自動環境認識システムの性能を他メーカーと比較した主観的・客観的評価の結果

聞こえの環境を項目に分け、それに合わせて補聴器のパラメータを変化させる自動環境認識システムを使用することで、補聴器装用者はプログラムスイッチを使っての切り替えに労力を費やすことなく、複数の補聴器設定によるメリットを手軽に得られるようになりました。しかしながら、このシステムの高性能なレベルというのは、製造メーカーによって幅広く異なります。切り替わりの素早さ、環境を項目に分ける能力、プログラム適応時に利用可能なパラメータの数など。フォナックのオートセンス OS は、聞こえの環境を素早く正確に仕分けるだけでなく、環境内に存在する異なる音響的な種類の割合と可能性を分析することもできます。Phonak Audiology Research Center（以下、PARC）は、オートセンス OS の能力をより理解すべく、2 つの他メーカーの自動環境認識システムと比較した調査研究を実施しました。研究では、特に、どのようにして他メーカーの自動環境認識システムが、現実世界の聞こえの環境において、補聴器装用者の聞こえに効果的に作用するかという点に着目しました。研究の結果、現実世界の複雑で困難な聞こえの環境において、フォナックのオートセンス OS を使用すると、一貫性のあるより良い語音明瞭度が得られるということが分かりました。

はじめに

自動環境認識システムが 90 年代後半に初めて補聴器に搭載されてからというもの、環境に合わせて補聴器のパラメータを検出して適応する機能はより一層複雑になりました。補聴器のプログラムとパラメータを調整してくれる“スマート”な補聴器に重点を置くことは、このようなテクノロジーが補聴器装用者の労力を減らし、利便性を最大にしてくれることから、補聴器の分野において主要な話題となっています。

McCormack と Fortnum（2014）によるスコーピング調査では、（特に騒音下での）知覚的なメリットの欠如と困難な取り扱いの両方が、補聴器の使用を中止した理由の 3 つにランクインしていると結論付けられました。環境状況を基にパラメータを最適化し、装用者と補聴器との相互作用（やり取り）に対するニーズを最小化する確かな自動環境認識システムが、これらの壁のいくつかを取り除く可能性があると推測できます。他の製造メーカーは異なる手法で自動機能を提供しています。いくつかの他メーカーは、柔軟さ、複雑さ、精密さを自動操作に加える分野における技術革新に集中していますが、限定した複数のパラメーターを自動操作することに制限された他メーカーが存在する中で、フォナックのオートセンス OS は利得やサウンドクリーニングをスムーズに変化させ、性能と音質のバランスを最適にします。人工的な聞こえ、変化への気付き、認識可能な移行時の変化、そして不快な聞こえを避けるため、信号処理はゆっくりと適応し、日常の複雑な聞こえの場面に適合するよう、複数のプログラムをブレンドします。

以前に PARC で実施した研究で、実際の生活における聞こえの環境を、オートセンス OS と手動切替したプログラムでの聞き取りを比較しました (Rakita と Jones, 2015)。研究の結果によると、被験者が選択した手動プログラムよりも、オートセンス OS の方が同等またはより良い語音明瞭度が得られることが分かりました。この以前の研究を延長し、どのようにして他メーカーの自動機能がオートセンス OS と比較して、日常生活における複雑な聞こえの環境で、言葉の聞き取りに影響を与えるかという点に注目して実施しました。

PHONAK
life is on

研究方法

この研究には、23 歳～83 歳までの被験者 14 名が参加しました。被験者は両耳に軽度～中高度の感音難聴があり、終日補聴器を使用しています。この研究では、被験者にオーデオ B 90 と、比較対象として 2 つの他メーカー補聴器（RIC タイプ）を調整しました。この研究に参加した被験者 14 名の平均聴力は図 1 にて確認できます。

