

# Phonak

## Field Study News

### ステレオズームにより 騒がしい状況下でも聞きとりおよび記憶するための努力が軽減

ステレオズーム機能を備えたフォナックの補聴器を使用した場合、これとは別の騒音低減マイクロホンによるアプローチを用いた競合他社の補聴器と比較して、聞きとりと記憶するための努力が軽減することが、オルデンプルグ聴覚センターで行われた脳波検査 (EEG) および主観的試験により明らかになりました。この効果は、とりわけ聞きとりが困難な状況下で顕著で、聞くための努力は 18% 軽減しました。

Axel Winneke、Matthias Latzel および Jennifer Appleton-Huber/2018 年 7 月

#### はじめに

難聴は聞くための努力と相関関係にあります。難聴を患う患者さんは、例えばことばなど聞きとる対象のいわば「空欄を埋める」ために常に苦労しています。この作業には努力を要し、その結果疲れきってしまうことがあります。補聴器を使用することにより、語音明瞭度が改善され、ことばを理解するために必要な努力が軽減されます。補聴器を装用することの利点は、ユーザーにとって聞きとり体験がより快適で楽になることです。

聞くための努力の測定に関するテーマは、補聴器のフィッティングと深くかかわっています (Pichora-Fuller および Singh, 2006 年)。この興味深いアプローチは、刺激音 (閾値を超える強度を含む) を与え、さまざまな聞きとり状況下で補聴器を評価します。この際、さまざまな補聴器やアルゴリズム、またはその機能の性能もしくは受容度によって語音明瞭度が変わるわけではありません。そのため、聞くための努力の測定を含む補聴器の試験を行うことがますます一般的になりつつあります。聞くため

の努力を測定する 1 つの方法は、補聴器の装用者に聞きとり努力を自己報告してもらうことです。その他には、瞳孔測定、さまざまな電気生理学的測定、機能的核磁気共鳴撮像法 (fMRI)、または皮膚コンダクタンスなどの客観的な手法も存在します (2014 年の McGarrigle 等による概要を参照してください)。

幾つかの研究によれば、聞くための努力の神経レベルでの測定に関し、EEG (脳波) は有望なアプローチであることが明らかになっています。聞くための努力は EEG の活動と関連している可能性があるという仮説は、脳が感覚、知覚、認識のプロセスと共有する限られた (神経の) 資源で機能するという考えに基づいています (有限の資源理論)。この理論に関連するのが、いわゆる「努力を要する仮説」です (Rabitt 1968 年)。この仮説は、*有限の資源仮説*と関連があります: 「信号処理が困難な場合 (例えば、騒がしい環境下でことばを聞きとる場合)、より多くの処理資源を感覚の符号化のために使う必要があります。これにより、高レベルの処理に利用できる資源が少なくなり、聞きとりに努力を要するようになります。」

この仮説は最近の試験により立証されました。この試験では、補聴器における信号処理もしくは SN 比を変えることで、EEG の測定を用いて聞きとりの努力に及ぼす効果を明らかにしました (Winneke 等、2016 年)。

フォナックにより開発された補聴器のアルゴリズム、ステレオズームは、両耳の指向性マイクロホン技術を駆使して、とりわけ聞き取りが困難な状況下で狭い指向性範囲を形成します。大きな背景雑音下で会話する際、ステレオズームは SN 比を改善し、その結果、語音明瞭度が改善し、音質がより良く、騒音がより抑制されるようになります (Latzel および Appleton、2015 年: Phonak Field Study News、2014 年)。他の補聴器メーカーは、別のアプローチを採用しています。そのアプローチは騒がしい環境下でことばの理解を改善することを目的としています。

これまでに、ステレオズームが聞きとりの努力に及ぼす効果は行動の測定を用いて研究されてきました (例えば、Picou 等、2014 年)。この試験の目的は、客観的な測定 (EEG) を使用して、同じ環境条件下で異なる補聴器のアルゴリズムを使用した場合の聞きとりの努力の相違を示すことです。この試験には 2 つの目的がありました。

