

### 3 テスラ fMRI 信号の時系列パターン解析による ヘシュル回の機能的左右差の検討

泉 修 司

新潟大学大学院医歯学総合研究科生体機能調節医学専攻

感覚統合医学講座耳鼻咽喉科学分野

(主任：高橋 姿教授)

#### Functional Hemispheric Asymmetry of Heschl's Gyrus: Temporal Pattern Analysis of 3-Tesla fMRI Signal

Shuji IZUMI

*Division of Otolaryngology, Sensory and Integrative Medicine,*

*Course for Biological Functions and Medical Control,*

*Graduate School of Medical and Dental Sciences, University of Niigata*

*(Director: Prof. Sugata TAKAHASHI)*

#### 要 旨

音声言語処理に関する大脳聴覚野の機能が左半球優位性を示すことは良く知られているが、言語音以外の音や聴覚情報（例えば音楽）の処理に関する大脳聴覚野の機能的左右差については不明な点が多い。fMRI をはじめとするニューロイメージング技術の発達に伴い多くの研究が行われてきたが、事前に設定したモデルとの相関を基に賦活の評価をする従来の仮説検証型解析では、刺激条件や皮質領野によって複雑に変化する聴覚野の fMRI 信号応答を適正に評価することは難しかった。そこで本研究では、fMRI 信号の時系列パターンを特定の先験的モデルに依存せず事後的に評価することにより、非言語音刺激の処理に関わるヒト大脳聴覚野の機能的左右差を検討した。右利き正常被験者 25 例を対象に、非言語音刺激（音楽）と対照としての広帯域雑音を 30 秒間ずつ交互に呈示して fMRI データを取得し、解剖学的に定義した領域別に、信号を刺激開始時間に揃えて加算平均することにより、fMRI 信号応答の時系列を得た。結果、左のヘシュル回（Heschl's gyrus: HG）では、刺激聴取開始後約 8 秒にピークを持つ強い一過性の応答と刺激呈示中持続する弱い持続性応答を認めたのに対し、右の HG では明確な一過性応答は認めず持続性応答のみが記録された。一方 planum temporale (PT) は、左右両側とも、一過性および持続性双方の応答を示した。以上の結果は、一次聴覚野を含む HG には非言語音刺激の処理に左右差が存在し、それが fMRI 信号の時系列パターンの違いとして表れることを示す。

キーワード：fMRI, 時系列パターン解析, 聴覚野, ヘシュル回, 機能的左右差

Reprint requests to: Shuji IZUMI  
Division of Otolaryngology Sensory and  
Integrative Medicine Course for Biological  
Functions and Medical Control  
Graduate School of Medical and Dental Sciences  
University of Niigata  
1-757 Asahimachi - dori Chuo - ku,  
Niigata 951-8510 Japan

別刷請求先：〒951-8510 新潟市中央区旭町通 1-757  
新潟大学大学院医歯学総合研究科耳鼻咽喉科学分野  
泉 修 司

## はじめに

音声言語の処理に関して大脳聴覚野の機能が左半球優位に局在する現象は良く知られている。具体的には、感覚性言語野を含む側頭平面 (planum temporale, PT) の機能が左半球優位とされ<sup>1)–3)</sup>、この部位には肉眼解剖学的<sup>4)</sup>、顕微解剖学的<sup>5)–7)</sup>な左右差が存在する。更に、より低次な聴覚野を含むヘシュル回 (Heschl's gyrus, HG) においても、肉眼解剖学的<sup>8)–10)</sup>、顕微解剖学的<sup>5)6)11)</sup>な左右差が知られており、これらは一次聴覚野における言語音の初期処理が左半球優位に行われることの基盤と考えられている<sup>12)–16)</sup>。

