

# 連続性のある聴覚刺激による脳活動の研究

名古屋大学医学系研究科

リハビリテーション療法学専攻

城森 泉

平成 21 年度学位申請論文  
連続性のある聴覚刺激による脳活動の研究

名古屋大学医学系研究科  
リハビリテーション療法学専攻

(指導：寶珠山 稔 教授)

城森 泉

# 目 次

1. 背景
  - 1.1 音楽の特性
  - 1.2 音楽に対する脳反応
  - 1.3 連続性のある聴覚刺激としての音楽と言語
  
2. 研究 1：発語運動の運動と間隔
  - 2.1 目的
  - 2.2 対象と方法
    - 2.2.1 対象
    - 2.2.2 方法
    - 2.2.3 データ分析
  - 2.3 結果
  - 2.4 考察
  
3. 研究 2：言語リズムの乱れに対応する脳反応の検出
  - 3.1 背景と目的
  - 3.2 対象と方法
    - 3.2.1 対象
    - 3.2.2 課題 1
    - 3.2.3 課題 2
    - 3.2.4 EEG 記録
    - 3.2.5 データ分析
  - 3.3 結果

### 3.3.1 課題 1

### 3.3.2 課題 2

## 3.4 考察

### 3.4.1 AERP に対する音節間隔の影響

### 3.4.2 AERP に対する語彙の連続性に関する予期の影響

### 3.4.3 逸脱した言語リズムに対するミスマッチ反応

### 3.4.4 その他の要因

## 4. 研究 3：音楽療法における嚙下回数の変化

### 4.1 背景と目的

### 4.2 方法

#### 4.2.1 対象

#### 4.2.2 音楽療法

#### 4.2.3 嚙下記録

#### 4.2.4 分析方法

### 4.3 結果

### 4.4 考察

## 5. まとめ

## 6. 文献リスト

## 7. 図表

## 1. 背景

連続性のある聴覚刺激には、音楽と言語がある。本論文において「連続性のある聴覚刺激」とは、時間経過に関して法則性のある聴覚刺激のことを意味する。音楽のリズムや抑揚には言語と共通した要素があると言われ (Patel, 2003a)、脳内での情報処理も共通した部位が活動しているとされる (Koelsch, 2005; Schön et al., 2005)。

話しことばに関する脳活動は、連続した音を組織化し、同時に認知や運動の情報処理を必要とする複雑なものである。言語の迅速な理解に加えて、適切なタイミングと言語リズムを持った流暢な発話をするためには、脳内の言語に関する連続的なリズム情報を保持することが必要である。

これまで、言語リズムと音楽リズム (Patel, 2003b)、言語発達と音楽学習 (Saffran, 2003; Tallal, 2006)、言語障害とリズム (Overy, 2003) など、言語と音楽が密接に関係していることは多くの研究で明らかになっている (Besson and Schön, 2001)。リズムの脳内処理過程を明らかにすることは、音楽や言語に共通した、経時的に連続性をもった情報処理、を理解する上で重要な点である。

本論文は、言語とリズムの関係に着目した 2 つの研究内容を含む。すなわち、①発語の運動としての運動間隔の特性を計測、②言語リズムの乱れに対応する脳反応の検出、である。各研究結果から言語処理におけるリズムの乱れが脳内処理に影響を及ぼす機序を考察し、音楽との共通性についても論じた (Jomori and Hoshiyama, 2009)。また、関連研究

として、音楽（歌唱）と言語（会話）の共通した運動活動に着目し（Callan et al., 2006; Ozdemir et al., 2006; Sparing et al., 2007; Pa and Hickok, 2008）、研究 3 では音楽の嚙下運動への影響について報告した（Jomori and Hoshiyama, 2010）。

## 1. 1. 音楽の特性

人間の知覚する音楽の構成要素は、音高、リズム、音質、速度、拍子、旋律、音の大きさなどが挙げられているが（Levitin and Tirovolas, 2009）、一般的に音楽の 3 要素として、リズム、メロディ（旋律）、およびハーモニー（和声）が知られている。音楽は、これらの要素が一定の法則に基づいて構成され、連続的に表出される。西洋音楽においてもメロディ（旋律）は、ハーモニー（和声）とともに、調性（tonality）という規則性に則って動く。西洋音楽以外でも、各国の文化、言語を背景に独自の法則性を持った旋律やリズムが存在している（Patel, 2003b、波多野ら, 1987）。

規則的に現れる等間隔の刺激の連続である拍（beat）が、アクセントの付いた音と音との間にいくつあるかで、拍子（meter）が決定する。リズムはこの拍や拍子を基にしながら、アクセントのついた拍とそうでない拍とのグルーピングによって構成される（徳丸ら, 2001）。リズムの特徴は予測できることであり、生後 1 年から音の系列に合わせて運動することができる（波多野ら, 1987）。

音楽は芸術の一領域であるが、近年では、人間の精神機能、身体機能に働きかける特性

を利用した音楽療法が、様々な障害を持った患者に対して行われるようになってきた。特に音楽リズムを利用したリハビリテーション (Thaut et al., 1997) が、日本の医療施設においても取り入れられ始めている (阿比留ら, 2007)。

## 1. 2. 音楽に対する脳反応

音楽に対する脳反応については、脳波 (electroencephalography, EEG) (Tervaniemi, 2001) のほか、脳磁計 (magnetoencephalography, MEG) (Maess et al., 2001)、機能的核磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) (Tillmann et al., 2003) を用いて誘発脳波や脳血流代謝を測定した先行研究がある。脳波においては、音階の逸脱による脳反応 (Brattico and Peretz et al., 2006)、リズムの逸脱による脳反応 (Martin et al., 2007) など、音楽の規則性を逸脱させた課題により、事象関連電位 (event-related potentials, ERP) を測定した先行文献が見られる。逸脱刺激に対する事象関連電位としてはミスマッチ陰性成分 (mismatch negativity, MMN) がある。MMN は、連続した刺激のなかで他と異なった刺激に対して、刺激後 150~250 ms で生じる陰性電位をいう (Näätänen, 1978)。MMN は前意識的ではあるが、記憶の関与がある逸脱刺激の検出に関わるものである (Näätänen, 2005)。

一方、和音の流れを逸脱させた際には、刺激後約 150~250 ms のところに反応が見られ、これは早期右前頭葉陰性成分 (early right anterior negativity, ERAN) と名づけられている

る (Koelsh et al., 2007)。

### 1. 3. 連続性のある聴覚刺激としての音楽と言語

音楽と言語は、音またはことばを使用するという違いはあるものの、連続性のある聴覚刺激としては共通である。両者は脳における情報処理にも共通性があるとされている (Koelsch, 2005; Schön et al., 2005)。

MEG の研究において、和音の流れの逸脱刺激を処理する場合、左前頭葉の言語の領域であるブロードマンの 44 野が ERAN の現れる場所であることが推定された (Maess et al., 2001)。この領域はブローカ野と呼ばれ、言語の統語処理に関与している (Patel, 2003a)。

このように音楽と言語は、経時的に連続性をもった脳内の情報処理を理解する上で共通性をもった刺激課題となる。本研究においては音楽と言語に共通するリズムに着目し、発語リズムを発声という運動の時間間隔と捉えて研究 1 を行った。

## 2. 研究 1：発語運動の運動と間隔

### 2. 1. 目的

単語や音節の区切りによって作られる言語のリズムは、各言語に固有の特徴がある。流暢な発語には発声の持続時間 (duration)、発声と発声との休止間隔 (silent interval) に



適切な関係があり、発声の持続時間と間隔の時間的關係が言語リズムを形成するとされる (Patel, 2003b; Patel and Daniele, 2003; Patel et al., 2006)。また発語は、運動としての発声の連続であり、運動の連続性、規則性という点からも運動の間隔が重要な構成要素であることが考えられる。

研究 1 の目的は、運動リズムを形成する発語に着目し、発声運動の間隔を計測することにより、日本語の話しことばにおける標準的なリズムを捉えることとした。この研究は本論文の主たる研究である研究 2 の予備的研究として行われ、結果は研究 2 の実験設定に用いられた。

本研究では、発語を運動学的に論じるために、表記する用語の意味が言語学的な使い方と異なる場合があるため、下記に用語の定義をする。音節：発声運動の単位と同義とする。語句の意味や母音・子音の区別によらない sonograph (図 1) 上で認められた発声運動単位とする。単語や文章構成など意味上の区切りではなく、sonograph 上で認められる音節の開始から次の音節の開始までの区間とする。

## 2. 2. 対象と方法

### 2. 2. 1. 対象

健常被験者として本学大学生および大学院生 20 名 (男性 7 名、女性 13 名、平均年齢； $27.4 \pm 7.8$  (SD) 歳) を対象とした。全ての被験者は神経疾患の既往が無く、構語障害は

無かった。研究の前に各被験者に対して研究内容と目的を十分に説明した後、全被験者より参加同意を得た。

## 2. 2. 方法

被験者には、169 字から成る日本語の文章を、自身が標準的と考える自然な速度で音読させた。音読する文章は、日本語の標準的な文章として約 30 秒間のニュースアナウンスを書き取り、原稿とした。被験者が原稿をマイクに向かって読む声を、音声編集ソフト (Sound Forge 7.0, Sony Creative Software) によりサンプリング周波数 44,100 Hz にてデジタル録音して sonograph を作成した (図 1)。各被験者の朗読から記録された sonograph はコンピュータ画面に表示し、音節の立ち上がりから次の音節の立ち上がりまでの間隔 (ms) を計測した。すなわち、運動としての発声が始まる間隔を計測した。

## 2. 3. データ分析

朗読の早さには個人差があるため、一人の被験者について、全発声間隔の平均値を求め、1 つの発声間隔を平均値で除して標準化した (syllable index; SI)。各被験者の発声間隔は平均値に対する割合で表され、0.05 (5%) ごとのヒストグラムを作成した。1 つの発声間隔における SI は下式によって得られる。

$$SI = \frac{\text{計測された音節の長さ (ms)}}{\sum \text{全音節の長さ (ms)}}$$

### 2. 3. 結果

20 名が 30 秒の文章を読んだ総時間の平均は、29.4 ±4.0 (SD) sec、音節の数は平均 96.7 ±9.7 個、全被験者の発声間隔の平均時間は 305.2 ±37.8 (SD) msec であった。標準化した発声間隔が文章全体の長さに占める割合のヒストグラムを 2 つの異なった文章について図 2 に示す。

### 2. 4. 考察

発声間隔は文章によらず、いくつかのピークを示すことが示され (図 1、▼)、日本語においても言語のリズムとして検出可能であることが示唆された。Patel et al. (2003b; 2006) が述べているように、ひとつの言語には一定のリズム特性が存在し、その特性によって音節や発声運動の間隔が決まる。ヒストグラムのピークは発声間隔の規則性を示唆する所見であり、異なった文章でも同様な分布を示していることから、言語特異的なリズムであると考えられた。本計測では朗読の発声による sonograph 上で、音節の分離は良好であり、記録を用いて実験的な刺激作成が可能であることがわかった。研究 1 で明らかとなった発声間隔の特性を考慮して研究 2 を計画した。

### 3. 研究 2：言語リズムの乱れに対応する脳反応の検出

#### 3. 1. 背景と目的

先行研究においては、実験的に作成したリズム (Saito and Ishio, 1998; Saito, 2001) の連続的な流れに対する脳反応、音の間隔の違いに対する脳反応 (Martin-Loeches et al., 1997; Murphy et al., 2006)、また、連続的な音刺激に対する感覚入力と注意の記憶痕跡とのマッチングに関する MMN (Näätänen, 1978, 2005)、早期陰性成分 (early negativity, EN) (Mecklinger et al., 1992) に関する文献はあるが、実際の話しことばに対する脳反応の研究報告は無かった。さらにことばに対する事象関連電位 (ERP) の適用には限界があり、逸脱リズムを含む話しことばに対する誘発事象関連電位の体系的な研究は無かった。

本研究の目的は、日本語の標準的な音節間隔と逸脱した音節間隔に対する脳反応により、言語リズムの乱れが脳内処理に与える影響を明らかにすることである。具体的には、言語リズムの逸脱反応の特徴を明らかにし、これまで報告された逸脱反応 (MMN など) との関連について検討する。さらに経時的な脳内情報処理機能を理解することを目的とする。

#### 3. 2. 対象と方法

本研究では聴覚事象関連電位 (auditory ERP, AERP) を測定する 2 課題を行った。両課題ともに、標準的な話し方のリズムを持つ文章を聴いている際と、音節間に無音の間隔を挿入して言語リズムを逸脱させた文章を聴いている際の、各音節の聴覚事象関連電位を測

定した。

課題 1 では、音節間に様々な長さの無音間隔を挿入して逸脱した言語リズム課題を作成し、音節の無音間隔の長さによる事象関連電位への影響を調べた。課題 2 では、課題で用いた話しことばの速度を変化させ、話す速度の違いによる逸脱した言語リズムの事象関連電位への影響を調べた。