- 1) 2 つのプログラムを使用した場合の聞きとりに要した努力の比較が、フォナックの補聴器で実現しました:  
*非常に騒がしい中でのことば (フォナック SPILN):*ステレオズームを使用 (指向性マイクロホン技術) および *静かな状況 (フォナック Calm):* マイクロホン設定リアル イヤー サウンドを使用 (RES、耳介の指向性をシミュレーションする全方向性マイクロホン設定)
- 2) フォナックの SPILN プログラム使用時の聞きとりに要した努力と、競合他社のアプローチ使用時の聞きとりに要した努力との比較。  
*非常に騒がしい中でのことば (フォナック SPILN):* 指向性マイクロホン技術、ステレオズームを使用  
*競合他社 (競合他社 Noise):* 騒音下でのことばを処理するために別のアプローチを採用

## 検証方法

### 参加者

軽度から中等度の難聴を患う (図 1) 合計 20 名の補聴器装用経験者がこの試験に参加しました。参加者の平均年齢は、70.90 歳でした (SD=7.28)。参加者のうち 12 名は女性、8 名は男性でした。各参加者は、2 組の補聴器を装用しました: フォナックのオーデオ B90-312 および競合他社の補聴器は、両方ともシリコンベースのイヤーマールドでベントは閉塞の仕様で行いました。(スリムチップ)

Average Air-Conduction Audiogram

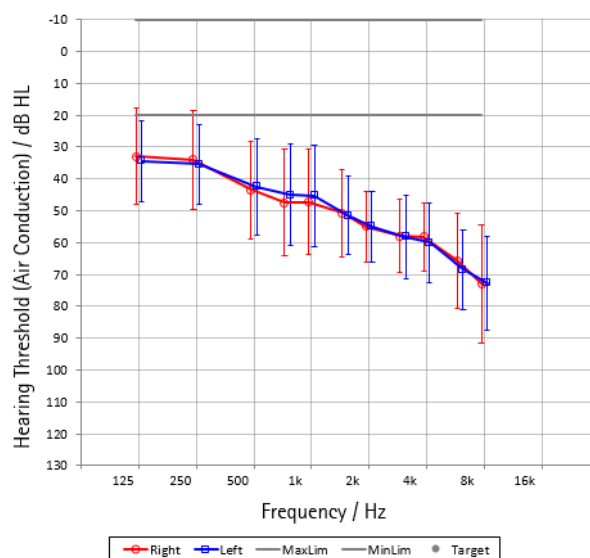


図 1.20 名の参加者の難聴の平均値。難聴の最小および最大値も表示しています。Average Air-Conduction Audiogram = 平均気導オーディオグラム。Frequency = 周波数。

### 試験設定

雑音信号はごったがえすカフェテリアの雑音で、30°、60°、90°、120°、150°、180°、210°、240°、270°、300°、330° に配置された強力なスピーカーを介して発生する一定レベルの 65 dB SPL です。

### SN 比の条件

各参加者に関して SRT50 が決定するまで、参加者に 0° の位置で対面する大きなスピーカーを介して発生する会話音のレベルを調整することで、SN 比を変更しました。この各参加者の SRT50 に基づいて、高い SN 比および低い SN 比の条件が各々次のように定義されました:  
 高い SN 比=SRT50+3dB+4dB  
 低い SN 比=SRT50+3dB

### 試験の条件

実験には、次の因子を備えた 2x2x2 のデザインで構成される 8 つの条件が含まれます。

- SN 比: 高い SN 比 対低い SN 比
- 補聴器: フォナック オーデオ B90-312 対競合他社
- プログラム:  
 フォナック SPILN 対フォナック Calm  
 および  
 競合他社 Noise 対競合他社 Calm (静かな環境に関する競合他社の設定)

