人工内耳装用者の聴覚的時間情報処理に関する研究

—倍速音声に対する統語修復の効果—

坂本 圭¹⁾, 小渕千絵²⁾, 城間将江²⁾, 松田 帆¹⁾, 関 恵美子¹⁾, 荒木隆一郎³⁾, 池園哲郎¹⁾

¹⁾埼玉医科大学病院耳鼻咽喉科

²⁾国際医療福祉大学言語聴覚学科

³⁾埼玉医科大学 地域医学・医療センター

要旨：人工内耳装用者（以下 CI 装用者）の語音聴取における発話速度の影響と、聴取能を補うための休止区間挿入の効果について検討した。対象は健聴者10名、CI 装用者13名であり、通常の発話速度（以下、基準文）を1倍速とし、これに対して2段階に倍速にした音声（1.5倍速、2.0倍速、以下倍速文）の聴取成績を分析した。また、各倍速音声に休止区間を文節、ランダムな2種の方法で挿入しその効果を実験的に検討した。この結果、両対象者共に発話速度が速くなるにつれて有意に正答率の減少がみられた。特に CI 装用者で顕著であり、2.0倍速ではほとんどの CI 装用者が聴取困難となった。また、休止区間挿入の効果は、CI 装用者で1.5倍速文においてのみ有効であった。倍速音声聴取が困難である CI 装用者であっても休止区間挿入により処理時間が確保され聴取能改善につながるため、会話時においては意味的に区切って発話することの重要性が示唆された。

—キーワード—

人工内耳、時間情報処理、倍速音声、統語修復

はじめに

人工内耳（以下、CI）の医療・工学機器の進歩により、重度の聴覚障害を有するにもかかわらず聴覚を介したコミュニケーションが可能になった人々が増加している。しかし、CI 装用者の語音弁別能については個人差が大きいことが指摘されており、失聴期間、手術時年齢、使用電極数などの対象者個々の背景要因が関係するとされている^{1)~3)}。

また、一方で語音弁別能は、背景雑音や話し手の発話速度などの影響を受けやすいといわれている。このような語音聴取の低下には、CI 装用者が抱える周波数分解能、時間分解能の低下が関係していると考えられており⁴⁾⁵⁾、特に時間分解能が語音聴取において、より重要であるといわれている⁶⁾。このような時間分解能に関しては、時間情報を操作した倍

速音声や遅延音声の聴取により検討されているものが多い。山田ら⁷⁾は、感音難聴者で発話速度の早い音声の聴取能は低下すると報告している。また細井⁸⁾は、補聴器装用者を対象に発話速度を変化させた単語の聴取課題を実施し、感音難聴者では補聴器装用の有無による結果の違いはみられなかったと報告している。

これらの先行研究では、補聴器や CI 装用者の時間情報処理能力の低下について報告しているが、このような聴取能を補う有効な方法についてはあまり検討されていない。高齢者を対象とした研究⁹⁾では、倍速音声に対して、文章の文節、または文節を考慮せずランダムに休止時間を挿入することで、語音聴取に改善がみられたと報告しているが、高齢者と同様に倍速音声聴取で低下がみられる CI 装用者にも、休止時間の効果は有効であるのかについては

検討されていない。

そこで本研究では、CI 装用者の倍速音声の聴取課題により、CI 装用者の時間情報処理能力について検討するとともに、休止時間挿入の効果について検討することを目的とする。

方 法

対象

CI 装用者（平均年齢55.4歳 SD 9.4歳）13名、健聴者（平均年齢53.2歳 SD 10.7歳）10名を対象とした。

CI 装用者は言語習得後の失聴者であり、音入れ後6カ月以上経過した者を対象とした。全例ともにコクレア社製 CI24を使用し、サウンドプロセッサは3G、フリーダムのいずれかを装用していた。コード化法は全例 ACE コード化法であった。