一方で、言語音以外の音や聴覚情報 (例えば音楽) の処理に関する左右聴覚野の機能分化に関しては未だ不明な点が多い<sup>17)–19)</sup>。一次聴覚野を含む HG に上のような解剖学的、機能的左右差が存在することは、非言語音入力に対する初期段階の処理においても、左右の HG が異なる役割を果たす可能性を示唆するが<sup>20)</sup>、これまでのニューロイメージング研究からは、一貫した結果が得られていない。ピッチやメロディー、和音などを聴取した際の賦活の評価では、左 HG が優位に活動するという報告<sup>21)–24)</sup>と、左右差はないとする報告<sup>25)–28)</sup>が混在している。

ここで留意すべきは、これらの先行研究は仮説検証型の状態分析 (state analysis) によって神経活動の評価を行っている点である。仮説検証型の解析では、事前に設定したモデル (例えば hemodynamic response function で畳み込んだ box-car 関数) と実際に記録された fMRI 信号変化の相関により賦活が定義されるため、設定されたモデルとは異なる信号変化パターンを示す皮質領野の神経活動が適正に評価されない可能性がある。これはヒト大脳聴覚野の機能を解析する際には、大きな問題となり得る。というのは、ヒト大脳聴覚野における fMRI 信号応答は belt 領域で一過性の信号変化が、core 領域で持続性信号変化がそれぞれ優位であり<sup>29)30)</sup>、更にこの特性は刺激条件によって複雑に変化するため<sup>31)</sup>、賦活の正確な時間的パターンを先験的にモデル化することが困難だ

からである。

そこで我々は、fMRI 信号の時系列パターンを、特定の先験的モデルに依存することなく事後的に解析することで、非言語音処理における聴覚野の機能的左右差を、特に HG に注目して検討した。

## 対象と方法

25 例の右利き正常被験者 (男性 9 例、女性 16 例、18–27 歳) を対象とした。いずれも絶対音感をもたず、学校教育程度以上の専門的な音楽訓練を受けていない。

非言語音刺激として音楽を用いた。市販 CD (バッハ：ブランデンブルグ協奏曲第 3 番) から切り出した 30 秒間の音楽 (エポック M) と、コンピュータで生成した 30 秒間の広帯域持続雑音 (エポック N) を、NNMNMN の順で、ヘッドホンより両耳に呈示した。CD 音源はステレオ録音であったが、左右の耳が同じ刺激を受けるようにモノラル変換し、2 回ある音楽呈示エポックでは、同じ曲の異なる部分を使用した。刺激音圧はエポック M と N の平均実効値がほぼ同等になるよう編集し、被験者がはっきりと聴き取れるが不快ではないよう増幅器の音量を調整して呈示した。被験者は事前に刺激の内容を知らされず、目を閉じて集中して聞くよう指示された上で実験を行った。課題遂行後、全例に対して、実験中に聴取した音楽が既知のものでないことを確認した。

fMRI 撮像は、新潟大学脳研究所・統合脳機能研究センターの横型 3 テスラ MRI 装置 (Signa 3.0T research imaging system: GE Medical System, Waukesha, WI; 超伝導 3.0T マグネット: Magnex, Abingdon, Oxon, UK) を用いて行った。グラジエントエコープラナー法で撮像し、パラメータは FOV, 20 × 20 cm; matrix, 64 × 64; slice thickness, 5 mm; inter-slice gap, 2.5 mm; TR, 1 sec; TE, 30 msec; flip angle 70 deg とした。空間分解能は約 3 × 3 × 5 mm であった。撮像範囲における磁場の均一性を維持し、かつ TR を短くするために撮像厚は 30mm に限定した。これは HG, PT を含む 4 スライスに相当する。撮像開始から

最初の30秒間のデータは、信号の定常を保証するために解析対象から除外した。頭部の動きが1セッション内の同一平面のボクセルで20%以上であった場合には再度撮像することとし、撮像後の動き補正は行わなかった。画像は5mmの半値幅のGaussian kernelで空間的平滑化を行った。

