティング方法を判断することができます。

ノイズリダクション

ノイズリダクション機能の強度や処理速度は、ことばの信号に歪みを生じさせる可能性があります。特に強力なノイズリダクションは、認知機能やワーキングメモリが保たれている人にとっては恩恵が大きい一方、認知機能やワーキングメモリが低下している人にはかえって効果が限定的となる場合があります。これは、複雑な聴取課題でより顕著に見られます。背景雑音はワーキングメモリの働きを妨げ、単語の想起に支障をきたすことがあります。ノイズリダクションはこの負担を軽減する役割を果たします。ただしノイズリダクションに対する好みは個人差があります¹。一般的には中程度のノイズリダクションが好まれる傾向があり、ことばの明瞭性を損なうことなく聴取の快適性を向上させます。

著者らは個々のクライアントにとって最適な補聴器フィッティング方式を見出すことが、しばしば困難であることを認めています。また、臨床検査によって明確な判断基準が得られない場合も多いことに言及しています。言語指示や言語提示を伴う認知機能検査は難聴の影響を受けやすく、その臨床的有用性はまだ確立されていません。標準的な聴力検査に加えてことばの聞き取りテスト（スピーチテスト）を実施することで、全体的な能力についての洞察は得られますが具体的な補聴器設定や機能選択を決定・指導するための直接的な手段とはなりにくいとされています。

これを踏まえ、Windleら¹は、加齢に伴う変化や病的な認知機能低下によって聴覚情報処理や認知機能が変化している可能性のある高齢者に対して、補聴器プログラミングにおける実践的な推奨事項を提示しています。

主な推奨事項のまとめ：

1. 圧縮速度／圧縮比、ノイズリダクション、周波数圧縮（周波数変換）などの機能は、音声信号に歪みを生じさせる可能性があることを認識する。
2. 適応型圧縮アルゴリズムの使用を検討し、高齢者には特に騒音下においてスローコンプレッションを基本とする。ファストコンプレッションを使用する場合は、可能な限り圧縮比を抑える。
3. SN比を改善するために、指向性マイクロホンやワイヤレス補聴援助システムを活用する。
4. ノイズリダクションは中程度の設定を推奨する。強力なノイズリダクションは認知機能が低下している人では語音知覚を妨げる可能性がある。
5. 周波数圧縮（周波数変換）などの高度な機能はことばの明瞭性を損なわないことを確認しながら慎重に使用する。

6. ことばの理解と聴取快適性を最適化するために、両耳装用と片耳装用を比較検討する。
7. 実耳測定（REM）を用いてフィッティングを検証し、利得や圧縮設定全体を慎重に確認する。適切な検証方法を用いて結果を評価することが重要。

フォナックの主な技術と特徴

このセクションではフォナックが開発した主要技術についてご紹介します。これらはインフィニオおよびルミティシリーズの補聴器に搭載されており、音声の包絡線を保持しSN比を向上させ、聴取努力を軽減することを目的としています。これらのエビデンスに基づく機能は高齢者に関してこれまで述べてきた原則や実践的な推奨事項と併せて理解することが重要です。

アダプティブ・フォナック・デジタル（APD）3.0

APD 3.0はフォナック独自の処方式であり、適応型の圧縮速度と高入力時のリニア化を組み合わせた技術です⁹。これにより補聴器に入力される段階で幅広い音の強度を受け取りつつ出力される段階ではそれを適切な範囲に圧縮することが可能になります。APD 3.0は、ファストコンプレッションとスローコンプレッションをデュアルパスで組み合わせ、適応型の時定数を用いることで、利得制御は迅速に行いながらもリリースは緩やかに、より一定かつリニアな利得維持を実現しています。

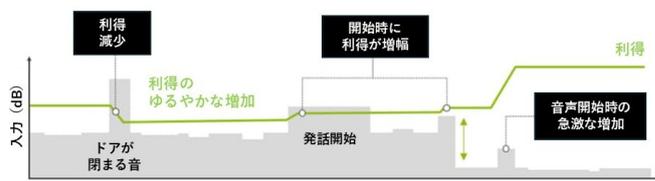


図3: APD 3.0におけるアダプティブコンプレッション：ドアが開まる音では利得を素早く減少し、会話の開始時には素早く増幅させ、その間はゆっくりとほぼリニアで増幅する。

アダプティブコンプレッションの利点には、より広いダイナミックレンジの確保¹⁰、残響感の低減¹⁰、騒音環境下での快適性の向上¹¹、突発音に対する快適性の向上¹²などが挙げられます。さらにAPD 3.0では大きな入力音に対して追加のニーポイントを設定することで、中程度の音量域ではより圧縮を強めつつ、大きな音量域ではリニアに増幅する設計が可能になっています。これにより自然なラウドネス成長関数に近い増幅が実現されます⁹。

