

一側性難聴者の残響下での文章了解度・方向性マスキング解除の検討

辻 慎也[†] 荒井 隆行[‡]

[†] 上智大学大学院 理工学研究科 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

[‡] 上智大学理工学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: [†] s-tsuji-119@eagle.sophia.ac.jp, [‡] arai@sophia.ac.jp

あらまし 本研究では、一側性難聴者 (UHL) と両側聴力正常のモノラル受聴 (MNH)・両耳聴 (BNH) を対象に、残響下での時間分解能・文章了解度・方向性マスキング解除を測定した。白色雑音を用いた gap 検出テストの結果、MNH では約 0.3 秒応答時間が増加し、傾聴努力がみられた。文章了解度テストの結果、残響下での音声聴取のため、UHL・MNH は BNH よりも大きな音声対雑音の比 (SN 比) が必要であり、残響は一側性難聴者の音声聴取を妨げる要因であることが示された。一方、29.06 年 (1SD: 14.19) と長い難聴期間の UHL と MNH との比較から、一側性難聴者は適応により、残響のマスキングからある程度解除され、方向性マスキングの効果は改善し得ると示唆された。

キーワード 一側性難聴, 残響, 雑音下聴取, 適応, 方向性マスキング解除

Speech Intelligibility in Noise and Spatial Release from Masking under Reverberation for Those with Unilateral Hearing Loss

Shinya TSUJI[†] and Takayuki ARAI[‡]

[†] Graduate School of Science and Technology, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

[‡] Faculty of Science and Technology, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

E-mail: [†] s-tsuji-119@eagle.sophia.ac.jp, [‡] arai@sophia.ac.jp

Abstract In the current study, temporal resolution, speech reception thresholds (SRT), and spatial masking release (SRM) under reverberation were measured for those with unilateral hearing loss (UHL), monaural normal hearing (MNH), and bilateral normal hearing (BNH). Results of gap detection using broadband noise showed that MNH had about 0.3 s longer response time, which means listening effort. As results of SRT, the group of UHL and MNH had upper SRTs than BNH, which means reverberation is one of the factors that interfere with speech perception for those with UHL. Comparing longstanding UHL (29.06 years; 1SD: 14.19) and MNH, results also suggested that there was a process of adaptation contributing improvement in release from masking of reverberation and SRM.

Keywords Unilateral Hearing Loss, Reverberation, Speech Recognition in Noise, Adaptation, Spatial Release from Masking

1. はじめに

片側耳は正常であるが、対耳側に難聴があることを一側性難聴 (unilateral hearing loss; UHL) という。難聴耳の聴力低下は軽度から重度と多様な様相を示す[1]。難聴側が重度難聴を呈する場合、片側聾 (single-sided deafness; SSD) と区別されることもある。

Harford ら[2]によると、一側性難聴における障害は1) 騒音下での聴取, 2) 難聴側の聴取, 3) 音源定位の3点に集約される。特定の場面で困難な状況が生じ[3], その一方で、静寂下や良耳側の聴取では、大きな問題が生じない点に特徴がある。

騒音下での音声の聴取について、音声とマスカが別の位置にあるとき、音声の聴取閾値は改善する。これを方向性マスキング解除 (spatial release from masking; 以下 SRM) という。この閾値の改善は、カクテルパーティ効果 (cocktail-party effect) [4]やスケルチ効果

(binaural squelch) [5, 6]と言及されることもある。

SRM を得るための主要な要因は、両耳間の時間差と強度差である[7]。一側性難聴では両耳間の情報が損なわれ、本来は SRM の手がかりをもたらした頭部陰影効果が裏目に作用し、患耳側の聴取が困難になる[8]。一方、両側の聴力正常者への片側のみ呈示[9, 10]や、一側性難聴者を対象として[8, 11], モノラル受聴での SRM がこれまでに検討されている。

加えて、室内では残響によって音声の聴取が影響される。残響による音声明瞭度の低下について、self-masking・overlap-masking の影響が指摘されている[12]。特に、コンサートホールのように広く残響の長い空間では、音声の時間構造が崩れ、先行する音声の残響により後続の音声のマスキングされる。また、残響により音声のみかけの幅が広がる[13]ことにより、SRM の効果が減少する[14]。両耳聴では overlap-masking 解除