解析における関心領域(ROI)は左右のHGとPTであり、被験者毎に別に撮像したT2R画像を用いて設定した。HGは側頭葉の上面に位置し、前内方は最前方の横側頭溝、後方はHeschl溝を境界とする領域として定義され、該当する脳回が2つある場合はRademacher<sup>8)</sup>に従い、2つ目の横側頭溝の前方に位置する回をHGとした。この定義でHGは一次聴覚野をその主要な部分として含む<sup>32)–34)</sup>。PTは側頭葉の上面でHGの後方に隣接する部位であり、PTの後縁は側頭葉上面とシルビウス裂後壁が交わる線とし、シルビウス裂後壁が同定できない場合はシルビウス裂の後端を後縁とした<sup>35)</sup>。

データ解析は、被験者毎にROI内の全ボクセルのfMRI時系列データを平均して行った。時間フィルタは使用しなかった。信号強度は、雑音呈示時(1–30, 76–90, 136–150 sec; 図1)の信号平均値を基準値とし、基準値からの変化率で表した。音楽呈示終了直後の15秒間(61–75, 121–135 sec)のデータは、hemodynamic delayの影響を避けるため、基準値の計算には含めなかった。

## 結 果

図1は刺激全体(150秒)に対するfMRI時系列データ25例分を、ROI別、半球別に加算平均したものである。これまでの報告と同様に<sup>29)36)37)</sup>、一過性応答と持続性応答の2種類の応答が確認された。例えば左右のPTでは、音楽呈示開始直後に一過性の強い信号が見られた後に、それより弱い持続性の応答が音楽呈示終了まで続いた(ただし全体に約8秒のhemodynamic delayがある)。左のHGでも、同様の2相性の応答が見られた。しかし、右のHGにおいては、一過性応答が明瞭でなく、HGのfMRI信号応答の時間的パターン

(波形)には左右差があるように見受けられた。

そこで、波形の統計学的な解析を行うために、時系列を刺激開始後6–11秒の“early phase”と14–33秒の“late phase”に区分し(図1)、HGとPTのROI別に、earlyとlateの各区間のfMRI信号振幅の時間平均について、2要因の分散分析[半球(右/左)、潜時(early/late)]を行った(1回目と2回目の音楽刺激エポックのデータは被験者毎に加算平均した)。この解析では、fMRI信号応答の時間的パターン(波形)の左右差の有無は、半球×潜時の交互作用によって検定される。

結果、HGのfMRI信号時系列パターンには、有意な半球間差があることが示された[半球×潜時の交互作用： $F(1, 24) = 9.7, p < 0.005$ ]。下位検定では、左HGで一過性応答が明瞭であったことと対応して、early phaseの振幅がlate phaseの振幅よりも有意に大きかったが[潜時の単純主効果： $F(1, 48) = 14.4, p < 0.001$ ]、右HGではearly phaseとlate phaseで有意な振幅の差はなく[ $p > 0.05$ ]、はっきりとした一過性応答は認められなかった(図2)。また、early phaseの振幅には左右差があり、左半球で有意に大きかったが[半球の単純主効果： $F(1, 48) = 17.5, p < 0.001$ ]、late phaseの振幅には有意な左右差はなかった[ $p > 0.05$ ]。

PTでは、左右差は認められなかった。即ち、半球×潜時交互作用と半球の主効果は、いずれも有意でなかった[ $p > 0.05$ ]。左右半球に共通した特徴として、early phaseの振幅がlate phaseの振幅よりも有意に大きかった[潜時の主効果： $F(1, 24) = 15.7, p < 0.001$ ]。

## 考 察

音楽刺激に対する聴覚野のfMRI信号応答の時系列パターンを解析した結果、左右のPTが一過性応答と持続性応答の両方を示したのに対し、右のHGでは明確な一過性応答は認められなかった。中枢聴覚系におけるfMRI信号応答の時系列パターンは、下丘—内側膝状体—低次聴覚野—高次聴覚野と部位が上位になるにつれて一過性応答がより顕著になるとされるが<sup>29)–31)</sup>、上記結