## 試験パラダイム

この試験で使用される語音文章は、OLSA センテンスのマトリックステスト材料から入手しました (Wagener および Kollmeier, 1999 年)。このセンテンスに基づいて、ことばの想起タスクを開発しました。参加者は 2 つのセンテンスを連続して聞き、聞いた名前、番号、または物体を思い出さなくてはなりません (すなわち、記憶タスク)。正解はタッチスクリーンで示されます。結果として生ずる依存性の変数は、正確に思い出したセンテンスの部分のパーセンテージでした。(すなわち正確さ)。

各ブロック (8 x 2 センテンス = 16 センテンス) の終了後、参加者は聞きとりに要した努力と記憶に要した努力の体験を評価するよう依頼されます (すなわち、各項目を思い出すのにどの程度努力したか)。正解は、ACALES スケールを適用した 13 ポイントスケールに基づいて (Krüger 等, 2017 年)、タッチスクリーン経由で提供されました。

条件は、無作為化シーケンスのブロック単位で設定しました。参加者の半数がフォナックの補聴器で試験を開始し、その他の半数が競合他社の補聴器で試験を開始しました。

脳の活動は、オーダーメイドの弾性 EEG キャップに固定された 24 個の電極 (簡易キャップ、ヘルシング、ドイツ) を備え、国際的な 10~20 のシステムに応じて配列された、24 チャンネル ワイヤレス スマートリング EEG システム (脳トレーニング、ベオグラード、セルビア) を使用して記録されました (Jasper, 1958 年)。参加者が OLSA センテンスを聞きとり、思い出す間、EEG は 250 Hz の低域フィルターを備えた 500 Hz のサンプリングレートで記録されます。

EEG 信号のオフライン解析が実施されました。記録は、各 OLSA センテンスの開始頃に 2500 ms の時間枠で行われました。3 および 25 Hz 間のスペクトル密度解析が、この時間枠内で実施されました。焦点は EEG アルファ周波数バンド (8~12 Hz) に合わせました。

## 結果

EEG 記録の解析により、EEG のデータ サンプルから 2 名の参加者が除外されました。このうち 1 人の参加者に関しては記録中のインピーダンスの値の不良によるもので、もう 1 人の参加者の場合は Bluetooth 接続の遮断に起因するデータの損失によるものでした。この結果、EEG の記録解析については 18 のサンプルサイズとなりました。

応答精度の客観的測定により (正しい回答のパーセンテージ)、SN 比の条件が適切に選択され、その結果、語音

明瞭度が良好になったので、精度は (ほとんど) すべての設定に関し 70 および 90% の間であったことが明らかとなりました。

各条件について主観的な聞きとりに要した努力を評価しました。フォナックの補聴器に関しては、SN 比が低い場合、フォナック SPILN を使用した場合とフォナック Calm を使用した場合とは対照的に、聞きとりに要した努力は統計学的に低く (19%) になりました。競合他社の補聴器に関しては、競合他社の Noise を使用すると、競合他社の Calm を使用した場合とは対照的に、聞きとりに要した努力での相違は報告されませんでした。補聴器を直接お互いに比較した場合 (図 2)、聞きとりに要した努力は競合他社の Noise よりもフォナック SPILN の場合の方が有意に低く (18%) 評価されました。