語音明瞭度については、CI2004の単音節リストもしくは57-S語表を用いて、CI装用下にスピーカーにて60dB SPLで提示した。

健聴者については、脳疾患の既往がなく両耳ともに平均聴力レベルが全周波数帯域で25dB HL未満であることを条件とした。

検査音の作成方法

全ての課題で用いる検査文は、CI2004（試案）¹⁰⁾¹¹⁾の日常会話文リストを用いた。1リストは2～6文節の日常会話文15文で構成されており、統制された異なる会話文を含む8リストが収録されている。発話速度や休止区間について音響的な編集を行うため、CI2004（試案）に収録されている検査文はそのまま使用せず、男性アナウンサーに発話させた音声进行録音・編集して使用した。録音は専用のスタジオにて行った。発話速度は、標準的なニュース番組でのアナウンサーの発話速度が1分間に300から400字程度であるため¹²⁾、本研究ではこれに準じ、通常 of 発話速度として1分間に300語程度になるよう指示した。また、休止区間挿入によって編集時に生じるノイズを軽減するため、休止区間を挿入する箇所については、録音時に区切って発話するよう求めた。

これらの検査文における発話速度の倍速、及び休止区間挿入については、音響ソフト（Sound Forge, SONY）により行なった。

課題

①倍速音声聴取課題②休止区間を挿入した倍速音声の聴取課題の2課題を行なった。

① 倍速音声聴取課題

通常の発話速度（以下、基準文）を1倍速とし、これに対して2段階に倍速にした音声（1.5倍速、2.0倍速、以下倍速文）、を作成し基準文を含めて計3条件の倍速音声聴取課題を作成した（図1）。

② 休止区間を挿入した倍速音声の聴取課題

2段階の各倍速文（1.5倍速、2.0倍速）に対して、休止区間を文節に挿入する文節条件、ランダムに挿入するランダム条件の2種類、計4条件を作成した。ランダム条件での休止区間の挿入場所は、3～7の乱数を用いて決定した。また、休止区間に挿入する時間は、基準文の発話時間から倍速にした音声の発話時間との差を求め、各課題文の文節に均等に挿入し、休止区間の挿入数は、文節条件、ランダム条件同一であり共に文節間の数とした（図1）。

検査方法

全ての検査は、防音室において実施した。パーソナルコンピューター（Panasonic, CF-S9）を音源としオーディオメーター（リオン, AA-76）を介してスピーカーより検査音を提示した。防音室内では、スピーカーより1mの位置に被検者を着席させた。提示音圧は、CI装用者では60dBSPL、健聴者では50dBSPLとした。

提示の方法は、①倍速音声の聴取課題では、発話速度の遅い順に、基準文、1.5倍速文、2.0倍速文の順に行い、②休止区間を挿入した倍速音声の聴取課題では、1.5倍速文文節挿入条件、2.0倍速文節挿入条件、1.5倍速ランダム条件、2.0倍速ランダム条件の順とした。検査文1リスト15文は各条件下で全て異なるリストを用い、同条件下で提示した。応答方法は復唱にて行い、提示間隔は、対象者の応答が得られてから次の検査文を提示した。

分析方法

課題①②では、CI2004（試案）日常会話文の採点方法と同様に、1リスト15文に含まれるキーワード60語のうち正しく復唱できたキーワードの数の割合（正答率）を課題ごとに求めた。倍速音声聴取課題における統計学的解析については、Jonckheere-Terpstraの傾向性検定を用いた。また、休止区間を

文節条件：各文節間に休止区間を挿入した。

ランダム条件：例題では乱数において「3」「5」が示されたため、3モーラ、そこから5モーラの直後に休止区間を挿入した。休止区間数は文節条件と同一である。

図1 聴取課題文例題

NH…Normal Hearing CI…Cochlear Implant

図2 健聴者・人工内耳装用者における倍速音声聴取能の変化

挿入した倍速音声の対象者内のデータの検定については Wilcoxon 符号順位検定を行い、多重比較検定として Bonferroni 法を用いた。

結果

倍速音声の聴取課題

健聴者及び CI 装用者の倍速音声聴取課題の平均正答率を図2に示した。

健聴者においては、基準文の平均正答率98.8% (SD 1.8) に対して、1.5倍速文で97.3% (SD 2.8)、2.0倍速文では92.7% (SD 4.8) であった。一方 CI 装用者においては、基準文の平均正答率81.0% (SD

