

Near-infrared spectroscopy と Heart Rate による 超重症児の嗅覚受容評価

菊池 紀彦¹・北村 京子²

超重症児に対する教育支援の手がかりを得ることを目的に、2名の超重症児を対象としてNIRSおよび心拍数変化（HRおよびHRV）から、嗅覚刺激の受容状態と覚醒水準の維持・向上についての検討を行った。

2名の超重症児は、NIRSにおいて眼窩前頭部のOxy-Hb変化に異なった結果を示した。一方で、両者とも心拍数変化（HRおよびHRV）については、有意な上昇あるいは有意な変動が認められていた。このことから、嗅覚刺激の呈示が両者の覚醒水準の上昇に寄与している可能性が考えられ、嗅覚刺激を用いた教育支援への応用の可能性が示唆された。

キーワード：超重症児、NIRS、HR、HRV、嗅覚受容

1. はじめに

人間の感覚機能は、内受容器（内臓、筋、関節）から近接受容器（皮膚、味、嗅）へ、そして遠隔受容器（視、聴）へと機能成熟が進むことが知られている（片桐・小池・北島, 1999）。濃厚医療や濃厚介護が継続的に必要とされる超重症児は、遠隔受容器（視覚や聴覚）に障害がある者が少なくない。そのため、身体接触（体性感覚）を中心とした教育支援が実施され、その知見が蓄積されてきた。最近では、重篤な呼吸機能障害を有し、表情の変化を含む身体の動きが見られない超重症児への教育的支援についての報告がみられるようになった（例えば、川住・佐藤・岡澤・中村・笹原, 2008；岡澤・川住, 2005；野崎・川住, 2012）。これらの報告は、視覚や聴覚、身体接触による働きかけを支援の中心に据えている。支援の経過から事例の口角や顎、手足の微弱な動き、皮膚の色の变化、体温、筋緊張などの変化を見だし、それを支援の糸口として周囲との相互交渉の手段とするための方略を検討しているという点において意義が大きい。しかしながら、支援に対して発現した動きが、事例にとってどれほど意図的、随意的、意識的なものかについての客観的な評価が十分ではないように思われた。そのため、上述のような諸感覚機能の客観的な評価を行うこと、とりわけ、嗅覚刺激を取り入れていくことは、超重症児に対する実証的な検討を行う上で重要であると思われる。というのは、嗅覚は体性感覚と同様に近接受容器に分類され、認知発達の初期段階において重要な役割を果たすことが指摘されているからである（片桐ら, 1999）。

本稿では、超重症児への教育支援を検討する上での基

礎的資料に資するべく、2名の超重症児を対象として嗅覚への刺激呈示による脳内の感覚受容や、覚醒水準の維持や向上について検討を行った。

2. 対象および方法

1) 対象児

病院の重症児病棟に入院する2名の超重症児（いずれも女児）を対象とした。

対象児Aは計測時14歳5ヶ月である。特別支援学校中学部に在籍しているが、離床が困難であるため病室で授業が行われている。てんかんの発作があり、低酸素性虚血性脳症と診断されている。睡眠と覚醒の区別が困難である。気管切開を行い、常時人工呼吸を装着している。胃瘻の造設をしており、超重症児スコアは29点である。閉瞼が困難であり、眼の乾燥を防ぐため眼瞼周囲はワセリンが塗布され、ラップで覆われている。視覚誘発電位（VEP）や聴性脳幹反応（ABR）は実施されていないが、主治医によると視力、聴力ともに失われているだろうとのことであった。なお、体性感覚誘発電位（SEP）についても実施されていない。

対象児Aの様子を観察していると、上半身を後ろに反らせるかのような動きや、左手親指の不随意的な動きが認められる。しかしながら、これらの動きが外界からの刺激や働きかけに対応したものかどうかについては不明である。

対象児Bは計測時16歳8ヶ月である。特別支援学校高等部に在籍しているが、離床が困難であるため病室で授業が行われている。てんかんの発作があり、低酸素性虚血性脳症と診断されている。睡眠と覚醒の区別が困難である。気管切開を行い、常時人工呼吸を装着している。経鼻胃管栄養、導尿がなされており、超重症児スコアは

