

機能的近赤外分光法 (fNIRS) による重症心身障害児・者の評価

平野 大輔¹ 谷口 敬道² 武田湖太郎³

要 旨：機能的近赤外分光法 (functional near-infrared spectroscopy; fNIRS) は、非侵襲的に脳活動を計測することができる技術である。この計測法は拘束性が低く、計測姿勢などの制約が少ないという特徴から、言語的な応答が難しい重症心身障害児・者における脳機能評価が可能である。本稿では、重症心身障害児・者の療育方針の検討と療育効果の判断に役立つ fNIRS の使用について概観した。

(J Jpn Coll Angiol, 2011, 51: 241-246)

Key words: functional near-infrared spectroscopy, severe motor and intellectual disabilities, SMID, evaluation, outcome

緒 言

重症心身障害は、さまざまな病因により運動機能と知的機能の両面に重度の障害をもった状態である。大島の分類においては、この状態を寝たきりもしくは座位可能であり、かつ知能指数 35 以下と定義している¹⁾。重症心身障害児・者は運動の表出に大きな制限をもち、言語による応答を表現することが難しい²⁾。そのため、療育方針の検討や療育効果の判断に必要な情報は、表情や四肢の動きなどの変化から得なければならないが、これらの変化が観察されない場合や不明確な場合がある³⁾。そこで誘発電位や心拍反応などが用いられてきたが、計測可能な感覚機能や認知機能は限られていた²⁾。本稿では、比較的新しい技術である機能的近赤外分光法 (functional near-infrared spectroscopy; fNIRS)⁴⁻⁷⁾ による重症心身障害児・者の脳機能計測を概観する。

fNIRS の原理と特徴

fNIRS は近赤外光を用いて脳活動を計測する手法であり、連続光法⁸⁾ や時間分解分光法^{8, 9)}、位相分解分光法¹⁰⁾ などの方法がある。なかでも最も一般的な連続光法は連続光を生体に照射し、照射部位から一定の距離だけ離れ

た部位に現れた光の強度を計測して、modified Beer-Lambert's law に基づいて、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度長の相対的变化 ($\Delta[\text{Oxy-Hb}]$, $\Delta[\text{Deoxy-Hb}]$) を求めることができる¹¹⁾。fNIRS は脳の深部を計測することはできないが、近赤外光を用いているために安全性が高いことや磁場を用いないこと、計測姿勢や環境の制約が少ないことなどの利点をもつ¹²⁾。

重症心身障害児・者の療育方針の検討に役立つ fNIRS の利用

重症心身障害児・者の応答が観察上明確に得られない場合、具体的な療育方針の検討が難しくなる。そこで、fNIRS が重症心身障害児・者の応答を脳活動から明らかにするために使用され始めた。光刺激に対する脳活動を評価した報告¹³⁾ として、周生期の胎盤剥離により広範な大脳の損傷を受けた 1 歳の乳児を対象に、点滅光の刺激が行われた。この結果、視覚関連領域に脳活動が認められ、この乳児の光に対する応答が明らかとなった。また、音声刺激を用いた報告としては、正文と非文によるブローカ野に相当する領域における脳活動の比較や、生活に関連のある単語を含む話しかけと生活に無関連の話しかけによるウェルニッケ野に相当する領域における脳活動の比較が行われた^{14, 15)}。

