

## 音楽課題時における手指支配運動野の興奮性変化

田口 雅也<sup>1</sup>・井上 直美<sup>2</sup>・田平 隆行<sup>1</sup>・船瀬 広三<sup>3</sup>

**要 旨** 音楽療法の効果に関する神経生理学的な基礎資料を得ることを本研究の目的とした。経頭蓋磁気刺激法を用いて右利きの健常人10名の左右の第1背側骨間筋 (first dorsal interosseous: FDI) から運動誘発電位 (motor evoked potential: MEP) を誘発し、音楽課題が皮質運動野 (primary motor area: M1) 興奮性に及ぼす影響について検討した。左右のFDI共にControl条件に比較して、課題曲の聴取、歌詞朗読、歌唱、すべての条件でMEP振幅の増大が見られ、特に歌唱時におけるM1の興奮性の増大が顕著であった。これらの結果より、音楽課題、特に歌唱課題が手指支配M1の興奮性に影響を与えることが示唆された。

保健学研究 20(1): 23-27, 2007

**Key Words** : 経頭蓋磁気刺激, 運動野興奮性, 音楽課題( 2007年6月15日受付 )  
( 2007年8月29日受理 )

## 1. はじめに

音楽は人々の暮らしに潤いと安らぎを与え、時には勇気や感動をももたらすことができる、人類が有する高度な文化的所産である。このような、ヒトの生理や心理に対する音楽の効用を利用することが実際に多くの場面で実践されている。例えば、職場における様々な仕事に適切なBGMを流すことで、リラックス状態を引き出し、仕事の効率を高めることが期待できる。また、作業療法においても、音楽を適切に利用することで、リハビリテーションへのモチベーションを高めたり、精神的な緊張状態を緩和したりすることが期待できる。

音楽の鑑賞が生体機能にどのような影響を及ぼすかについては、心拍数や呼吸、脈波等の自律神経系の指標や脳の覚醒状態を反映している脳波の周波数成分の変化を指標にして、古くから研究が行われている<sup>1,5,7)</sup>。中でも、脳活動については、大脳皮質の左右半球の機能差や、言語課題遂行時と音楽課題遂行時との違いなどの観点から、主に脳波の周波数分析によって実験心理学領域における研究対象として扱われてきた。ところが、近年の非侵襲的画像断層装置の開発によって、より直接的に音楽鑑賞時や音楽遂行時のヒトの脳の活動について調べることが可能となり、広く脳科学の研究対象として取り扱われるようになってきている。例えば、機能的MRI (fMRI) によって、音楽家と一般人における音楽聴取時の脳活動の違いを調べた研究によると、一般人では右側聴覚領域に優位な賦活を認めたが、音楽家では逆に左側聴覚領域や左前頭前野に優位な賦活が認められたことが報告されている<sup>10)</sup>。これらの活動の違いには、絶対音感、トレーニング開始年齢が関与しており、著者らは、幼少期から

の長期にわたるトレーニングによる可塑性に基づく変化であろうと推測している。また、弦楽器奏者を対象にした脳磁図による研究では、複雑な指の運動を必要としない弓をひく方の右手指の皮質感覚野の拡がりや、一般人との差異が見られないのに比較して、弦を押さえるために非常に複雑な手指の運動が要求される左第4、5指の感覚野は一般人より広がっており、弦楽器の演奏トレーニングによる感覚野の機能再構築の可能性が報告されている<sup>4)</sup>。さらに、経頭蓋磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) を用いてピアノ演奏家と一般人の皮質運動野興奮性に対する左右半球間の抑制効果を調べた研究によると、ピアノ演奏家では一般人に比較して半球間の抑制効果が小さく、これは、それぞれの半球の手の運動を支配する皮質運動野が、より独立して機能している可能性が示唆されている<sup>14)</sup>。

このように、音楽はその受動的聴取のみならず、音楽課題の遂行によっても脳活動に影響を与えることが明らかになってきている。そこで、本研究では、作業療法課題としても有用と考えられる音楽歌唱時における左右大脳半球の皮質運動野の興奮性の変化を、音楽聴取課題および歌詞朗読課題との比較から検討することを試みた。

## 2. 実験方法

## (1) 対象

被験者はいずれも右利きの健常成人10名 (男性5名、女性5名、年齢 $23.6 \pm 3.2$ ) であった。実験の主旨、目的、方法等について事前に説明し、被験者の同意を得た後、実験を開始した。実験の実施に当たってはヘルシンキ宣言を遵守し、実験中は常に被験者の状態に注意を払

