

オーティコン モア クリニカルエビデンス

新しいブレインヒアリングの利点について

要約

本ホワイトペーパーでは、オーティコンモアに関する4つの研究結果が紹介されています。脳の「捉える」「集中する」「認識する」という機能におけるブレインヒアリングの利点を実証するモアのクリニカルエビデンス(科学的根拠)についての説明になります。

モアに搭載された新しい中核機能であるモアサウンド・インテリジェンス(MSI)を使用し、脳波検査で測定したモア装用者の脳反応を新しい方法で分析しました。その結果、オーティコンモアの性能は前機種の開クンスを上回っていることが実証されました。モアを装用することで、脳内に表現される音の情景の全体像と前景にくる音の明瞭さは向上し、関心を持つ音に装用者がより注意を向けやすくなっているということが分かりました。

このようにモアの性能が向上したことにより、シンプルあるいは複雑な音環境において複数の話者がいるような状況下でも、話者に注意を向け会話をより理解できるようになっているということが分かりました。また、開クンスと比較すると、モアでは騒音下のことばの理解度や長期記憶の想起が有意に向上し、聞く労力の軽減などの認知的な側面でも利点があることが示されました。

著者

Sébastien Santurette, Elaine Hoi Ning Ng,
Josefine Juul Jensen, and Brian Man Kai Loong
応用オーディオロジー研究センター、オーティコン A/S

音の意味を理解する

- 3つのレベルでのエビデンス

音の意味を理解するには、感覚、認知、および社会的なスキルが常に連携しながら機能する必要があり、このように連携することによって私たちは行動を起こし、他者とのコミュニケーションを図り、身の回りで起きていることに反応することができます(Pichola-Fullerら、2017; Meyerら、2016)。難聴により、脳が本来受容すべき感覚入力に変化が起こり、上述の微妙なバランスに不均衡が生じます。補聴器で感覚入力を取り戻すことで、理想的には脳に届けられる神経活動パターンも再建されるべきであり(Lesica、2018)、これが実現すると、脳は難聴によって生成された不十分なニューラルコードの処理に労力を費やすのではなく、会話内容を記憶するなどの他の重要な機能のために認知資源を利用することができるようになります(Rönningbergら、2013)。聴覚野での情報処理段階を調査した最近の研究結果によると(Alickovicら、2021; O'Sullivanら、2019; Hausfeldら、2018; Puvvada & Simon、2017)、脳は一次聴覚野で、まずは入ってきた音の情景のあらゆる要素を脳内で表現し(図1、A段階)、次に有益な情報を含む音(ここでは音の情景の前景と称す)と、有益な情報を含まない背景音にコントラストをつけているということが分かりました(図1、B段階)。その後、高次の聴覚野では、関心のある特定の前景音は強調され、関心の対象外である背景音は減衰されるので、選択的注意を用いて前景音に集中することができることとなります(図1、C段階)。このような新たな科学的知見(詳細についてはMan & Ng、2020 参照)に基づいて、オーティコンモアのオーディオロジーは、脳に音の情景の全体像を届け、かつ重要な前景の音情報を背景音

より際立たせ、バランスの取れた音の情景が詳細まで増幅されるように設計されています(Santurette & Behrens、2020)。これにより、装用者が興味ある音への集中したり、音をより良く理解したり、また記憶を想起しやすくすることを手助けします。以下に述べる4つの研究では、脳の音情報処理において不可欠な「捉える」「集中する」「認識する」という3つのレベルで、オーティコンモアの臨床上の利点について検証しています(図1を参照)。

- **脳反応(以下EEGと略):** オーティコンモアを装用したときの脳の聴覚野における音の表現について、脳波検査を用いて検証しました。聴覚野での初期処理段階(「捉える」サブシステム)における音の情景の全体像と前景音の明瞭性、そしてより高次レベルの処理段階(「集中する」サブシステム)における個々の音の明瞭性について調べました。
- **注意を向けている言葉を聞き取る能力:** 複数人の会話が同時進行する際に、関心の対象である話者の言葉を理解できる能力について、シンプルと複雑な音環境の両方で、オーティコンモアを使用して検証しました。
- **雑音下における言葉の聞き取り:** 雑音下における言葉の聞き取りについての標準的なテストを実施し、オーティコンモアとオーティコンオープンスで比較実験を行いました。
- **記憶の想起:** オーティコンオープンスと比較して、オーティコンモア装用者はどのくらい会話を覚えていることができるのかを二重課題パラダイムを用いて調べました。