1 三重大大学教育学部特別支援教育講座

2 三重大大学大学院教育学研究科教育科学専攻特別支援教育領域、三重県立盲学校

44点である。対象児Aと同様に閉瞼が困難であるため、眼はラップに覆われている。視覚誘発電位（VEP）や聴性脳幹反応（ABR）は実施されていないが、主治医によると視力、聴力ともに失われているだろうとのことであった。なお、体性感覚誘発電位（SEP）についても実施されていない。

対象児Bの様子を観察していると、額を触ると僅かではあるが首を右に傾げる様子や、右手親指の不随意的な動きが認められる。しかしながら、対象児Aと同様にこれらの動きが外界からの刺激や働きかけに対応したものかどうかについては不明である。

2) 方法

①刺激の呈示と種類

2種類の天然植物精油（ブラックペパーオイル、レモングラスオイル）を有臭刺激として使用した。また、蒸留水を無臭刺激として使用した。なお、ブラックペパーオイルの香りには、心身の加温作用があり全身の活動力を高める作用が、レモングラスオイルの香りには、精神的な疲労を緩和させる作用があることが指摘されている（佐藤・菊池・八島・勝二・尾崎, 2007）。

刺激の呈示には、アロマジュール AG 1（ミラプロ社製）を用いた。アロマジュール AG 1には、6つの香料容器とそれぞれの香料を放出する噴出口がある。そのうちの3つの香料容器にブラックペパーオイル、レモングラスオイル、蒸留水を入れ、それぞれの噴出口に接続したチューブ（長さ約 50 cm）の先端を対象児 A と B の鼻腔の入り口に固定した（写真 1）。そして、「ブラックペパーオイルと蒸留水（以下、「BP 条件」とする）」「レモングラスオイルと蒸留水（以下、「LG 条件」とする）」の組み合わせで刺激を呈示した。



写真 1 計測場面

②計測条件

Fig. 1 に計測条件のパラダイムを示した。すなわち、無臭刺激に重ねて有臭刺激を 30 秒間×3 回呈示する task 区間と、有臭刺激を呈示せず無臭刺激のみ 60 秒間×4 回呈示する rest 区間から構成された（これらの構成で 1 回の計測となる）。LG 条件、BP 条件ともに Fig. 1 に基づき、対象児 A については 5 回、対象児 B については 7 回の計測を行った。

③計測の手続き

脳血流の計測には、2 chNIRS（YN-502, エクセルオプメカトロニクス社製）を用いた。プローブを対象児の眼窩直縁上に装着、近赤外光を照射・検出し、Oxy-Hb（酸化ヘモグロビン）、Deoxy-Hb（脱酸化ヘモグロビン）、Total-Hb（総ヘモグロビン）の動態を計測した。また、脳血流の計測に加えて心拍数の変化（HR および HRV）についても計測を行った。計測にはポータブル心拍変動測定器（チェックマイハート, Daily Care BioMedical 社製のカスタマイズ品）を使用した。併せて計測中における対象児の様子をデジタルビデオカメラで撮影した。

④分析

Fig. 2-1 に脳血流のデータ分析について示した。脳血流のデータ分析については、2 chNIRS に付属の分析プログラムで行った。各条件（BP 条件、LG 条件）で計測された Oxy-Hb 波形について、task 開始前 5 秒間と task 終了後の 55~60 秒間までの 5 秒間をベースラインとし、1 回の計測における加算平均波形を算出した。その上で、有臭刺激呈示前 5 秒間（pre）および task 区間における有臭刺激 30 秒を 5 秒×6 区間に分割（s 1~s 6）し、1 要因分散分析を実施するとともに、Bonferroni 法による多重比較を実施した。