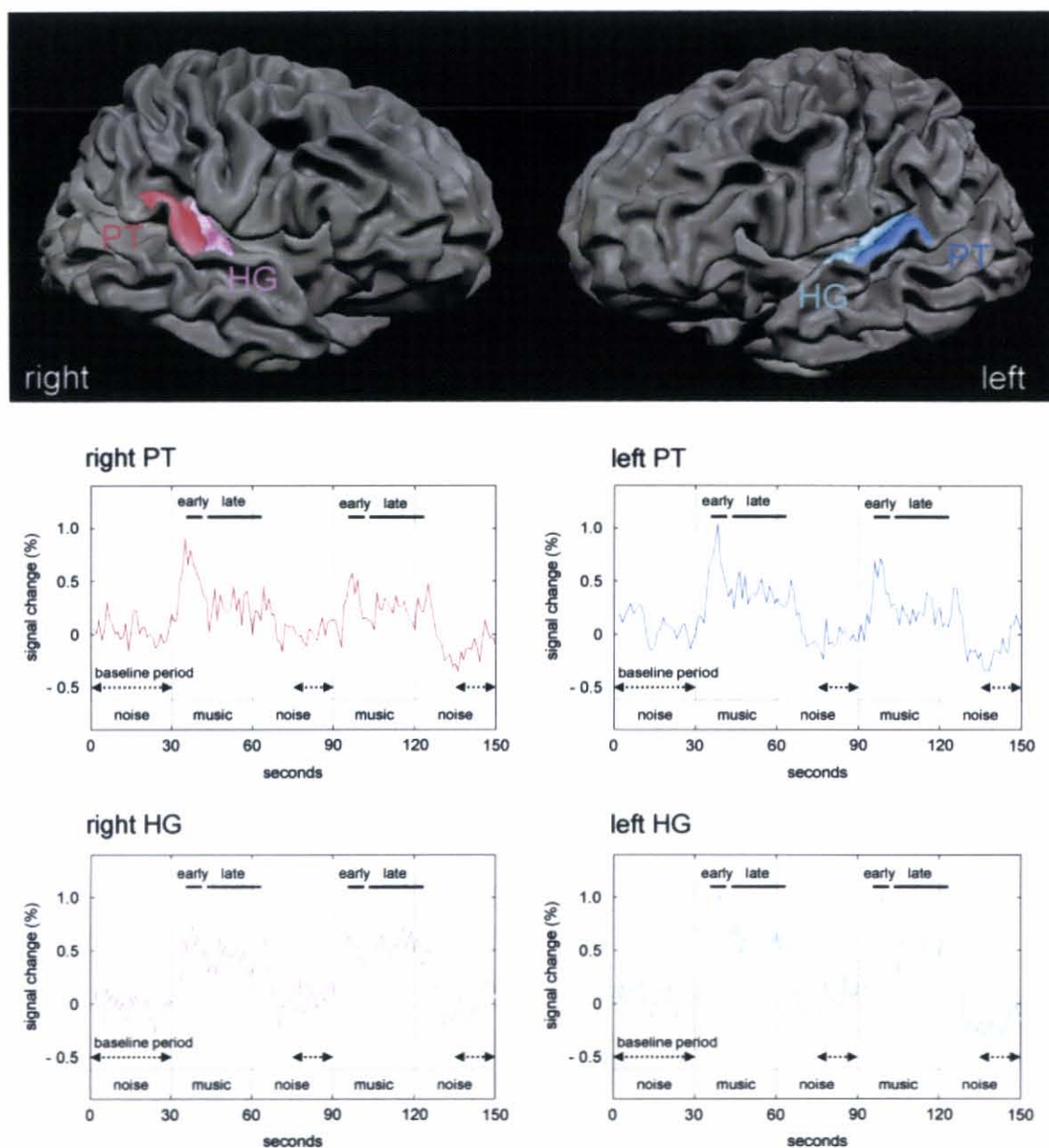


図1 ROIとfMRI信号時系列(25例の平均)

