

スマートフォン型聴覚トレーニング「キクモア」による 雑音下聴取能の改善効果

— 単群前後比較試験による検証 —

*Improvement of Speech-in-Noise Perception by a Smartphone-Based Auditory Training: A Single-Arm
Pre-Post Intervention Study*

neumo 株式会社 研究開発チーム

2026 年 7 月公開

要旨

純音聴力検査では正常でありながら、日常の雑音下では聞き取りが困難となる症状（隠れ難聴、あるいは聴覚情報処理障害/聞き取り困難症；APD/LiD）に対しては、根本的な治療法が確立されていない。本研究では、雑音下聴取能の改善を目的として neumo が独自に開発した、聴覚と運動を協応させるスマートフォン型トレーニング「キクモア」の効果を、単群前後比較デザインにより検証した。トレーニングおよびトレーニング前後の雑音下聴取能評価（digits-in-2-talker-babble テスト；DI2TB）を完遂した 16 名を解析対象とした。トレーニングは 1 日 30 分、約 2 ヶ月間実施した。雑音下聴取閾（50%正答となる SN 比、 μ ）は、トレーニング前の平均+2.48 dB からトレーニング後の平均-0.59 dB へと改善し、平均変化量は-3.07 dB（16 名中 14 名で改善）であった。Wilcoxon の符号付順位和検定（両側）の結果、 $p < 0.001$ と統計的に有意な改善が認められ、対応のある効果量 Cohen's d (dz) は 0.96 であった。ここで用いる dB は SN 比（信号対雑音比）の dB であり、純音聴力検査の dB (dB HL) とは意味が異なる。SN 比の dB としての -3.07 dB は、雑音下語音聴取において極めて大きな改善に相当する。本トレーニングは、雑音下での聞き取りに困難を抱える人々に対する新たな介入手段となる可能性が示された。

キーワード： 雑音下聴取能、聴覚トレーニング、隠れ難聴、APD/LiD、SN 比、digits-in-noise、単群前後比較試験

1. 背景

認知症の日本国内における 2022 年の推定患者数は 443 万人である。2060 年には 645 万人に増加し、認知症予備軍である軽度認知障害（MCI）も含めると 1,277 万人が認知機能に障害を持つと推定されている[1]。これは、65 歳以上の高齢者の 3 人に 1 人が認知症または予備軍になるという予想である[2]。世界的には、2019 年の認知症の推定患者数は 5,740 万人であり、2050 年には 1 億 5,280 万人に増加すると予想されている[3]。

認知症の予防が可能な 12 因子のうち、最も重要な因子が難聴である[4]。難聴が認知症をもたらす原因としていくつかの仮説が考えられている。一つは、アルツハイマー病の原因と言われているアミロイド β を、難聴それ自体が増やす可能性[5]である。また、難聴により音

の入力が減ったり、雑音下で会話するなど聞こえが困難な状況において、聞くことに脳の認知資源が割かれた結果、他の認知機能まで脳の資源が割かれなくなるという仮説も考えられている[6]。

難聴は、QOL が低下するためにそれ自体も大きな問題である。音が聞こえにくくなるため、外出時に危険を察知する能力が低下したり、家族や友人とのコミュニケーションがうまくいなくなる。外出や会話を避け、引きこもることで社会的に孤立し、自信の喪失やうつ病の発症リスク上昇にもつながる[7]。

難聴の有病率は加齢とともに増加し、70 代を超えると半数以上が難聴になると推計されている[8]。

純音聴力検査では正常であり難聴ではないと診断されるが、日常生活では聞き取りが困難で、特に雑音下での聞き取りに支障をきたす症状を聴覚情報処理障害/聞き取り困難症

(APD/LiD)、あるいは隠れ難聴と呼び、近年注目されている[9, 10]。静かな場所で話すといった環境の調整や、補聴器などの機器の装用などの対処方法は提案されているが、根本的な治療法は確立されていない。