APD コントラスト 2.0も選択肢の一つであり、すべての環境においてスローコンプレッションを適用することで、ことばの包絡線の手がかりをより強調することができます。これにより特にその支援を最も必要とする方に対して効果的な対応が可能となります。

指向性マイクロホン技術の利点については、多くの研究で明らかにされています¹³。指向性マイクロホンによるSN比の改善は一般的な騒音環境下、すなわち前方からことばが聞こえ、側方や後方から雑音が入るような場面でことばの明瞭性を向上させることが示されています^{14,15}。インフィニオおよびルミティシリーズに搭載されている固定指向性マイクロホンモードでは、クライアントは最大26%のことばの理解向上を体験できます¹⁶。

ステレオズーム 2.0は、両耳間音声通信技術を用いたビームフォーミング技術であり、両耳指向性をさらに進化させたシステムです。騒音レベルの上昇に応じてスムーズに作動し、前方から話し声が聞こえる場合には最大で3 dBのSN比改善が得られます。また騒音下の環境においても、追加で2.5 dBのSN比向上が報告されています¹⁷。スピーチセンサーは空間的な音声検出アルゴリズムであり、周囲の音環境を常時モニタリングし360度の音環境を把握することで、主たる話し手の方向を正確に検出することが可能です。これにより困難な聴取環境でも適切な音声信号の方向を検出します。

スピーチエンハンサーは、静かな環境でのことばの理解を向上させることを目的とした機能で、インフィニオおよびルミティシリーズの補聴器に搭載されています。音声のピーク部分を選択的に増幅し、小さな声や遠くの声に対して最大10dBの利得を提供します¹⁸。スピーチエンハンサーは、静かな環境での小さい声に対する聴取努力を軽減することが示されており、また遠くの声聞く際にも好まれる機能です¹⁸。

フォナックは困難な聴取環境におけることばの理解を支援するため、SN比を改善する技術の開発に長年取り組んできました。フォナックの補聴器における人工知能 (AI) の活用は2000年まで遡り、自動制御システムのトレーニングに初めてAIが用いられました。最新の「全方位からのことばの明瞭性」機能では、最大設定時に-6dBという非常に悪いSN比環境下でも、最大10dBのSN比改善が実現されます¹⁹。また、中等度～高度難聴の装用者は「全方位からのことばの明瞭性」を使用することで、未使用時と比べてあらゆる方向からのことばの理解が2倍になったと報告されています²⁰。

より困難なグループ内での会話や高騒音環境において、SN比の改善が特に必要なクライアントには、ワイヤレス補聴援助システムの活用が推奨されます。フォナックのデジタルワイヤレス補聴援助システム「ロジャー」は、グループでの会話や距離のある話し手とのコミュニケーションにおいて、優れたことばの聞き取りを提供します²¹。

またロジャーユーザーの90%が、家族や友人にロジャーを勧めたいと回答しています²²。

上記で紹介した技術は、APD 3.0によることばの周波数情報の保持およびSN比の改善を目的としています。これによりクライアントができる限り明瞭な音声信号にアクセスできるよう支援し、聴取努力や聴取疲労の軽減を目指しています。

結論

難聴と認知機能低下の関連についての知見は、今後もさらに蓄積されていくと考えられます。多くの成人は認知症を発症しないものの、加齢に伴う自然な過程として聴覚情報処理や認知機能の変化を経験します。こうした変化は高齢者における補聴器選定および適切なプログラミングにおいて重要な要素となります。

Windleら¹によるエビデンスに基づく推奨事項には圧縮設定の最適化、可能な限りバイノーラルキューの保持、あるいは片耳装用の検討、さらにSN比を改善するための雑音管理機能や高度な補助機能の活用が含まれます。これにより、聴取努力の軽減や認知的負荷の最小化が期待されます。

フォナックのインフィニオおよびルミティシリーズの補聴器では、ことばの包絡線の保持、SN比の改善、聴取努力の軽減を目的とした先進的かつ適応型の機能を提供しています。

これらのエビデンスに基づく機能は、加齢による変化や病的な認知機能低下に伴い聴覚情報処理や認知能力が変化している高齢者に対して、フィッティングの原則とプログラミングの推奨事項を具体的に実践するための重要な手段となります。