本稿では、療育者が重症心身障害児・者との日常の関

¹ 国際医療福祉リハビリテーションセンターなす療育園

² 国際医療福祉大学大学院医療福祉学研究科

³ ATR 脳情報研究所

2010 年 3 月 1 日受理

わりの中で生じた疑問に対して、fNIRS を用いて解決を試みたわれわれの報告³⁾を紹介する。対象は重症心身障害児施設に入所中の脳性麻痺(痙直型四肢麻痺)および知的障害と診断され、大島の分類¹⁾で1に属する31歳男性であった。父親は長距離トラック運転手であり、本事例が重症心身障害児施設に入所した26歳時まで、本事例をトラックの寝台に同乗させ、全国を回っていた。このトラック乗車時に、本事例は父親の趣味である演歌を聴く機会が多かった。父親は、本事例が演歌を聴いた時の応答を表情の変化や発声として気づいていたと表現するが、施設職員は日常生活における観察からは、そのような本事例の応答を表情の変化などから読み取ることはできなかった。そこで、演歌を聴いた時の脳活動を明確にするために、「聴き慣れている演歌を流した時」を標的課題として、「聴き慣れていないクラシックを流した時」との前頭部における脳活動を比較した。この結果、「聴き慣れている演歌を流した時」のほうが、「聴き慣れていないクラシックを流した時」よりも、前頭部における広範な範囲に脳活動が認められた(Fig. 1)。本事例は子どもの頃、在宅で生活をしてきたことで、比較的多くの対人交流の中で育ったが、成長や施設入所に伴い対人交流を深められる環境から遠ざかってしまった。このことにより、父親が気づくことができていたような彼の能力は、維持されていくことが困難となり、施設職員の観察からでは彼の応答を見つけれなかったのではないかと考えられる。本事例は、「手を挙げて」などの複数の声かけに対して、運動を伴う応答があり、施設職員はこのような声かけを介して、本事例との関係を保ってきた。今回の結果は、これらのやり取りに加え、演歌を流すことを用いた介入を積極的に導入することにより、本事例の本来もっていた応答性を引き出せる可能性を示した。

重症心身障害児・者の療育効果の判断に役立つ fNIRS の利用

重症心身障害児・者の療育効果の判断に fNIRS を用いた報告⁶⁾を紹介する。対象は、重症心身障害児施設に入所中の大島の分類¹⁾で1に属する23歳女性で、診断名は溺水後の低酸素脳症後遺症による四肢麻痺と知的障害、てんかんであった。自身の口や鼻への上肢活動はみられたが、他の対象への上肢活動はみられなかった。療育者は、本事例の上肢活動を自分の身体以外に向けて引き出したいと考え、療育者の声が録音された voice

output communication aid であるスイッチを押せるようになるよう、本事例がデイスペースで過ごす時にスイッチを机上に設置し、他動的にスイッチを押すなどの介入を12週間行った。これらの介入は、作業療法士が計画し、毎日約4時間ずつ介護福祉士などにより行われた。

12週間の介入の前後に前頭部における22チャンネルの同時計測が行われた。課題1はスイッチを、課題2は比較対照としてブロックを机上に提示した時、安静条件は何も提示しなかった時とした。安静条件20秒、課題条件15秒とし、安静条件-課題2-安静条件-課題1を5回繰り返した。課題1において、介入前スイッチへの上肢活動はみられなかったが、介入後は5回中2回スイッチを押せるようになった。脳活動がみられたチャンネルは、介入前1チャンネルであったが、介入後スイッチを押せた時は16チャンネル、押せなかった時は9チャンネルとなり、いずれも介入前に比べ脳活動の範囲は広がった(Fig. 2)。課題2においては、介入前後ともに上肢活動は観察されなかった。介入前に脳活動はみられず、介入後5チャンネルで認められ、課題1に比べ介入前後の脳活動の変化は小さかった。

介入前は、スイッチとブロックに対する上肢活動は観察されず、脳活動もほとんどみられなかった。これらから、本事例は両者に対する反応が同等に小さかったことが示唆された。介入後、スイッチが提示された時はブロックが提示された時に比べ、脳活動の範囲は広く、本事例がこれらを異なるものと認識できるようになったと評価できる。また、スイッチを押せた時は押せなかった時に比べ、スイッチを押そうとする意思や上肢活動が含まれていたため、脳活動の範囲が広がったと考えられる。本結果は、生活場面における療育者の継続的な介入が、重症心身障害児・者の新たな動作を引き出し、脳活動に変化を起こすことを示した。

結 語

重症心身障害児・者における脳の構造や機能の計測が、療育支援に役立つことが示されてきた¹⁷⁾。療育方針の検討においては、療育者の観察と fNIRS、誘発電位などの手段を用い、重症心身障害児・者の応答を多面的に評価することが、具体的な療育方針の決定を可能にすると考えられる。また、計測課題の一般化によって、重症心身障害児・者の応答性のスクリーニングや、療育者の関わり方の検討に役立てられると推測される。療育効果