そのため、そういった方達の主な困りごとである、雑音下での聞き取り能力（雑音下聴取能）を改善する聴覚トレーニング法を本稿では提案し、検証結果を報告する。

これまで、雑音下聴取能を向上するための聴覚トレーニング法として、雑音下で単語や文章を聞いて回答し、正解・不正解のフィードバックを受けることで訓練を行う知覚学習課題が研究されている[11]。しかし、知覚学習は一般に汎化しにくく、訓練した刺激では能力が改善するが、それ以外の環境・刺激では改善しないことが知られている。また、知覚学習を行うには繰り返し訓練を行うことが望ましいが、研究で使われる課題は面白味にかけるところも多く、実用化の面で問題がある。面白いことは訓練の継続に望ましいだけでなく、面白いことで訓練効果を高めることにもつながるため、面白味のある訓練の開発は、雑音下聴取能を改善するために重要である。

2. 手法

2.1 被験者の募集方法

日常生活において聞こえに課題がある、あるいは不安を感じており、聞こえが改善する訓練に参加したい方を、主に 60 代を中心に募集した。募集経路はオンライン（クラウドワークス、neumo のウェブサイトからの問い合わせ、オンラインでの聴覚に関するセミナー、東京都渋谷区の官民連携プログラム）、オフライン（長野県松本市での聴覚セミナー、東京都渋谷区シニアクラブでの聴覚セミナー）、セミナー参加者や本実験参加者からの紹介を通じて応募を受け付けた。

実験への参加費は無料であり、報酬も発生しない。

2.2 被験者

応募者とのオンラインまたはオフラインでの面談を行い、普段の聞こえの状況のインタビュー、雑音下聴取能の定量評価、実験への参加意向を確認した。雑音下聴取能が健全な数値より劣り、あるいは聞こえの訓練に積極的な意欲がある被験者を選定した。

募集・選定を継続的にを行い、本白書では、トレーニングおよびトレーニング前後の雑音下聴取能評価をいずれも完遂した 16 名（年齢 59～88 歳、うち女性 13 名）を解析対象とした。

2.3 実験手続き

本実験は 2023 年 9 月から 2024 年 12 月にかけて実施した。以下の順で実施する。各参加者に対してオンラインまたは直接対面で、普段の聞こえの状況やトレーニングへの参加意思を確認する。トレーニング開始前に雑音下聴取能の評価を行う。トレーニングを毎日 30 分、2 ヶ月間実施する。トレーニング完了後、トレーニング開始前と同じ雑音下聴取能の評価を行う。

トレーニングは、neumo が開発したスマートフォン用のアプリケーション「キクモア」を用いて行う。アプリケーションにはチュートリアルが搭載されており、トレーニング開始時に、実験者が解説しながらチュートリアルを実施する。トレーニング本番の内容についてもチュートリアルに続いて解説、実施し、被験者は行うべきタスクを理解する。被験者は、毎日 30 分タスクを実施することを求められた。

トレーニングを実施する 2 ヶ月間は、トレーニング開始後 1 週間目、1 ヶ月目、2 ヶ月目のマイルストーンごとに継続意向を確認する。特に、最初の 1 週間は、訓練へ継続的に参加できるかどうかを評価・意思決定してもらうためのマイルストーンでもある。マイルストーンごとの評価に加え、訓練に伴う体調の悪化など有害事象の発生の有無について、随時被験者からの連絡を受け付け、また実験者から被験者への都度確認を行った。

2.4 評価方法

2.4.1 定量的評価法

被験者の雑音下聴取能は、neumo 開発の digits-in-2-talker-babble テスト（以下 DI2TB）を用いて評価した。DI2TB では、2 話者による音声が続的に流れる中で、3 桁の数字（0 から 9）が背景音声とは異なる音声で再生される。被験者は画面に表示される 0～9 のボタンを押すことで回答する。SN 比は 10 dB から開始し、1 ブロックにつき 24 回回答する。3 桁の数字すべてが正解のときのみ次は SN 比が 2 dB 低下、そうでないときは不正解として次は SN 比が 2 dB 上昇する。測定は 3 ブロック行う。

数字音声と背景音声は、それぞれ Google Text-to-Speech を用いて作成した。数字音声はどの数字の正答率も同一になるように校正した。背景音声の音量は LUFS において均一化した。DI2TB のタスク詳細は文献[12]を参照。

測定システムは web アプリケーションとして実装された。被験者は自宅で静かな環境・時間帯を選び、自分が所有しているスマートフォンを用いて web アプリケーションにアクセスし、測定タスクを完遂した。