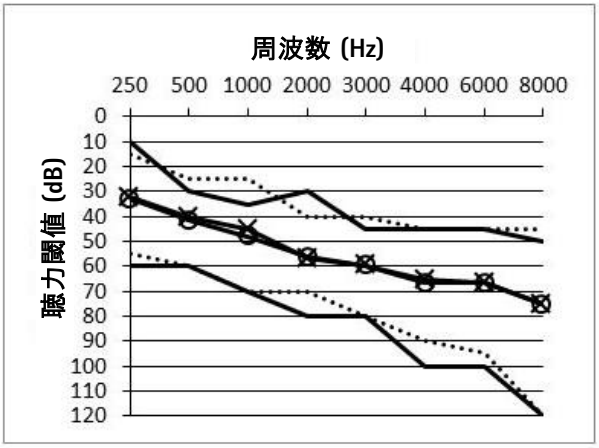


図 1：被験者 14 名の平均聴力閾値

補聴器のフィッティング

フォナックを含めた 3 つの製造メーカーの補聴器は、処方式に“NAL-NL2”が各専用フィッティングソフト上で選択されました。各メーカーとも、目標利得は100%に設定し、周波数移行機能は全て無効にしました。また、プログラムは自動環境認識プログラムのみを設定しました。

全ての補聴器メーカーに平等な可聴性を提供するため、Verfit 2 を使用して実耳測定が行われました。各メーカーとも、REAR（補聴器装用時の反応）が NAL-NL2 を用いた時に 250～4000 Hz が±3 dB になるよう調整しました。こうすることで、可聴性固有の差異とは対照的に、自動機能が決定する環境の場面特有の信号処理の変化を評価することが可能になります。

テストの設定準備

日常生活における 4 つの聞こえの環境がこの研究で使用されました。選ばれた理由は次にとおりです：

a) 日常生活で補聴器装用者が頻繁に遭遇する環境であるため
b) 補聴器専門家からの情報によると、補聴器装用者にとって非常に困難な環境またはモデルケースであるため
c) 幅広い環境場面において補聴器に求めるものが、異なる聞こえに対するニーズや適応性であるため

以上のように、日常生活は複雑な聞こえの環境であるため、使用する文章は、予め 4 つの聞こえの環境用の音圧レベルに校正しました。周囲のレベルは出来るだけ最大限に一貫して管理されました。自然な雑音が発生する環境下（例：カフェや車の中）においては、一日の異なる時間帯や日をまたいでも一貫した雑音レベルになるよう、テスト実施前に、何名かの被験者に実際に訪問してもらいました。テストに使用したそれぞれの聞こえの場面に関する説明は後述します。それぞれの聞こえの場面において、被験者が補聴器を装用し、作動させる時までの適応時間が全てのテストセッションに組み込まれました。補聴器が完全に環境に適応するよう、テスト実施前に環境下に置いておきました。

フォナック オーデオ B 90 と、2 つの他メーカーからの RIC タイプ補聴器を使ったテストが行われました。全ての補聴器にフォナックのパワー耳せんを使用しました。これは、被験者にどのメーカーの補聴器であるかが分からないようにするためです。被験者が装用する補聴器の順番はランダムに決定し、それぞれの聞こえの場面との均衡を取りました。

各テストセッションには、少なくとも 2 名の実験者が参加しました。実験者の 1 人はテストに使用する各メーカーの補聴器の順番を知っており、予めランダムに決めた順番で、被験者の耳に補聴器を取り付けました。どのメーカーの補聴器であるか見て分からないように、音響的に透過性のある黒いカバーを補聴器に装着しました（図 2）。これにより、被験者もスコアをつける実験者も、被験者がどのメーカーの補聴器をテストで使用しているのか知ることはできませんでした。別の実験者は、被験者の応答にスコアをつける担当になり、各メーカーの補聴器を使用した時の語音明瞭度の点数を計算しました。音声を提示するのに BOSE Minilink ワイヤレススピーカーを必要としたので、車の中とカフェの場面ににおいては、 3 人目の実験者が参加しました。この 2 つの場面において、ワイヤレススピーカーの位置での一定レベルと、被験者からの一定距離を維持していたのが、この 3 人目の実験者でした。

図 2：補聴器本体に同じパワー耳せんと黒いカバーを装着したことで、どのメーカーの補聴器かは見ただけでは分からない

フォナックの Listening Loft で測定した「複雑な聞こえの場面」と「小さな音声がある場面」において、音声と雑音を提示するため、実験室のスピーカーとサウンドカード[1]が使用されました。この空間は反響が大きい建物として設計されました（残響時間=0.8 秒）。16 チャンネルあるサウンドカード REM Fireface とスピーカー Genelec 8020CPM を使って音声と雑音を提示しました。