[15]や先行音効果[16]によって、音声明瞭度・音源定位はある程度担保される。しかし、特に聴覚障害のある場合、両耳聴の効果が機能せず、残響は音声明瞭度を下げる要因となることが知られている[17]。

これまで本邦では、一側性難聴があっても良聴耳で十分に聴取可能ということで、積極的に対応する姿勢は取られなかった[18]。しかし、社会生活上、一側性難聴者が聴取困難な状況下にあることは多く、聞こえの問題に伴って対人関係などに問題が生じることもある[19]。近年では良聴耳の時間分解能が両側聴力正常者と比べて劣っていることも、困難の原因の一つであると指摘されている[20, 21]。また、両側の聴覚障害者と同様に、一側性難聴者にとって残響は音声明瞭度を下げる要因となるはずだが、残響下の音声知覚は検討が進んでいない。

そこで本研究では、一側性難聴者の残響下での時間分解能・音声知覚・SRMを検討することを目的として、一側性難聴者と両側聴力正常のモノラル受聴・両耳聴の3条件を対象に、1) 残響下の時間分解能、2) 文章了解度、3) SRMを測定した。

2. 方法

2.1. 対象

一側性難聴者 16 名 (男性 3 名, 女性 13 名; 18~55 歳), 両側聴力正常者 28 名 (男性 10 名, 女性 18 名; 19~27 歳) を対象とした。参加者は全員, 日本語母語話者であった。Table 1 に一側性難聴者の属性を示す。

老化により, 50~60 歳から雑音下での音声聴取能力が低下する[22]。本研究では老化の影響を避けるために, 50 歳以上の一側性難聴者のデータは除外した。

分析対象とした一側性難聴者について, 難聴の期間は 11 年~48 年で, 先天的発症が 10 名, 後天的発症が 3 名であった。本研究では難聴の発症前の記憶がないケースを先天的発症とした。難聴側は左が 5 名, 右が 8 名。良聴耳の平均聴力レベル (四分法) は 20 dBHL 以下で, 難聴耳は軽度難聴が 1 名, 高度難聴が 2 名, 重度難聴が 2 名, スケールアウト 8 名であった。一側性難聴については, American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) による, 「片側の耳は正常であるが, 対耳側に 26 dBHL 以上の難聴がある状態」[1]によって定義した。

Table 1 Demographics of the participants with unilateral hearing loss

対象	年齢	難聴の期間	難聴耳	平均聴力レベル		難聴の原因
				(良聴耳, 難聴耳)		
01	26	26	左	5.00,	SO	不明
02	46	46	右	15.00,	SO	不明
03	37	37	右	7.50,	SO	不明
04	24	24	右	5.00,	78.75	小耳症
05	18	18	左	8.75,	38.75	真珠腫性中耳炎
06	27	27	右	18.75,	SO	アブミ骨形成不全
07	32	32	左	2.50,	SO	不明
08	29	19	左	3.75,	SO	突発性難聴
09	50	16	右	13.75,	SO	突発性難聴
10	29	11	右	3.75,	96.25	突発性難聴
11	55	55	右	21.25,	SO	不明
12	46	46	左	11.25,	SO	不明
13	50	7	右	8.75,	38.75	耳硬化症
14	33	33	右	7.50,	71.25	小耳症
15	26	20	右	17.50,	SO	ムンプス
16	48	48	右	10.00,	92.50	外耳道閉鎖症
平均	36.00	29.06		10.00,	94.77	
(SD)	(11.46)	(14.19)		(5.77)	(25.05)	