22.1) に対して、1.5倍速文で61.0% (SD 30.2)、2.0倍速文で13.0% (SD 14.8) と低下がみられ、かつ個人差が大きかった。結果を統計的に検討すると、健聴者と CI 装用者ともに発話速度が速くなるにつれて有意に正答率の減少傾向が認められた (NH: JT=59, $p<0.05$ CI: JT=64, $p<0.05$)。両群共に結果に有意差がみられたが、その程度には差がみられた。両群の回帰直線の勾配を比較すると、CI 装用者の方が健聴者に比し発話速度が速くなるにつれ、正答率の低下が著しかった ($F=32.5$ $p<0.0001$)。個別結果について検討すると、健聴者では、2.0倍速文で他の倍速文に比べて低下する

図3 人工内耳装用者における各倍速音声文の聴取成績

NH…Normal Hearing CI…Cochlear Implant

図4 健聴者と人工内耳装用者における休止区間挿入の効果

傾向がみられても、全ての対象者が80%以上の正答率であった。

一方各CI装用者の結果について検討すると（図3）、基準文に対して1.5倍速文の聴取では正答率3～95%と個人差が最も大きく、2.0倍速文では対象者CI7を除いた全ての対象者で正答率30%以下と低下が顕著であった。特に1.5倍速文で聴取能が80%以上と良好な例（対象者CI7, CI9, CI11, CI12）であっても、2.0倍速になると聴取能は著しく低下した。

休止区間を挿入した倍速音声の聴取課題

健聴者とCI装用者の倍速音声聴取課題における休止区間の効果について、その平均及び標準偏差を図4に示した。

健聴者の倍速文に対する休止区間の効果について

検討すると、1.5倍速文の平均正答率97.3%（SD 2.8）に対して、文節条件で95.5%（SD 2.8）、ランダム条件で93.8%（SD 3.8）であった。また2.0倍速文では平均正答率92.7%（SD 4.8）に対して、文節条件で93.8%（SD 5.3）、ランダム条件で87.9%（SD 9.0）であり、どちらの倍速文においても休止区間のない条件に対して、文節、ランダム条件での統計的に有意な休止区間の効果は認めなかった。

一方、CI装用者においては、1.5倍速文の平均正答率は61.1%（SD 30.2）に対して、文節条件で74.5%（SD 33.1）、ランダム条件で52.1%（SD 32.2）であり、休止区間のない条件に比し文節挿入では正答率は有意に向上し（ $Z=57.0$ $p<0.05$ ）、ランダム条件では低下した（ $Z=72.0$ $p<0.05$ ）。

(図4)。

また2.0倍速文では平均正答率13.2% (SD 14.8) に対して、文節条件で24.5% (SD 29.4)、ランダム条件で12.5% (SD 12.1) と個人差が大きく、文節条件、ランダム条件ともに統計的な有意差は認めなかった。

考 察

CI 装用者の倍速音声に対する聴取能力について

本研究の結果から、CI 装用者は倍速音声に対する聴取能力が健聴者に比し低下していることが示された。特に2.0倍速文になると、1例を除いて全ての対象者の聴取成績が30%以下まで低下した。年齢や失聴期間など様々な要因を持つ対象者の多くが低下することを考えると、CI 装用の場合には2.0倍速音声文を追従できない可能性が高い。この点についてはCI システムの問題であるのかそれとも難聴によるものであるのかについて検討する必要がある。補聴器装用者については、細井ら⁸⁾¹³⁾の研究の中で、感音性難聴者の単語による倍速音声聴取について検討されている。補聴器装用者は発話速度が早くなるにつれ聴取能が低下するが、補聴器の装用の有無で聴取能の変化はみられなかったと報告されている。この結果より、難聴そのものが倍速音声による聴取を低下させており、補聴器システム自体の影響ではないことが考えられるが、CI 装用者では、非装用時と装用時の比較を行う事自体が困難であるため、CI 装用と倍速音声聴取の関係についてはさらなるデータの集積が必要であろう。