1. 複雑な聞こえの場面

調査員は、聞き取りが容易ではない複雑なテスト場面を作ることを要望しました。その理由として、音響的な干渉音というのは少なくとも 1 種類以上は存在するので、自動環境認識システムがより高いレベルで“決定”する必要があったからです。理論的に、1 つの専用プログラムと必ずしも一致しない複数の異なるパラメータ変化が必要になるのがこの場面です。そして、日常生活においては非常に一般的ですが、補聴器装用者がこの聞こえの特徴を捉えて、プログラムスイッチを使って適切なプログラムに手動で切り替えるには難しいモデルケースです。

積極的に雑音プログラムが作動しないように、周囲の雑音レベルは意図的に 60 dB(A)に設定されました。高いレベルでの背景雑音環境下における言葉の聞き取りが“カフェでの場面”で調査されました（テストの設定準備のパート 3 で説明）。

“複雑な聞こえの場面”においての性能が PARC 内にある Listening Loft で測定されました。この反響に加えた 60 dB(A)の加算レベルで、45 度、135 度、225 度、315 度に設置した 4 つのスピーカーから、4 人の話者から成るバブル雑音が提示されました。被験者は、4 つのスピーカーの中央約 3m離れた位置に座りました。5 つ目のスピーカーは、被験者の位置から約 90 cm 離れた前方 0 度の位置に設置しました。このスピーカーからは IEEE 文章を 65 dB(A)で提示しました（図 3）。

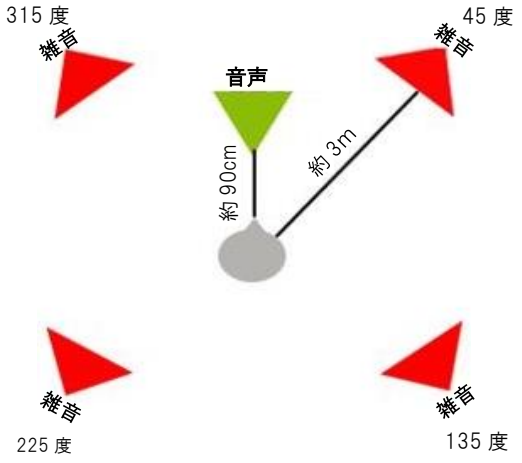


図 3：3 つの他メーカーの自動環境認識システムにおいて、言葉の認識性能を比較するに使用した“複雑な聞こえの場面” の概略図

2. 車の中の聞こえ場面

車内は、いくつかの要素が複雑に組み合わされた、非常に聞き取りが困難な環境です。車や交通雑音に加え、ラジオや他の話者など、対立する雑音が存在します。さらに、聞きたい話し手は、補聴器装用者の横または後ろにいることが多く、その結果、聞きたい話し手の声が補聴器の指向性内に入らず、指向性マイクを持っていてもメリットを得ることができません。実際、このような環境で指向性マイクを使用すると、逆にデメリットを生む結果になります。

車の中の聞こえをテストするのに、2014 年モデル 日産ムラーノの助手席に被験者は座りました。研究施設外にあるオフィスパーク内の同じ道路コースが使用され、テスト中、全ての被験者に対する一貫性を保証するため、車は一定して約 50 km で走行しました。テストは、道路が乾いた状態でのみ行うようにし、雨が降ってきたら中止しました。4 人の話者によるバブル音は車内のスピーカーシステムを通して提示されました。この使用したバブル音は、予め iPhone 6s に保存し、この携帯電話を車内の音声入力に接続して提示しました。実験者は、被験者の真後ろの後部座席に座り、BOSE のワイヤレススピーカーを抱え、そのスピーカーから 70 dB(A)で IEEE 文章を提示しました。車の中のテストでは、実験者 1 は車を運転し、実験者 2 は各テストセッションにおいて、被験者に適切な補聴器を取り付け、BOSE のスピーカーから文章を提示し、実験者 3 は文章テストのスコアをつけました（図 4）。

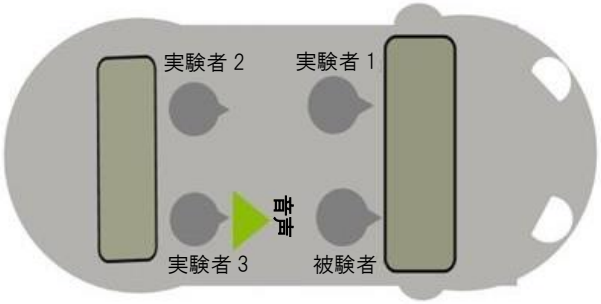


図 4：3 つの他メーカーの自動環境認識システムにおいて、言葉の認識性能を比較するに使用した車内の概略図

3. カフェでの場面 - 大きい雑音

カフェでの場面は、極めて騒がしく、聞き取りが非常に困難な環境として選びました。営業中が常に忙しいという理由で、イリノイ州、ネイパービルのダウンタウンにあるカフェがテストに使用されました。