聞くための努力-フォナックの SPILN 対競合他社の Noise

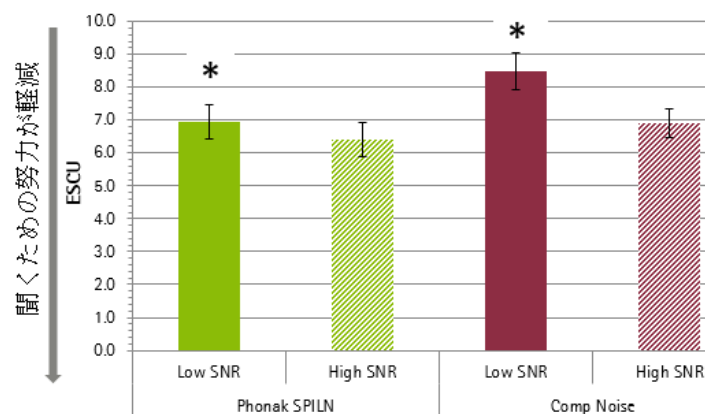


図 2. 主観的な聞きとりに要した努力の平均的評価 (高いおよび低い SN 比条件におけるフォナック SPILN および競合他社の Noise を使用した場合の、標準的エラーバーによる推定スケールリングユニット (ESCU))。

\* = 有意差。Low SNR = 低い SN 比。High SNR = 高い SN 比。Phonak SPILN = フォナックの非常に騒がしい中でのことば。Comp Noise = 競合他社の騒音下用プログラム

各条件に関する主観的な記憶に要した努力も評価しました。聞くための努力は脳のより低いステージにおける認識活動です。一方、記憶するための努力はより高く、時間的により後のステージにおける認識活動です。相関分析により、参加者が聞きとりに要した努力を記憶に要した努力とは違った評価をし、この結果参加者は両次元間の識別ができることが示されました。

記憶するための努力は、フォナック SPILN の場合の方がフォナック Calm よりも有意に低く評価され、一方競合他社の Noise および競合他社の Calm 設定間では相違は報告されませんでした。補聴器を直接お互いに比較した場合 (図 3) も、記憶するための努力はフォナック SPILN の場合の方が競合他社の Noise よりも有意に低く評価されました。



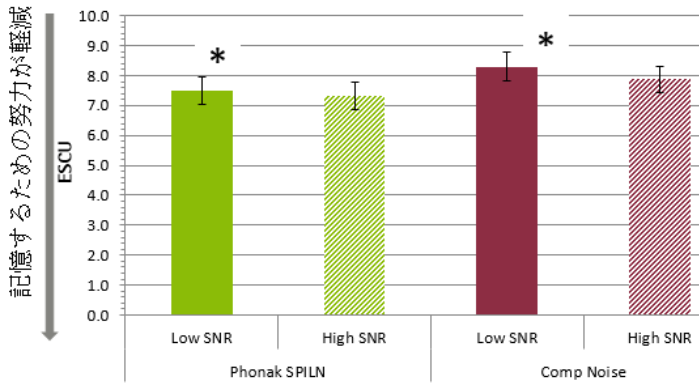


図 3. 主観的な記憶するための努力の平均的評価 (高値および低い SN 比条件におけるフォナック SPILN および競合他社の Noise を使用した場合の標準的エラーバーによる推定スケールリングユニット (ESCU))。\* = 有意差

これらの結果より、ことばを聞きとり、理解し、この情報を記憶に保持するために必要となる努力は、フォナック SPILN を使用した場合と比較して、競合他社の Noise を使用した場合のほうが高いことが明らかとなりました。

EEG 解析 (図 4) により、SN 比の値に関わらず、フォナックの SPILN 設定使用時のアルファスペクトラル密度 (8~11 Hz) は、競合他社の Noise 使用時よりも低いことが示されました。フォナックの SPILN 使用時のアルファバンドアクティビティがより低いことは、競合他社の条件と比較して聞くための努力がより低いことを示しており、行動データの所見を裏付けています。