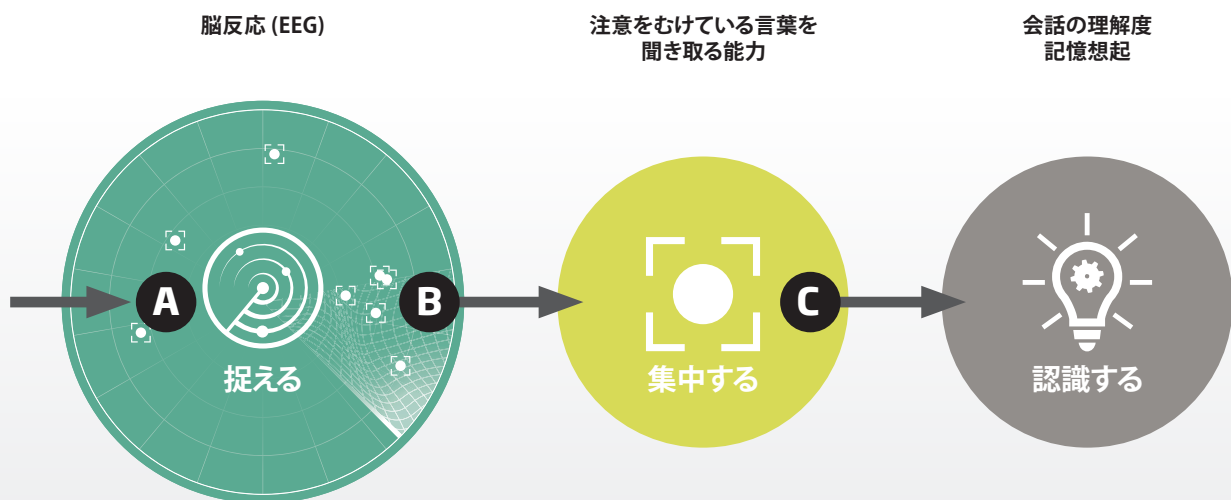


図1: 3つのレベルにおける脳内の音情報処理を調べるため、4つの他覚的および主観的研究手法を使用。

脳反応(EEG)

「注意を向ける」ということを考える際に、真っ先に思い浮かぶのは、その興味の対象(例えば特定の音)は他のものに比べて何らかの形でより「際立って」、あたかも何らかの達成目的に沿って情景の中の様々な要素がランク付けされ、心の中に内的階層構造(ヒエラルキー)が存在するように感じることです。いろいろな場面でこのことは当てはまります。例えば芸術家が集中の邪魔になる外界を遮断して作品の制作に没頭している場面を考えてみましょう。こういう場面は、私たちの日常生活に当てはめるときにも直感的にわかりやすく、想像に難しくありません。そして、難聴によって聴覚信号の精度が低下する場合は、難聴者が関心のある特定の音に選択的に注意を向けることが難しくなります(Shin-Cunningham & Best, 2008)。

先行研究では、オーティコンオープンスのオープンサウンドナビゲーター(以下OSNと略)が、脳の選択的注意をどのようにサポートするかについて、EEGを用いて音声の神経表現(英語表記:neural representation)を測定することで検討しました(Apllickovicら, 2020; Ng & Man, 2019)。ところが、最近の研究では、選択的注意にも処理の段階に応じた階層構造が存在することが指摘されています(O'Sullivanら, 2019; Puvvada & Simon, 2017)。脳は「捉える」サブシステムと「集中する」サブシステムという複数の段階で音の情報処理を行っており、前段階の処理精度が後続段階の処理の難易度を左右することが明らかになります。