【本検査における dB の定義】 本検査で扱う dB は、背景雑音に対する目的音（信号）の相対レベルを表す SN 比（信号対雑音比, signal-to-noise ratio）の dB である。純音聴力検査（オーディオグラム）で用いる dB HL（聴力レベル；静寂下で聞こえる最小音圧＝聴取閾値そのものを表す）とは物理的意味が全く異なる点に留意されたい。SN 比の dB が小さい（負に大きい）ほど、より大きな雑音の中でも目的音を聞き取れることを意味し、雑音下聴取能が高いことを示す。

2.4.2 定性的評価法

日常生活における被験者の主観的・客観的变化を、マイルストーンごとおよび都度インタビューやメールなどの手段を用いて取得した。取得した主な項目は、仕事をしているときの聞き取りの困難さ、家族と会話をするときの聞き取りの困難さ、テレビ音声の聞き取りの困難さ、テレビの音量である。

2.5 トレーニング法

トレーニングは、スマートフォンから再生される音を聞きながら、タッチパネル上での正確な操作が求められるタスクである。音はイヤホンを用いて聞くか、補聴器を装用している場合はスマートフォンのスピーカーから再生される音を聞く形でも良い。再生される音は言語音声からかけ離れた合成音であり、要求されるタッチパネル上での操作は、neumo が独自に開発した手法（特許取得済み）を用いる。タスクの成績が一定基準を超えるとクリアとなり、聞き取る対象の音の難易度が上昇する。それにより、各被験者ごとに最適な訓練負荷になるように設計されている。

タスクを 1 つクリアするたびに、タスクに関連したクイズが出題される。クイズによって被験者の興味関心を喚起することで、トレーニングに対する継続意欲を維持する。また、クイズを解くという面白味をタスク内に導入することで、訓練効果を高める設計としている。毎日のトレーニング時間として求められている 30 分は、時間配分や取り組む時間帯は被験者に委ねられた。

2.6 分析方法

2.6.1 定量的評価法の被験者ごとの分析手法

被験者ごとの雑音下聴取能は次の方法で求めた。DI2TB の 3 ブロックの測定結果 72 回のトライアルの結果から、心理測定関数を求める。心理測定関数はロジスティック関数を用いてモデル化される[13]。 x は SN 比（dB）、 N は DI2TB タスクにおける回答の選択肢の数（この場合 1,000）、 μ は中心点、 σ は μ 付近での信号強度の変化に対する感度を表す。心理測定関数は最尤推定法を用いて推定した。一般に、雑音下聴取能は正答率が 50%とな

る SN 比を用いて表され、 $N=1,000$ であることから μ とほぼ同じとなる。以下の分析では雑音下聴取能の値として μ を用いる。

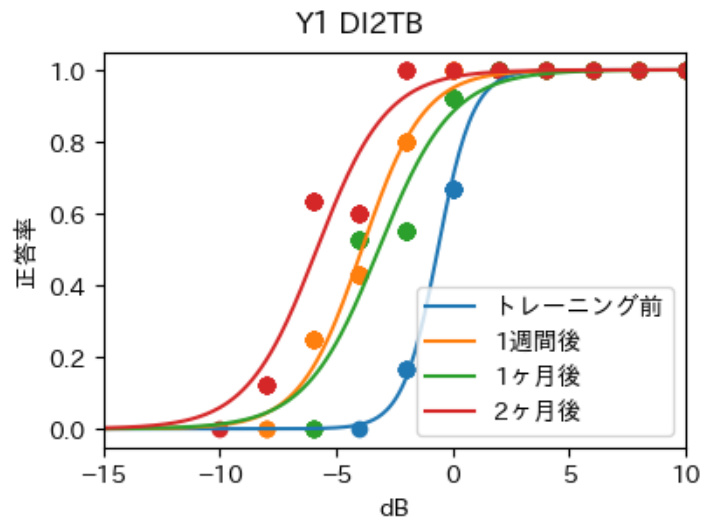


図 1. 心理測定関数の推定例（被験者 1）。トレーニングの各時点における推定曲線を示す。横軸は SN 比（dB）、縦軸は正答率。50%正答点（ μ ）が左方向（SN 比が小さい方向）へ移動するほど、雑音下聴取能が改善していることを表す。