この場面では、スピーカーの最大限レベルでの音声が被験者に提示されました。周囲の雑音レベルは一定して平均 80 dB(A)になるよう測定されました（図 5）。

[1] 音声の入出力機能を持つ拡張カード（PC から送られた音声データを音に変換するもの）

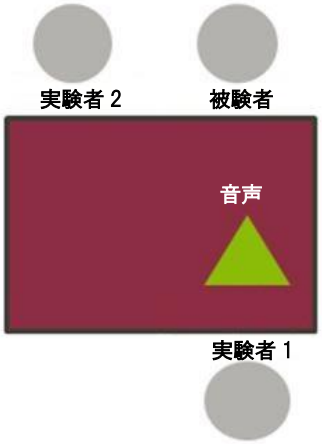


図 5：3 つの他メーカーの自動環境認識システムにおいて、言葉の認識性能を比較するに使用したカフェの概略図

4. 小さな音声がある場面

最後の測定場面もまた PARC 内の Listening Loft で行われ、離れた場所からの音声、または小さい音声を表現するために選びました。Listening Loft 内では、被験者から約 90 ㎝離れた前方 0 度の位置にスピーカーを設置し、被験者はその前に座りました。このスピーカーからは 50 dB(A)で文章を提示しました（図 6）。さらなる雑音は加えず、何もない空き部屋に座る被験者の位置での周囲の雑音レベルは 41 dB(A)でした。

図 6：3 つの他メーカーの自動環境認識システムにおいて、言葉の認識性能を比較するに使用した小さい音声がある場面の概略図

手順

上記に述べた 4 つの場面において、被験者は 3 つのメーカーの補聴器をそれぞれ装用し、IEEE 文章から出題される 20 個の聞こえた文章を繰り返しました。テストに使用された補聴器の順番は、各聞こえの場面においてランダムに選択されました。20 個の文章を正しく繰り返すことができた数で各メーカーのスコアが計算されました。この課題に関する説明は全ての被験者に同じように行われ、もしよく分からない場合は、推測して答えるよう伝えられました。

客観的な言葉の認識テストに加え、被験者は各メーカーの補聴器をそれぞれ使用し、聞こえた文章を繰り返した時に感じた労力も主観的に評価をしました（言葉の認識テスト実施後すぐに）。この主観的な評価では、各メーカーの補聴器をそれぞれ装用した状態の聞こえと聞き取りにおいて、感じた労力を 1（全く労力を必要としない）～10（非常に多くの労力を必要とする）で評価しました。

結果

言葉の認識

それぞれの聞こえの場面において、各メーカーの補聴器をそれぞれ装用した全被験者 14 名が実施した IEEE 文章を用いたテストの言葉の認識の平均スコアが出されました。この結果は図 7a-7b から確認することができます。

相互に繰り返し測定を行う分散分析 (ANOVA) によると、複雑な聞こえの場面 $F(2, 13) = 13.3$, $p<0.05$)、小さな音声がある場面 $F(2, 13) = 3.42$, $p<0.01$)、カフェでの場面 $F(2, 13) = p<0.05$)、車の中の聞こえ場面 $F(2, 13) = 4.9$, $p<0.05$)に対して主要となる大きな効果があったことが分かりました。図 7a-7b は、各聞こえの場面の平均スコアです。縦の黒線は標準誤差の平均です。

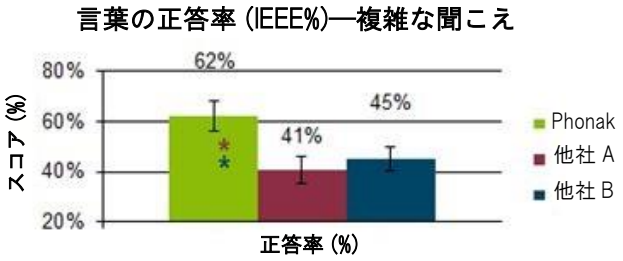
各テストの設定準備において、ボンフェローニ法を基に各メーカー3 組の比較補聴器の調整を行った後、それぞれに対する有意さを決定するため、有意水準(α)は 0.02 に設定されました (Dunn, 1961)。Fisher LSD の事後評価基準を用いた事後分析によると、複雑な聞こえの場面において、2 つの他メーカーのシステム (M=41%, SE=5.6%)、(M=45%, SE=4.6%)よりも、フォナックのオートセンス OS (M=62% , SE=6.0%) を使用して獲得した言葉の認識のスコアの方が顕著に高いという結果になりました。