### 3. 2. 1. 対象

22 名の右利きの健常者を対象とした。被験者は 2 つの課題に無作為に振り分け、課題 1 では、男性 3 名、女性 8 名（平均年齢； $22.4 \pm 2.3$  (SD) 歳、年齢幅 20～26 歳)、課題 2 では男性 5 名、女性 6 名（平均年齢； $21.0 \pm 2.0$  (SD) 歳、年齢幅 18～24 歳）であった。

被験者に対しては、研究に参加するにあたり、研究の目的と課題内容の説明を行い、文書にて参加の同意を得た。本研究は名古屋大学医学部倫理委員会の承認を得ている（承認番号 7-613）。被験者は全員神経疾患の既往がなく、聴覚障害が無かった。また被験者の利き手については、エジンバラ利き手調査（Edinburg Inventory Questionnaire, Oldfield, 1971）を行い、全項目のスコアで右利きであった。

### 3. 2. 2. 課題 1

被験者は、静かな部屋で耳にヘッドフォンを装着して椅子に座る。被験者に対しては、

常に注意が保たれている状態で、ヘッドフォンから聴覚刺激が流れている間、1メートル離れた場所にあるテレビで無音の字幕付き映画フィルムを見るように指示をした。課題中にはテレビ画面に集中するように指示をするため、聴覚刺激は背景となり、被験者は受動的に刺激を聞いたこととなる。本刺激では、無音の視覚刺激が持続的に与えられていることとなるが、脳波信号を加算平均するための映像中に存在する可能性のある視覚刺激については聴覚刺激のトリガーとは同期していないため、加算平均によって視覚情報に関する脳反応の影響は除外できる。

課題となる文章は、標準的な日本語を話すアナウンサーが日常的な出来事を記述した文章を読んだものである。英語と同様に日本語のことばは数個の音節を含む。そこでまず音声編集ソフトを用いてソノグラム上に朗読している音声を表示し、音節の間隔を計測した。音節と音節の間には明白な無音の間隔があり、各々の音節に1個あるいは2個のモーラを含む。

課題文には、日本語で270秒中に783個の音節が含まれていた。音節の間隔の平均は $146.1 \pm 75.3$  (SD) msであった。音節の始まりから次の音節の始まりまで、(sound onset asynchrony, SOA) は $344.1 \pm 243.7$  msと刺激間間隔 (inter-stimulus interval, ISI) 前の音節の終りから次の音節の始まりまでは、 $198.0 \pm 173.9$  (SD) であった。

AERP測定のために全体の18%に相当する音節140個を無作為に選び、前の音節と計測開始点である音節の間の無音部分に50 ms (DC-50)、100 ms (DC-100)、200 ms (DC-200)、

400 ms (DC-400) の無音間隔を入れ、言語リズムを意図的に崩した 4 つの逸脱刺激のシーケンスを作成した。これを標準刺激のシーケンス (CC) と共に使用した。

標準刺激と 4 種類の逸脱刺激の聴覚刺激はヘッドフォンを通して提供した。課題作成の元となる声は標準刺激として使用した (CC)。逸脱刺激 (DC) としては、標準刺激において無作為に選んだ音節の前に、50 ms (DC-50)、100 ms (DC-100) 200 ms (DC-200)、400 ms (DC-400) の無音間隔を各々加え、4 つのシーケンスを作成した。よって逸脱刺激においては 140 個の音節前の間隔を伸ばしたことになる。

図 3 は各聴覚刺激として用いた挿入した間隔の違いを図式化したものである。予備試験の際、被験者は 50 ms の間隔の逸脱刺激を注意深く聞いても気づかなかったが、100 ms 以上の間隔になると全員標準の話し方のリズムが逸脱していることを認識できた。このように閾値を含めて 4 種類の間隔を選んだ。

さらにひとつがおよそ 30 秒である 9 つの要素に標準刺激、逸脱刺激をそれぞれ分割し、すべてを合わせて 45 の要素とした。各要素に無作為に番号をつけて、被験者に無作為に提示した。

### 3. 2. 3. 課題 2

課題 2 では逸脱した言語リズムに対する AERP が、話す速度に影響されるかを調べた。

課題 2 の標準刺激は課題 1 と同じであり、課題 2 で逸脱刺激を作成するために選んだ音節

は、課題 1 と同じである。

逸脱刺激(逸脱条件 DC)では 2SD である 487 ms の無音部分を音節の間隔に挿入した。

この無音間隔は課題 1 の結果より、AERP が変化するのに十分な長さであることがわかっているため、この長さの無音間隔を選んだ 140 の音節の前に挿入した。

無音の間隔を加えたことにより逸脱刺激(DC)の全長は、339 秒となった。このように標準的な速度において、標準条件と逸脱条件を一組とした刺激を準備した。

標準の条件に加えてさらに、標準刺激を全体に 13 %遅くしたものと 10 %早くしたものの 2 つの逸脱条件を加えた(図 3)。2 つの逸脱刺激における音節の始まりから次の音節の始まりまでの長さ(SOA)は遅いシーケンスで 388.7 ms、速いシーケンスで 309.6 ms であり、無音間隔を挿入した後は各々 553 ms と 438 ms であった。

課題 2 において、各条件は 3 つのセグメントに分け、標準と逸脱条件の 18 のセグメントを用いた。そして課題 1 と同様に被験者には無作為に提示した。

両課題の言語聴覚刺激の大きさは、ヘッドフォンスピーカーレベルで平均して 65 dB であった。両課題とも被験者の聞こえる閾値は 30 dB あるいはそれ以上であった。

標準刺激と逸脱刺激が様々な速度でヘッドフォンから流れる際、被験者は無音のビデオフィルムを見ながら刺激を受動的に聞いていたが、流れている文章の意味は理解できていた。



### 3. 2. 4. EEG 記録

脳波は 7 mm の Ag-AgCl 皿電極を使用し、脳波計 (Biotop、日本光電製、日本) によって記録した。記録する場所は国際 10-20 %配置法により頭皮において Fz, Cz, Pz, F5, F6, C5, C6 の 9 ヶ所とした。基準電極は両耳の乳様突起とした。眼球運動を測定するために右目端 2 cm と眼窩下 2 cm に電極を装着し電気眼球図を記録した。

電極間の抵抗は 10 K $\Omega$  以下であった。EEG 及び EOG 信号の帯域周波数フィルターは 1.6~60 Hz で記録し、1.5 KHz でデジタル化した。

### 3. 2. 5. データ分析

EEG の信号はアナログデジタル変換器 (Microl1401、ケンブリッジエレクリックデザイン製、イギリス) を通してデジタル化し、ソフトウェア (Signal-1.906、CED、イギリス) に集め平均して表示された。

EEG 信号は標準刺激と逸脱刺激の両方ともに選んだ 140 個の音節の始まりにトリガー (刺激開始点) をつけた。サンプリング期間は刺激前 100 ms から刺激後 600 ms とした。200 マイクロボルトを越えたものは自動的に棄却した。標準刺激と逸脱刺激ともに 130 のアーチファクトのないデータを集積して、各条件と各被験者に分けて平均した。

課題 1 で 9 つの場所で記録された AERP を分析した。先行研究では最初の陰性、陽性、続けて陰性の AERP 成分が、およそ 70 ms (P70)、100 ms (N100)、150 ms (P150) で、

一貫して明らかになっていた。これらの成分の頂点潜時と頂点の始まりから次の頂点までの振幅を計測した。N100 と P150 の振幅と頂点潜時について刺激条件間で分析した。統計処理には一元配置分散分析を使用し(例として、標準刺激 CC と逸脱刺激 DC-400 の検定)、多重比較 (Fisher's Protected Least Significant Difference test, Fisher's PLSD test) を行って有意差を求めた。

話しことばの速度の AERP への影響を調べた課題 2 では、正中線上の Fz, Cz, Pz で測定した AERP 成分につき二元配置分散分析で解析し (たとえば条件として CC と DC、そして速度が標準、速い、遅い)、多重比較 (PLSD) を行った。有意水準は 0.05 未満とした。

### 3. 3. 結果

#### 3. 3. 1. 課題 1

各被験者の AERP 成分は十分に測定できた。はじめの 3 つの屈曲である P70, N100, P150 と刺激後 200~400 ms に陰性の後期成分が確認できた。実験 1 における一人の被験者の代表的な AERP の波形を図 4 に示した。潜時に関しては、N100 の潜時に影響が見られ ( $F=5.28, p<0.05$ )、DC-400 条件の Cz における N100 の潜時は、他の条件と比べて有意に短かった。他の条件間では潜時の値に有意差は認められなかった (表 1)。

振幅に関しては、N100 では条件間で有意差が無かった。しかし P150 の振幅は、正中線上の位置で影響が見られた ( $F$ : Fz; 6.29, Cz; 7.20, Pz; 6.73,  $p<0.01$ , ANOVA, 表 2)。多重

比較では、P150 振幅の値に関して、DC-400 と標準条件 CC あるいは逸脱条件を Cz ( $p<0.01$ ), Pz ( $p<0.02$ ) について比較したところ、DC-400 の値が最も大きく、有意差があった。さらに Fz における P150 の振幅について、DC-400 条件での値が CC 条件よりも増大していた ( $p<0.01$ , 表 2)。CC 条件での全被験者の AERP 波形を総平均したものを図の 5-A に示した。

全被験者の逸脱刺激の AERP 成分から標準刺激の成分を引いて得られた総平均の波形において、刺激後 200~400 ms のところで陰性成分が認められた。(図 5-B、図 6)。本研究において見られた陰性の後期成分は、EN (Mecklinger et al., 1992) と考えられた。EN の頂点振幅は、条件間 ( $F=6.85$ ,  $p<0.01$ ) と脳の測定位置の間に ( $F=4.93$ ,  $p<0.02$ , 表 3) 有意な差が認められた。

EN は Fz および Cz において DC-100, DC-200, DC-400 で DC-50 より大きかった ( $p<0.05$ )。DC-400 と DC-200 の条件で Fz, Cz において主要な分布が示され ( $p<0.05$ )、Fz において最も大きかった ( $p<0.05$ )。EN の潜時に関しては有意差が認められなかった(表 3)。

### 3. 2. 課題 2

Cz における N100 成分の頂点潜時は速度 ( $F=3.44$ ,  $p<0.05$ , ANOVA, 表 4) と条件 ( $F=8.15$ ,  $p<0.01$ , ANOVA, 表 4) によって影響を受け、その潜時は標準と遅いシークエン

スで DC は CC よりも早かった ( $p < 0.05$ )。また Cz において速度と条件の間で有意差があった ( $F = 3.47, p < 0.05$ )。P150 の振幅に関して、主として正中線上で速度 ( $F: Fz; 5.15, Cz; 7.65, Pz; 5.16, p < 0.01$ ) と条件 ( $F: Fz; 8.95, Cz; 9.25, Pz; 10.56, p < 0.01$ ) に影響があった。速度と条件の間に相互の影響があった ( $F: Fz; 3.45, Cz; 4.01, Pz; 3.43, p < 0.05$ )。標準と遅いシーケンスにおいて DC の P150 振幅は CC よりも有意に大きかった ( $p < 0.01$ , 表 5)。

EN は全てのシーケンスで得られた (図 6)。脳の測定位置の結果には変化があり ( $F = 4.11, p < 0.05$ ) 各シーケンスで Fz において値は最大であった ( $p < 0.05$ )。しかしシーケンス間では有意差が無く、EN の潜時についてもシーケンス間で有意差は無かった。

### 3. 4. 考察

本研究では、日本語の話しことばのリズムを逸脱させた刺激に対する脳反応の特徴を観察した。伸ばした間隔が 400 ms あるいはそれ以上になるまで、AERP 成分 N100 と P150 成分には影響が無いことがわかった。音節間隔を 400 ms あるいはそれ以上伸ばすことにより、N100 成分の潜時は短縮され、P150 の振幅は有意に増加した。他方、ミスマッチ反応に類似した EN は 100 ms 以上の音節間隔があるときに誘発された。その原因として 1) SOA (音節の始まりから次の音節の始まりまで) と ISI (前の音節の終りから次の音節の始まり)、2) 語彙の連続性における次の音の予測、3) 予期できない間隔の時間的な変化に対するミスマッチ反応あるいは注意の痕跡、が考えられた。

### 3. 4. 1. AERP に対する音節間隔の影響

課題 1 の結果から、SOA がおよそ 700 ms 以内のとき、安定した N100 と P150 成分が見られることは、adaptation によるものであると考えられた。

聴覚誘発反応の成分は SOA によって単純に影響される。その影響は、脳反応の adaptation (アダプテーション) と habituation と解釈され、刺激の繰り返しによる神経反応の振幅の減衰として観察される。(Ritter et al., 1968, 1992; Bourbon et al., 1987; Budd et al., 1998; Rosburg et al., 2004)、本研究においては、神経単位 (ニューロン) での反応における変化を記述するため、混乱を避けて adaptation ということばを用いた。刺激前の長い間隔で AERP 成分は adaptation の欠落により、増大した。先行研究において 1 から 3 秒の間の SOA が N100 と P150 の不完全な adaptation の原因となるとされている (Budd et al., 1998; Rosburg, et al., 2004)。そこで N100 と P150 の成分は、挿入した無音間隔が 200 ms あるいはそれ以下で完全に adaptation によって減少したと考えられた。DS-400 ms では SOA が約 1 秒であったため、P150 の振幅に関して、アダプテーション効果が部分的に失われたことが考えられた。