2.6.2 定量的評価法の被験者群の分析手法

トレーニングによる効果は、トレーニング前の被験者の μ とトレーニング後の μ を比較することで評価する。効果量は Cohen's d を用いて算出する。トレーニングによる訓練効果の検定は、トレーニング前の μ とトレーニング後の μ について Wilcoxon の符号付順位和検定（両側検定）を行う。

3. 結果

3.1 被験者

解析対象とした 16 名は、いずれもトレーニングおよびトレーニング前後の雑音下聴取能評価を完遂した。なお、募集・選定の過程では、最初の 1 週間目（トレーニングへの継続的な参加意思を確認する期間）に続行が困難という自己申告によりトレーニングを停止した応募者が存在したが、1 週間目を超えた被験者の中で途中離脱した者はいなかった。

3.2 トレーニングの実施状況

詳細な利用ログを取得できた被験者について、トレーニングアプリの利用状況を分析した。1 週間あたりの平均利用日数は 6.3 日で、どの被験者もほぼ毎日実施できていた。アプリの利用時間は平均 46 分であり、そのうち聴覚トレーニングタスクを実施していた時間は平均 13.8 分であった。

3.3 定量評価法の信頼性

DI2TB テストによる 50%正答率点となる dB 値の標準偏差で表される被験者内変動（すなわち、DI2TB テストの測定誤差）は、繰り返し測定が得られた被験者において平均 1.14 dB であった。後述するトレーニングによる平均変化量 -3.07 dB は、この測定誤差を大きく上回る。

3.4 定量評価の被験者群の結果

トレーニング前後で、雑音下聴取閾（DI2TB の μ ）は平均 $+2.48$ dB（トレーニング前）から -0.59 dB（トレーニング後）へと改善した。被験者ごとの pre-post の変化と平均値を図 2 に示す。平均変化量は -3.07 dB（変化量の範囲： $+0.91 \sim -11.14$ dB）であり、16 名中 14 名で改善（閾値の低下）が認められた。

トレーニング前の μ とトレーニング後の μ について Wilcoxon の符号付順位和検定（両側検定）を行った結果、 $p < 0.001$ （正確検定による両側 $p = 0.00058$ ）であり、統計的に有意な改善が認められた（図 2、***）。対応のある効果量 Cohen's d (d_z) は 0.96 であり、Cohen の基準（ 0.8 以上を「大きい」とする）を上回る大きな効果であった。