SO: スケールアウト

2.2. インパルス応答の収録

本研究では上智大学 10 号館講堂の両耳インパルス応答の畳み込みにより刺激音に残響を付与した。収録には 12 面体スピーカ (Brüel & Kjær, OmniPower 4292) からの swept-sine 信号音源と、3 脚にセットしたダミーヘッド (Neumann, KU 81) を用いた。音源と受聴点は講堂の壇上に置いた。受聴点はステージ中央で客席にダミーヘッドの背面を向けて、音源はダミーヘッドの前面に設置した。ダミーヘッドに対する音源の角度を変え、複数のインパルス応答を収録した。畳み込みには正面 (0°) と、左右 ($\pm 35^\circ$) 3 点の両耳インパルス応答を用いた。音源と受聴点の高さは床から約 1.35m、距離は約 3.00m であった。収録したインパルス応答の残響時間は約 1.6 秒であった。

2.3. 刺激音

残響下 gap 検出テストでは、正面 (0°) の両耳インパルス応答を畳み込んだ白色雑音を用いた。Gap なしの基準刺激と、gap 長を最長 100ms から $\sqrt{2}$ の係数ごとに 20 ステップの gap あり刺激を作成した (2.5 節参照)。

文章了解度 (speech reception threshold; 以下 SRT) のテストでは、ターゲット文は NTT-AT 音素バランス 1000 文[23]から 1) 話者が男性アナウンサー、2) 人名を用いないもの、3) 話速が 7.5~9.0 モーラ/秒で、4) 4~5 文節の、4 条件を満たす 130 文を選択し、20 文のリストを 6 つ、10 文のリストを 1 つ作成した。各文では、文節ごとにキーワードを設定した。マスクは選択した音声 130 文の長時間平均スペクトルにより Praat[24]で作成した speech-shaped noise (以下, SSN) を用いた。Matlab により音声と SSN を足し合わせ、両耳インパルス応答を畳み込み、刺激音声に残響を付与した。作成した 130 文の刺激音声は、振幅を RMS により正規化し、刺激の立ち上がりとしち下がりには 10ms のコサイン関数による時間包絡を付与した。

2.4. 手続き

実験は上智大学の防音室で行われた。1) 紙面によるデモグラフィック要因の収集、2) オーディオメータ (RION, AA-79S) による純音聴力の測定、3) 残響下 gap 検出テスト、4) 文章了解度テストの手順であった

刺激音声の呈示と回答の正誤・応答時間・SN 比の記録は Matlab の UI により行った。刺激音声はコンピュータからオーディオインタフェース (Roland, Rubix24) を介し、ヘッドホン (SENNHEISER, HDA 300) により呈示した。両側聴力正常者のうち半数にはヘッドホンにより両側呈示 (binaural normal hearing; 以下 BNH, n=14) し、もう半数には片側呈示 (monaural normal hearing; 以下 MNH, n=14) した。一側性難聴者 (以下 UHL, n=13) にはヘッドホンにより両側呈示した。

刺激音声の音圧レベルはヘッドホンの出力音圧を

人工耳 (Brüel & Kjær, Type 4153) を介した騒音計 (RION, NA-28) により測定した。gap 検出テストの刺激・SRT テストのマスクの平均騒音レベルが 65dB (A) に、up-down 前のターゲット音声の平均騒音レベルが 75dB (A) になるように、Matlab を用いて校正した。

2.5. 残響下 gap 検出テスト

Two-up / one-down の階段法により、70.7% 閾値[25]で gap 検出の弁別閾 (just noticeable difference; 以下 JND) を測定した。実験参加者には基準刺激・gap ありの刺激をランダムな順で呈示し、2 肢強制選択法 (two-alternative forced choice; 2AFC) により、gap あり刺激はどちらだったかを選択させた。Gap 長は 50ms からスタートした。2 回連続で正解なら gap 長を $1/\sqrt{2}$ し (i.e. 難易度 up)、不正解の場合 gap 長を $\sqrt{2}$ 倍した (i.e. 難易度 down)。刺激の呈示、回答・応答時間の記録には Matlab の UI を用いた。マウスによりスクリーン上のボタンをクリックしてもらうことで回答を収集した。Gap 長が 8 回増減した後 20 回試行を行い、その 20 回の gap 長を平均して JND を求めた。テストの前に実験参加者には説明を行い、UI による回答の手順を練習させた。練習は参加者が回答の手順を理解するまで繰り返すことができた。