しかし課題 2 の結果において読む速度によって N100 と P150 の成分に影響を与えることが示された。速い速度での逸脱刺激では、SOA (平均 856 ms) と ISI (620 ms) は、課題 1 の DC-400 と (各々 865 ms と 602 ms) と類似している。課題 1 において N100 と P150

の値は標準刺激 CC と逸脱刺激 DC で有意な差があったが、課題 2 において速い速度の CC と DC には有意差が無かった。課題 1 の DC-400 と課題 2 の DC の違いは読むスピードであり、時間単位の音節数である。そこで N100 と P150 の成分は、近接する音節間の間隔によるだけでなく、2 つの隣り合った音節の範囲を超えて、多数の音節の時間的流れによっても影響を受けることが考えられた。

### 3. 4. 2. AERP に対する語彙の連続性に関する priming の影響

なぜ DC400 において N100 の潜時が速くなるのかという二つ目の要因について考察を加える。連続性のある言語と音楽の刺激において予測の影響は重要である。予測は脳反応のなかで、priming 効果として記述されており (Maccotta and Buckner, 2004)、それはトップダウン入力によって増加する活動と連合する (Henson and Rugg, 2003; Schacter et al., 2004; Grill-Spector et al., 2006)。priming は記憶と認知に起因する、刺激の繰り返しによって引き起こされる神経活動である。Nittono et al. (2000) は、音楽における priming (予測) を研究し、ある音符が通常の時間より遅れると、N100 の潜時が速くなることを報告した。音楽を含めた先行研究において、priming は、主に神経の refractoriness (不応期) によるものであると考えられている (Nittono et al., 2000; Jongsma et al., 2007)。

他方、Besson et al. (1997) は、N100 から P150 を含む誘発電位の振幅について、遅れた刺激に対する振幅は、なじみではない曲よりもなじみの曲のほうが大きくなること、そ

の電位は、ことばや音符があるべき場所や出来事が起こるべき時であるという知識のような認知要因によって調整されるということを指摘した。そこで DC-400 における N100 での潜時が速くなる理由として、遅れた刺激によって N100 での priming の効果が現れたと考えた。Besson et al. (1997) が報告した観点から、生じた P150 の振幅には、priming の効果と、adaptation の効果の欠落が含まれる可能性がある。この priming の効果は、速いシーケンスでは、逸脱刺激の N100 の潜時で変化がないことから、読む速度によって調整されることが考えられた。

### 3. 4. 3. 逸脱した言語リズムに対するミスマッチ反応

3 番目に自動的なマッチングの検出過程を考えた。時間的なミスマッチ信号は MMN として逸脱刺激後 100~300 ms の潜時で陰性側に亢進される。(Ritter, 1992; Näätänen et al., 1978, 2005)。しかし本研究で亢進された陰性成分は、ピークが 300 ms であり、N100-P150 間の陰性側のシフトに付随しなかった。本研究で得られた陰性電位は通常の MMN ではなく、前頭部に顕著に分布し、ピークが 300~400 ms である EN (Mecklinger et al., 1992; Murphy et al., 2006) の類似の物として解釈されるべきであることが考えられた。

N100-P150 と EN において、伸ばした間隔の影響が明らかに異なることがわかり、N100-P150 と EN のメカニズムが異なることが示された。

Näätänen (1990) と Murphy et al. (2006) は EN が刺激のリハーサルの処理と関連し

ていることを報告した。たとえば受動的な音韻のストアがワーキングメモリーの出力のバッファに移動する結果として起こる、としている。

このリハーサルの過程は Monsell (1987) によって記述されている。Monsell は、内因性の、あるいは“内部の耳”として、彼の言うところのワーキングメモリーのバッファにおける、聴覚刺激の入力に関連する音節のリハーサルというモデルを提案した (Monsell, 1987)。Murphy et al. (2006) の研究結果を基盤とするならば、EN の振幅には、出力される際のことばのリハーサルに関する神経活動の量が反映される。本研究において逸脱刺激後に亢進された EN の理由のひとつとして、リハーサルの時間間隔に対して一致しない間隔があったためであると考えた。

我々の研究において、日本語が話されている間に、100 ms 以上の間隔の違いで EN は亢進された。我々の研究と同様に、Besson et al. (1997) は音節の遅れにより 400 ms で陰性側に成分が亢進されたことを観察した。他方、言語刺激を使用した研究 (Nenonen et al., 2003, 2005) において、そのような反応は、調整された N400 とは区別できないが、語彙に関するミスマッチ反応は、逸脱刺激後 300~400 ms のあたりで誘発反応が記録されたことを示している。しかし本研究では語彙の逸脱刺激を使用していないため、今回得られた陰性の後期成分は、時間的なミスマッチ反応が部分的に含まれていたとしても、間隔を加えたリハーサルプロセスに関連した EN、あるいは EN の類似物であることが考えられた。課題 2 で示されたように、読む速度によって影響されないことから、音節間の絶対的、相対



的間隔の両方の影響によって、EN が誘発された可能性が残されている。

加えて本研究においては、乳様突起の平均を基準とした。乳様突起に基準電極をとると、逸脱刺激の検出に有効であるとされているが (Heinze et al., 1999)、聴覚成分 N100,P150 も有効に記録できた。本研究において、MMN は得られなかったが、ISI において増加亢進した聴覚反応は、標準的な MMN と部分的に重なっているかもしれないことに注意すべきである。

#### 3. 4. 4. その他の要因

本研究における話しことばの聴覚刺激は連続しているために、前の音節による脳反応の残余成分が次の音節によって生じる脳反応と重畳している可能性がある。トリガーとなる各音節の成分が、その直前の音節によって生じた脳反応の影響を受けている可能性は考えなくてはならない。しかし、400 ms 以内のインターバルを入れた刺激では、P70, N100, P150 成分で変化が認められず、直前あるいはそれより前の音節に対する AERP 成分が次の AERP 成分に影響していることは少ないと考えられた。同様に Murphy et al. (2006) は、長さの異なることばの間隔の相殺は、後続のことばの事象関連電位 (ERP) には重要でないことを報告している。

本研究の結果より、言語リズムの乱れは脳内に逸脱反応を生じるが、その反応は、言語

リズムの予測やリハーサルの活動に関連していることが考えられた。

近年の研究では、一定のリズムや内容の予測ができる言語や音楽などの聴覚刺激を聴取した場合に、聴覚野ばかりではなく、運動関連野が活動する報告がなされている (Callan et al., 2006; Bengtsson et al., 2009)。研究 2 の内的脳反応を考察していく上で、言語や音楽が他の脳活動に影響を与えていることが示唆された。続く関連研究では、音楽刺激中に刺激される運動について観察を行った。観察する運動としては、言語や音楽に関連する口腔や咽頭の運動皮質の賦活が報告されているため、嚥下運動をモニターし、音楽療法中での変化を観察した。

#### 4. 研究 3：音楽療法における嚥下回数の変化

研究 2 の冒頭で述べたように音楽と言語は聴覚刺激として共通した要素を持っている。近年では、情報処理ばかりではなく、音楽関連脳領域と言語関連脳領域が互いに影響している報告がなされ、音楽刺激と言語的情報処理および運動としての会話との関連が注目されている。研究 3 では、音楽刺激（音楽療法）中における嚥下運動を観察し、刺激としての音楽と言語に関連した嚥下運動との関連を脳活動賦活の点から考察した。

##### 4. 1. 背景と目的

高齢者に対する音楽療法は、日本の多くの医療や福祉施設で取り入れられている。行わ

れている音楽療法の目的は様々であるが、心理面での効果に比べ音楽療法が身体面に働きかける影響についてはこれまであまり強調されてこなかった。セッションに参加する高齢者の多くは日常生活の活動レベルが低下しており、音楽療法は、参加者の精神状態ばかりでなく身体的活動の賦活効果を期待してなされるものとする。

一方、高齢者の健康維持およびリハビリテーションにとって最も重要な目的のひとつに口腔機能の保持がある (Ibayashi et al., 2008)。口腔機能の低下や嚥下障害が原因となる誤嚥性肺炎は、脳機能障害を持つ患者にしばしば生じる深刻な問題である。患者の嚥下機能が衰えると、栄養や水分の摂取に不都合をきたすばかりではなく、口腔内の細菌増殖や分泌物の貯留により誤嚥性肺炎を生じやすい状態を生じる (Finestone et al., 1995; Yamaya et al., 2001; Reza et al., 2006)。

脳血管障害の後遺症をもった慢性期の患者では、脳血管障害の既往のない高齢者に比較し誤嚥性肺炎を生じるリスクが高く、誤嚥性肺炎を繰り返すことは患者の予後に大きな影響を及ぼす (Mann et al., 1999)。また He et al. (2004) は、誤嚥性肺炎のリスクの高いグループにおいて食事に関係の無い安静時の無意識な嚥下運動が低下しており、誤嚥性肺炎を生じにくかったグループには頻回に安静時の嚥下運動が見られたことを報告している。嚥下運動は、口腔内の細菌を胃の中に運び、咽頭や喉頭における分泌物の貯留を調節している (Yamaya et al., 2001)。その結果、安静時の嚥下運動は誤嚥性肺炎の予防に重要な役割を果たしている。

脳機能障害を持ち、日常の運動機能の低下した高齢者において、嚥下運動を増加させるために、薬物治療が行われることがあるが (Ohruai, 2005; Ebihara et al., 2006)、その用法と効果は確立されていない。また患者の嚥下運動による肺炎は、必ずしも食事摂取時のむせや咳き込みによって予測されるものではなく、嚥下障害が誤嚥性肺炎を発症してはじめてわかることが稀ではない。そのため、嚥下障害の正確な有症率は明らかではない (Barczy et al., 2000)。

介護施設に入所している高齢者が誤嚥性肺炎を生じる因子のうち、不十分な口腔ケアと嚥下障害が重要であることが指摘されている (Quagliarello et al., 2005)。口腔ケアは個別の介護状況に依存するが、多人数に同時に提供ができ嚥下運動を促す介入があれば効果的であると考えられる。

最近の研究では、嚥下に関連する脳皮質領域が運動感覚野ばかりではなく、聴覚野や情動活動を制御する領域を含んでいることが示されている (Martin, 1993)。特に聴覚関連野が嚥下運動で賦活されることは、嚥下運動が口腔咽頭の運動による会話や歌唱にも関連していることを示唆している (Browns and Martinez, 2007)。

音楽療法は自律神経活動への刺激 (Tse et al., 2005; Teng et al., 2007) とともに心理学的あるいは神経学的な好影響を対象者にもたらすとされる ((Kain et al., 2008; Erkkila et al., 2008; Suda et al., 2008)。

また音楽療法によって賦活される身体各部の活動としては、歌唱や発声による咽頭や喉

頭の直接的刺激が考えられるが (Tamplin, 2008)、音楽療法における具体的な咽頭や喉頭の刺激効果については先行研究が無かった。

本論文で紹介する研究では、音楽療法中に行われる嚥下運動の変化を観察し、嚥下運動への音楽療法の効果について検討した (Jomori and Hoshiyama, 2009)。研究の目的は、音楽療法が嚥下運動そのものを賦活し、参加した高齢者の誤嚥性肺炎予防に良い影響をもたらすかを考察することとした。

研究では、回復期病棟に入院する脳血管疾患を中心とした脳機能障害を持つ高齢患者に対して音楽療法を施行し、音楽療法中の嚥下運動回数を測定した。提供した音楽療法は、嚥下運動を賦活するための指導や特別な音楽療法プログラムを用いたものではなく、歌唱活動や楽器活動などを含む一般的に行われていると考えられるプログラムを施行しており、その音楽療法中における嚥下運動を観察した。

本稿で用いる「嚥下運動」とは、食事時に食物を胃に送る際の食事性嚥下運動ではなく、安静時に多くは無意識に行われる嚥下運動のことをさす。

## 4. 2. 方法

### 4. 2. 1. 対象

回復期病棟に入院中の高齢患者 10 名 (脳血管障害 6 名、頭部外傷 1 名、転倒骨折 1 名、廃用症候群 1 名、認知症 1 名; 男性 4 名、女性 6 名、平均年齢  $77.6 \pm 12.8$  歳 (平均  $\pm$ SD))

を対象とした。全員が室内移動に介助を要する程度（車椅子移動）であり、食事に関しては、1名が経管栄養、9名は経口摂取が可能であった（表6）。すべての被験者とその家族に対し、ヘルシンキ宣言に則り、研究の説明を行ったうえで同意書に同意を得た。参加者本人の病状のため研究内容を十分に理解しにくい場合は、家族に説明をした上で同意を得た。本研究は病院内の委員会においても倫理的に承認を受けている。