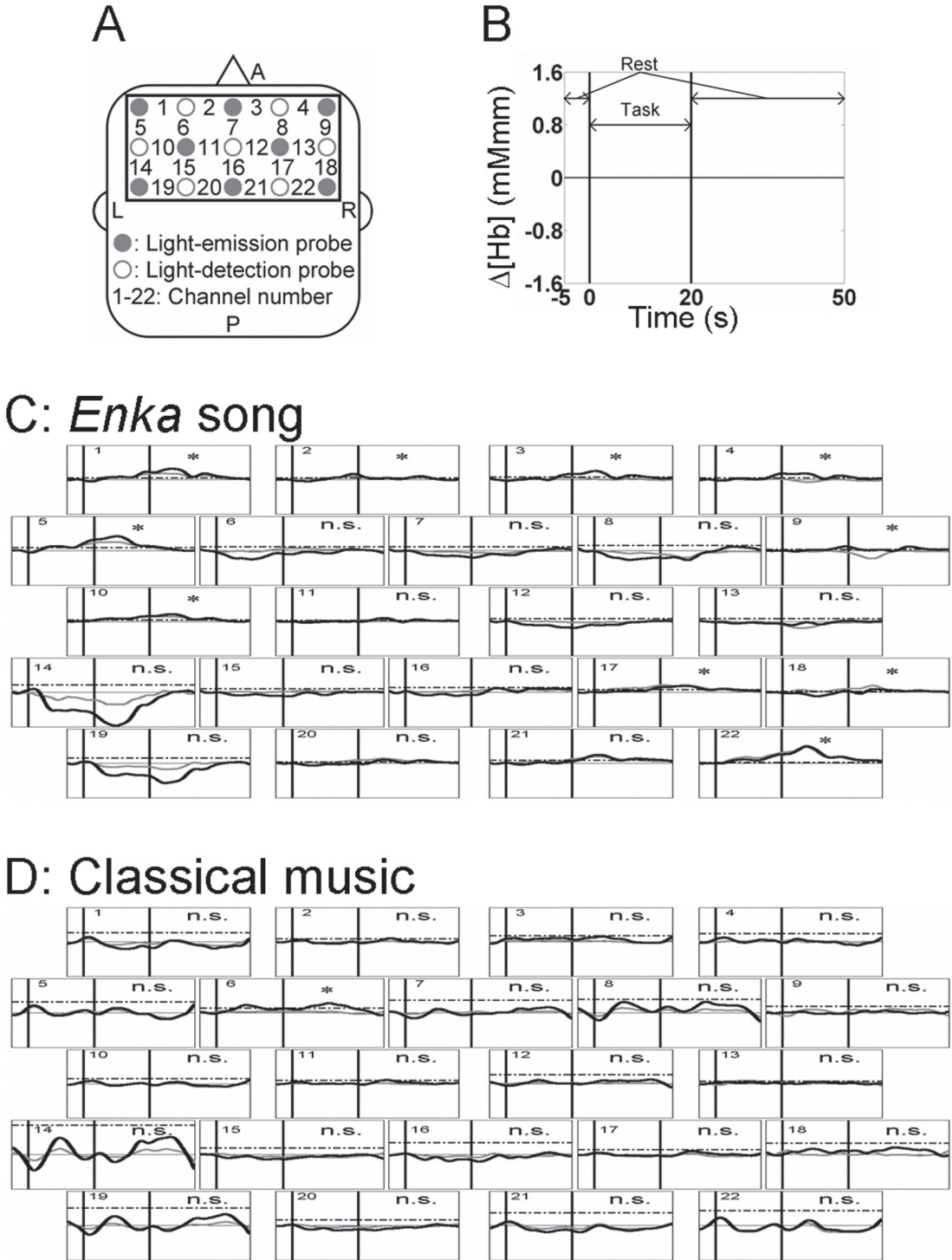


Figure 1 A: Locations of the fNIRS probes (A: anterior, P: posterior, R: right, L: left). B: Time course of averaged $\Delta[\text{Hb}]$. C and D: $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ (black solid line) and $\Delta[\text{Deoxy-Hb}]$ (gray solid line) while listening an *enka* song that was familiar to the subject and a piece of classical music that was totally unfamiliar to him. The black dash-dot line shows the significance level of $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ in each channel. Asterisks indicate the channels that showed significant $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ increase. Adapted and reprinted from Reference 3.