2.6. 文章了解度テスト

One-up / one-down の階段法により、50% 閾値[25]で SRT を測定した。実験参加者には呈示した刺激音声の復唱を求め、各文節に設定したキーワードを 3 つ以上復唱できれば音声の音圧を 2dB 下げ (i.e. 難易度 up)、復唱できなければ音圧を 2dB 上げた (i.e. 難易度 down)。ターゲット音声とマスクの、SN 比は +10dB からスタートした (i.e. 最初は音声をマスクより 10dB 大きい音圧で呈示した)。最初の up では 6dB 音声の音圧を下げた。音声の音圧が 8 回増減した後、20 回試行を行い、その 20 回の SN 比を平均して SRT を求めた。テスト前に実験参加者には回答の手順を説明し、10 文リストの刺激を使って練習を行った。練習は参加者が回答の手順を理解するまで繰り返すことができた。

SRT は、SRM をみるために 2 回測定した。1 回目はターゲット音声と雑音の両方に同位置 (正面, 0°) のインパルス応答を畳み込み、2 回目はターゲット音声に左右 ($\pm 35^\circ$; モノラル受聴では健聴側にした) 雑音に正面 (0°) の両耳インパルス応答を畳み込んだ。1 回目は 6 つの 20 文リストのうち 3 つを、2 回目は残りの 3 つのリストをターゲット音声として用いた。

3. 結果

Fig. 1, 2 に残響下 gap 検出テスト、文章了解度テストの結果の raincloud plot[26]を、Table 2 に各テストの応答時間と SRM の量を記す。

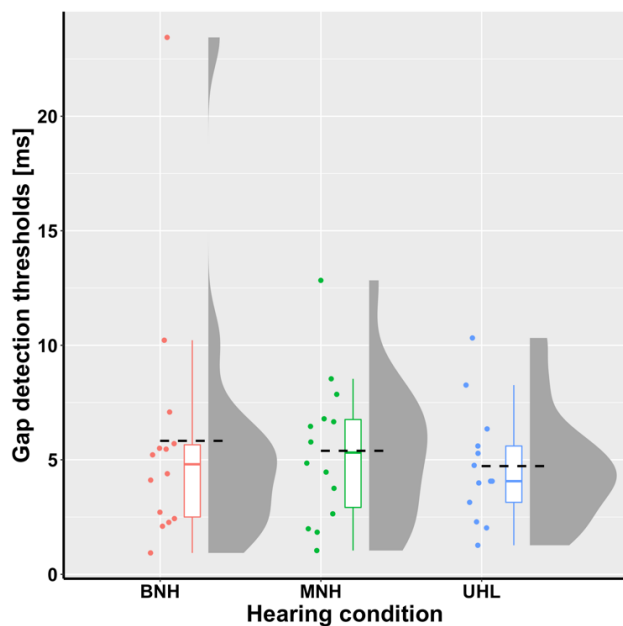


Fig. 1 Raincloud plots for the gap detection thresholds including raw jittered data, box-whisker plots, and split-half violins for 3 hearing conditions; BNH (n=14), MNH (n=14), and UHL (n=13). The solid and broken horizontal lines indicate the median and mean, respectively.

以下、統計分析には R (4.2.1) を用いた。3つの聴取条件 (BNH, MNH, UHL) の比較では、閾値と応答時間の結果に対して分散分析 (one-way / nonparametric ANOVA) を行い、有意差がみられた結果に post-hoc test を実施した。多重比較では、Bonferroni 法で p 値を補正した。SRM の効果は、同位置・別位置の SRT に対して、3条件ごとに対応のある t 検定を行った。

JND の平均は 5.83ms (BNH), 5.39ms (MNH), 4.72ms (UHL), 応答時間の平均は 0.94s (BNH), 1.28s (MNH), 0.98s (UHL) であった。ANOVA の結果、3つの聴取条件間で JND ($F=0.31$, $p=0.73$), 応答時間 ($F=1.01$, $p=0.38$) ともに有意差はみられなかった。