1 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学専攻

2 介護老人保健施設あずさ

3 広島大学大学院総合科学研究科

い、苦痛を与えないよう注意した。

## (2) MEPの誘発

被験者は、リクライニングチェアに座位姿勢をとり、そのチェアに取り付けた水平板上に両前腕をリラックスした状態で回内位に保持した。TMSによるMEPは、左右の第1背側骨間筋（first dorsal interosseous: FDI）筋腹上に添付した1対の表面電極から周波数帯域5 Hzから3 KHzで増幅・導出した。導出した電位はサンプリングレート10KHzでA/D変換し、ハードディスクに記録した。TMSには8字コイルを使用し、左右それぞれの大脳半球頭頂からやや下部、FDIの運動野支配領域に相当する部分にコイル中心部を当てMEP誘発の至適位置をさがし、その位置で験者が両手でコイルを保持するようにした。TMSの刺激強度はMEPの出現閾値（50  $\mu$ V以上のMEPの出現確率50%をもって閾値と判断）の1.2~1.4倍（最大出力の60~75%）とした。各条件実施中に20発のMEPを誘発し、加算平均してその振幅値を測定した。刺激間隔は刺激強度とコイルの蓄熱を考慮し5ないし6秒とした。各被験者におけるコントロール条件のMEP振幅値を100%として、全ての実験条件のMEP振幅値を相対値として表示し、全被験者の平均値と標準誤差を算出した。

## (3) 実験条件

課題曲は被験者の右斜め前方約2mの位置に設置したCDプレーヤーを用いて再生し、被験者がスピーカーを通して快適に聴取できる音量に調節した。また、被験者の前方約50cmに課題曲の歌詞を提示した。被験者に提示した実験条件は以下の通りであった。1)アイマスク着用での安静状態（Control）、2)安静状態で課題曲を聞く。ただし歌詞自体の意味は意識せず、背景音として聞くように指示した（Hearing）、3)課題曲の歌詞を朗読する（Reading）、4)課題曲に併せて歌唱する（Singing）。これら4つの条件をランダムに実施し、その実施中にTMSを与えた。なお、条件4では験者がフットスイッチによって5秒以上の間隔をあげながら磁気刺激装置を駆動させ、課題曲の間奏中ではなく歌唱中にTMSを与えるようにした。この場合も刺激間隔が5秒以上になるように注意した。これらの実験条件遂行時に、左右のFDIからMEPを導出した。課題曲は、被験者の年齢を考慮し、誰もが知っていて且つ好感を持つと思われる曲として「世界に一つだけの花」を採用した。

### 歌詞

No.1 にならなくてもいい もともと特別な Only one  
花屋の店先に並んだ いろんな花を見ていた  
ひとそれぞれ好みはあるけど どれもみんなきれいだね  
この中で誰が一番だなんて 争うこともしないで  
バケツの中誇らしげに ちゃんと胸を張っている  
それなのに僕ら人間は どうしてこうも比べたがる？

一人一人違うのにその中で 一番になりたがる？ そうさ僕らも  
世界に一つだけの花 一人一人違う種を持つ  
その花を咲かせることだけに 一生懸命になればいい  
困ったように笑いながら ずっと迷っている人がいる  
頑張ってる花はどれも きれいだから仕方ないね  
やっと店から出てきた その人が抱えていた  
色とりどりの花束と うれしそうな横顔  
名前も知らなかったけれど あの日僕に笑顔くれた  
誰も気づかないような場所で 咲いてた花のように そうさ僕らも  
世界に一つだけの花 一人一人違う種を持つ  
その花を咲かせることだけに 一生懸命になればいい  
小さい花や大きな花 一つとして同じものはないから  
No.1 にならなくてもいい もともと特別な Only one  
(作詞・作曲・編曲：横原敬之、ストリングスアレンジ：門倉 聡、  
ピクチャーエンターテインメント株式会社、2003)

## (4) 統計処理

実験条件間、およびMEP誘発側の違いを2要因とした repeated measures two-way ANOVAおよび post-hoc test (Fisher's PLSD) による多重比較を実施し、有意水準はいずれも5%とした。