Fig. 2-2 に心拍数（HR および HRV）のデータ分析について示した。まず、各条件（BP 条件、LG 条件）の計測時間中における R-R Interval から瞬時心拍（HR）を算出した。次に、Fig. 1 に基づき、task①前 30 秒間（pre 区間）および、task①から rest④までの 270 秒間（post 区間）について、30 秒ごとの平均 HR および平均心拍変動（HRV）を算出した。その上で、pre 区間 30 秒間と、post 区間 270 秒間の HR および HRV について、paired-t 検定を実施した。

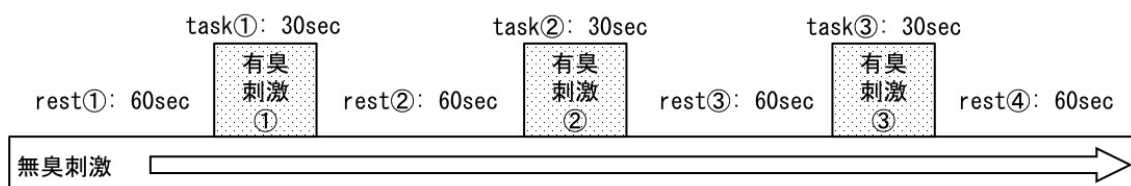


Fig. 1 測定条件

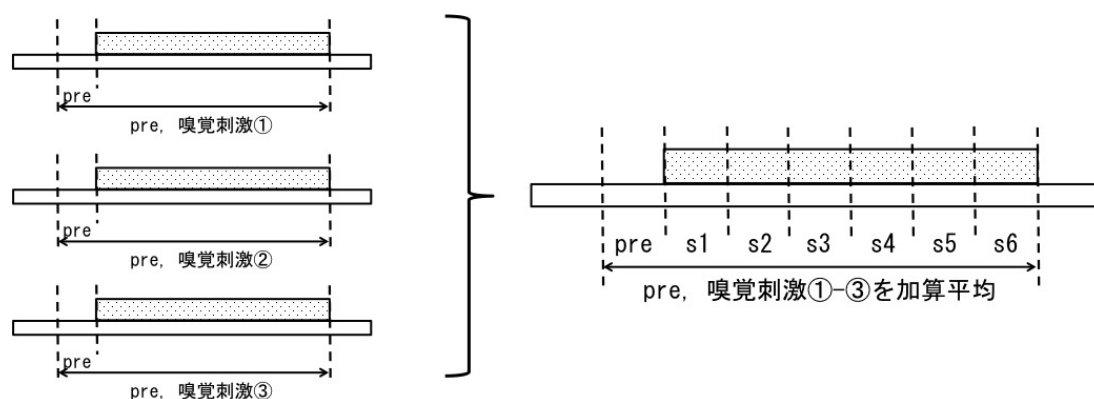


Fig. 2-1 脳血流データの分析

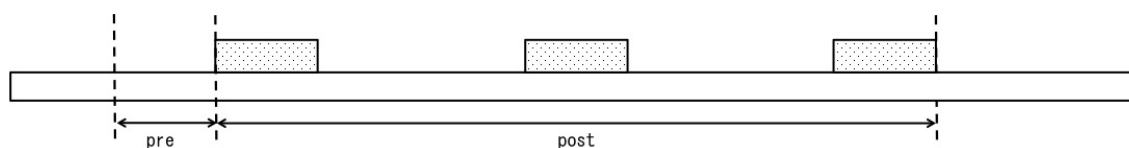


Fig. 2-2 HR のデータ分析

3. 結果

1) 対象児 A の脳血流動態および心拍数変動について

対象児 A における脳血流動態の重ね書きを Fig. 3-1-1 から Fig. 3-1-4 に示した。BP 条件 (Fig. 3-1-1、Fig. 3-1-2)、LG 条件 (Fig. 3-1-3、Fig. 3-1-4) において、それぞれ計測を 5 回実施したが、いずれの条件においても左右眼窩前頭皮質に Oxy-Hb の有意な増加は認められなかった (BP 条件 left : $F(6.00, 24.00) = 0.71$, $p > .05$; BP 条件 right : $F(3.50, 14.01) = 2.89$, $p > .05$; LG 条件 left : $F(6.00, 24.00) = 1.44$, $p > .05$; LG 条件 right : $F(2.24, 8.97) = 1.74$, $p > 0.5$)。

また、HR および HRV の変化について、Fig. 3-2-1 から Fig. 3-2-4 に示した。BP 条件 (Fig. 3-2-1、Fig.