した(概要については Man & Ng, 2020 を参照)。これらの知見をより詳細に検討するために、図2に示したNg & Man (2019)の実験デザインに基き、オーティコンモアのモアサウンド・インテリジェンス(以下MSIと略)が、脳の「捉える」サブシステムと「集中する」サブシステムに与える影響について、EEGの新しい分析法(Alickovicら, 2021)を用いて検討しました。

実験の被検者は、軽度から中高度の聴力変動がない両側性感音難聴がある、補聴器装着経験者31名(平均年齢65.6歳)でした。オーティコンモアのMSIと、先行研究におけるオープンスのOSNについて、「捉える」サブシステム(初期EEG反応を分析)と「集中する」サブシステム(後期EEG反応を分析)でのMSIとOSNの違いを調査しました。Ng & Man (2019)の研究では、話者に注意を向けたときの後期EEG反応のみ報告をしていました。つまり、第一話者(図2のF1またはF2のいずれか)、第二話者(第一話者として選択されなかったF1ないしはF2)、および背景騒音(B1+B2+B3+B4)に対する後期EEG反応(「集中する」サブシステム)のみが報告されたのに対して、本研究では全方向からの音(F1+F2+B1+B2+B3+B4)と前景音(F1+F2)に対する初期EEG反応(「捉える」サブシステム)も調査しました。後続する「集中する」段階で第一話者と第二話者を適切に処理するために必要な詳細を届けるには、脳の処理の前段階である「捉える」サブシステムのこの2つの要素が重要となります。

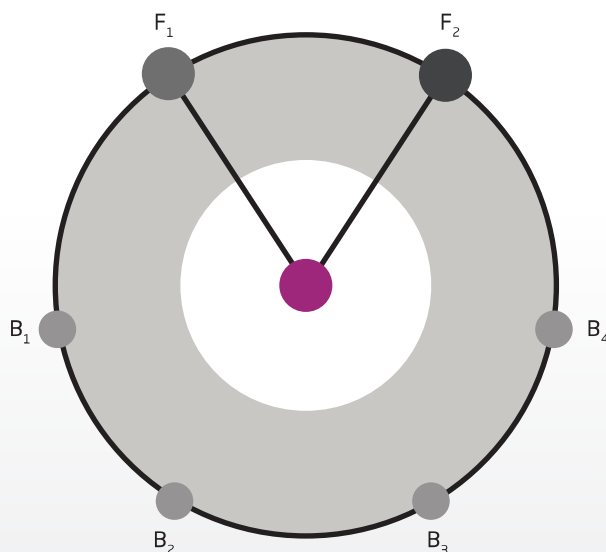


図2: EEGの実験デザインにおける前景音(F1, F2)および背景音(B1, B2, B3, B4)。F1とF2では、男性と女性話者が録音したオーディオブックからの抜粋を、男性女性それぞれ73dB SPLで呈示。4つの背景音を出力するそれぞれのスピーカーからは、4トーンパブル(4人の話者のパブル雑音)が呈示され、背景音の全体レベルは70dB SPLに設定。

主な調査結果を図3に示しました。まずは「捉える」サブシステムと「集中する」サブシステムの2つの段階について、個別に分析を行いました。

初期EEG反応—「捉える」サブシステム:音の情景の全体像は、環境内のすべての構成要素を組み合わせたものを指しますが、音の前景は聞き手が注意を向ける話者の組み合わせ（ここではF1とF2の2人）を指しています。音の情景の全体像は環境の知覚を聞き手にもたらし、一方で音の前景は聞き手の注意の切り替えをする能力に影響を与えるので、両方とも聞こえの経験としては必要不可欠となります。図3は、脳が音の情景の全体像の構成要素を追従する（トラッキングする）能力を、初期EEG反応の強さで測定したものを示しています。MSIをオンにした場合では、オフにした場合と比較して、初期EEG反応が60%向上することが示されました（ $p<0.001$ ）。さらに重要な点は、オーティコンモアのMSIは、オープンスのOSNと比較して、30%多く音の情景の全体像を脳へ届けていたことです（ $p=0.011$ ）。また、MSIをオンにすると、前景音である2人の話者の組み合わせを追従（トラッキング）する力は、MSIをオフにした場合よりも45%向上し、OSNをオンと比較して20%向上していました（ $p<0.05$ ）。