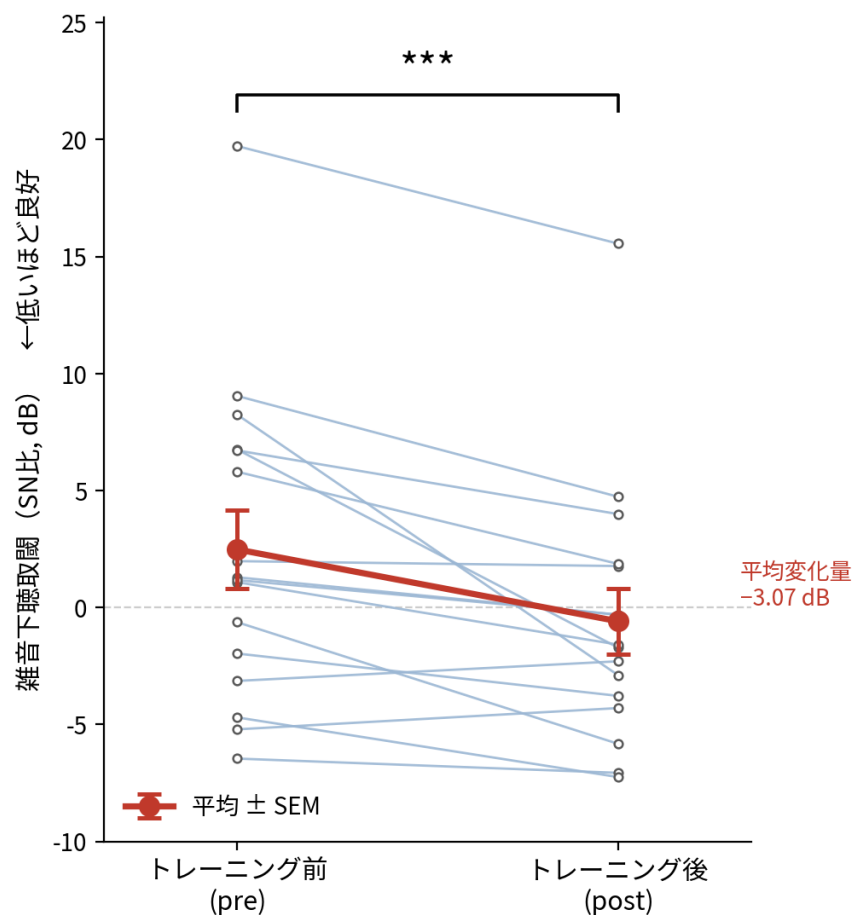


図 2. トレーニング前後の雑音下聴取閾（SN 比, dB）の変化。細線は各被験者（N=16）の pre→post の変化、赤の太線は平均±標準誤差（SEM）を示す。縦軸は 50%正答となる SN 比で、低いほど雑音下聴取能が良好であることを表す。平均変化量は -3.07 dB。Wilcoxon の符号付順位和検定（両側）により $p < 0.001$ (***)。

3.5 定性評価

被験者ごとの主観的評価および日常生活での変化の代表例を表 3 に示す。

表 3. 被験者の主観的・客観的变化（代表例）

被験者	主観的な変化	テレビ（ラジオ）音量の変化
1	娘の声がくぐもって聞こえ何度も聞き返していたが、トレーニング後は聞き返しが大きく減った。朝のドラマや歌の歌詞がはっきり聞こえるようになった。職場（児童センター）でも子どもの声を聞き返すことが減った。	—
2	会話で聞き返す頻度が減ったように思う。	以前と同じ音量だとうるさく感じるようになった

		った。
3	会話の聞き取りやすさは良くなったと思うときもある。集会での聞き取りが少し良くなった感じがした。	テレビ・スマホの音量が小さくなった。テレビは16→24と上がっていたのが16に下がった。スマホは半分程度で聞ける。
4	日常生活の大きな変化は自覚しにくい、最近では聞こえなくて困ることが無いと感じる。	ラジオの音を1段階下げても聞こえるようになった。
5	ドラスティックに良くなった感覚はない。	テレビの音量が27→26程度、若干下がった。
6	1対1の会話で聞き返す回数が少なくなった気がする。	朝は6段階ほど下げても聞こえる。夕方・夜も2～3段階低い状態で聞こえる。
7	日常生活で大きな変化は感じない。	—
8	英語のリスニング学習で、以前は疲れて30分間聞けなかったが、トレーニング後は30分間聞いても聞こえの不安がなく、音を聞き取れるように感じる。ディベートのセミナーでも、相手の話を聞くことに自信が出た。	—
9	トレーニングによって聞こえが良くなっていると実感でき、自信が持てて前向きな気分になった。	—
10	以前は語尾が濁る話者の声が聞き取りにくかったが、補聴器なしでも8割程度聞き取れるようになった。集中力がついたように感じる。	—
11	トレーニング前は銭湯での会話が6割ほどしか聞き取れなかったが、最近では聞こえないと感じることがなくなった。	—
12	体調の良いときは聞き返さずに会話が聞こえるようになった。車内での会話でも聞き返しが減り、同乗者や家族から聞こえが良くなったと驚かれた。	テレビの音量を小さくしても聞こえるようになった。
13	夫との会話が以前よりずっと聞き取りやすくなり、ストレスが減った。	—

4. 考察

4.1 聞こえを訓練するスマートフォンアプリケーションの利用継続意欲

今回の実験では、トレーニング用のアプリケーションを毎日30分、2ヶ月間続けることを被験者に課した。被験者の中には旅行、体調不良などで時々トレーニングを休む日があったときもあったが、平均して1週間あたり6.3日、1日あたりでは平均46分間アプリケーションを利用していた。日常生活における聞こえに課題があり、訓練により改善したいという