3-2-2)、LG 条件 (Fig. 3-2-3、Fig. 3-2-4) において、刺激呈示中の HR 上昇が認められた。そのため、pre 区間 30 秒間と post 区間 270 秒間について、それぞれの条件ごとに paired-t 検定を実施した結果、有意差が認められた (BP 条件 HR : $t(4) = -7.7$, $p < .01$; LG 条件 HR : $t(4) = -5.3$, $p < .01$)。同様に、HRV についても paired-t 検定を実施した結果、有意差が認められた (BP 条件 HRV : $t(4) = -13.42$, $p < .01$; LG 条件 HRV : $t(4) = -22.67$, $p < .01$)。

なお、計測中の対象児 A の様子について、映像記録を確認したところ、嗅覚刺激呈示中に、体を後ろに反り返らせるような動きや、左手母指を僅かではあるが動かす様子が観察された。

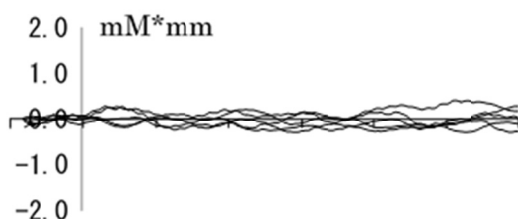


Fig. 3-1-1 BP 条件 (left) の Oxy-Hb 波形

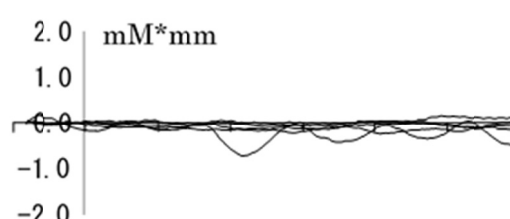


Fig. 3-1-2 BP 条件 (right) の Oxy-Hb 波形

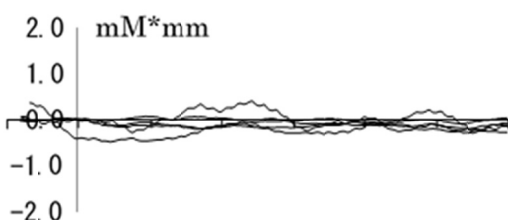


Fig. 3-1-3 LG 条件 (left) の Oxy-Hb 波形

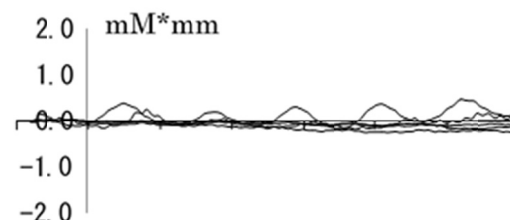


Fig. 3-1-4 LG 条件 (right) の Oxy-Hb 波形

2) 対象児 B の脳血流動態および心拍数変動について

対象児 B における脳血流動態の重ね書きを Fig. 4-1-1 から Fig. 4-1-4 に示した。BP 条件 (Fig. 4-1-1、Fig. 4-1-2)、LG 条件 (Fig. 4-1-3、Fig. 4-1-4) において、それぞれ計測を 7 回実施したところ、BP 条件、LG 条件ともに 7 回中 4 回の計測において右眼窩前頭皮質に Oxy-Hb の有意な増加が認められた (BP 条件 right : $F(6.00, 18.00) = 102.91, p < .05$; LG 条件 right : $F(1.61, 4.82) = 35.79, p < .05$)。また、Bonferroni 法による多重比較の結果、BP 条件 right においては、s 1~s 6 の全区間が pre に対し有意に高いことが認められた ($p < .05$)。一方、LG 条件 right においては、s 4~s 6 区間が pre に