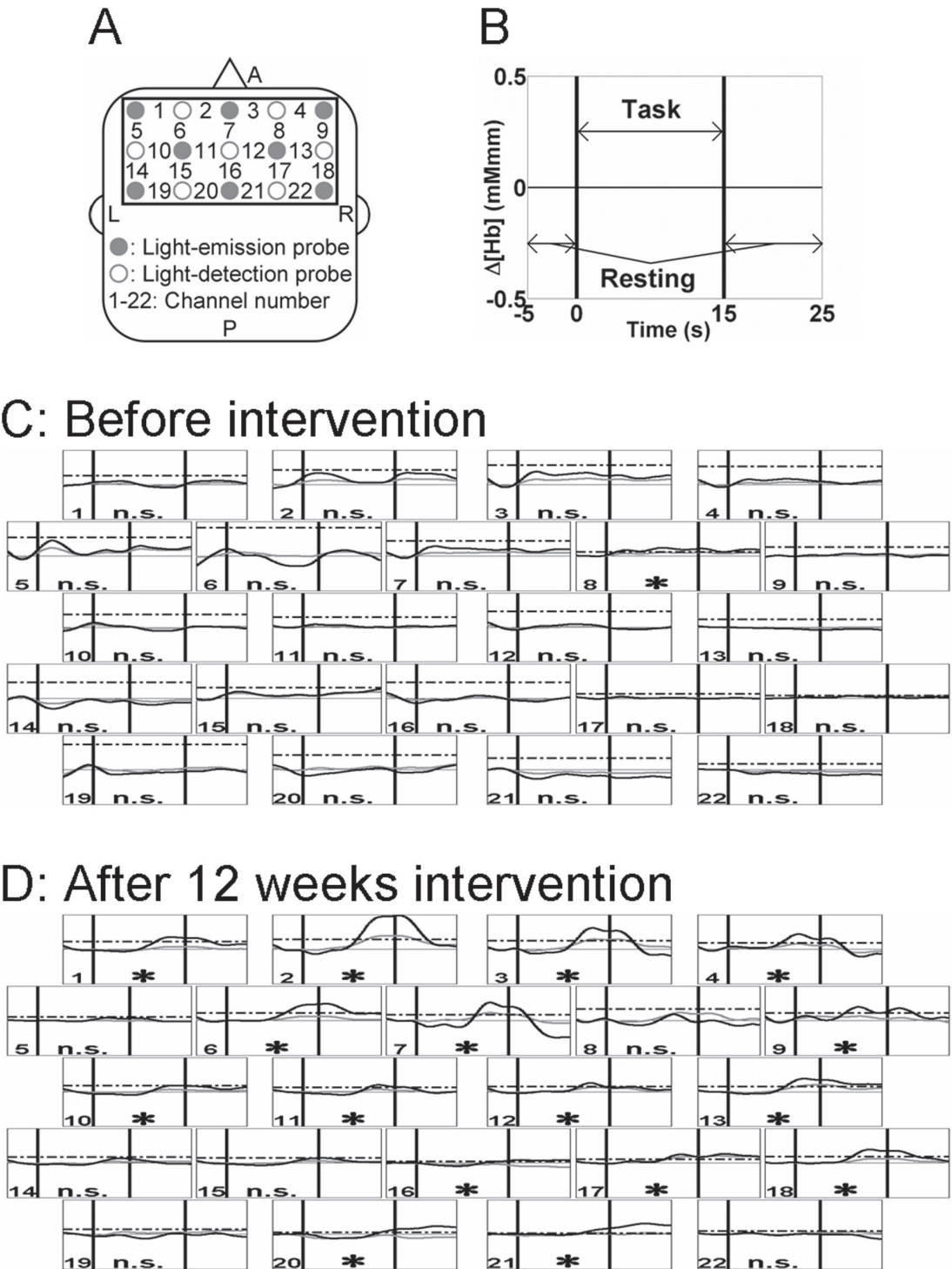


Figure 2 A: Locations of the fNIRS probes (A: anterior, P: posterior, R: right, L: left). B: Time course of averaged $\Delta[\text{Hb}]$. C and D: $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ (black solid line) and $\Delta[\text{Deoxy-Hb}]$ (gray solid line) during the switch setting before and after the intervention (D: the time points when the subject could push the switch). The black dash-dot line shows the significance level of $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ in each channel. Asterisks indicate the channels that showed significant $\Delta[\text{Oxy-Hb}]$ increase. Adapted and reprinted from Reference 16.