強い意向がある被験者を選定したことや、アプリにクイズを盛り込むなど、面白味があるタスク設計により、継続的に利用してもらうことができたと考えられる。

一方、1日あたりのアプリ利用時間は平均 46 分であったものの、実質的なトレーニング課題を行っていた時間は1日あたり平均 13.8 分であった。

4.2 定量的評価法による聞こえの改善の評価

2ヶ月間のトレーニングによる DI2TB の平均変化量は -3.07 dB（被験者ごとには $+0.91 \sim -11.14$ dB）であった。DI2TB の測定誤差は約 1.1 dB であるため、この改善効果は測定誤差の範囲を超えた有意な結果である。今回は Wilcoxon の符号付順位和検定（両側）で $p < 0.001$ となり、統計的に有意な改善が確認された。対応のある効果量 Cohen's d (d_z) は 0.96 で、大きな効果量である。

ここで、改善量の大きさを正しく解釈するうえで極めて重要な点を強調する。本検査で用いる dB は、背景雑音に対する目的音（信号）の相対レベルを表す SN 比（信号対雑音比）の dB であり、純音聴力検査（オーディオグラム）で用いる dB HL とは全く意味が異なる。純音聴力検査の dB は、聞こえる最小音圧そのもの（聴取閾値）を表し、難聴の程度分類では軽度難聴が 25～40 dB、中等度難聴が 40～70 dB といったように、数十 dB の幅で語られる量である。一方、雑音下聴取における SN 比の心理測定関数は急峻であり、SN 比が数 dB 変化するだけで語音の聞き取り正答率が大きく変動する。したがって、純音聴力検査の dB の感覚で今回の -3.07 dB を捉えると小さく見えるが、これは純音聴力検査の dB ではなく SN 比の dB であるため、 -3.07 dB という変化量は雑音下語音聴取においては極めて大きな改善に相当する。実際、標準化された雑音下聴取検査（QuickSIN など）においても、SN 比で数 dB の差は臨床的に大きな意味を持つとされている。

なお、1日あたりの実質トレーニング時間は平均 13.8 分であり、課した 30 分には満たなかった。それにも関わらず、今回の改善効果が得られた点は注目に値する。

4.3 トレーニング法による雑音下聴取能の改善の汎化

雑音下聴取能の評価に用いた DI2TB は、背景に連続的に流れる会話の中の、数字音声の聞き取りタスクである。一方で、今回のトレーニング法では、聞き取る音は言語音声とはかけ離れた合成音である。そのため、トレーニングによる DI2TB の測定値の改善は、near transfer effect ではなく far transfer effect であると考えられる。

4.4 被験者の主観的評価による聞こえの改善とアプリケーションの評価

DI2TB による測定結果では改善しているにも関わらず、日常生活において主観的には変化を大きく感じない被験者も存在した。今回検証したトレーニング法は雑音下聴取能の改善効果を狙ったものであるが、複数の被験者がテレビ（ラジオ）の音量を下げても聞こえるようになったと申告している。これは、トレーニング法が狙っている音に対する選択的注意能力

が改善したことが寄与していると想定される。アプリケーションに対しては楽しい・面白いなど概ね好意的な意見が得られ、製品として発売された際にも購入したい、他人に勧めたいという意見が得られた。

5. 臨床応用・社会実装への適用

5.1 社会実装の可能性

雑音下聴取能の改善は、日常生活において聞き取りが困難な方にとって、切実な願いである。純音聴力検査では正常であり難聴ではないと診断されるが、普段の聞き取りが困難な症状は隠れ難聴、あるいは APD/LiD（聴覚情報処理障害/聞き取り困難症）という症状で知られている。それらの方々に共通する、大きな困りごとが雑音下で聞き取れないことである。

そのため、周りの人が話しかけても反応ができない・理解できない・理解できないために行動ができないことにより、周りの人からは無視された、やる気がない、知的能力が低いと誤解されることも多い。会話によるコミュニケーションが困難なために、一般的な生活自体が困難で、仕事に就けない、仕事に就いてもすぐに解雇されるなど、言葉を聞き取ることに對する切実なニーズが存在する。しかしながら、根本的な治療法は現在存在しない。そのため、今回検証した、雑音下聴取能を改善するトレーニング法・アプリは、そういった方々にとって一つの光になると期待される。