また、CI 装用者の倍速音声聴取能は1.5倍速でも3~97%と個人差が大きかった。Iwasaki ら¹⁴⁾もCI 装用者の倍速音声聴取能の低下と個人差について指摘しており、本研究においても同様の知見が得られた。このような個人差がどのような要因で生じるのかについても、要因分析を行っていく必要がある。

倍速音声の聴取能に対する休止区間の効果について

本研究では、文節ごと、又はランダムな箇所には休止区間を挿入することが倍速音声聴取を向上させるか否かについて検討した。

CI 装用者に対する休止区間の効果は、1.5倍速では文節ごとの休止区間挿入において語音聴取能の向上が認められ有効であったが、2.0倍速文では有効

ではなく、ランダムな休止区間の挿入では1.5倍速2.0倍速ともに有効性は認められなかった。倍速音声のように聴覚的な情報が短い時間に多く入力されると情報処理が追いつかず聴取能が低下したが、休止区間があると早く提示される入力情報でも処理する時間を確保することができ、聴取能向上につながったと考えた。このような効果は1.5倍速文において明確に認められるが、2.0倍速文では顕著な効果がみられなかった。先にも述べたように、2.0倍速文ではももとの発話速度が速過ぎるために休止区間を挿入しても明確な効果がみられなかったものと考ええる。

また休止区間挿入箇所においては、文節挿入とランダム挿入の2種について検討した。両者を比較すると後者では聴取能が向上しなかった。このことは、倍速音声の聴取能向上を図る上では、適切な箇所に挿入する必要があることを示唆している。適切な場所に休止区間を入れることで、検査文を文節ごとのまとまりとして聴取することが可能となり、結果としてトップダウン機能が促進され聴取能が向上すると考えられた。

高齢者を対象に倍速音声に休止区間を挿入する効果について検討した Wingfield⁹⁾ は、文節挿入だけでなく、ランダム挿入においても同様な効果がみられたと報告している。高齢者の倍速音声聴取能の低下は、老人性の難聴による影響と情報処理速度の低下という2つの要因が関与していると考えられる。高齢者では難聴者と異なり、情報処理速度の低下が倍速音声の聴取能低下に対する主要因であることから、休止区間挿入により処理時間が確保され、効果が顕著にみられたものと考えられる。また、聴取条件が悪い場合に、韻律や文脈などを用いる能力が優れているため、ランダムに休止区間を入れても統語修復が行われ聴取能の向上につながったと考えられる。

また、本研究では全ての文節に休止区間を挿入したが、通常の日常会話では文節ごとに区切って話すことはない。本研究で行なったように、文節ごとに休止区間を入れることが反対にワーキングメモリーに負荷をかけたことも考えられる。今後は、休止区間を挿入する数や時間などの挿入条件を検討することが必要と考えられた。

結 論

本研究では、健聴者、CI装用者における倍速音声聴取能と休止区間挿入の効果について検討し、以下の知見を得た。

1. CI装用者及び健聴者は、1.5倍速、2.0倍速と発話速度が速くなるにつれ、聴取能の低下がみられた。
2. CI装用者では、健聴者に比し倍速音声の聴取能が低下し、特に2.0倍速ではほとんどのCI装用者が聴取困難となった。
3. 倍速音声の聴取能改善に対する休止区間挿入の効果に関して、CI装用者では1.5倍速文においてのみ休止区間挿入が有効であり、文節という的確な場所に挿入することの重要性が示唆された。

謝 辞

本論文の作成にあたり御指導賜りました、筑波大学大学院 原島恒夫先生、筑波技術大学 佐藤正幸先生に深く感謝いたします。

本論文の一部は、第57回日本聴覚医学会総会・学術講演会（2012、京都）において口演した。

Auditory temporal processing in cochlear implant users

—Effectiveness of inserting pauses in time-compressed speech—

Kei Sakamoto¹⁾, Chie Obuchi²⁾, Masae Shirota²⁾, Han Matsuda¹⁾, Emiko Seki¹⁾, Ryuuichirou Araki³⁾, Tetsuo Ikezono¹⁾

¹⁾Saitama Medical University Hospital, Department of Otolaryngology

²⁾International University of Health and Welfare, Department of Speech and Hearing Sciences

³⁾Saitama Medical University, Community Health Science Center

In this study, we investigated the effects of time-compressed speech for cochlear implant (CI)

users and normal hearing subjects (NHs), and also determined the effectiveness of pauses inserted in speech passages clips.