の判断における fNIRS の使用は、介入前後のみの計測に加え、経時的計測によって、重症心身障害児・者の変化をもたらしたきっかけを探る手段になると考えられる。fNIRS は非侵襲性や低拘束性、可搬性の高さといった特徴¹²⁾から、重症心身障害児・者の療育支援において今後大きな貢献を果たすと期待されている。

文 献

- 1) 大島一良: 重症心身障害の基本的問題. 公衆衛生, 1971, **35**: 648-655.
- 2) 北島善夫: 生理心理学的指標を用いた重症心身障害研究の動向と課題. 特殊教育学研究, 2005, **43**: 225-231.
- 3) 平野大輔, 谷口敬道, 武田湖太郎 他: 近赤外分光法 (NIRS)による脳機能計測を用いた重症心身障害児・者の個別応答の明確化. 発達障害研究, 2008, **30**: 388-398.
- 4) Hoshi Y: Functional near-infrared optical imaging: utility and limitations in human brain mapping. Psychophysiology, 2003, **40**: 511-520.
- 5) Koizumi H, Yamamoto T, Maki A et al: Optical topography: practical problems and new applications. Appl Opt, 2003, **42**: 3054-3062.
- 6) Obrig H, Villringer A: Beyond the visible-imaging the human brain with light. J Cereb Blood Flow Metab, 2003, **23**: 1-18.
- 7) Strangman G, Boas DA, Sutton JP: Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. Biol Psychiatry, 2002, **52**: 679-693.
- 8) Delpy DT, Cope M, van der Zee P et al: Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. Phys Med Biol, 1988, **33**: 1433-1442.
- 9) Chance B, Leigh JS, Miyake H et al: Comparison of time-resolved and -unresolved measurements of deoxyhemoglobin in brain. Proc Natl Acad Sci USA, 1988, **85**: 4971-4975.
- 10) Lakowicz JR, Berndt K: Frequency domain measurement of photon migration in tissues. Chem Phys Lett, 1990, **166**: 246-252.
- 11) 星 詳子: NIRS による機能画像と統合失調症. 臨床精神医学, 2004, **33**: 773-778.
- 12) 武田湖太郎, 加藤宏之: Near-infrared spectroscopy—計測原理と臨床応用—. 脳科学とリハビリテーション, 2007, **7**: 5-14.
- 13) Kogure K, Yamashita Y, Maki A et al: Functional near-infrared spectrography (fNIR) in the neurology ward. J Cereb Blood Flow Metab, 1997, **17**: S555.
- 14) 小池敏英: コミュニケーション形成の基盤と支援. 日重症心身障害会誌, 2005, **30**: 55-56.
- 15) 渡邊流理也, 内山幹雄, 小池敏英: 重症心身障害児における図形シンボル連鎖による要求表出支援と NIRS 支援評価に関する検討. 東京学芸大学紀要 総合教育科学系, 2006, **57**: 189-198.
- 16) Hirano D, Taniguchi T, Takeda K et al: Physiological changes observed in a woman with severe motor and intellectual disabilities as a result of care staff intervention: a near-infrared spectroscopy case study. Proceedings of 18th International Congress on Brain Electromagnetic Topography (ISBET2009 in Kyoto), 2009: 249-252.
- 17) 加藤俊徳: 療育支援脳機能検査法による重症児者の理解. 日重症心身障害会誌, 2005, **30**: 57-63.

Evaluation of Patients Suffering from Severe Motor and Intellectual Disabilities Using Functional Near-infrared Spectroscopy

Daisuke Hirano,¹ Takamichi Taniguchi,² and Kotaro Takeda³

¹Nasu Institute for Developmental Disabilities, International University of Health and Welfare Rehabilitation Center, Tochigi, Japan

²Graduate School of Health and Welfare Sciences, International University of Health and Welfare, Tochigi, Japan

³ATR Computational Neuroscience Laboratories, Kyoto, Japan

Key words: functional near-infrared spectroscopy, severe motor and intellectual disabilities, SMID, evaluation, outcome

Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) is a noninvasive technique that can measure cerebral activity using near-infrared light. This method allows measurement in various postures without physical restraint. Patients suffering from severe motor and intellectual disabilities (SMID) have profound motor dysfunctions and severe mental disabilities. Therefore, they have difficulty with verbal response. SMID patients' cerebral functions can be evaluated by using fNIRS. In this paper, we give an overview of how to use the fNIRS, considering intervention plans and judging the outcomes of interventions in patients with SMID. (J Jpn Coll Angiol, 2011, **51**: 241–246)