後期EEG反応—「集中する」サブシステム:コミュニケーションを取る上で、脳処理の後期段階では、聞き手は選択的に話者に注意を向けなければなりません。必要であればいつでも第二話者へ注意を切り替えられるよう、ある程度は周囲の状況を把握していることも必要です。このことは次の結果で示されています。注意を向けている話者においてMSIをオンにすると、MSIをオフにした場合やOSNをオンにした場合と比較して、後期EEG反応の強さが5%向上することが示されました（ $p<0.05$ ）。第二話者は、MSIをオンにすると、オフにした場合と比較して30%向上されることも明らかになりました（ $p<0.05$ ）。

これらの研究結果をまとめると、MSIは、装用者が聴取環境内のさまざまな音の要素に追従する（トラッキングする）能力を向上させていることを示しています。モアが脳の音の知覚において必要不可欠な「捉える」サブシステムと「集中する」サブシステムの双方をサポートしていることが分かります。

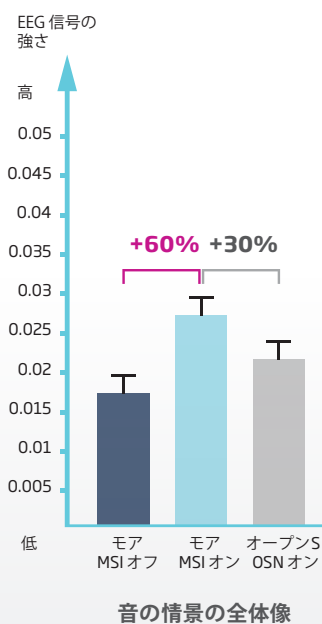


図3: 音の情景の全体像に対するEEG反応の強さ(図1の「捉える」サブシステムにおけるA段階)。エラーバー(誤差範囲)は標準誤差(standard error of the mean)を表示。

注意を向けている話者の言葉を聞き取る能力

前述のオーティコンモアによる脳内での音の表現の向上は、複数話者が存在する聴取環境での言葉の聞き取り能力に反映されているのでしょうか?この点について調査するために、Bestら(2018)によって開発された競合数字テスト(英語表記:competing digit test)を応用し、2人の競合話者が存在する状況下で、そのうちの1人に注意を向けて言葉を理解する能力について実験を行いました。上述のEEG実験と同様に、他の音声がある状況下で、選択的に一人の話者に注意をむける(英語表記:speech-on-speech)という課題を課しました。

この実験の被検者は、軽度から中高度の聴力変動のない両側性感音難聴を持つ、補聴器装用経験者34名(平均年齢63歳)でした(4周波数平均純音聴力閾値(以下PTAと略):19~68 dB HL、平均純音聴力閾値:40.3 dB HL)。スピーカーを円状に並べた円の中心に被験者を座らせ、円周上の-30°、0°、+30°に位置する3つのスピーカーから、異なる女性話者が65 dB SPLで発する数字の羅列を同時に聞かせます。数字の羅列はそれぞれ4桁で構成され、1桁目が発せられる直前に0°の方位から男性の声によって「左」「中央」「右」のどの話者に注意を向けるかについて音声

指示が出されます。被験者の課題は、一人の話者が発する数字を無視しながら、注意を向けた話者が発する4桁の数字のみを復唱することでした。この課題は、背景雑音のないシンプルな環境のみならず、-100°、180°、+100°の方位に配置された3つのスピーカーのそれぞれから、4人の話者のバブル雑音が全帯域レベル70 dB SPLで出力されるという複雑な環境でも実施されました。被験者各々がVAC+処方を用いて調整されたオープンSとオーティコンモアを装用して実験に参加し、実験の順序はランダム化しました。

図4は、複雑な環境における注意を向けた話者が発する数字の聞き取りの正答率を示しています。オーティコンモアでMSIがオンの場合では、オフの場合と比較して、正答率が有意に高く($p<0.001$)、相対的には15%の改善に相当しました。また、MSIがオンのオーティコンモアでは、OSNがオンのオープンSと比較して、正答率が平均で5%有意に高かったという結果が得られました($p=0.014$)。これらの結果は、モアのMSIがオンの場合には、MSIのオフやOSNのオンの時よりも、注意をむけている話者の声の脳内表現が向上した上述のEEG実験の結果と一致しています。