5.2 アプリケーションに対する被験者の感想

（被験者 1）トレーニングを知り合いに勧める度合いを 0～10 点でつけるなら 10 点。

（被験者 4）改善の方向にはあると思っている。会議や大事な話の時は集音器を使いつつ、普段は訓練を続けるのが一番良いと思っている。もっと続けて変化を見たいという気持ちがある。相手から聞こえが悪くなったという話があれば、このアプリを絶対勧める（10 点）。

（被験者 5）トレーニングは楽しかった。聞こえが悪いという友達があれば勧める（10 点）。

（被験者 6）トレーニングは楽しかった。

（被験者 7）このアプリは有料でも無料でも人に勧める。2 ヶ月で治るとは思っていないので、有料でも続けたいという気持ちが強い。購入意向は 10 点満点中 8 点。

（被験者 8）最初よりトレーニングがずっと面白くなっていると感じる。音に集中できそうだと思う。

（被験者 9）知り合いに勧める度合いは、0～10 点のうち 8 点。

（被験者 10）「脳で聞こえる」という点に魅力を感じる。星を獲得するのがゲーム感覚で楽しい。ぜひやりたい（購入意向 10 点）。

（被験者 12）獲得した星の数や、ていねいになぞれた点を褒められると嬉しい。文字がきれいに描けたときも嬉しい。

(被験者 13) 友人にキクモアの情報を共有した。

6. 今回の検証の限界

6.1 トレーニング環境の多様性

雑音下聴取能の評価およびトレーニングには、被験者自身が所有するスマートフォンを用いている。したがって、スマートフォンの画面の大きさ、音の大きさ、イヤホン・スピーカー利用の多様性、周囲の音環境の多様性など、条件が同一になるような制御はなされていない。そのため、特に改善効果が得られなかった・小さかった被験者について、改善した被験者と比較して何らかの環境要因の違いが存在する可能性がある。

文献

- [1] 二宮 利治. 認知症及び軽度認知障害の有病率調査並びに将来推計に関する研究. 2024.
- [2] 認知症施策推進総合戦略～認知症高齢者等にやさしい地域づくりに向けて～（新オレンジプラン）（厚生労働省, 2015 年 1 月）.
- [3] GBD 2019 Dementia Forecasting Collaborators (2022). Estimation of the global prevalence of dementia in 2019 and forecasted prevalence in 2050. The Lancet Public Health, 7(2), e105–e125.
- [4] Livingston, G., et al. (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. Lancet, 396(10248), 413–446.
- [5] Pan, L., Li, C., Meng, L. et al. (2024). GDF1 ameliorates cognitive impairment induced by hearing loss. Nat Aging 4, 568–583.
- [6] Griffiths, T. D., et al. (2020). How Can Hearing Loss Cause Dementia? Neuron, 108(3), 401–412.
- [7] 日本耳鼻咽喉科頭頸部外科学会. 難聴と認知症. <https://www.jibika.or.jp/owned/hwel/hearingloss/>
- [8] 内田 育恵, 杉浦 彩子, 中島 務, 他 (2012). 全国高齢難聴者数推計と 10 年後の年齢別難聴発症率 (NILS-LSA) . 日本老年医学会雑誌, 49(2), 222–227.
- [9] LiD / APD 診断と支援の手引き (2024 第一版) .
- [10] Kohrman D, Wan G, Cassinotti L, Corfas G. (2020). Hidden Hearing Loss: A Disorder with Multiple Etiologies and Mechanisms. Cold Spring Harb Perspect Med, 10(1), a035493.
- [11] Woods DL, et al. (2015). Speech Perception in Older Hearing Impaired Listeners: Benefits of Perceptual Training. PLoS ONE, 10(3), e0113965.
- [12] Smits, C., Theo Goverts, S., & Festen, J. M. (2013). The digits-in-noise test: assessing auditory speech recognition abilities in noise. J Acoust Soc Am, 133(3), 1693–1706.
- [13] Hall J. L. (1981). Hybrid adaptive procedure for estimation of psychometric functions. J Acoust Soc Am, 69(6), 1763–1769.