マスクとターゲット音声と同位置 (正面, 0°) のとき、SRT の平均は 0.70dB (BNH), 2.74dB (MNH), 1.34dB (UHL) であった。マスクに対して、ターゲット音声を $\pm 35^\circ$ で呈示したとき、SRT の平均は -2.30dB (BNH), 0.87dB (MNH), -1.45dB (UHL) であった。SRM は同位置条件で測定した SRT から別位置で測定した SRT を差分することにより求めた。SRM の平均は 3.00dB (BNH), 1.87dB (MNH), 2.78dB (UHL) であった。

音声とマスクが同位置のとき、BNH と MNH の SRT の差は 2.04dB で、対応のない t 検定の結果、有意差がみられた ($p<0.001$)。UHL は MNH と比べ、1.40dB SRT が低く、その差は有意であった ($p<0.05$)。BNH と UHL の差は 0.64dB で、有意差はみられなかった ($p=0.63$)。

音声とマスクが別位置のとき、BNH と MNH の SRT

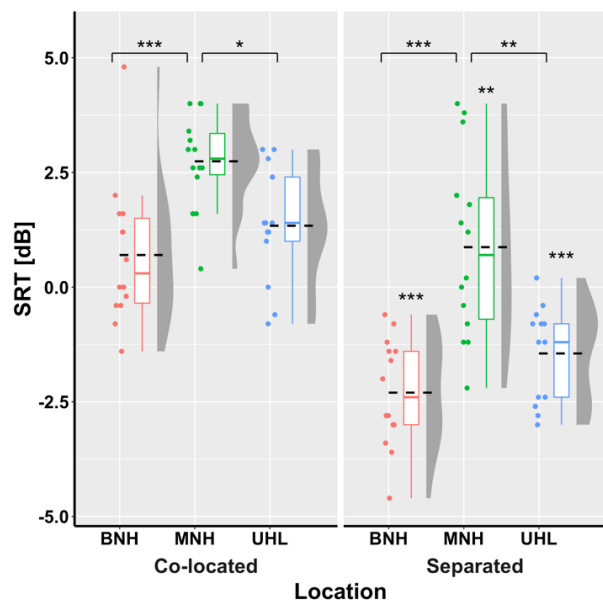


Fig. 2 Raincloud plots for the speech reception thresholds (SRT) including raw jittered data, box-whisker plots, and split-half violins for 3 hearing conditions; BNH (n=14), MNH (n=14), and UHL (n=13). The solid and broken horizontal lines indicate the median and mean, respectively. SRTs were measured in 2 conditions; target speech and masker were co-located (left) and separated (right).

*** $p<0.001$, ** $p<0.01$, * $p<0.05$

の差は 3.17dB で、対応のない t 検定の結果、有意差がみられた ($p<0.001$)。UHL は MNH と比べ、2.32dB SRT が低く、その差は有意であった ($p<0.001$)。BNH と UHL の差は 0.85dB で、有意差はみられなかった ($p=0.43$)。また、対応のある t 検定の結果、3つの聴取条件全てで有意な SRM の効果がみられたが、MNH の統計量は BNH・UHL に比べて少なかった (BNH: $p<0.001$; MNH: $p<0.01$; UHL: $p<0.001$)。3つの群の間で SRM の効果の量に有意差はみられなかった ($F=1.99$, $p=0.15$)。

4. 考察

本研究では、BNH・MNH・UHL を対象として、残響下 gap 検出テスト・文章理解度のテスト (2条件: 音声とマスクが同位置・別位置; モノラル受聴ではマスク

Table 2 The mean of response time in gap detection task (left), and SRM obtained via subtracting an SRT of separated condition from co-located condition (right) for 3 hearing conditions; BNH (n=14), MNH (n=14), and UHL (n=13).

聴取条件	応答時間 [s] (SD)	SRM [dB] (SD)
BNH	0.94 (0.51)	3.00 (1.31)
MNH	1.28 (1.21)	1.87 (1.93)
UHL	0.98 (0.59)	2.78 (1.45)

BNH: Binaural Normal Hearing, MNH: Monaural Normal Hearing, UHL: Unilateral Hearing Loss.