#### 4. 2. 2. 音楽療法

音楽療法は、毎週1回約40分（水曜日午前10時30分～11時10分）、病棟食堂にて、5～10名の集団セッションとして行った。音楽療法の実施スタッフは音楽療法士2名と病棟看護師1名であった。音楽療法プログラムは、1) 導入（始まりの歌を歌いかける、参加者との歌の掛け合い、とオートハープを用いて楽器を鳴らし合う活動）、2) 楽器活動（参加者が各自で選択したマラカスなどの楽器を用い、提示曲に合わせてリズム表現を促す活動）、3) 季節の歌の歌唱、4) リクエスト曲の歌唱、5) 楽器活動（太鼓を用い、提示曲に合わせてリズム表現を促す活動）、6) 楽器活動（ツリーチャイムによるクールダウン）、7) 終りの歌、の構成とした（図7）。プログラム中には、嚥下活動に働きかける内容は含まなかった。また各プログラムに対する参加（歌唱、楽器を鳴らすなど）、は参加者の意志に任せた。音楽療法前の時間では参加者は同じフロアで車椅子上での安静座位で待機した。

#### 4. 2. 3. 嚙下記録

嚙下記録は表面電極による筋電図および電極間電圧変化を測定する方法を用いた (Burnet et al., 2005)。直径 7 mm の Ag-AgCl 皿電極を正中線上で甲状軟骨上 (記録電極) と下顎骨下端 (基準電極) にそれぞれ設置した。アースは鎖骨上に設置した。測定の手順は Burnett et al. (2005) の研究を参考に行った。電極は前置増幅器である無線送信機に接続した。記録信号は主増幅器 (送受信機、WEB-5000、日本光電) を経由してデジタル変換 (CSI-320312、Interface 社製) を行った後にパーソナルコンピュータに記録保存した (図 8)。送受信機による記録周波数帯域は 0.3~100 Hz、サンプリング周波数は 1000 Hz とした。電極間のインピーダンスは 10 K $\Omega$  以下とした。本研究では被験者が音楽療法中に身体を動かしても影響が出ないように、ワイヤレスの増幅器を使用した。

音楽療法前に電極を装着して記録を開始し、測定は音楽療法終了までとした。各被験者につきおよそ 60 分間連続して筋電図を測定した。

#### 4. 2. 4. 分析方法

パーソナルコンピュータには嚙下運動による筋電図および電極間電圧変化が経時的な波形変化として記録された。嚙下運動は急峻な筋電図に続く緩徐な波形として検出される (Burnet et al., 2005) (図 9)。分析では音楽療法前および音楽療法中に現れた嚙下波形の数を数えた。音楽療法前の待機時間 (15~20 分) や音楽療法への参加時間 (35~40 分) は、

実施した回や患者の準備状況で個人差があるため、1時間における回数に換算した。記録波形には嚥下運動の他に歌唱によって口部の運動が持続した際に生じる基線の動揺が記録される。この間に嚥下運動がなされる可能性があるが、嚥下運動波形の抽出が困難であるため、歌唱中における嚥下運動のカウントは行わなかった。

結果は、嚥下運動回数について対応のある t 検定 (paired-t test) にて有意性の検定を行い、p 値が 0.05 以下を有意差ありとした。音楽療法前と音楽療法中における時間当たりの嚥下運動回数について、一元配置分散分析で比較した。p 値が 0.05 以下を有意差ありとした。ヒストグラムを用いて、音楽療法中の嚥下運動の表出する時間的ばらつきも合わせて提示した (図 10)。

#### 4. 3. 結果

音楽療法前の待機時間中と音楽療法中に計測した嚥下回数 (回/時) を図 11 に示す。参加者全員について音楽療法中に嚥下回数の増加を認めた ( $t$  (自由度 9) = -4.46,  $p < 0.001$ )。誤嚥性肺炎のリスクが高くなる安静時嚥下回数 (患者群 11 回/時 以下) (He, et al., 2004) を参考とし、嚥下回数が 11 回/時 以下であったのは、音楽療法前に 3 名、音楽療法中で 2 名であった (図 11)。嚥下回数は、音楽療法前には  $16.5 \pm 9.4$  回/時 (平均  $\pm$  SD)、音楽療法中には  $25.9 \pm 15.8$  回/時であった。音楽療法前と音楽療法中では有意に増加しており ( $P < 0.001$ ) 高い相関関係が認められた (0.678)。しかし嚥下の増加率と音楽療法前の嚥下



回数との関係性は認められなかった。被験者の何人かは、歌唱及びリズム表出の活動参加に限界があり、歌唱活動のプログラム中に、小さい声での参加、または歌わない被験者もいたが（表 7）、全員が音楽を楽しんでいるように見えた。

音楽療法中における嚙下運動のヒストグラムは、プログラム中の歌唱部分で増加していたことを表していた（図 10）。

#### 4. 4. 考察

本研究において、提供した音楽療法中には嚙下回数の増加が認められたが、音楽そのものが嚙下を賦活するのか、あるいは音楽療法の場が嚙下運動の賦活をするのか、について明らかにはできてはいない。しかし、刺激としての音楽が身体や脳に与える影響に関する最近の研究から、いくつかの可能性が考えられる。

音楽療法が脳活動について促進的に作用することは多くの研究で報告されている（Kain et al., 2004; Erkkila et al., 2005; Tse et al., 2005）。ヒトの感覚や運動活動のみならず、情動や思考も脳活動の変化に起因するものであるから、聴覚刺激として入力される音楽は、いずれにせよ脳に働きかけて効果を生じるものと考えられる。

音楽（あるいは音楽を用いる音楽療法）が効果を生じる機序を考えると、大きく 2 つの流れが考えられる。ひとつは音楽刺激が、旋律や歌詞の記憶を介してその記憶に関連する情緒的あるいは体験的記憶の想起を生じるものである（Platel, 2005）。情緒的・体験的な

記憶の想起は意識的あるいは無意識的に実際の情動反応を生じさせることがほとんどであり、生じた情動反応は自律神経活動の変化を伴う。気分の変化 (Nilsson, 2008; Bringman et al., 2009) や自律神経反応 (Urakawa and Yokoyama, 2005; Okada et al., 2009)、免疫学的反応 (Bittman et al., 2001; Hirokawa and Ohira, 2003) は記憶を介した一連の反応から生じるものと考えられる。

一方、聴覚的な音楽刺激が直接的に脳の関連部位を賦活していると考えられる報告も見出される。音楽の含むリズムや音階はかなりの部分自動的に処理され (Zatorre et al., 1994; Brattico et al., 2006)、運動関連野と活動を共有するネットワークが存在する (Bangert et al., 2006)。音楽の弁別課題を行うだけで実際の歌唱が無くても発声に関連する運動野が活性化したことが報告されているように (Brown and Martinez, 2007)、刺激としての音楽が特に運動機能を賦活する点は注目される。本研究の結果についても音楽の直接的な運動野賦活効果が生じている可能性がある。また、音楽療法の間、音楽療法士と一緒に歌い、患者を勇気付け、参加を促進するよう努めているので、第一に挙げた間接的な作用も加わり、歌唱が行われた場合には咽頭喉頭部の動きと身体的な発声の更なる訓練となる (Haneishi, 2001)。このように音楽療法には、咽頭喉頭部の運動機能などの皮質領域に刺激を与える効果があることが示唆される。

嚥下は主として脳幹によってコントロールされる反射であると考えられるが (Jean, 2001)、大脳皮質による駆動でも嚥下運動は生じる (Martin and Sessle, 1993)。運動感覚

野、運動前野、咽頭および喉頭運動に関する補足運動野など運動に関連する大脳皮質のほか、情動や注意に関する前帯状回皮質の活動が活発になった場合である（Kern et al., 2001; Ertekin et al., 2003）。音楽療法が働きかける嚥下に関する神経活動は主に後者であると考ええる。

本研究のように音楽療法によって、嚥下を含めて口や喉に関する運動が多くなっても、それが嚥下訓練としての効果をもたらすものとは考えていない。嚥下運動そのものの訓練は、嚥下が良好に行われているかどうかの評価とともに専門的な機能回復訓練によるべきである。ここでは、特に嚥下運動の改善に特化しない音楽療法でも、音楽療法中は患者に嚥下を促進する環境を与えている、ということを強調したい。

誤嚥性肺炎は、いわゆる食事時の咳き込みや嘔吐に続いて生じる誤嚥によって生じるものもあるが、食事に関連した誤嚥性肺炎は高齢者の肺炎全体から見ると多くはない（佐々木, 2006）。高齢者の肺炎では、口腔や咽頭内の雑菌が昼夜を問わず少しずつ肺へ流れ込む不顕性誤嚥が生じており、それが肺炎を生じる場合がむしろほとんどであることが指摘されている（佐々木, 2006）。健常者では、無意識な嚥下を繰り返すことで貯留した細菌を胃に送り肺炎を防いでいる（Yamaya et al, 2001）。無意識な嚥下回数が概ね1時間に10-12回より少なくなると肺炎の危険性が増すことが示されている（He et al., 2004）。食事以外の時間帯に嚥下回数を増やす機会を持つことは肺炎の予防に有効と考えられるのはこのような理由からである。

生活活動の低下した高齢者が利用する施設の日常生活では、様々な介入で肺炎のリスクを減らすことは重要である。本研究で見られた嚥下回数の増加率から、音楽療法中には参加者の嚥下回数が特異的ではなく増えており、つまり嚥下回数が少ない患者にも音楽療法の効果があった。この点は、音楽療法のもつ重要な利点を示している。課題を行う特化した機能訓練では、障害によって課題の遂行に至らない患者にはその適用が難しい場合がある。音楽療法では、嚥下運動に関して多様な活動レベルにある患者が同時に参加することができ、皆に一定の効果が期待できる。自ら歌唱ができる患者は記録以上に嚥下を行っているものと考えられ、音楽療法における嚥下運動への効果はより大きい。

嚥下回数は音楽療法のなかでも歌唱パートで増加していた（図 10）。記録では患者が歌唱している部分を省いたが、それでも増加した嚥下回数が歌唱に関連したものであった可能性は残る。しかし、実際の歌唱を伴わなくても、音楽療法士のアプローチや周囲の参加者の歌唱を見ることなどの、複合的要因で嚥下が誘発されたことは考えられよう。音楽そのものの効果と歌や歌唱の刺激効果がどのように異なるのかは検討が必要であろう。

歌唱の効果は、以前より議論されており、音楽療法における刺激要素を整理することは重要である。本研究では、歌唱の部分は、音楽療法のプログラムの中盤に構成されていた。参加者が音楽療法に雰囲気慣れリラックスする中盤の部分は、セッションの導入部や終盤と比較して効果が期待される時間である。今回の音楽療法の構成では歌唱は中心的部分であり、中盤に最も効果が期待できる要素が配置されたという点では嚥下運動に対しても

同様であったと言える。また、音楽療法で用いる曲目によって効果に差があることも検討すべき要素である (Brown and Martinez, 2007)。なじみの曲を聴くことで、不適切な発声や発語を改善した (Casby and Holm, 1994)、という報告は、音楽療法の構成や選曲の重要性を指摘している。

本研究では効果の持続や反復については調査していない。また、音楽療法が嚥下機能の回復に効果がある、という結論を導くものではない。入院や入所高齢者には日常的に誤嚥性肺炎を防ぐ機会が与えられることが重要であり、その一つに音楽療法がなりうる、ということを示したものである。音楽療法に出席した参加者の嚥下運動は、能動的であっても受動的であっても、音楽療法の時間中には促進されており、雑菌の嚥下により不顕性誤嚥のリスクをリセットする機会になりえた、と考えられた。

研究 3 では音楽療法中の嚥下運動について調査をし、音楽療法中の嚥下回数が音楽療法前の安静時より増えたことを見出した。その結果、音楽療法は嚥下運動に関する機能に良い影響をもたらす介入方法の一つであると考えられた。観察は音楽療法中のみの現象であったが、音楽療法は誤嚥性肺炎を予防するための嚥下運動増加の機会となることが示された。一日の経過において参加者の嚥下運動の調査を行い、音楽療法と他の介入の効果を比較し評価することは重要であろう。さらに今後、嚥下運動を改善するためのより効果的な音楽療法とするために音楽療法の構成や曲目の選択など検討されることが重要であると考えられる。

## 5. まとめ

本論文では、言語リズムの乱れに対応する脳反応の検出についての研究を中心として、音楽と言語に共通する要素としてリズムを取り上げ、言語リズムの逸脱が脳内処理に影響を及ぼす機序について考察した。さらに音楽（歌唱）と言語（会話）の共通した運動として、音楽が嚥下運動に与える影響について報告した。

連続性のある聴覚刺激として音楽と言語は共通であり、その脳内処理過程を明らかにすることは、経時的に連続性をもった情報処理、を理解する上で重要な点であると考えられる。また音楽が情報処理や運動刺激など生理的機能にどのような影響を与えているかを明らかにすることは、音楽を利用する音楽療法にとって根源的なことであると考えられる。

## 謝辞

本研究は、名古屋大学学術奨励賞奨学金（2007年度）の助成を受けて行われました。本研究を実施する上で、ご指導を賜りました名古屋大学大学院医学系研究科 寶珠山稔教授に深く感謝をいたします。また、副査としてご助言を賜りました鈴木國文教授、辛島千恵子教授に感謝いたします。本研究にご協力頂きました医療法人済衆館 済衆館病院、被験者として協力して頂いた名古屋大学医学部保健学科の学部および大学院の学生諸氏に感謝いたします。

## References

- Bangert M, Peschel T, Schlaug G, Rotte M, Drescher D, Hinrichs H, Heinze HJ, Altenmüller E. Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: evidence from fMRI conjunction. *Neuroimage*, 2006, 30: 917-926.
- Barczy SR, Sullivan PA, Robbins J. How should dysphagia care of older adults differ? Establishing optimal practice patterns. *Sem Speech Lang*, 2000, 21: 347-361.
- Bengtsson SL, Ullén F, Ehrsson HH, Hashimoto T, Kito T, Naito E, Forssberg H, Sadato N. Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, 2009, 45: 62-71.
- Besson M, Faita F, Czternasty C, Kutas M. What's in a pause: event-related potential analysis of temporal disruptions in written and spoken sentences. *Biol Psychol*, 1997, 46: 3-23.
- Besson M, Schön D. Comparison between language and music. *Ann N Y Acad Sci*, 2001, 930: 232-258.