Our subjects comprised 13 CI subjects using the Nucleus CI-24 system with the ACE processing strategy, and 10 age-matched and NH adults serving as control subjects.

As for the experimental stimuli, sentence test materials were time-compressed to ratios of 0.75 and 0.5 relative to the natural speaking rate, using sound editing software. Furthermore, these time-compressed speech clips were restored to 100% of the original duration by inserting silences at syntactic boundaries and random points in the passage clip. Subjects were instructed to listen to each passage and to recall the sentences aloud as much as possible.

Results showed that speech perception scores decreased as the speech rate increased in both CI users and NHs, the tendency being more pronounced in the CI users than in the NHs. In the CI users, time restoration at syntactic points improved the recall performance only for 0.75 time-compressed speech.

We suggest that it is important to insert pauses at semantically appropriate points during rapid speech for CI users.

参 考 文 献

- 1) Blamey P, Arndt P, Bergeron F, et al: Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants. *Audiology and Neurotology* **1**: 293-306, 1996
- 2) Kileny PR, Zimmerman PS, Kemnik JL, et al: Effect of preoperative electrical stimulability and historical factors on performance with multichannel cochlear implant. *Ann Otol Rhinol Laryngo* **100**: 563-568, 1991
- 3) Blamey PJ, Clark GM: Place coding of vowel formants for cochlear implant patients. *J Acoust Soc Am* **88**: 667-673, 1990
- 4) 高木 明: 難聴者の周波数分解能と時間分解

- 能。耳展 **45**: 460–468, 2002
- 5) 内藤 明, 北野庸子, 飯田政弘, 他: 人工内耳装用者の聴覚現象—純音を用いた周波数, 時間分解能および DLSI 検査と語音聴取能—。Audiology Japan **41**: 59–64, 1998
- 6) Shannon RV: Speech recognition with primarily temporal cues. Science **270**: 303–304, 1995
- 7) 山田安紀子, 今泉 敏, 原田勇彦, 他: 感音性聴覚障害者における時間要因を変化させた母音識別。Audiology Japan **32**: 130–136, 1989
- 8) 細井裕司, 東 博二, 村田清高, 他: 発話速度が補聴効果に及ぼす影響。Audiology Japan **35**: 339–340, 1992
- 9) Wingfield A: Reading Lost Time Adult: Adult again and the effect of time restoration on recall of time-compressed speech. Psychology and Aging **14**: 380–399, 1992
- 10) 氏田直子, 城間将江, 井脇貴子, 他: 人工内耳聴取評価法の開発と臨床応用 (成人用)。Audiology Japan **43**: 547–548, 2000
- 11) 城間将江, 氏田直子, 熊谷文愛, 他: 人工内耳聴取評価の開発 (成人用): 第二報。Audiology Japan **44**: 465–466, 2001
- 12) 上村博一: 「字が話す目が聞く」。新樹社, 167–168, 2009
- 13) 細井裕司, 村田清高, 太田文彦, 他: 語音弁別における発話速度の影響。日本耳鼻咽喉科学会会報 **95**: 517–525, 1992
- 14) Iwasaki S, Ocho S, Nagura M, et al: Contribution of speech rate to speech perception in multichannel cochlear implant users. The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology **111**: 718–721, 2002
- (2013年7月26日受稿 2013年11月1日受理)
-
- 別冊請求先: 〒350-0495
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38
埼玉医科大学病院耳鼻咽喉科
坂本 圭
Kei Sakamoto
Department of Otolaryngology, Saitama Medical University Hospital
38 Morohongou, Moroyamachou,
Irumagun, Saitama, 350-0495, Japan