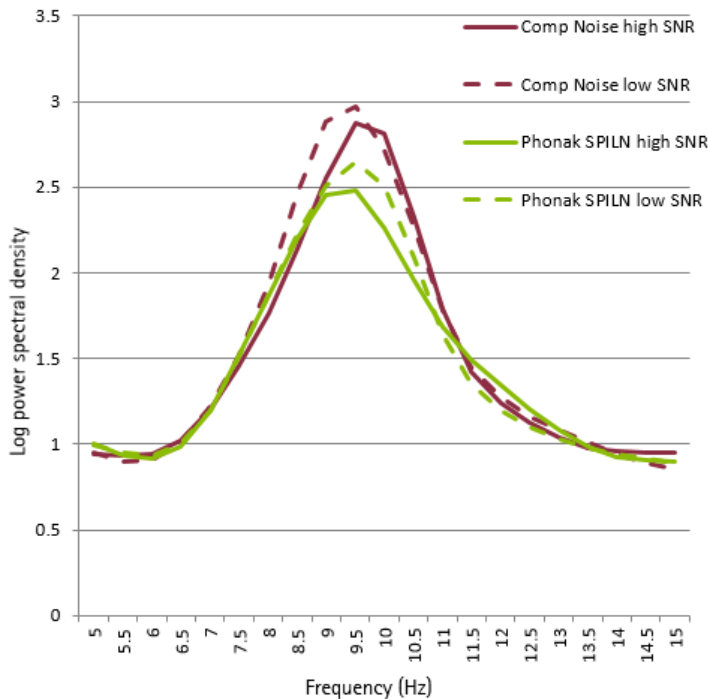


図 4. 高い SN 比 および低い SN 比 におけるフォナック SPILN および競合他社の Noise 使用時の、5 および 15Hz 間のスペクトラル密度の平均値 (平均経過時間および電極 C3、C4、CP5、CP6、P3、P4)。この図では、低い SN 比 および高い SN 比 両方において、フォナックよりも競合他社の方がアクティビティがより高いことを示しています。

## 考察および結論

とりわけ SN 比 が低レベルの場合、聞くための努力の主観的評価は、フォナック SPILN の場合の方がフォナック Calm よりも低くなりました。EEG データ解析 (アルファバンド アクティビティ) の結果は主観的データと一致します。なぜなら、SN 比 とは無関係に、フォナック SPILN 使用時のアルファ アクティビティは、フォナック Calm 使用時よりも有意に低いからです。ステレオズームの効果は、雑音抑制の能力がより高いことです。したがって、会話はより理解しやすくなります。なぜなら、フォナック SPILN においてステレオズームを使用すると、脳により抑制されなければならないカフェテリアの妨害雑音がより少なくなるからです (共有資源仮説)。この事実は、フォナック Calm と比較した場合の、フォナック SPILN のアルファ アクティビティの低減に反映されています。EEG データ解析の結果により聞くための努力の軽減が示され、これは神経生理学レベルでも明白です (Strauss、2014 年)。

フォナック SPILN および競合他社の Noise との比較に関する結果は、フォナック SPILN およびフォナック Calm との比較に関する結果に類似しています。聞くための努力と記憶に要した努力の主観的評価は、フォナック SPILN 使用時の方が競合他社の Noise 使用時よりも低く、とりわけ低い SN 比 条件で顕著な差が確認できました。EEG データ解析の結果 (アルファ スペクトラル密度) は主観的データに一致します。なぜなら、SN 比 とは無関係に、フォナック SPILN 使用時のアルファアクティビティは、競合他社の Noise 使用時よりも有意に低いからです。このことは、ステレオズームによる雑音抑制は、競合他社の Noise で有効化されたアプローチよりも効果が大きいことを示している可能性があります。これにより、フォナックの SPILN での聞くための努力が競合他社の Noise と比較して主観的にも客観的にも低くなります。

各 SN 比 の値を使用してすべての状況下で十分な語音明瞭度を保証する場合、反応精度に関して (正確に思い出した言葉の%)、フォナックの SPILN および競合他社の Noise 間で有意な差は存在しませんでした。競合他社の Noise 使用時の聞きとりに要した努力の上昇は、代償性プロセスの潜在的な指標である場合があります。この指標は、認識能力を良好なレベルに維持するために不可欠です。言い換えれば、競合他社の Noise 使用時に、フォナックの SPILN 使用時のステレオズームと同等レベルの効果を実現させるには、参加者は (神経) 資源にもっと「投資」する必要があります。この投資の増加は、聞くための努力の増加として顕現し、神経性心理学的レベルと同様に主観的にも証明されています。

EEG は、有用で有益な方法を構成して、聞くための努力を客観的に評価し定量化します。この事例では、とりわけ

騒がしい環境下で競合他社よりもステレオズームの方が聞くための努力を軽減することを明らかにしました。

## 参考文献

Appleton-Huber, J., & König, G. (2014). Improvement in speech intelligibility and subjective benefit with binaural beamformer technology. *Hearing Review*, 21(11), 40-42.

Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.

Krueger, M., Schulte, M., Brand, T., & Holube, I. (2017). Development of an adaptive scaling method for subjective listening effort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(6), 4680-4693.

Latzel, M., & Appleton-Huber, J. (2015). StereoZoom - Adaptive behavior improves speech intelligibility, sound quality and suppression of noise. *Phonak Field Study News*, retrieved from <https://www.phonakpro.com/com/en/resources/information-forms/evidence.html>, accessed June 27<sup>th</sup>, 2018.

McGarrigle, R., Munro, K. J., Dawes, P., et al. (2014). Listening effort and fatigue: what exactly are we measuring? A British Society of Audiology Cognition in Hearing Special Interest Group 'white paper'. *International Journal of Audiology*, 53, 433-440.

Pichora-Fuller, M., Singh, G. (2006). Effects of age on auditory and cognitive processing: implications for hearing aid fitting and audiologic rehabilitation. *Trends in Amplification*, 10(1), 29-59.

Picou, E. M., Aspell, E., Ricketts, T. A. (2014). Potential benefits and limitations of three types of directional processing in hearing aids. *Ear and Hearing*, 35(3), 339-352.

Rabbitt, P. (1968). Channel-capacity, intelligibility and immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 241-248.

Strauß, A., Wöstmann, M., Obleser, J. (2014). Cortical alpha oscillations as a tool for auditory selective inhibition. *Front Human Neuroscience*, 8(350), 1-7.

Winneke, A., Meis, M., Wellmann, J., Bruns, T., Rahner, S., Rannies, J., Wallhoff, F., Goetze, S. (2016a). Neuroergonomic assessment of listening effort in older call center employees. *Proceedings of the 9th AAL Kongress, Frankfurt/Main*.

Winneke, A., De Vos, M., Wagener, K., Latzel, M., Derleth, P., Appell, J., & Wallhoff, F. (2016b). Reduction of listening effort with binaural algorithms in hearing aids: an EEG Study. Poster presented at the 43rd Annual Scientific and Technology Meeting of the American Auditory Society, Scottsdale, AZ.

## 著者と調査員

### 外部の主任研究員



Axel Winneke は、2004年にマサチューセッツ大学で生物学的心理学の修士号を取得し、2009年にモントリオールのコンコーディア大学で実験心理学の博士号を取得しました。彼の研究テーマは、認識および知覚の神経生理学的な測定です。現在は、デジタルメディア技術に関しオルデンブルグのフラウンホーファー研究機構の聴覚、発話、音声技術部門で上席研究員を務め、聞きとり努力のテーマに重点をおき、神経学的人間工学の分野で応用研究プロジェクトに従事しています。

### 研究調査員



Matthias Latzel は 1995年にドイツのボーフムとオーストリアのウィーンにて電気工学を専攻しました。2001年に博士号を取得後、2002～2004年までギーセン大学の聴覚学部に博士研究員として在籍しました。2011年、Phonak Germany の聴覚学部門のリーダーに就任しました。2012年以降、スイスの Phonak AG で臨床研究マネージャーとして勤務。

### 著者



Jennifer Appleton-Huber は、2004年にマンチェスター大学で聴覚学の理学修士号を取得しました。2013年までは聴覚学者として主にイギリスとスイスで活動し、補聴器と人工内耳の分野で成人および小児と関わってきました。現在は、フォナック本社の技術編集マネージャーを務めています。