Bittman BB, Berk LS, Felten DL, Westengard J, Simonton OC, Pappas J, Ninehouser

M. Composite effects of group drumming music therapy on modulation of neuroendocrine-immune parameters in normal subjects. *Altern Ther Health Med*, 2001, 7: 38-47.

Bourbon WT, Will KW, Gary HE, Papanicolaus AC. Habituation of auditory

event-related potentials: a comparison of self-initiated and automated stimulus trains. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol*, 66: 160-166.

Brattico E, Tervaniemi M, Näätänen R, Peretz I.. Musical scale properties are

automatically processed in the human auditory cortex. *Brain Res*, 2006, 1117: 162-174.

Bringman H, Giesecke K, Thörne A, Bringman S. Relaxing music as pre-medication

before surgery: a randomised controlled trial. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2009, 53: 759-764.

Brown S, Martinez MJ. Activation of premotor vocal areas during musical

discrimination. *Brain Cogn*, 2007, 63: 59-69.

Budd TW, Barry RJ, Gordon E, Rennie C, Michie PT. Decrement of the N1 auditory

event-related potential with stimulus repetition: habituation vs. refractoriness. *Int J. Psychophysiol*, 1998, 31: 51-68.

Burnett TA, Mann EA, Stoklosa JB, Ludlow CL. Self-Triggered functional electrical stimulation during swallowing. *J Neurophysiol*, 2005, 94: 4011-4018.

Callan DE, Tsytsarev V, Hanakawa T, Callan AM, Katsuhara M, Fukuyama H, Turner R. Song and speech: brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage*, 2006, 31: 1327-1342.

Casby JA, Holm MB. The effect of music on repetitive disruptive vocalizations of persons with dementia. *Am J Occupational Ther*, 1994, 48: 883-889.

Ebihara T, Ebihara S, Maruyama M, Kobayashi M, Itou A, Arai H, Sasaki H. A randomized trial of olfactory stimulation using black pepper oil in older people with swallowing dysfunction. *J Am Geriatr Soc*, 2006, 54: 1401-1406.

Erkkilä J, Gold C, Fachner J, Ala-Ruona E, Punkanen M, Vanhala M. The effect of improvisational music therapy on the treatment of depression: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Psychiatry*, 2008, 28: 50.

Ertekin C, Aydogdu I. Neurophysiology of swallowing. *Clin Neurophysiol*, 2003, 114:

2226-2244

Finestone HM, Greene-Finestone LS, Wilson ES, Teasell RW. Malnutrition in stroke patients on the rehabilitation service and at follow-up: prevalence and predictors.

*Arch Phys Med and Rehabil*, 1995, 76: 310-316.

Grill-Spector K, Henson R, Martin A. Repetition and the brain: neural models of

stimulus-specific effects. *Trend Cogn Sci*, 2006, 10: 14-23.

Haneishi E. Effects of a music therapy voice protocol on speech intelligibility, vocal

acoustic measures, and mood of individuals with Parkinson's disease. *J Music Ther*,

2001, 38: 273-290.

He M, Ohru T, Azumi M, Ida S, Sasaki H. Depressed involuntary swallowing and risk

of pneumonia. *J Am Geriatr Soc*, 2004, 52: 1032-1033

Henson RN, Rugg MD. Neural response suppression, haemodynamic repetition effects,

and behavioural priming. *Neuropsychologia*, 2003, 41: 263-270.

Heinze HJ, Münte TF, Kutas M, Butler SR, Näätänen R, Nuwer MR, Gooding DS.

Cognitive event-related potentials. In: Deuschl G, Eisen A. (Eds.),

Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1999, suppl 52: Elsevier, Amsterdam, pp. 91-95

Hirokawa E, Ohira H. The effects of music listening after a stressful task on immune functions, neuroendocrine responses, and emotional states in college students. *J Music Ther*, 2003, 40: 189-211.

Ibayashi H, Fujino Y, Pham TM, Matsuda S. Intervention study of exercise program for oral function in healthy elderly people. *Tohoku J Exp Med*, 2008, 215: 237-245.

Jean A. Brainstem control of swallowing: neuronal network and cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 2001, 81: 929-969.

Jomori I, Hoshiyama M. Auditory brain response modified by temporal deviation of language rhythm: an auditory event-related potential study. *Neurosci Res*, 2009, 65: 187-193.

Jomori I, Hoshiyama M. Effects of music therapy on involuntary swallowing. *Nord J Music Ther*, 2010, in press.

Jongsma, ML, Meeuwissen E, Vos PG, Maes R. Rhythm perception: Speeding up or slowing down affects different subcomponents of the ERP P3 complex. *Biol Psychol*, 2007, 75: 219-228.

Kain ZN, Caldwell-Andrews AA, Krivutza DM, Weinberg ME, Gaal D, Wang SM, Mayes LC. Interactive music therapy as a treatment for preoperative anxiety in children: a randomized controlled trial. *Anesth Analg*, 2004, 98: 1260-1266.

Kern MK, Jaradeh S, Arndorfer RC, Shaker R. Cerebral cortical representation of reflexive and volitional swallowing. *Am J Physiol*, 2001, 280: G354-360.

Koelsch S. Neural substrates of processing syntax and semantics in music. *Curr Opin Neurobiol*, 2005, 15: 7-12.

Levitin DJ, Tirovolas AK. Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Ann N Y Acad Sci*, 2009, 1156: 211-231.

Maccotta L, Buckner RL. Evidence for neural effects of repetition that directly correlate with behavioral priming. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16: 1625-1632.

Maess B, Koelsch S, Gunter TC, Friederici AD. Musical syntax is processed in Broca's

area: an MEG study. *Nat Neurosci*, 2001, 4: 540-545.

Mann G, Hanky GJ, Cameron D. Swallowing function after stroke: prognosis and prognostic factors at 6 months. *Stroke*, 1999, 30: 744-748.

Martín-Loeches M, Schweinberger SR, Sommer W. The phonological loop model of working memory: an ERP study of irrelevant speech and phonological similarity effects. *Mem Cognit*, 1997, 25: 471-483.

Martin RE, Goodyear BG, Gati JS, Menon RS. Cerebral cortical representation of automatic and volitional swallowing in humans. *J Neurophysiol*, 2001, 85: 938-950.

Martin RE, Sessle BJ. The role of the cerebral cortex in swallowing. *Dysphagia*, 1993 8: 195-202.

Mecklinger A, Kramer AF, Strayer DL. Event related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology*, 1992, 29: 104-119.

Monsell, S. (1987) On the relation between lexical input and output pathways of speech. In: Allport A. (Ed.), *Language Perception and Production: Relationships Between*

Listening, Speaking, Reading and Writing. 1987, Academic Press, pp. 273-311.

Murphy K, Roodenrys S, Fox A. Event-related potential correlates of the word length effect in working memory. *Brain Res*, 2006, 1112: 179-190.

Näätänen R. The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measure of cognitive function. *Behav Brain Sci*, 1990, 13: 201-288.

Näätänen R, Gaillard AW, Mäntysalo S. Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychol*, 1978, 42: 313-329.

Näätänen R, Jacobsen T, Winkler I. Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN) : a review of the evidence. *Psychophysiology*, 2005, 42: 25-32.

Nenonen S, Shestakova A, Huotilainen M, Näätänen R. Linguistic relevance of duration within the native language determines the accuracy of speech-sound duration processing. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2003, 16: 492-495.

Nenonen S, Shestakova A, Huotilainen M, Näätänen R. Speech-sound duration processing in a second language is specific to phonetic categories. *Brain Lang*, 2005,

92: 26-32.

Nilsson U. The anxiety- and pain-reducing effects of music interventions: a systematic review. *AORN J*, 2008, 87: 780-807.

Nittono H, Bito T, Hayashi M, Sakata S, Hori T. Event-related potentials elicited by wrong terminal notes: effects of temporal disruption. *Biol Psychol*, 2000, 52: 1-16.

Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 1971, 9: 97-113.

Ohru T. Preventive strategies for aspiration pneumonia in elderly disabled persons. *Tohoku J Exp Med*, 2005, 207: 3-12.

Okada K, Kurita A, Takase B, Otsuka T, Kodani E, Kusama Y, Atarashi H, Mizuno K. Effects of music therapy on autonomic nervous system activity, incidence of heart failure events, and plasma cytokine and catecholamine levels in elderly patients with cerebrovascular disease and dementia. *Int Heart J*, 2009, 50: 95-110.

Overy K. Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Ann N Y Acad Sci*, 2003, 999: 497-505.



Ozdemir E, Norton A, Schlaug G. Shared and distinct neural correlates of singing and speaking. *Neuroimage*, 2006, 33: 628-635.

Pa J, Hickok G. A parietal-temporal sensory-motor integration area for the human vocal tract: evidence from an fMRI study of skilled musicians. *Neuropsychologia*, 2008, 46: 362-368.

Patel AD. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci*, 2003a, 6: 674-681.

Patel AD. Rhythm in language and music: parallels and differences. *Ann N Y Acad Sci*, 2003b, 999: 140-143.

Patel AD, Iversen JR, Rosenberg JC. Comparing the rhythm and melody of language and music: the case of British English and French. *J Acoust Soc Am*, 2006, 119: 3034-3047.

Patel AD, Daniele JR. An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, 2003, 87: B35-45.

Platel H. Functional neuroimaging of semantic and episodic musical memory. *Ann N Y Acad Sci*, 2005, 1060: 136-147.

Quagliariello V, Ginter S, Han L, Van Ness P, Allore H, Tinetti M. Modifiable risk factors for nursing home-acquired pneumonia. *Clin Inf Dis*, 2005, 40: 1-6.

Reza SM, Huang JQ, Marrie TJ. Differences in the features of aspiration pneumonia according to site of acquisition: community or continuing care facility. *J Am Geriatr Soc*, 2006, 54: 296-302.

Ritter W, Paavilainen P, Lavikainen J, Reinikainen K, Alho K, Sams M, Näätänen R. Event-related potentials to repetition and change of auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1992, 83: 306-321.

Ritter W, Vaughan HGJ, Costa LD. Orienting and habituation to auditory stimuli: a study of short term changes in average evoked responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1968, 25: 550-556.

Rosburg T, Trautner P, Korzyukov OA, Boutros NN, Schaller C, Elger CE, Kurthen M. Short-term habituation of the intracranially recorded auditory evoked potentials P50 and N100. *Neurosci Lett*, 2004, 372: 245-249.

Saffran JR. Musical learning and language development. *Ann N Y Acad Sci*, 2003, 999: 397-401

Saito S. The phonological loop and memory for rhythms: An individual differences approach. *Memory*, 2003, 9: 313-322.

Saito S, Ishio A. Rhythmic information in working memory: Effects of concurrent articulation on reproduction of rhythms. *Jap Psychol Res*, 1998, 40: 10-18.

Schacter DL, Dobbins IG, Schnyer DM. Specificity of priming: a cognitive neuroscience perspective. *Nat Rev Neurosci*, 2004, 5: 853-862.

Schön D, Gordon RL, Besson M. Musical and linguistic processing in song perception. *Ann N Y Acad Sci*, 2005, 1060: 71-81.

Sparing R, Meister IG, Wienemann M, Buelte D, Staedtgen M, Boroojerdi B. Task-dependent modulation of functional connectivity between hand motor cortices and neuronal networks underlying language and music: a transcranial magnetic stimulation study in humans. *Eur J Neurosci*, 2007, 25: 319-323.

Suda M, Morimoto K, Obata A, Koizumi H, Maki A. Emotional responses to music: towards scientific perspectives on music therapy. *Neuroreport*, 2008, 19: 75-78.

Tallal P, Gaab N. Dynamic auditory processing, musical experience and language

development, 2006, 29: 382-390.