## 3. 結果

図1に、1名の被験者から記録した左右のFDIのMEPの各条件下における20回の加算平均波形例を示した。垂直線は刺激時点を、垂直波線はMEPの潜時を示している。各条件ともMEPの潜時に変化はみられなかったが、振幅に変化が認められた。左右のFDI共にControl条件に比較して、Hearing条件、Reading条件およびSinging条件でMEP振幅の増大が見られた。

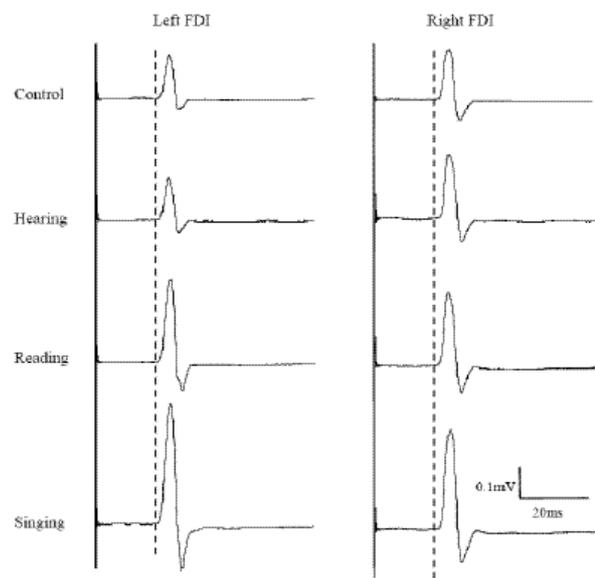


図1. 各条件における加算MEP波形（20回）の典型例

図2に、各条件下における全被験者の左右のFDIから記録したMEP振幅値の平均値と標準誤差を示した。Control条件に比較して、Hearing条件では右FDIで150.6%、左FDIで199.0%、Reading条件では右FDIで237.8%、左FDIで226.9%、Singing条件では右FDIで361.5%、左

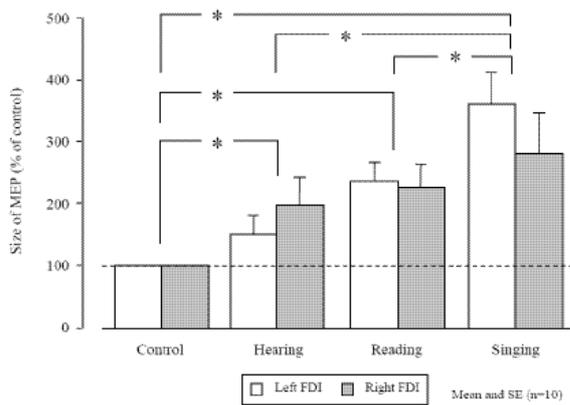


図2. 各条件における左右FDIのMEPの平均値

FDIで281.0%のMEP振幅値の増大が見られた。2-way ANOVAによる分析の結果、MEP振幅値は、実験条件間による違いでは有意差が認められた ( $F_{3,54} = 18.770$ ,  $P < 0.0001$ ) が、MEP誘発側の違いでは有意差は認められなかった ( $F_{1,18} = 0.076$ ,  $P = 0.7864$ )。交互作用は認められなかった ( $F_{3,54} = 1.521$ ,  $P = 0.2195$ )。条件間については、Control-Hearing間 ( $P = 0.0174$ )、Control-Reading間 ( $P < 0.0001$ )、Control-Singing間 ( $P < 0.0001$ )、Hearing-Singing間 ( $P < 0.0001$ )、Reading-Singing間 ( $P = 0.0052$ ) に有意差が認められた。

#### 4. 考 察

本実験では、実施した条件間において左右のFDIから誘発したMEP振幅値に有意差は認められなかったことから、運動野の興奮性においては半球の左右差はないことを示している。つまり、両半球にわたる脳領域が脳内音楽過程に関与していると考えられる。音楽の情報処理は主に右半球で行われていることが多くの研究により指摘されている<sup>3)</sup>。しかし、近年の音楽認知に関する研究では、音楽を構成する要素(音程、リズム、旋律、和声など)が、ある程度、独立した皮質で処理され、これらが統合される形で音楽の全体像の認知が行われていると考えられている<sup>17)</sup>。例えば、最近の脳磁場計測装置(magneto-encephalography: MEG)を用いた研究によると、音程の情報処理に関しては右半球の聴覚野の特定の領域がより深く関与していることが報告されている<sup>18)</sup>。また、リズム認知については、左右半球いずれか双方の損傷で障害されたという報告<sup>9)</sup>や、旋律認知ではリズム認知と独立した皮質が機能しているという報告<sup>13)</sup>もある。逆に、和音認知においては、両側側頭葉前部の梗塞により失音楽症を来した症例に対して検査を行ったところ、同部が和音認知に関与している可能性が示唆されている<sup>16)</sup>。半球差に関して言えば、脳波による研究では、テンポの遅い曲では半球差が明瞭に現れるが、速い曲では半球差がほとんどなく、脳の全体的な活性化をもたらすという報告<sup>11)</sup>もある。したがって、音楽の情報処理という複雑な課題には脳の左右両半球の様々な部位が関