に対して音声を開こえる側±35°に置いた)を実施し、一側性難聴者の残響下での時間分解能と、残響が文章了解度に及ぼす影響、SRMの効果を検討した。

残響下での時間分解能について、白色雑音を用いたテストでは、各群でJNDに有意差がみられなかった。過去の検討では、UHLとMNHを対象にして、純音と0-12,000 Hzの広帯域雑音によりgap検出テストを行った結果、有意差がみられなかった[27]。一方、1,000 Hzと2,000 Hzの狭帯域雑音によるgap検出テストを行った結果、同じ周波数帯の雑音によるgap検出(within-channel condition)では有意差がみられないが、違う周波数帯の雑音によるgap検出(between-channel condition)ではUHLは有意に低い時間分解能を示した[20]。BNHとUHLを対象にした検討では、1,000 Hz、2,000 Hzの純音では有意差がみられなかったが、500 Hz、4,000 Hzの純音のgap検出テストでUHLは有意に低い時間分解能を示した[21]。本研究のような残響下のgap検出テストでも同様に、テストに用いる刺激によって結果に違いがあると先行研究から示唆される。

有意差はみられなかったが、MNHの平均応答時間は約0.3秒長く、傾聴努力[28, 29]が示された。両耳聴と違う受聴環境におかれたMNHに対して、UHLは29.06年(1SD: 14.19)と長い難聴の期間であった。MNHと比べてUHLでは応答時間が減少していることから、時間分解能の処理への適応があると示唆された。

残響下の文章了解度テストでは、BNHと比べてMNH・UHLは音声の聴取のためにより高い音圧の比を必要とした。特に聴覚障害者では、残響は音声明瞭度を下げる要因となることが知られている[17]。本研究では、一側性難聴においても残響はSRTを上げる要因となることが示された(i.e. 残響下で音声の聞き取りのために、より大きな音声対雑音の比が必要だった)。

一方、MNHと比べてUHLは1.40dB低いSRTであった。その差は両耳聴ほど(BNH vs. MNH: 2.04dB)ではないが、残響のマスクングからの解除があると示された。また、音声に良聴耳側35°のインパルス応答を畳み込んで呈示したとき、BNHと比べMNH・UHLは低いSRMの量を示した。残響なしで音声のenergetic maskingからのSRMを検討した例では、モノラル受聴では両耳聴よりSRMの効果が低く、そのSRMは音声が良い聴取に位置したときのSN比の改善で説明された[6, 8]。一方、本研究では、同じモノラル受聴でもUHLはMNHと比べ0.91dBのSRMの向上を示した。その差は両耳聴ほど(BNH vs. MNH: 1.13dB)ではないが、残響下でのSRMの量に改善がみられた。

過去の検討では、一側性難聴の発症後、時間経過により音楽の聴こえに改善がみられた[30]。一側性難聴では両耳間情報の代わりに、頭部伝達関数(head-

related transfer function; 以下 HRTF) によるスペクトラルキューや音圧のキューの活用によって音源の方向を判断し得る[31, 32]。また、音源定位能力はトレーニングによって向上し[31]、音源定位と難聴の期間・聴覚に関わる脳の構造や働きの変化には相関がある[32]。一側性難聴のある子どものSRMを検討した例では、年齢を重ねるとともに、SRMに改善を示した[33]。本研究では、UHLとMNHとの比較から、発症から長期間経過した一側性難聴者はモノラル受聴のキューへの適応によって、残響環境下でマスクングから解除され、SRMの効果は改善し得るということが示唆された。

残響下のgap検出テストではBNH・MNH・UHLのデモグラフィック要因は厳格に統制していなかった。聴覚特性の比較では特に年齢・性別を統制することが重要である[21]。より詳細に聴覚特性を検討する際には、デモグラフィック要因の統制が必要である。

本研究では、ダミーヘッドで収録した両耳インパルス応答(標準化HRTF)の畳み込みで残響を付与したことにより、MNHとUHLの比較を実現した。しかし、標準化HRTFの畳み込みで作成した刺激は、本人のHRTFとの誤差により実際の聴取とは違ったキューをもつ[34]。そのため、今後、実際の音場で残響下の文章了解度テストやSRMの効果を検討する必要がある。また、マスクにSSNを用いて、energetic maskingからのマスクング解除を検討した。音声の知覚において、マスクが雑音でなく音声の場合、違った影響をもたらす(informational masking)ことが知られている[8, 33]。残響下でのinformational maskingの影響も、今後検討する必要がある。