参考文献

1. Windle reference in APA: Windle, R., Dillon, H., & Heinrich, A. (2023). A review of auditory processing and cognitive change during normal ageing, and the implications for setting hearing aids for older adults. *Frontiers in Neurology*, 14, Article 1122420. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1122420>
2. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO
3. World Health Organization. (n.d.). Ageing and health. Retrieved November 22, 2024, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
4. Dryden, A., Allen, H. A., Henshaw, H., & Heinrich, A. (2017). The Association Between Cognitive Performance and Speech-in-Noise Perception for Adult Listeners: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Trends in Hearing*, 21, 2331216517744675. <https://doi.org/10.1177/2331216517744675>
5. Gatehouse, S., Naylor, G., & Elberling, C. (2006). Linear and nonlinear hearing aid fittings—2. Patterns of candidature. *International Journal of Audiology*, 45, 153-171. <https://doi.org/10.1080/14992020500429484>
6. Gatehouse, S., Naylor, G., & Elberling, C. (2006). Linear and nonlinear hearing aid fittings—1. Patterns of benefit. *International Journal of Audiology*, 45, 130-152. <https://doi.org/10.1080/14992020500429518>
7. Gatehouse, S., Naylor, G., & Elberling, C. (2003). Benefits from hearing aids in relation to the interaction between the user and the environment. *International Journal of Audiology*, 42(Supplement 1), S77-S85. <https://doi.org/10.3109/14992020309074627>
8. Derleth, P., Georganti, E., Latzel, M., Courtois, G., Hofbauer, M., Raether, J., & Kuehnel, V. (2021). Binaural Signal Processing in Hearing Aids. *Seminars in hearing*, 42(3), 206-223. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735176>
9. Woodward, J., Jansen, S., Kuehnel, V. (2020). Hearing inspired by nature: the new APD 20 fitting formula with adaptive compression by Phonak. *Phonak Insight*. Retrieved from www.phonak.com/evidence
10. Hassager, H. G., Wiinberg, A., and Dau, T. (2017a). "Effects of hearing-aid dynamic range compression on spatial perception in a reverberant environment," *J. Acoust. Soc. Am.* 141, 2556-2568
11. Kowalewski, B., Zaar, J., Fereczkowski, M., MacDonald, E., Strelcyk, O., May, T., & Dau, T. (2017). Effects of slow-and fast-acting compression on hearing impaired listeners' consonant-vowel identification in interrupted noise. In *International Symposium on Auditory and Audiological Research*. The Danavox Jubilee Foundation
12. Lopez-Poveda, E. A., Johannesen, P. T., Perez-González, P., Blanco, J. L., Kalluri, S., & Edwards, B. (2017). Predictors of hearing-aid outcomes. *Trends in hearing*, 21, 1-28
13. Ricketts, T. A. (2005). Directional hearing aids: then and now. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42(4, Suppl 2), 133-144
14. Mueller, G. H., & Ricketts, T. A. (2000). Directional-microphone hearing aids: an update. *The Hearing Journal*, 53(5), 10-19
15. Bentler, R. A. (2005). Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids: A systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(7), 473-484
16. Latzel, M., LeSimple, C., & Woodward, J. (2022). New implementation of directional beamforming configurations shows improved speech understanding and reduced listening effort *Phonak Field Study News*. Retrieved from www.phonak.com/evidence
17. Appleton, J. (2020). AutoSense OS 4.0 - significantly less listening effort and preferred for speech intelligibility. *Phonak Field Study News* retrieved from www.phonak.com/evidence
18. Latzel, M., Heeren, J and Lesimple, C. (2024). "Speech Enhancer reduces listening effort and fatigue." *Phonak Field Study News*. Retrieved from www.phonak.com/evidence
19. Raufer, S., Kohlhauer, P., Jehle, F., Kühnel, V., Preuss, M., Hobi, S. (2024). Spheric Speech Clarity proven to outperform three key competitors for clear speech in noise. *Phonak Field Study News*. Retrieved from www.phonak.com/evidence
20. Wright, A., Kuehnel, V., Keller, M., Seitz-Paquette, K., Latzel, M. (2024). "Spheric Speech Clarity applies DNN signal processing to significantly improve speech understanding from any direction and reduce the listening effort." *Phonak Field Study News* retrieved from <https://www.phonak.com/evidence>
21. Thibodeau L. M. (2020). Benefits in Speech Recognition in Noise with Remote Wireless Microphones in Group Settings. *Journal of the American Academy of Audiology*, 31(6), 404-411
22. Sonova proprietary research. (2019). Project ID#1299. Please contact marketinsight@phonak.com if you are interested in further information

著者



Stacey Rich,
Senior Manager Audiology Thought
Leadership.

Staceyは、Sonova本社においてオーディオロジー分野のソートリーダーシップおよび教育チームを率えています。

オーディオロジストになる前は、アメリカ手話（ASL）の通訳者として活動していました。

2003年に臨床聴覚学の修士号を取得後、オーストラリアで小児分野の臨床家として勤務し、補聴器や補聴援助システムのフィッティングを担当してきました。

2008年にフォナックへ入社し、現在に至ります。