言葉の聞き取り (%)

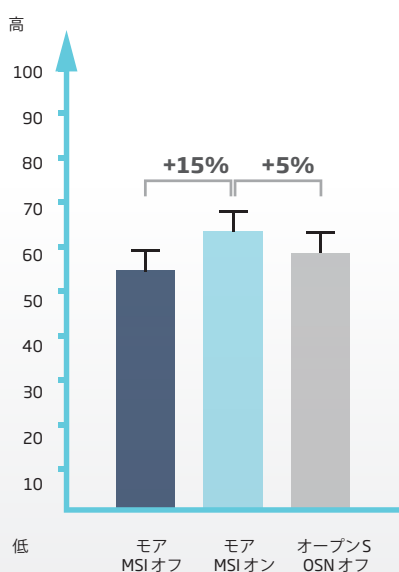


図4:複数話者が存在する複雑な聴取環境における、注意を向けた話者の言葉を聞き取る能力を、オーティコンモアとオープンSで比較。エラーバーは標準誤差を表示。

背景騒音のないシンプルな環境で実験した場合、複雑な環境よりも全体的には高い正答率が得られましたが、特筆すべきは、モアとオープンSの比較においては、やはりモアが平均で5%有意に正答率が高かったということです ($p < 0.05$)。この結果は、ポラリスプラットフォームの24チャンネルという向上された解像度、モアサウンド・アンプリファイア (以下MSAと略)の動作、そして新しく登場したバーチャル外耳が総合的に機能することにより、聴取環境がシンプルであっても他の話者がいる際の言葉の聞き取りにおいてモアが有効であることを証明しています。

まとめますと、オーティコンモアでは、シンプルと複雑な環境のいずれにおいても、注意を向けている話者の言葉を装用者が聞き取る能力が向上していることが示されました。

雑音下における言葉の聞き取り

オーティコンモアにおける言葉の聞き取り向上について調べるために、デンマークのコペンハーゲンで研究を実施しました。被検者は、補聴器の85 dBスピーカーが適合する難聴程度である18名 (平均年齢68.5歳、52歳~77歳)でした。標準化された雑音下のデンマーク語文を使用した語音明瞭度テストであるDantale II (Wagenerら、2003)を用いて実験を行いました。この実験の目的は、オープンSとモアを初期設定した場合と個別化設定した場合での語音了解閾値 (以下SRTと略)を測定し、比較することでした。最初の初期設定した条件では、OSNとMSIはデフォルト設定とし、あとの2つの条件では、複雑な聴取環境でOSNとMSIを個別化設定し、サポート弱めまたはサポート強めの設定で実験を行いました。実験条件をこのように設定することにより、補聴器装用者にとって最も標準的な補聴器設定と、より複

雑で個別化された設定の双方についてのエビデンスが収集されました。

実験では、女性話者によるデンマーク語の母型文 (英語表記: matrix sentences、文中の単語を入れ替えて作成される異なる文章)が前方(0°)から提示され、マスキング音 (雑音)として22°方向からは国際音声試験信号 (ISTS)が、+/-112°および180°の3方向からは変調しない音が同時に提示されました。実験では、70%正答のSRTが測定されました。音声は72 dB SPLで提示され、雑音は67 dB SPLで提示されました。

図5に表した結果では、全ての条件下で有意差が認められ、オーティコンモアではこの被験者においてSRTが有意に改善されることが示されました。モアとオープンSにおける平均SRT差は、初期設定では1.2 dB ($p < 0.001$)、個別化設定1 (サポート弱め)では1.5 dB ($p < 0.001$)、個別化設定2 (サポート強め)では0.7 dB ($p < 0.04$)でした。