5. 結論

本研究では両側聴力正常者の両耳聴(BNH)・モノラル受聴(MNH)・一側性難聴者(UHL)を対象として、残響下での時間分解能と、文章了解度、SRMの効果を測定し、以下の結果を得た。

1. 残響下でのgap検出テストでは弁別閾(JND)・応答時間ともに有意差はみられなかったが、MNHでは約0.3秒応答時間が増加し、傾聴努力がみられた。

2. 残響下で、BNHと比べてMNH・UHLは音声の聴取のためにより大きなSN比を必要とした。一側性難聴においても、残響は音声聴取を妨げる要因であることが示された。

3. MNHとの比較から、一側性難聴者はモノラル受聴でのキューへの適応によって、残響環境下でマスクングから解除され、SRMの効果は改善し得るということが示唆された。

文 献

- [1] ASHA (©1997-2022), "Type, degree, and configuration of hearing loss," <https://hearingspecialistsofmichigan.com/wp-content/uploads/2014/09/AIS-Hearing-Loss-Types-Degree-Configuration.pdf> (参照 2022/12/26).
- [2] E. Harford and J. Barry, "A rehabilitative approach to the problem of unilateral hearing impairment: The contralateral routing of signals (CROS)," *J. Speech Hear. Disord.*, vol.30, no.2, pp.121–138, May 1965.
- [3] V. Colletti, F. G. Fiorino, M. Carner, and R. Rizzi, "Investigation of the long-term effects of unilateral hearing loss in adults," *Br. J. Audiol.*, vol.22, no.2, pp.113–118, Jan. 1988.
- [4] E. C. Cherry, "Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.25, pp.975–979, Sep. 1953.
- [5] W. Koenig, "Subjective effects in binaural hearing," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.22, no.1, pp.61–62, Jan. 1950.
- [6] A. W. Bronkhorst and R. Plomp, "The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.83, no.4, pp.1508–1516, Nov. 1988.
- [7] R. Y. Litovsky, "Spatial release from masking," *Acoust. Today*, vol.8, no.2, pp.18–25, Apr. 2012.
- [8] A. M. Rothpletz, F. L. Wightman, and D. J. Kistler, "Informational masking and spatial hearing in listeners with and without unilateral hearing loss," *J. Speech, Lang. Hear. Res.*, vol.55, no.2, pp.511–531, Apr. 2012.
- [9] F. Asp, A.-M. Jakobsson, and E. Berninger, "The effect of simulated unilateral hearing loss on horizontal sound localization accuracy and recognition of speech in spatially separate competing speech," *Hear. Res.*, vol.357, pp.54–63, Jan. 2018.
- [10] F. Asp and S. Reinfeldt, "Effects of simulated and profound unilateral sensorineural hearing loss on recognition of speech in competing speech," *Ear Hear.*, vol.41, no.2, pp.411–419, Mar. 2020.
- [11] N. E. Corbin, E. Buss, and L. J. Leibold, "Spatial hearing and functional auditory skills in children with unilateral hearing loss," *J. Speech, Lang. Hear. Res.*, vol.64, no.11, pp.4495–4512, Nov. 2021.
- [12] R. H. Bolt and A. D. MacDonald, "Theory of speech masking by reverberation," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.21, no.6, pp.577–580, Nov. 1949.
- [13] P. W. Robinson, J. Pätynen, T. Lokki, H. S. Jang, J. Y. Jeon, and N. Xiang, "The role of diffusive architectural surfaces on auditory spatial discrimination in performance venues," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.133, no.6, pp.3940–3950, Jun. 2013.
- [14] G. Kidd, C. R. Mason, and A. Brughera, "The role of reverberation in release from masking due to spatial separation of sources for speech identification," *Acta Acust. united with Acust.*, vol.91, no.3, pp.526–536, May 2005.
- [15] B. Libbey and P. H. Rogers, "The effect of overlap-masking on binaural reverberant word intelligibility," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.116, no.5, pp.3141–3151, Nov. 2004.