Tamplin J. A pilot study into the effect of vocal exercises and singing on dysarthric speech. *NeuroRehabilitation*, 2008, 23: 207-216.

Teng XF, Wong MY, Zhang YT. The effect of music on hypertensive patients. Conference proceedings: Annual International Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2007, 2007: 4649-4651.

Tervaniemi M. Musical sound processing in the human brain. Evidence from electric and magnetic recordings. *Ann N Y Acad Sci*, 2001, 930: 259-272.

Thaut MH, Rice RR, McIntosh GC. Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *J Neurol Sci*, 1997, 151: 207-215.

Tillmann B, Janata P, Bharucha JJ. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2003, 16: 145-161.

Tse MM, Chan MF, Benzie IF. The effect of music therapy on postoperative pain, heart rate, systolic blood pressures and analgesic use following nasal surgery. *J Pain Palliat Care Pharmacother*, 2005, 19: 21-29.

Urakawa K, Yokoyama K. Music can enhance exercise-induced sympathetic dominance

assessed by heart rate variability. *Tohoku J Exp Med*, 2005, 206: 213-218.

Yamaya M, Yanai M, Ohru T, Arai H, Sasaki H. Interventions to prevent pneumonia

among older adults. *J Ame Geriatr Soc*, 2001, 49: 85-90.

Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E. Neural mechanisms underlying melodic perception

and memory for pitch. *J Neurosci*, 1994, 14: 1908-1919.

阿比留睦美, 美原淑子, 菊地 豊, 常田康司, 藤本幹雄, 美原盤. 神経学的音楽療法により歩行

の改善を示した脳卒中による片麻痺患者の1例: *日本音楽療法学会誌*, 2007, 7: 187-195.

佐々木英忠. *エビデンス老年医療*. 2006, 医学書院, pp. 31-48.

徳丸吉彦, 北川純子 (訳) . *音楽のリズム構造*. (Cooper GW, Meyer LB. *The rhythmic*

*structure of music*, 1960, University of Chicago Press) , 2001, 音楽の友社.

波多野誼余夫 (編) . *音楽と認知*. 1987, 東京大学出版会, pp. 41-47.

表 1 : 課題 1 において Cz で測定された AERP 成分の頂点潜時の変化 (ms, 平均 ±SD)

			AERP components		
Conditions	SOA	ISI	P70	N100	P150
CC	465	202	59.5 ±3.5	109.9 ±8.6	150.2 ±12.6
DC-50	515	252	55.4 ±13.4	106.6 ±9.8	154.2 ±7.7
DC-100	565	302	63.8 ±15.5	104.6 ±18.4	144.1 ±22.3
DC-200	665	402	51.7 ±9.8	106.3 ±18.9	148.5 ±11.0
DC-400	865	602	55.9 ±8.0	93.4 ±13.3 *	144.6 ±8.0

\*  $p < 0.02$ 、条件間での分散分析と Fisher's PLSD テストによる。

SOA ; 音節の始まりから始まりまでの間隔の平均 (ms)。ISI ; 前の音節の終りから次の音節の始まりまでの間隔の平均 (ms)。

表 2 : 課題 1 における P150 の振幅の変化 ( $\mu$  V, 平均  $\pm$ SD)

P150 Condition	Brain area				
	Fz	Cz	Pz	F5	F6
CC	2.8 $\pm$ 1.5	2.9 $\pm$ 1.6	2.3 $\pm$ 1.5	2.5 $\pm$ 1.3	2.4 $\pm$ 1.3
DC-50	3.8 $\pm$ 1.8	3.7 $\pm$ 1.8	2.8 $\pm$ 1.3	3.0 $\pm$ 1.9	3.2 $\pm$ 1.0
DC-100	3.5 $\pm$ 2.8	3.6 $\pm$ 2.6	3.0 $\pm$ 2.1	2.7 $\pm$ 2.1	2.5 $\pm$ 1.3
DC-200	3.4 $\pm$ 2.2	3.5 $\pm$ 1.8	2.8 $\pm$ 1.4	3.0 $\pm$ 1.8	2.2 $\pm$ 1.8
DC-400	4.8 $\pm$ 0.7 <sup>+</sup>	5.2 $\pm$ 1.6 <sup>**</sup>	4.1 $\pm$ 2.2 <sup>*</sup>	2.8 $\pm$ 1.3	3.5 $\pm$ 0.9

\*\* p<0.01 : 全ての条件間において、 \* p<0.02 : 全ての条件間において、 + p<0.01 : CC条件との間において、全ての条件において分散分析を行った後Fisher's PLSDテストを行った。C5, C6, P5, P6 の値は有意差が無かったため省略。

表 3: 課題 1 において各条件の波形から CC 条件の波形を引いて得られた early negativity (EN) の振幅 ( $\mu V$ , mean  $\pm$ SD) と潜時 (ms  $\pm$ SD) の変化。

Condition		Brain area				
		Fz	Cz	Pz	F5	F6
DC-50	Amplitude (Latency)	0.1 $\pm$ 0.2 (233 $\pm$ 62)	0.0 $\pm$ 0.1 (286 $\pm$ 30)	0.1 $\pm$ 0.1 (295 $\pm$ 41)	0.0 $\pm$ 0.1 (236 $\pm$ 46)	0.0 $\pm$ 0.2 (290 $\pm$ 55)
DC-100	Amplitude (Latency)	0.4 $\pm$ 0.3 <sup>+</sup> (278 $\pm$ 38)	0.4 $\pm$ 0.2 <sup>+</sup> (290 $\pm$ 28)	0.1 $\pm$ 0.3 (256 $\pm$ 40)	0.2 $\pm$ 0.1 (301 $\pm$ 44)	0.2 $\pm$ 0.1 (252 $\pm$ 37)
DC-200	Amplitude (Latency)	0.9 $\pm$ 0.4 <sup>**</sup> , <sup>+</sup> (266 $\pm$ 26)	0.8 $\pm$ 0.5 <sup>*</sup> , <sup>+</sup> (277 $\pm$ 35)	0.2 $\pm$ 0.4 (259 $\pm$ 36)	0.3 $\pm$ 0.2 (233 $\pm$ 36)	0.2 $\pm$ 0.3 (268 $\pm$ 45)
DC-400	Amplitude (Latency)	1.7 $\pm$ 0.6 <sup>**</sup> , <sup>+</sup> (256 $\pm$ 31)	1.5 $\pm$ 0.7 <sup>*</sup> , <sup>+</sup> (261 $\pm$ 28)	0.9 $\pm$ 0.5 <sup>+</sup> (290 $\pm$ 26)	1.0 $\pm$ 0.4 <sup>+</sup> (260 $\pm$ 41)	0.9 $\pm$ 0.4 <sup>+</sup> (286 $\pm$ 39)

\*\* p<0.05 : 全ての脳領域間において、\* p<0.05 : Fzを除いた脳領域間で、+ p<0.05 : DC-50 に対して、分散分析の後Fisher's PLSDテストの結果。C5, C6, P5, P6 の値は省いた。



表 4 : 課題 2 における Cz で測定した AERP 成分である頂点潜時の変化 (ms, 平均  $\pm$ SD)

Conditions		SOA	ISI	AERP component		
				P70	N100	P150
Standard sequence	CC	465	202	67.1 $\pm$ 15.0	115.7 $\pm$ 16.8	155.2 $\pm$ 14.9
	DC	952	689	56.9 $\pm$ 8.9	103.5 $\pm$ 15.9 *	161.6 $\pm$ 14.6
Slow sequence	CC	525	228	62.9 $\pm$ 13.6	111.5 $\pm$ 10.9	158.9 $\pm$ 10.4
	DC	1,075	779	51.9 $\pm$ 8.8	99.2 $\pm$ 108 +	151.1 $\pm$ 11.9
Fast sequence	CC	418	181	61.2 $\pm$ 12.9	103.5 $\pm$ 13.3	153.9 $\pm$ 17.1
	DC	856	620	51.9 $\pm$ 9.8	96.5 $\pm$ 14.4	151.1 $\pm$ 15.6

\*  $p < 0.02$  : CC条件に対して、+  $P < 0.05$  : CC条件に対して、分散分析の後Fisher's PLSD testをシーケンス間で行った結果。 ISI : 前の音節の終りから次の音節の始まりまでの間隔の平均 (ms)。

表 5 : 課題 2 ; 正中線上の領域における P150 と EN の振幅の変化 ( $\mu$  V, 平均  $\pm$ SD)

P150		Brain area		
Conditions		Fz	Cz	Pz
Standard sequence	CC	3.0 $\pm$ 2.5	3.6 $\pm$ 1.9	3.0 $\pm$ 2.0
	DC	7.8 $\pm$ 3.9 **	8.2 $\pm$ 3.4 **	6.1 $\pm$ 2.3 **
Slow sequence	CC	3.2 $\pm$ 1.6	3.6 $\pm$ 1.8	3.0 $\pm$ 2.5
	DC	7.7 $\pm$ 3.8 **	8.6 $\pm$ 2.6 **	6.5 $\pm$ 2.0 **
Fast sequence	CC	6.7 $\pm$ 4.2	5.3 $\pm$ 3.2	3.7 $\pm$ 2.0
	DC	6.5 $\pm$ 4.2	7.8 $\pm$ 3.9	6.3 $\pm$ 2.8

EN		Brain area		
Conditions		Fz	Cz	Pz
Standard sequence		1.9 $\pm$ 1.2 *	1.2 $\pm$ 0.7	0.6 $\pm$ 0.5
Slow sequence		2.1 $\pm$ 0.9 *	1.4 $\pm$ 0.4	1.1 $\pm$ 0.5
Fast sequence		2.1 $\pm$ 1.1 *	1.2 $\pm$ 0.6	0.9 $\pm$ 0.4

\*\* P<0.01 : CC 条件に対して、ANOVA with Fisher's PLSD test シークエンス間での結果。

\* P<0.05 : Cz と Pz に対して、ANOVA with Fisher's PLSD test 脳の領域間での結果。

表 6 : 対象者の属性

Subject No.	Sex	History, disability	Age	Food intake	Singing ability during MT
1	Male	CI, gait disturbance	85	3	Possible
2	Male	CH, left hemiparesis	52	2	Possible but with small voice
3	Male	CI, right hemiparesis	77	2	Small movement of mouth with no voice
4	Male	Disuse syndrome, mild dementia	80	1	No oral movement
5	Female	Subdural hematoma, dementia, dysphagia	62	0	No oral movement
6	Female	CH, gait disturbance	83	3	Possible
7	Female	CH, left hemiparesis	74	3	Possible
8	Female	Severe SDAT	95	1	Possible but with small voice
9	Female	CI, severe dementia	77	1	No oral movement
10	Female	SDAT, Leg fracture, disuse syndrome	91	3	Possible

CI : cerebral infarction 脳梗塞、CH : cerebral hemorrhage 脳出血、SDAT : senile dementia of Alzheimer type アルツハイマー型認知症  
 Food intake score : 3 ; 介助なしで正常、2 ; 部分的に介助がいるが可能 assistance、1 : 全介助、0 : 経管栄養

図 1.

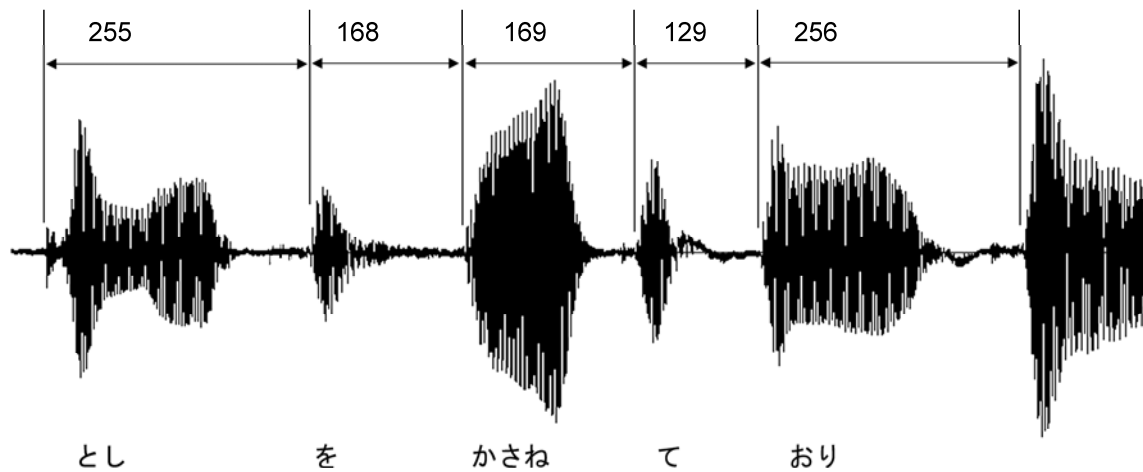


図 1 : 実験 1 における、sonograph の記録。縦線は発声間隔の区切りを示し、数字は各発声間隔の実際の長さ (ms) である。下段に発声に対応する語句を記載したが、本研究での発声間隔や音節の区切りについては文法的あるいは意味的なつながりは考慮されていない。

図 2.