左HGおよび両側PTでは一過性応答と持続性応答の2種の異なる応答が観察されたが、右HGでは、持続性応答は認めたものの、一過性応答が明らかでなかった。fMRI信号は、1-30秒、76-90秒、136-150秒の時間帯の信号平均値を基準とし、基準からの変化率(%)で評価した。

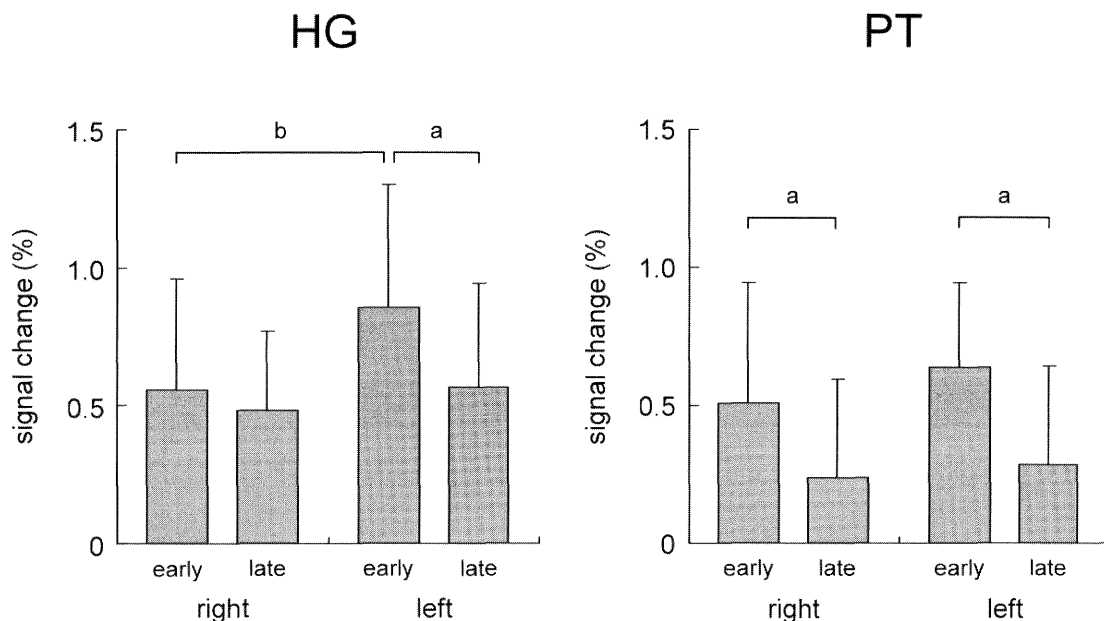


図2 統計学的解析の結果のまとめ

左 HG と両側 PT では early period の信号変化率が late period に比べ有意に高値であったが (a,  $p < 0.001$ ), 右 HG では有意差がみられなかった ( $p > 0.05$ ). HG における early period の信号変化率は左が右に比べ有意に高値であった (b,  $p < 0.001$ ). 誤差範囲表示は標準偏差を示す。

果は、この傾向に沿ったものといえる。一方で、左半球の HG が、右半球の HG とは異なり音楽刺激に対して強い一過性応答を示したのは、新規の知見である。これは、一次聴覚野を含む HG の音楽刺激処理に左右差が存在し、それが fMRI 信号の時系列パターンの違いとして表れることを示す。