SRTの単位であるdB SN比 (信号対雑音比をdBで表示)は、心理測定関数を適用して語音明瞭度 (%)に変換することができます。Wagenerら (2003)によれば、Dantale IIテストにおける聴覚障害者の関数曲線の傾斜は13.2%/dBですが、これは正答率50%のSRTに基づくものです。本研究では70%正答のSRTを測定しており、使用した雑音の種類も若干違うこともあり、これらを考慮すると本実験における関数曲線の傾斜は12%/dBとして適切に変換することができます。この傾斜を用いると、最も一般的な処方であるデフォルト設定では、オープンSよりもオーティコンモアの方が言葉の理解度が15%向上していたということが明らかにな

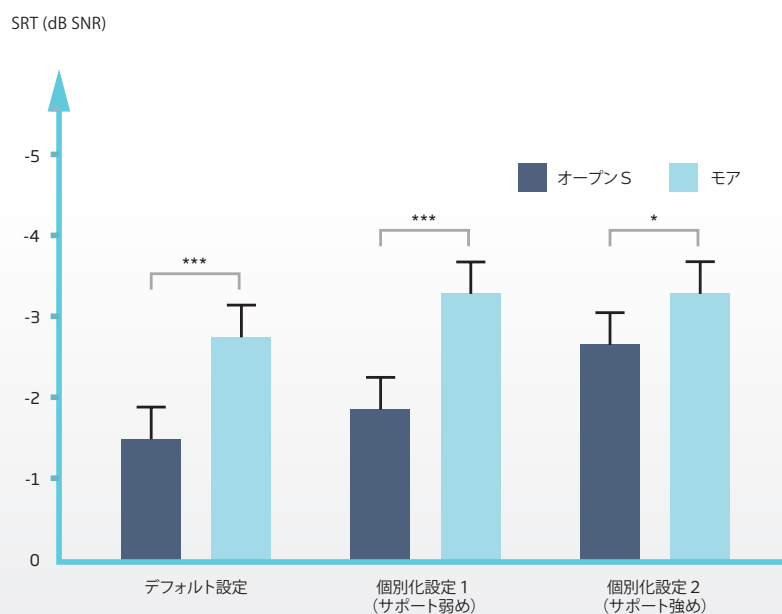


図5: 複雑な聴取環境下での、モアとオープンSのデフォルト設定および2種類の個別化設定における語音了解閾値 (dB SNR)。エラーバーは標準誤差を表示。

りました。同様に、個別化設定 2 では8%、個別化設定 1 ではさらに高くなり18%も向上していました。この結果により、MSIをフィッティングソフトで調整することによって、たとえ複雑な聴取環境でも、言葉の理解のさらなる向上を促すことができるということが実証されました。

記憶の想起

私たちはNgら (2013) の文末単語識別と想起テスト (Sentence final Word Identificaiton and Recall、以下 SWIRと略) で知られる記憶の想起テストを用いて、ブレインヒアリングテクノロジーが認知資源に余裕を与え、言葉の認知処理を容易にすることを一貫して実証してきました。過去の報告では、音声非常に明瞭な場合でも記憶の想起が向上されることを、オーティコンオープン (Le Goffら、2016)、オープン S (Juul Jensen、2019)、エクシード (Ng & Skagerstrand、2019)を用いて実証しました。本研究では、オーティコンモアを装用することで、オープン S よりも優れた記憶想起をもたらすのかについて検討しました。

軽度から中等度の難聴者25名を被験者として採用しました (4周波数PTA平均 48.5 dB HL、平均年齢58.8歳)。本研究におけるSWIRを使用した実験では過去の研究手法と同様に、ターゲット音声を前方から提示し、背景騒音を後方から提示しました。詳細については、過去のホワイトペーパーを参照してください。本実験では、ターゲット音声としてデンマーク語 Hearing In Noise Test (Nielsen & Dau、2011) の文を使用しました。被験者には、(1)リスト中の文を1つ聞くごとに文末単語を復唱し、リスト中の文 (7文) を聞き

終えた後に、(2)リスト中の7つの文末単語について、順序を問わず可能な限り想起する、という2点の課題が課せられました。背景雑音として、4つのスピーカーからそれぞれ4人の話者のバブル雑音 (全体としては16人の話者のバブル雑音) が70 dB SPLの固定レベルで呈示されました。ターゲット音声の提示レベルは被検者ごとに個別化され、オープンS装用時の語音理解度が95% (平均提示レベルはSN比+7.0 dB) になるよう設定されました。