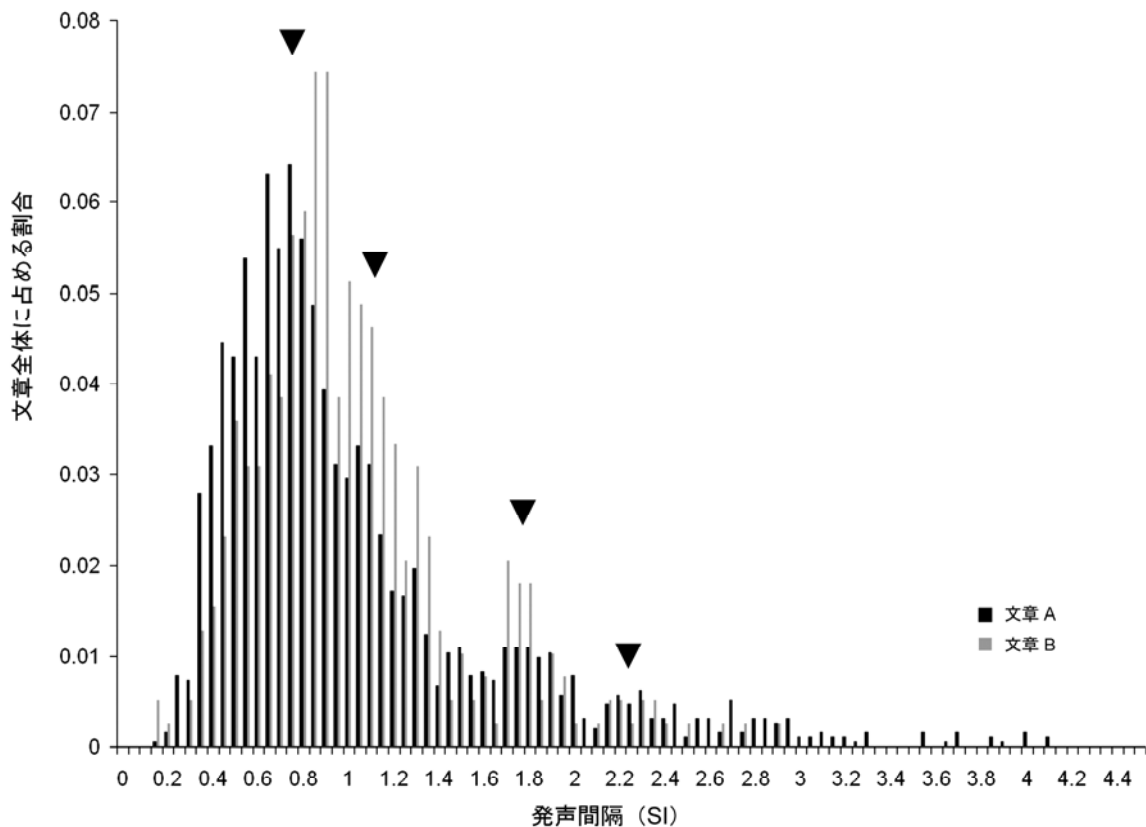


図 2：研究 1 における発声間隔の分布。グラフは 1 名の被験者について異なる文章を朗読させた際の、発声間隔の分布を示す。朗読の早さには個人差があるため、一人の被験者について、全発声間隔の平均値を求め、1 つの発声間隔を平均値で除して標準化した (syllable index; SI)。各被験者の発声間隔は平均値に対する割合で表され、0.05 (5%) ごとのヒストグラムを作成した。SI の分布にはいくつかのピークが認められ (▼) 発声間隔にはリズム (規則性) が示唆される。

図 3.

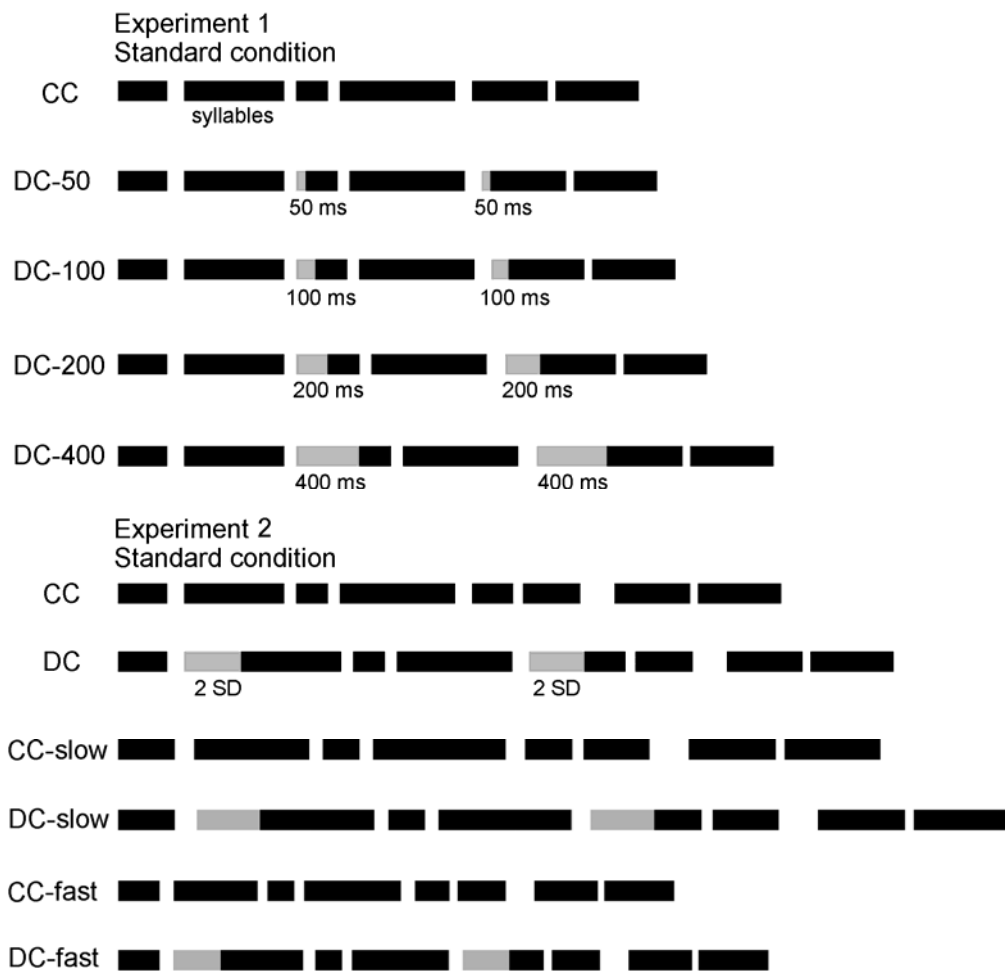


図 3：研究 2 で使用した聴覚刺激の模式図。課題 1 (Experiment 1) では 50, 100, 200, 400 ms の無音間隔 (灰色部分) を挿入し、それぞれ逸脱刺激 (DC-50, DC-100, DC-200, DC-400) を作成した。課題 2 (Experiment 2) では逸脱刺激 (DC) に挿入した無音間隔は 2SD とし、標準刺激 (CC) と逸脱刺激 (DC) 全体を 13 % 延長させた刺激 (CC-slow, DC-slow) と 10 % 短縮した刺激 (CC-fast, DC-fast) を作成した。

図 4.

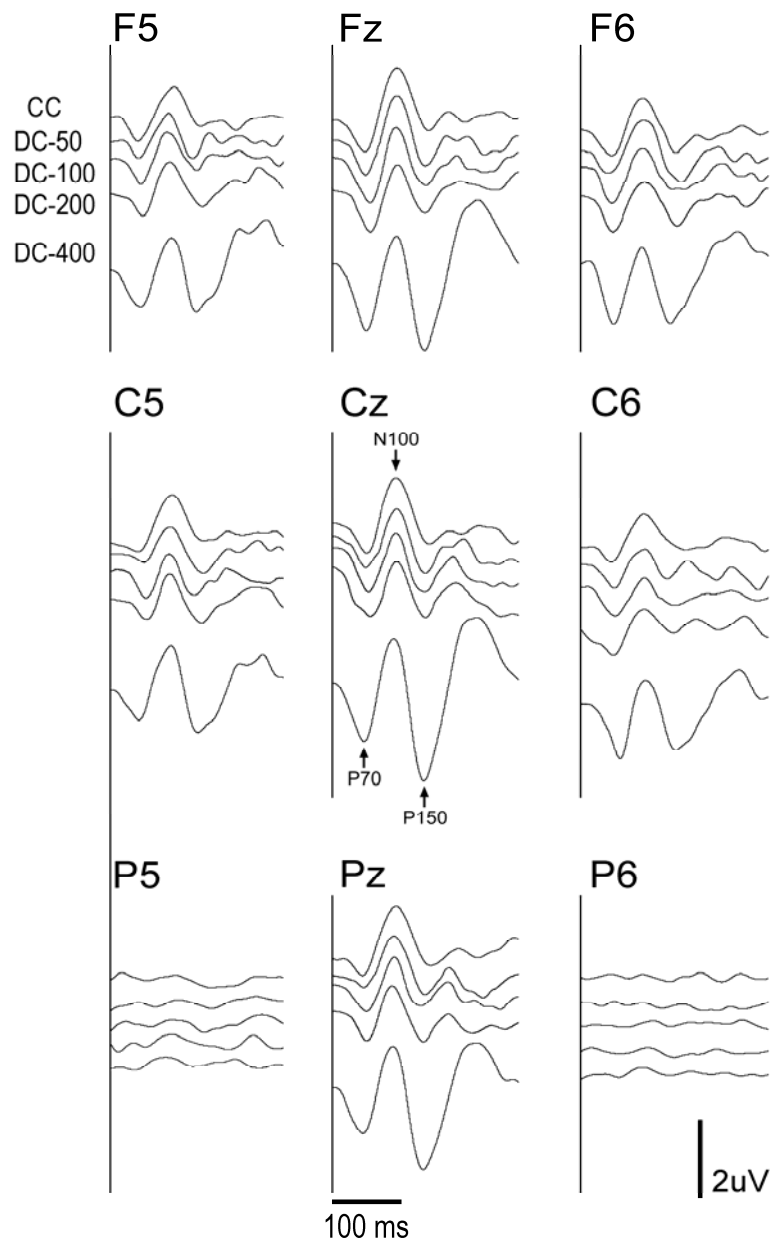


図 4: 課題 1 における 1 名の被験者における聴覚事象関連電位 (AERP) の波形。AERP 成分は、DC-400 において他の条件より増大していた。条件 (CC および DC) については図 3 参照。

図 5.

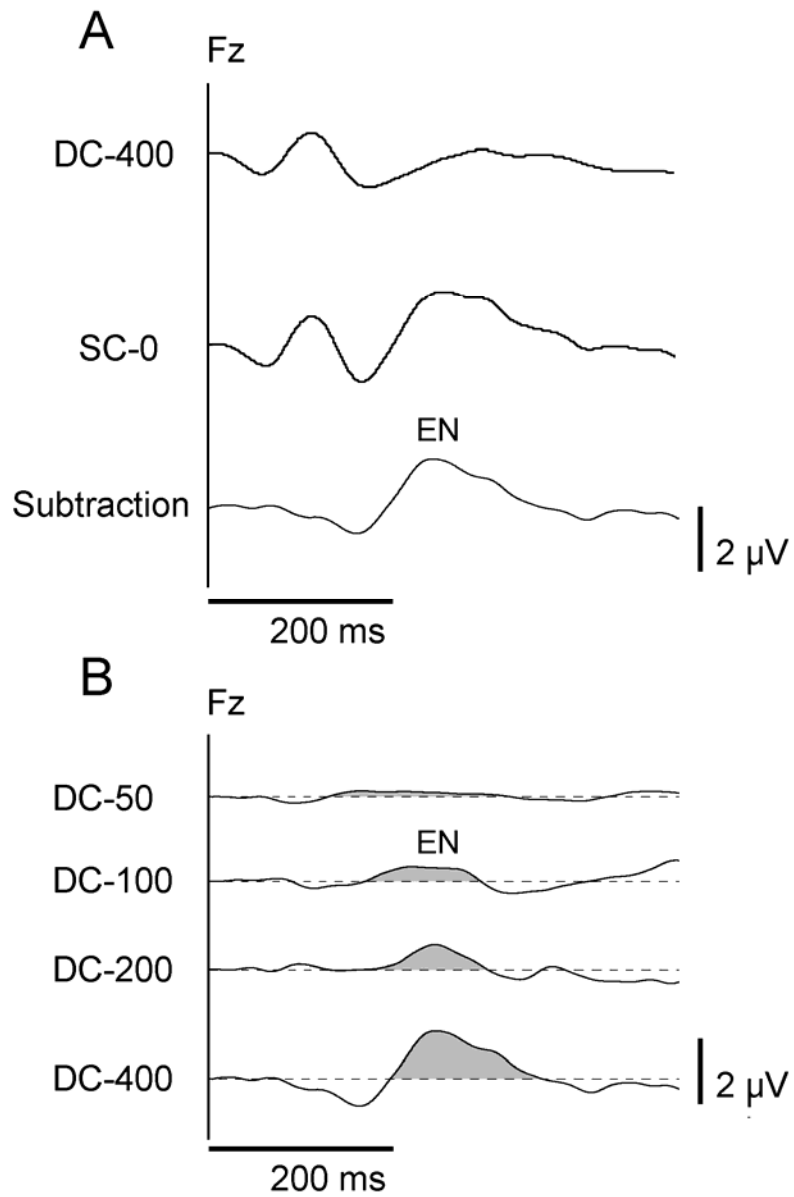


図 5 : A ; 課題 1 での全被験者における標準刺激 (SC-0) と逸脱刺激 (DC-400) による AERP の総加算平均とその差分波形 (Subtraction)。B ; 各逸脱刺激 (DC) と標準刺激の差分波形。刺激後約 200~400 ms で陰性の成分 (EN) が見られた。



図 6.