HG における非言語音の処理に左右差があることは、HG に顕微解剖学的な左右差<sup>5)6)11)</sup>が存在することを考えると、とくに意外ではない。実際、従来の仮説検証型のニューロイメージング研究のいくつかも、非言語音（ピッチ等）処理で左 HG が優位に賦活されることを報告している<sup>21)–24)</sup>。しかし一方で、HG の賦活に左右差はないとする報告も無視できない数存在する事が問題であったが<sup>25)–28)</sup>、本研究結果はこの論争に最終的な決着を付けるものと考えられる。すなわち、HG の

fMRI 応答の時系列パターンに上記のような左右差があるとすると、この事実を知らずに計画・実施された仮説検証型の実験では、刺激や解析モデルが一過性応答と持続性応答のどちらをどの程度重点的に評価するものであったかに応じて、HG の賦活が、一見気まぐれのように、“左優位性”を示したり示さなかったりする事が予期される。

左 HG の fMRI 信号応答パターンは、対側相当部位の右 HG の応答パターンよりも、むしろ、より高次の聴覚野とされる両側 PT の応答パターンと類似していた。これは、左右の HG の機能分化を考える上で、極めて興味深い結果である。fMRI 信号で一過性応答が優位なのは高次処理の特徴であること<sup>29)–31)</sup>、また、領野間の fMRI 応答パターンの類似はこれら領野間の機能的関連を示唆することを考えると、非言語音処理に関して、左 HG は PT とともに何らかの“高次”機能を担っ

ている可能性が推測される。

本研究では非言語音刺激の代表として音楽を用いた。音楽は様々な音響学的・心理学的要素を含んだ複雑な聴覚刺激であり、この刺激のどの特定の要素が HG の機能的左右差と関連したかの解明は、今後の検討課題である。ただし、絶対音感<sup>38) - 40)</sup>、音楽訓練歴<sup>41) - 43)</sup>、呈示された音楽の既知性<sup>44) 45)</sup> など、音楽処理に左右半球差を生じるとされる被験者関連要因は、「対象と方法」に記載したように、本研究では除外されている。

## 結 論

fMRI 信号の時系列パターン解析により、音楽刺激の処理における HG の機能的左右差を明らかにした。ヒト大脳聴覚野における fMRI 信号応答は皮質領域や刺激条件によって複雑に様相を変え、その詳細についてはまだ不明な点も多いことから、先験的な賦活モデルの設定が難しい。そのため、fMRI によるヒト聴覚皮質機能の研究においては、本研究のような時系列パターン解析が有用なケースが多いと考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) Wernicke C: Der aphasische Symptomenkomplex. Cohn Weigert, Breslau, 1874. English translation by Eggert GH: Wernicke's Works on Aphasia: A Source Book and Review. Moulon, The Hague, 1977.
- 2) Shapleske J, Rossell SL, Woodruff PW and David AS: The planum temporale: a systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance. *Brain Res Brain Res Rev* 29: 26 - 49, 1999.
- 3) Nakada T, Fujii Y, Yoneoka Y and Kwee IL: Planum temporale: where spoken and written language meet. *Eur Neurol* 46: 121 - 125, 2001.
- 4) Geschwind N and Levitsky W: Human brain: left - right asymmetries in temporal speech region. *Science* 161: 186 - 187, 1968.
- 5) Seldon HL: Structure of human auditory cortex. I. Cytoarchitectonics and dendritic distributions. *Brain Res* 229: 277 - 294, 1981a.
- 6) Seldon HL: Structure of human auditory cortex II: axon distributions and morphological correlates of speech perception. *Brain Res* 229: 295 - 310, 1981b.
- 7) Galuske RA, Schlote W, Bratzke H and Singer W: Interhemispheric asymmetries of the modular structure in human temporal cortex. *Science* 289: 1946 - 1949, 2000.
- 8) Rademacher J, Caviness VS Jr., Steinmetz H and Galaburda AM: Topographical variation of the human primary cortices: implications for neuroimaging, brain mapping, and neurobiology. *Cereb Cortex* 3: 313 - 329, 1993.
- 9) Penhune VB, Zatorre RJ, MacDonald JD and Evans AC: Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cereb Cortex* 6: 661 - 672, 1996.
- 10) Dorsaint - Pierre R, Penhune VB, Watkins KE, Neelin P, Lerch JP, Bouffard M and Zatorre RJ: Asymmetries of the planum temporale and Heschl's gyrus: relationship to language lateralization. *Brain* 129: 1164 - 1176, 2006.
- 11) Hutsler JJ and Gazzaniga MS: Acetylcholinesterase staining in human auditory and language cortices: regional variation of structural features. *Cereb Cortex* 6: 260 - 270, 1996.
- 12) Belin P, Zilbovicius M, Crozier S, Thivard L, Fontaine A, Masure MC and Samson Y: Lateralization of speech and auditory temporal processing. *J Cogn Neurosci* 10: 536 - 540, 1998.
- 13) Liégeois - Chauvel C, de Graaf JB, Laguitton V and Chauvel P: Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb Cortex* 9: 484 - 496, 1999.
- 14) Zaehle T, Wöstenberg T, Meyer M and Jäncke L: Evidence for rapid auditory perception as the foundation of speech processing: a sparse temporal sampling fMRI study. *Eur J Neurosci* 20: 2447 - 2456, 2004.
- 15) Schönwiesner M, Rübsamen R and von Cramon