- [16] R. Y. Litovsky, H. S. Colburn, W. A. Yost, and S. J. Guzman, "The precedence effect," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.106, no.4, pp.1633–1654, Oct. 1999.
- [17] A. K. Nábělek and M. David, "Effect of noise and reverberation on binaural and monaural word identification by subjects with various audiograms," *J. Speech, Lang. Hear. Res.*, vol.24, no.3, pp.375–383, Sep. 1981.
- [18] 守本 倫子, "小児一側性難聴の支援," *小児科臨床*, vol.59, no.12, pp.2615–2620, Dec. 2006.
- [19] 岡野由実, 廣田栄子, "一側性難聴事例における聞こえの障害と障害認識の経緯に関する検討," *Audiol. Japan*, vol.58, no.6, pp.648–659, Dec. 2015.
- [20] S. K. Mishra, R. Dey, and J. L. Davessar, "Temporal resolution of the normal ear in listeners with unilateral hearing impairment," *J. Assoc. Res. Otolaryngol.*, vol.16, no.6, pp.773–782, Dec. 2015.
- [21] E. Gürses et al., "Evaluation of temporal and suprasegmental auditory processing in patients with unilateral hearing loss," *Auris Nasus Larynx*, vol.47, no.5, pp.785–792, Oct. 2020.
- [22] T. Goossens, C. Vercammen, J. Wouters, and A. van Wieringen, "Masked speech perception across the adult lifespan: Impact of age and hearing impairment," *Hear. Res.*, vol.344, pp.109–124, Feb. 2017.
- [23] NTT アドバンステクノロジー株式会社(©1976-2022), "音素バランス 1000 文," 1999.
- [24] P. Boersma and D. Weenink, "Praat: Doing phonetics by computer (Version 6.1.30)," <https://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (参照 2022/12/26)
- [25] H. Levitt, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.49, no.2B, pp.467–477, Feb. 1971.
- [26] M. Allen, D. Poggiali, K. Whitaker, T. R. Marshall, and R. A. Kievit, "Raincloud plots: A multi-platform tool for robust data visualization," *Wellcome Open Res.*, vol.4, pp.1–41, Apr. 2019.
- [27] Y. S. Sininger and S. de Bode, "Asymmetry of temporal processing in listeners with normal hearing and unilaterally deaf subjects," *Ear Hear.*, vol.29, no.2, pp.228–238, Apr. 2008.
- [28] C. Pals, A. Sarampalis, H. van Rijn, and D. Başkent, "Validation of a simple response-time measure of listening effort," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.138, no.3, pp.EL187–EL192, Sep. 2015.
- [29] S. A. Cannon and M. Chatterjee, "Voice emotion recognition by children with mild-to-moderate hearing loss," *Ear Hear.*, vol.40, no.3, pp.477–492, May 2019.
- [30] S. Tsuji and T. Arai, "Music appreciation and adaptation for those with unilateral hearing loss and single-sided deafness: A questionnaire survey using a social networking service," *Acoust. Sci. Technol.*, vol.41, no.6, pp.833–836, Nov. 2020.
- [31] J. B. Firszt, R. M. Reeder, N. Y. Dwyer, H. Burton, and L. K. Holden, "Localization training results in individuals with unilateral severe to profound hearing loss," *Hear. Res.*, vol.319, pp.48–55, 2015.
- [32] J. H. Kim, L. Shim, J. Bahng, and H.-J. Lee, "Proficiency in using level cue for sound localization is related to the auditory cortical structure in patients with single-sided deafness," *Front. Neurosci.*, vol.15, pp.1–11, Oct. 2021.
- [33] N. E. Corbin, E. Buss, and L. J. Leibold, "Spatial hearing and functional auditory skills in children with unilateral hearing loss," *J. Speech, Lang. Hear. Res.*, vol.64, no.11, pp.4495–4512, Nov. 2021.
- [34] 飯田一博, 小早川真衣子, "一側性難聴の音像シミュレーション—その社会的理解促進の試み—," *日本音響学会聴覚研究会資料*, vol.51, no.1, pp.19–25, Feb. 2021.