長期記憶の想起 (リストの一番目と2番目の文章の文末単語の想起) と、短期記憶の想起 (リストの6番目と7番目の文章の文末単語の想起) について分析を行いました。モアはオープンSよりも全般的に長期記憶の想起に優れており (p<0.05、図6を参照)、長期記憶の想起が約16%向上していました。長期記憶の想起の向上は、聞いた言葉を記憶する際に、より多くの認知資源の利用が可能となることと関連します。短期記憶の想起については、モアとオープンSの間に差は認められませんでした。

近年、聞く労力に関する研究が飛躍的に増加しています。そうした一連の文献では、聞く労力はEEGに代表される機能的脳画像を介して測定することができ、生理反応 (例えば瞳孔測定など) に反映され、しばしば行動パフォーマンス (記憶想起など) において測定可能な差異に繋がります。これについてはPeelle (2018) を参照してください。本稿では、オーティコンモアが認知資源により多くの余裕を与え、結果として記憶想起の遂行を改善することを示しました。つまり、オープンSと比較して、モアは装用者の聞く労力を軽減できる補聴器であると見なすことができます。

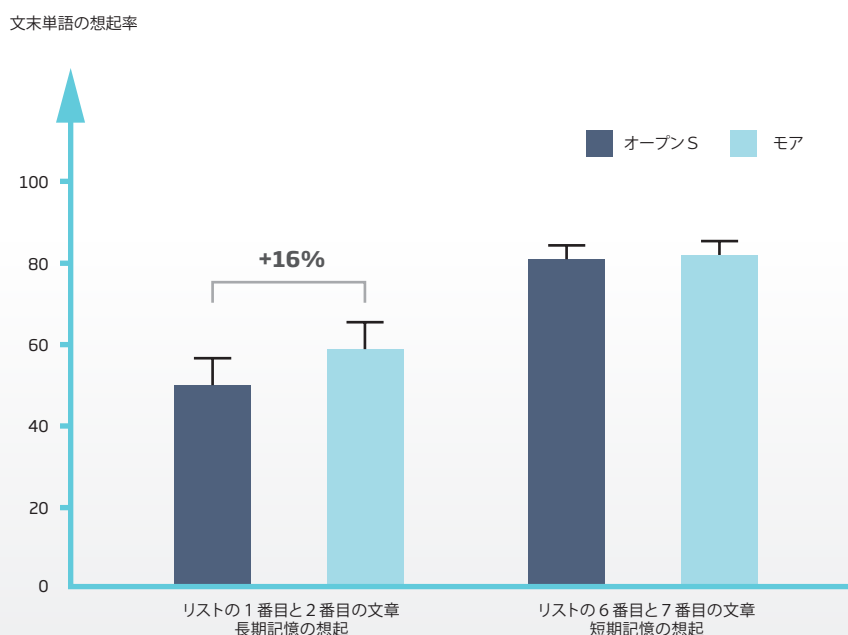


図6 : オープンSとモアにおける長期記憶および短期記憶の想起の結果。エラーバーは標準誤差を表示。

結論

前述の研究は、オーティコン モアにおけるブレインヒアリングの利点を実証するエビデンスとなっています。

- モアサウンド・インテリジェンスは、脳内で表現される音の全情景の明瞭性を60%向上させ、オーティコンオープンSと比較すると30%より多くの音を脳に届けています。
- 脳の聴覚中枢にある「捉える」サブシステムから「集中する」サブシステムへ伝達された前景音がより明瞭になっています。
- 注意を向けた音への脳反応も、関心のある第二話者への脳反応も「集中する」サブシステムでは強くなっており、この結果により注意を向けたり切り替えたりすることが容易になっていることが分かります。
- 複雑そしてシンプルな環境の両方において複数話者が存在する状況下で、注意を向けている話者の言葉の理解度が向上しています。
- オープンSと比較すると、雑音下の言葉の理解度はさらに15%向上されています。
- オープンSよりも、オーティコンモアは優れた長期記憶の想起をもたらし、装用者の聞く労力を軽減していることを示唆しています。