与しており、単純にどちらが優位であるとは言い難い状況にある。

本結果では、皮質運動野の興奮性はControl条件に比べて、いずれの条件においても有意な増大を示した。このような結果をもたらす背景となるメカニズムの1つとして、最近注目されているミラーニューロンの関与が考えられる。サルの大脳半球前頭前野F5領域で発見されたミラーニューロンは、他者の動作を観察あるいは模倣する際に活動するニューロンで、ヒトでは左半球Broca野がその相同部位であると推定されている<sup>15)</sup>。MEGを用いたヒトの研究では、他者の口唇の動きを観察したり、自身が言語を発声する際にBroca野の活動が高まり、それに続いて両側の運動野もその活動を高めることが報告されている<sup>9)</sup>。また、視覚障害者同士の会話においても、ほとんど無意識に身振り手ぶりによるジェスチャーが頻繁に行われることが報告されており<sup>6)</sup>、ミラーニューロンの活動と運動野の手指支配領域の結びつきの強さがうかがわれる。音を聴取して自ら歌唱する今回の実験条件においてFDIの運動野支配領域の興奮性が増大したことについても、ミラーニューロンが何らかの関与を果たしていることが推測される。

本実験結果で示された最も注目すべき点は、Singing条件における運動野の興奮性の増大が顕著であったことである。Reading条件とSinging条件の違いは、歌詞にメロディーが加わるか否かである。したがって、メロディーが脳の活動に変化を生じさせている可能性が示唆される。音楽失認の症例では、聴覚野の損傷によってリズムや旋律を認識したり記憶することができなくなるが、感覚性失語や環境音失認を伴わない場合もある<sup>13)</sup>。逆に感覚性失語の患者が音楽失認を伴わない場合もあり<sup>17)</sup>、音楽の認知では、一般的な環境音の認知や言語の認知とは異なる情報処理が行われているのではないかと考えられている<sup>12)</sup>。したがって、本実験で実施した、歌唱課題であるSinging条件においても、単に歌詞を朗読する課題であるReading条件とは異なる情報処理過程が関与していることが考えられる。

また、Singing条件では歌うことによって生じる情動の変化が大きく影響している可能性も考えられる。音楽と情動は相互に密接に作用しており、音楽認知に関する研究において頻繁に議論される問題である。fMRIを用いた研究では、和音を用いた聴覚刺激と視覚情報刺激との交互作用を検討した結果、聴覚不快刺激による扁桃、島皮質での賦活の増強、聴覚快刺激での同領域の減弱を認め、情動に関与する辺縁系において聴覚優位の交互作用が存在することが示唆されている<sup>10)</sup>。また、Bloodら<sup>1)</sup>は、和声構造を快/不快刺激として用いた陽電子放射線断層撮影法(Positron Emission Tomography: PET)による研究を行い、和声構造の不協度の増加・減少によって海馬などの辺縁系の神経活動が変化することを示している。さらに、音楽聴取時に鳥肌が立つなどの顕著な身

体反応を伴う強い情動が生じているときのPETによる画像を調べた研究によれば、聴覚野とは異なる多くの脳部位が活性あるいは不活性化することが報告されている<sup>2)</sup>。しかし、情動、特に個人の音楽の好みは文化的・社会的背景に深く根ざした問題であり、今回の実験で採用した課題曲は、多くの人が聞き慣れており、比較的好まれていると思われるが、好みの個人差について考慮することは事実上困難であり、情動がSinging条件で見られた顕著な運動野の興奮性増大にどのように影響しているかについては不明である。このように、本実験では、実施した各条件の中で、歌唱遂行時に皮質運動野の興奮性が最も高まることが示された。また、先行研究では、音楽鑑賞時に海馬などの辺縁系や前頭葉が活性化することが報告されており<sup>3)</sup>、音楽が、記憶や注意、情動、意欲などにも働きかけることができる可能性を示唆するものである。作業療法場面でも音楽活動が用いられているが、音楽は作業療法士にとって利用しやすい媒体であり、患者にとっても参加しやすい活動である。このことから、今後ますます音楽療法の意義が科学的な側面から解明されていけば、作業活動場面でもよりよい治療のために多く実践されることになるものと考えられる。