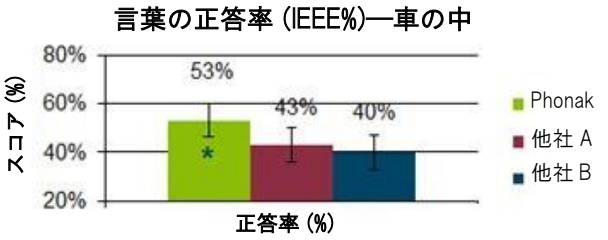
車の中での場合、Fisher LSD の事後評価基準を用いた事後検定によると、2 つの他メーカーのシステム (M=67%, SE=5.3%)、(M=67%, SE=5.3%)よりも、フォナックのオートセンス OS (M=74%, SE=5.5%) を使用して獲得した言葉の認識のスコアの方が顕著に良い結果になりました。

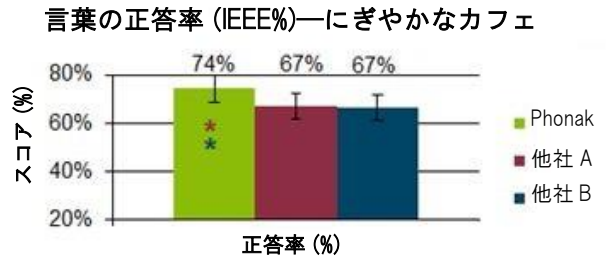
カフェでの場合、 Fisher LSD の事後評価基準を用いた事後検定によると、2 つの他メーカーのシステム (M=43%, SE=7.2%)、 (M=40%, SE=7.0%)よりも、フォナックのオートセンス OS (M=53%, SE=6.9%) を使用して獲得した言葉の認識のスコアの方が顕著に良い結果になりました。

最後に、小さい音声がある場面では、2 つの他メーカーの内の 1 つ (M=49%, SE=9.1%)と比較すると、フォナックのオートセンス OS (M=60%, SE=8.2%) を使用した方が言葉の認識性能が顕著に良い結果になりました。

M…平均値、SE…標準誤差







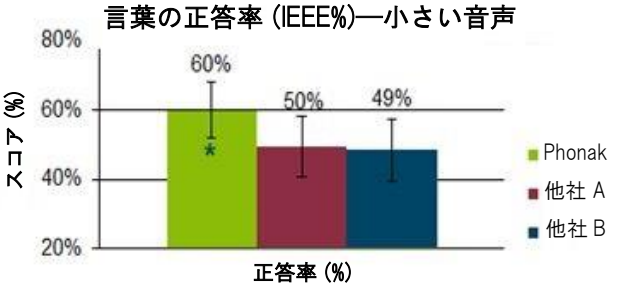


図 7a–7d：フォナックと 2 つの他社メーカー（他社 A と他社 B）の音響認識システムを使って IEEE 文章で測定した客観的な言葉の認識のスコア（正答率%）。縦の黒線は標準誤差の平均。(*) = P 値 0.02 有意な差。(*)は他社 A と比較した有意な結果を表し、(*)は他社 B と比較した有意な結果を表す

聞き取りの労力

各メーカーの補聴器をそれぞれ使用した時の、4 つの聞こえの環境における平均的な聞き取りの労力は、図 8 から確認することができます。被験者は、評価の値は 1（全く労力を必要としない）～10（非常に多くの労力を必要とする）が与えられ、フォナックを含む 3 つのメーカーの補聴器をそれぞれ装用した時に感じた聞き取りに対する労力を評価しました。

この主観的な評価の結果から、2 つの他メーカーに対し、フォナックのオートセンス OS を使用した方が、4 つの聞こえの環境において、知覚する聞き取りの労力が少ないことが読み取れますが、統計的に有意差があるという結果ではありませんでした。