参考資料

1. Alickovic, E., Lunner, T., Wendt, D., Fiedler, L., Hietkamp, R., Ng, E. H. N., & Graversen, C. (2020). Neural representation enhanced for speech and reduced for background noise with a hearing aid noise reduction scheme during a selective attention task. *Frontiers in neuroscience*, 14, 846.
2. Best, V., Swaminathan, J., Kopčo, N., Roverud, E., & Shinn-Cunningham, B. (2018). A "Buildup" of Speech Intelligibility in Listeners With Normal Hearing and Hearing Loss. *Trends in Hearing*, 22, 2331216518807519.
3. Brændgaard, M. (2020a). MoreSound Intelligence™. Oticon Tech Paper.
4. Brændgaard, M. (2020b). The Polaris platform. Oticon Tech Paper.
5. Hausfeld, L., Riecke, L., Valente, G., & Formisano, E. (2018). Cortical tracking of multiple streams outside the focus of attention in naturalistic auditory scenes. *NeuroImage*, 181, 617-626.
6. Juul Jensen, J. (2019). Oticon Opn S clinical evidence. Oticon Whitepaper.
7. Man K. L., B., & H. N. Ng, E. (2020). BrainHearing™ - The new perspective. Oticon Whitepaper.
8. Meyer, C., Grenness, C., Scarinci, N., & Hickson, L. (2016). What is the international classification of functioning, disability and health and why is it relevant to audiology? In *Seminars in Hearing* (Vol. 37, No. 03, pp. 163-186). Thieme Medical Publishers.
9. Le Goff, N., Wendt, D., Lunner, T., & Ng, E. (2016). Opn clinical evidence. Oticon Whitepaper.
10. Lesica, N. A. (2018). Why do hearing aids fail to restore normal auditory perception? *Trends in neurosciences*, 41(4), 174-185.
11. Ng, E. H. N., Rudner, M., Lunner, T., Pedersen, M. S., & Rönnberg, J. (2013). Effects of noise and working memory capacity on memory processing of speech for hearing-aid users. *International Journal of Audiology*, 52(7), 433-441.
12. Ng, E. H. N., & Man K. L., B. (2019). Enhancing selective attention: Oticon Opn S™ new evidence. Oticon Whitepaper.
13. Ng, E. H. N., & Skagerstrand, Å. (2019). Oticon Xceed™ clinical evidence. Oticon Whitepaper.
14. Nielsen, J. B., & Dau, T. (2011). The Danish hearing in noise test. *International journal of audiology*, 50(3), 202-208.
15. Peelle, J. E. (2018). Listening effort: How the cognitive consequences of acoustic challenge are reflected in brain and behavior. *Ear and hearing*, 39(2), 204.
16. O'Sullivan, J., Herrero, J., Smith, E., Schevon, C., McKhann, G. M., Sheth, S. A., ... & Mesgarani, N. (2019). Hierarchical Encoding of Attended Auditory Objects in Multi-talker Speech Perception. *Neuron*, 104(6), 1195-1209.
17. Pichora-Fuller, M. K., Alain, C., & Schneider, B. A. (2017). Older adults at the cocktail party. In *The auditory system at the cocktail party* (pp. 227-259). Springer, Cham.
18. Puvvada, K. C., & Simon, J. Z. (2017). Cortical representations of speech in a multitalker auditory scene. *Journal of Neuroscience*, 37(38), 9189-9196.
19. Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., ... & Rudner, M. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 31.
20. Santurette, S., & Behrens, T. (2020). The audiology of Oticon More. Oticon Whitepaper.
21. Shinn-Cunningham, B. G., & Best, V. (2008). Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends in amplification*, 12(4), 283-299.
22. Wagener, K., Josvassen, J. L., & Ardenkjær, R. (2003) Design, optimization and evaluation of a Danish sentence test in noise: Diseño, optimización y evaluación de la prueba Danesa de frases en ruido, *International Journal of Audiology*, 42:1, 10-17.