- DY: Hemispheric asymmetry for spectral and temporal processing in the human antero-lateral auditory belt cortex. *Eur J Neurosci* 22: 1521 - 1528, 2005.
- 16) Jamison HL, Watkins KE, Bishop DV and Matthews PM: Hemispheric specialization for processing auditory nonspeech stimuli. *Cereb Cortex* 16: 1266 - 1275, 2006.
  - 17) Critchley M and Henson RA: Music and the brain: Studies in the neurology of music. Heinemann, London, 1977.
  - 18) Peretz I and Zatorre RJ: Brain organization for music processing. *Annu Rev Psychol*, 56: 89 - 114, 2005.
  - 19) Stewart L, von Kriegstein K, Warren JD and Griffiths TD: Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain* 129: 2533 - 2553, 2006.
  - 20) Schneider P, Sluming V, Roberts N, Scherg M, Goebel R, Specht HJ, Dosch HG, Bleeck S, Stippich C and Rupp A: Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nat Neurosci* 8: 1241 - 1247, 2005.
  - 21) Scheffler K, Bilecen D, Schmid N, Tschopp K and Seelig J: Auditory cortical responses in hearing subjects and unilateral deaf patients as detected by functional magnetic resonance imaging. *Cereb Cortex* 8: 156 - 163, 1998.
  - 22) Devlin JT, Raley J, Tunbridge E, Lanary K, Floyer-Lea A, Narain C, Cohen I, Behrens T, Jezzard P, Matthews PM and Moore DR: Functional asymmetry for auditory processing in human primary auditory cortex. *J Neurosci* 23: 11516 - 11522, 2003.
  - 23) Bernal B, Altman NR and Medina LS: Dissecting nonverbal auditory cortex asymmetry: an fMRI study. *Int J Neurosci* 114: 661 - 680, 2004.
  - 24) Yoo SS, O'leary HM, Dickey CC, Wei XC, Guttmann CR, Park HW and Panych LP: Functional asymmetry in human primary auditory cortex: Identified from longitudinal fMRI study. *Neurosci Lett* 383: 1 - 6, 2005.
  - 25) Patterson RD, Uppenkamp S, Johnsrude IS and Griffiths TD: The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron* 36: 767 - 776, 2002.
  - 26) Mulert C, Jager L, Propp S, Karch S, Stormann S, Pogarell O, Moller HJ, Juckel G and Hegerl U: Sound level dependence of the primary auditory cortex: Simultaneous measurement with 61-channel EEG and fMRI. *Neuroimage* 28: 49 - 58, 2005.
  - 27) Whalen DH, Benson RR, Richardson M, Swainson B, Clark VP, Lai S, Mencl WE, Fulbright RK, Constable RT and Liberman AM: Differentiation of speech and nonspeech processing within primary auditory cortex. *J Acoust Soc Am* 119: 575 - 581, 2006.
  - 28) Colino LM, Falcón C, Traserra J, Berenguer J, Pujol T, Doménech J and Bernal - Sprekelsen M: Activation patterns of the primary auditory cortex in normal-hearing subjects: a functional magnetic resonance imaging study. *Acta Otolaryngol* 127: 1283 - 1291, 2007.
  - 29) Seifritz E, Esposito F, Hennel F, Mustovic H, Neuhoﬀ JG, Bilecen D, Tedeschi G, Scheffler K and di Salle F: Spatiotemporal Pattern of neural processing in the human auditory cortex. *Science* 297: 1706 - 1708, 2002.
  - 30) Harms MP and Melcher JR: Detection and quantification of a wide range of fMRI temporal responses using a physiologically-motivated basis set. *Hum Brain Mapp* 20: 168 - 183, 2003.
  - 31) Harms MP and Melcher JR: Sound Repetition Rate in the Human Auditory Pathway: Representations in the Waveshape and Amplitude of fMRI Activation. *J Neurophysiol* 88: 1433 - 1450, 2002.
  - 32) von Economo C and Koskinas GN: Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des Erwachsenen Menschen. Verlag von Julius Springer, Wien and Berlin, 1925.
  - 33) Galaburda A and Sanides F: Cytoarchitectonic organization of the human auditory cortex. *J Comp Neurol* 190: 597 - 610, 1980.
  - 34) Rivier F and Clarke S: Cytochrome oxidase, acetylcholinesterase, and NADPH-diaphorase staining in human supratemporal and insular