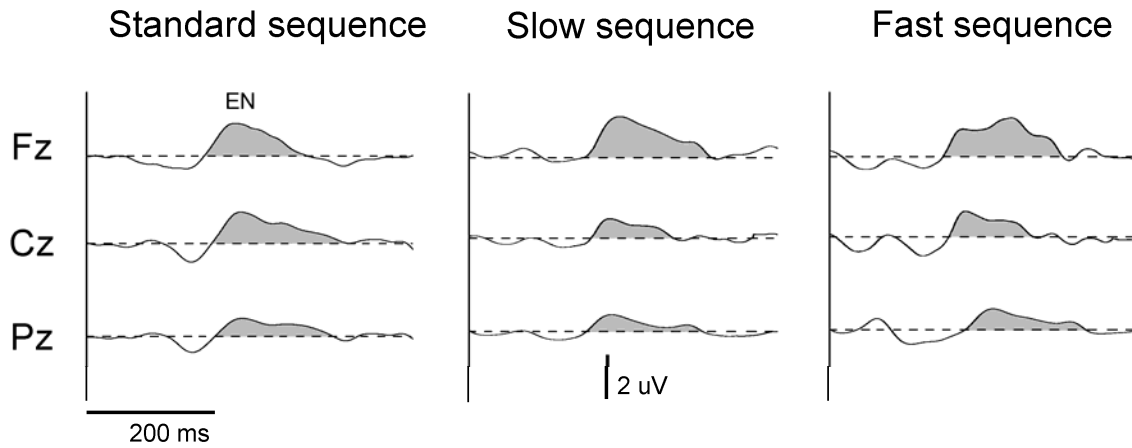


図 6 : 課題 2 における各速度におけるの刺激条件による EN の変化 (差分波形)。前頭部 (Fz) 優位に陰性成分 EN (灰色部分) が認められ、刺激速度による変化は認められなかった。

図 7.

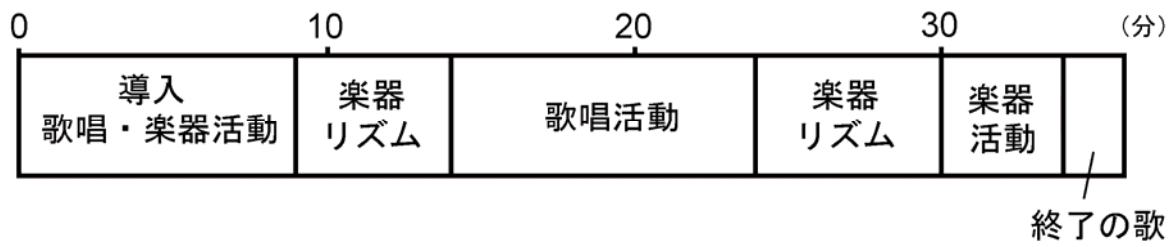


図 7：音楽療法の構成（本文参照）。楽器活動；参加者が楽器（オートハープやツリーチャイムなど）を鳴らす。楽器リズム；曲に合わせて好きな楽器でリズムをとる。全体で約 40 分の構成となっている。

図 8.

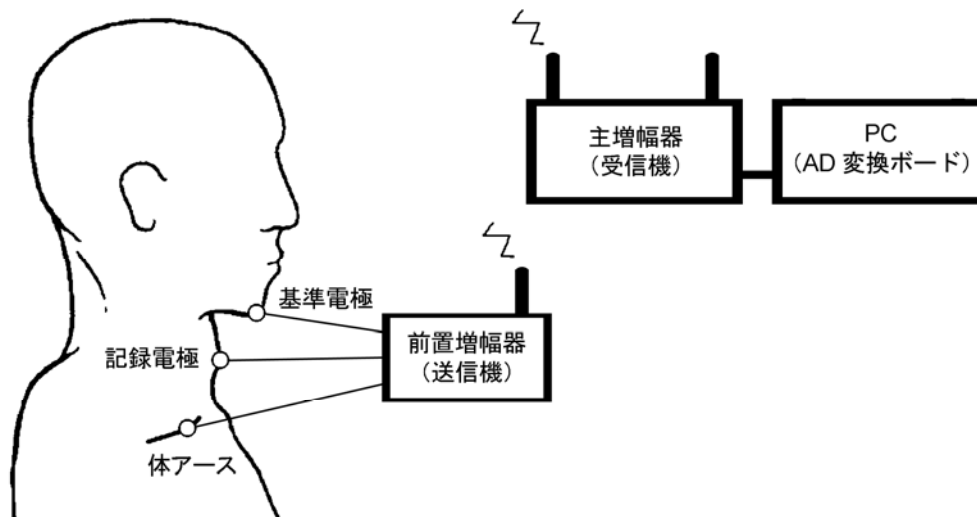


図 8：表面筋電図の測定と機器の概要。記録電極は甲状軟骨上に、基準電極は顎の先端に配置し、無線により主増幅器に送信した。送信された信号はon-lineでデジタル変換後パソコン内に記録した。下段：実際の電極装着。

図 9.

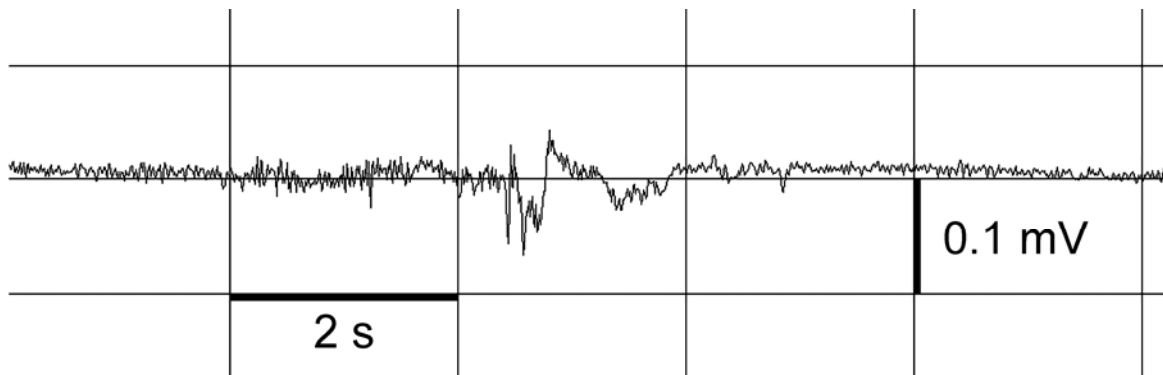


図 9: 表面筋電図による嚥下運動の記録波形。嚥下運動は、急峻な筋電図に続く緩徐な波形（中央）として記録された。

図 10.

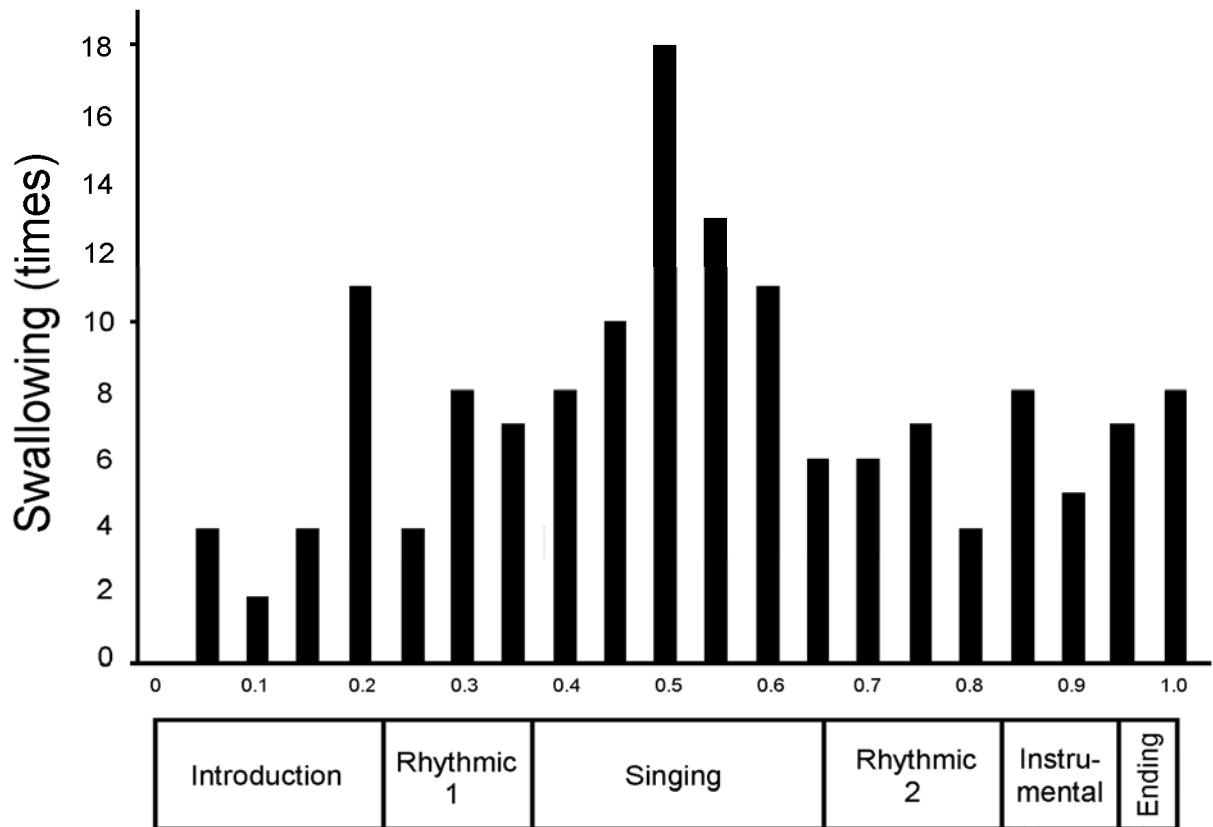


図 10 : 音楽療法プログラムの構成とそれに対応する音楽療法中の嚥下運動分布 (全被験者) のヒストグラム : 始まりの歌とオートハープを用いた掛け合いの歌 (Introduction)、リズム楽器を手に持って自由に鳴らす (Rhythmic 1)、なじみの歌の歌唱 (Singing)、音楽にあわせて太鼓を叩く (Rhythmic 2)、クールダウンでツリーチャイムを鳴らす (Instrumental)、終了の歌 (Ending)。音楽療法の時間経過は、始まり (0) から終了 (1.0) の相対時間として表した。歌唱の際に被験者が歌っているときには嚥下運動の計測はしなかった。

図 11.

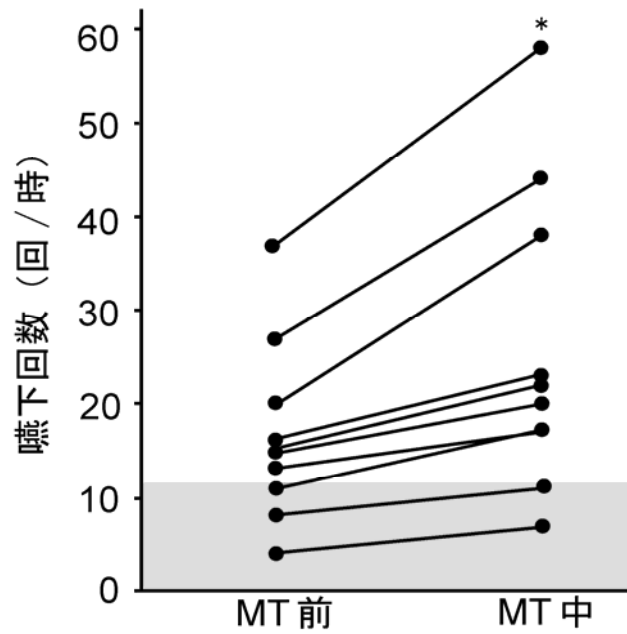


図 11：各患者における音楽療法前および音楽療法中の嚥下回数の変化。音楽療法中には嚥下回数の有意な増加が認められた (\*  $p < 0.001$ , t-test)。灰色部分は先行研究 (He et al., 2004) で誤嚥性肺炎を生じ易い患者群の嚥下回数 (11 回/時 以下)。