#### 文 献

- 1) Blood AJ, Zatorre RJ, Bermudez P, Evans AC: Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paramlimbic brain regions. *Nat Neurosci*, 2: 382-387, 1999.
- 2) Blood AJ, Zatorre RJ: Inversely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*, 98: 11818-11823, 2001.
- 3) Critchley M, Henson RA: Music and the Brain. *Studies in the Neurology of Music*. 柘植, 梅本, 桜林監訳, サイエンス社, 東京, 1990. 186-205.
- 4) Elbert T, Pantev C, Wienbruch C, Rockstroh B, Taub E: Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270: 305-330, 1995.
- 5) Gomez P, Danuser B: Affective and physiological responses to environmental noises and music. *Int J Psychophysiol*, 53: 91-103, 2004.
- 6) Iverson JM, Goldin-Meadow S: Why people gesture when they speak. *Scientific correspondence*, 396: 228, 1998.
- 7) Iwanaga M, Kobayashi A, Kawasaki C: Heart rate variability with repetitive exposure to music. *Biological Psychology*, 70: 61-66, 2005.
- 8) Mavlov L: Amusia due to rhythm agnosia in a musician with left hemisphere damage: a non-auditory supramodal defect. *Cortex*, 16: 331-338, 1980.
- 9) 西谷信之: MEGで見るBroca領域の役割 - ヒト・ミラー・ニューロン・システム - . *神経進歩*, 46: 891-896, 2002.
- 10) 大西 隆: 音楽知覚の機能的MRI. *臨床神経生理学*, 33: 123-130, 2005.
- 11) 芋阪満里子: ワーキングメモリの認知神経心理学的研究 - 脳波からのアプローチ - . 風間書房, 東京, 1994, 61-80.
- 12) Peretz I: Brain Specialization for music. *Neuroscientist*. 8: 372-380, 2002.
- 13) Piccirilli M, Sciarra T, Luzzi S: Modularity of music: evidence from a case of pure amusia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 69: 541-545, 2000.
- 14) Ridding MC, Brouwer B, Nordstrom MA: Reduced interhemispheric inhibition in musicians. *Exp Brain Res*, 133: 249-253, 2000.
- 15) Rizzolatti G, Craighero L: The mirror neuron system. *Annu Rev Neurosci*, 27: 169-192, 2004.
- 16) 佐藤正之: 音楽の脳内処理機構 - PET研究と失音楽症例から - . *臨床神経生理学*, 33: 114-122, 2005.
- 17) 山田 亨: 音が音楽になり, 人間に与える影響. *作業療法*, 37: 96-101, 2003.
- 18) Zatorre RJ: Music, the food of neuroscience? *Nature*, 434: 312-315, 2005.

## Changes of motor cortical excitability of hand are during music task

Masaya TAGUCHI<sup>1</sup>, Naomi INOUE<sup>2</sup>, Takayuki TABIRA<sup>1</sup>, Kozo FUNASE<sup>3</sup>

1 Department of Health Science, Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University

2 Geriatric Health Services Facility Azusa

3 Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

Received 15 Jun 2007

Accepted 29 August 2007

**Abstract** We examined the effect of music tasks including hearing, reading of song lyrics, and singing, on the excitability of primary hand motor area (M1) to acquire the basic neurophysiological data for music therapy. Motor evoked potentials (MEPs) were evoked in the first dorsal interosseous in both hands by transcranial magnetic stimulation. All conditions induced the significant facilitation of FDI MEPs than control in both FDIs. In particular, singing task showed the remarkable facilitation on MEP amplitude. Meanwhile, there was no significant difference of MEPs between right and left FDIs. These results suggested that M1 excitability of hand area was bilaterally facilitated by the music tasks.

Health Science Research 20(1) 23-27, 2007

**Key Words** : TMS, cortical excitability, music task