- cortex: Evidence for multiple auditory areas. *Neuroimage* 6: 288 - 304, 1997.
- 35) Westbury CF, Zatorre RJ and Evans AC: Quantifying variability in the planum temporale. *Cereb Cortex* 9: 392 - 405, 1999.
- 36) Harms MP, Guinan JJ Jr., Sigalovsky IS and Melcher JR: Short-term sound temporal envelope characteristics determine multisecond time patterns of activity in human auditory cortex as shown by fMRI. *J Neurophysiol* 93: 210 - 222, 2005.
- 37) Giraud AL, Lorenzi C, Ashburner J, Wable J, Johnsrude I, Frackowiak R and Kleinschmidt A: Representation of the temporal envelope of sounds in the human brain. *J Neurophysiol* 84: 1588 - 1598, 2000.
- 38) Schlaug G, Jäncke L, Huang Y and Steinmetz H: In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science* 267: 699 - 701, 1995.
- 39) Zatorre RJ, Perry DW, Beckett CA, Westbury CF and Evans AC: Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proc Natl Acad Sci U S A* 95: 3172 - 3177, 1998.
- 40) Itoh K, Suwazono S, Arao H, Miyazaki K and Nakada T: Electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cereb Cortex* 15: 760 - 769, 2005.
- 41) Schneider P, Scherg M, Dosch HG, Specht HJ, Gutschalk A and Rupp A: Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nat Neurosci* 5: 688 - 694, 2002.
- 42) Di Pietro M, Laganaro M, Leemann B and Schnider A: Receptive amusia: temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia* 42: 868 - 877, 2004.
- 43) Aydin K, Ciftci K, Terzibasoglu E, Ozkan M, Demirtas A, Sencer S and Minareci O: Quantitative proton MR spectroscopy findings of cortical reorganization in the auditory cortex of musicians. *AJNR Am J Neuroradiol* 26: 128 - 136, 2005.
- 44) Zatorre RJ, Halpern AR, Perry DW, Meyer E and Evans AC: Hearing in the mind's ear: a PET investigation of musical imagery and perception. *J Cogn Neurosci* 8: 29 - 46, 1996.
- 45) Platel H, Price C, Baron JC, Wise R, Lambert J, Frackowiak RS, Lechevalier B and Eustache F: The structural components of music perception. A functional anatomical study. *Brain* 120: 229 - 243, 1997.

(平成 21 年 11 月 27 日受付)