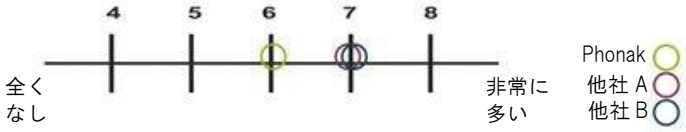


図 8：各メーカーの補聴器に搭載された自動環境認識システムを使用して言葉の認識を測定した際に、被験者が知覚した聞き取りの労力を主観的に評価した平均値

考察

この研究において、異なる種類の音響的な干渉音が含まれる、幅広いさまざまな聞こえの環境に対する聞こえを最適化する自動環境認識システムの機能について調査しました。異なる環境下で効果的に会話をするために、補聴器を調節することを考えなくても良い健聴者のような聞こえの環境を取り戻すことは、補聴器装用者の強い願いです。また、場面が複雑な場合や、補聴器装用者が手動で切り替えたプログラムの種類と率直に一致しない場合など、補聴器装用者が正確にプログラムを切り替えることを期待するのは現実的ではありません。そして、いくつかの補聴器メーカーの自動環境認識システムでも動作する高性能なパラメータのブレンドを、補聴器装用者が評価をするということはもはや不可能です。

日常生活において、実際の補聴器の使用性能に影響を与える自動環境認識システムを設計し、そして補聴器に実装するということが各補聴器メーカーが掲げた最近の研究目的でした。各補聴器メーカーは独自の認識手法を持っており、異なるパラメータの多くを操作できる柔軟性があります。

この研究は、4 つの現実的で困難な聞き取りの環境下で行われました。結果、これらの現実的で困難な聞き取りの場面において、フォナックのオートセンス OS が補聴器装用者のパフォーマンスを最も効果的に改善させていることが分かりました。テストで使用した 4 つの聞こえの場面において、2 つの他メーカーよりも、フォナックのオートセンス OS を使用した方が、言葉の認識性能の平均が一貫して高くなることが分かりました。

まとめ

2 つの他メーカーの補聴器と比べ、利得や機能の動作を含む補講器の信号処理が環境に応じて変化するオートセンス OS こそ、最終的により良い言葉の聞き取りを得られる手段であると、この研究の結果が説明しています。複雑な場面であるにもかかわらず、効果が見られました。結果によると、日常的な 4 つの聞こえの場面による、被験者が行ったオートセンス OS を使って測定した言葉の認識テストの平均において、フォナックの性能が最も良かったということが分かりました。

自動環境認識は、実時間の音響的特徴の識別と信号処理の適応を必要とする高性能なテクノロジーです。自動環境認識システムがより正確であれば、補聴器装用者はプログラムを切り替えることを考えなくても良いことはとても便利です。さらに、これらのシステムはプログラムスイッチを手動切替して得る聞こえよりも、より一貫性のある最適な聞こえを補聴器装用者に提供することができます。この研究では、2 つの他メーカーの補聴器と比較して、オートセンス OS は、現実世界での聞こえの場面において、より良い言葉の認識性能と聞き取りの労力に対する主観的な知覚があったと示しています。これは、日常生活における補聴器装用者の聞こえの体験と聞こえの性能に良い影響を与えるオートセンス OS の力を示しています。

参考文献

McCormack, Abby and Fortnum, Heather (2013) Why do people fitted with hearing aids not wear them? International Journal of Audiology, 52 (5). pp. 360-368.

Rakita, L and Jones, C. (2014) Performance and Preference of an Automatic Hearing Aid System in Real-World Listening Environments. The Hearing Review

著者と調査員

Lori Rakita は、2014 年 7 月以来、Phonak Audiology Research Center (PARC) で研究員を務める補聴器専門家です。補聴器と機能に対する技術的な測定から獲得した情報を用いて被験者へテストを実施し、プロトコル開発と機能評価を行っています。これまで、テレビの聞き取り、指向性マイクロホン、CROS 補聴器などを研究テーマに取り上げてきました。そして、それらをフォナックの異なるさまざまな社内会議において、さらには国内および国際学会において研究内容を発表してきました。 Lori はセントルイスにあるウィスコンシン大学のマディソン校にて、心理学の学士号と、聴覚学の博士号を取得しました。

Christine Jones は 2001 年からフォナックの一員となりました。近年は外部・内部の臨床研究を管理する Phonak Audiology Research Center (PARC)の責任者として従事しています。以前は、フォナック US の小児部門を担当しており、PARC で小児の臨床調査を管理していました。Christine は、ヴァンダービルト大学の聴覚学科で修士号を取得した後、中央ミシガン大学で聴覚学博士号を取得しました。