対し有意に高いことが認められた ($p < .05$)。

次に、HR および HRV の変化について、Fig. 4-2-1 から Fig. 4-2-4 に示した。右眼窩前頭皮質に Oxy-Hb の有意な増加が認められた 4 回の計測において、HR の上昇が認められた。そのため pre 区間 30 秒間と post 区間 270 秒間について、それぞれの条件ごとに paired-t 検定を実施した結果、有意差が認められた (BP 条件 HR : $t(3) = -5.66, p < .01$; LG 条件 HR : $t(3) = -16.29, p < .01$)。同様に HRV についても paired-t 検定を実施した結果、有意差が認められた (BP 条件 HRV : $t(3) = -5.66, p < .01$; LG 条件 HRV : $t(3) = -20.79, p < .01$)。

なお、計測中の対象児 B の様子について、映像記録を

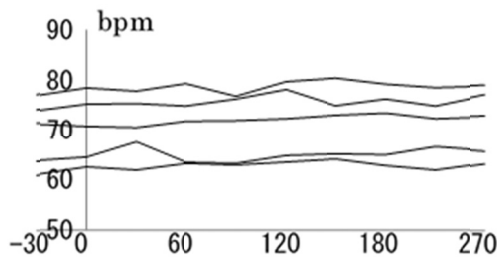


Fig. 3-2-1 BP 条件 (left) の HR 変化

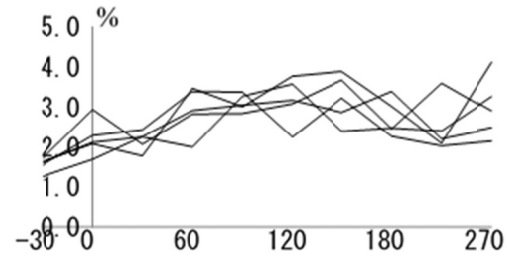


Fig. 3-2-2 BP 条件 (left) の HRV 変化

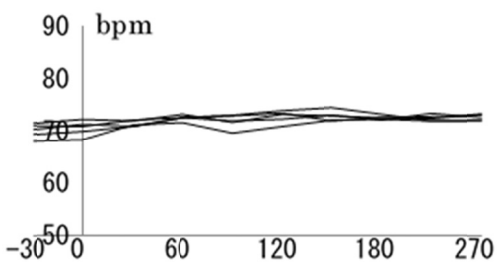


Fig. 3-2-3 LG 条件 (right) の HR 変化

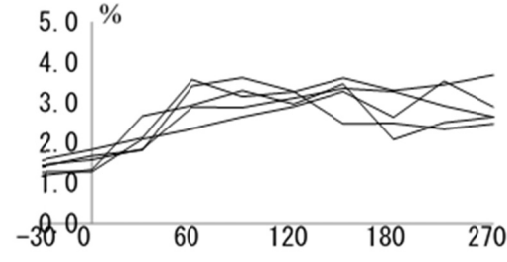


Fig. 3-2-4 LG 条件 (right) の HRV 変化

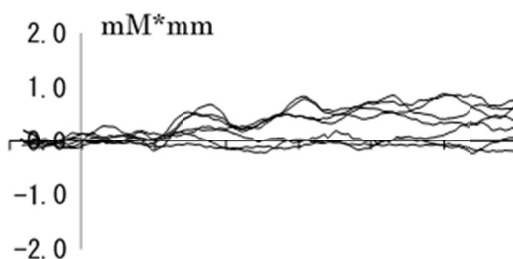


Fig. 4-1-1 BP 条件 (left) の Oxy-Hb 波形

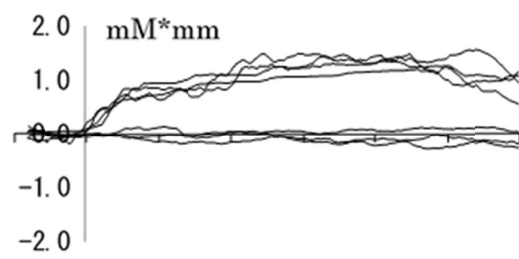


Fig. 4-1-2 BP 条件 (right) の Oxy-Hb 波形

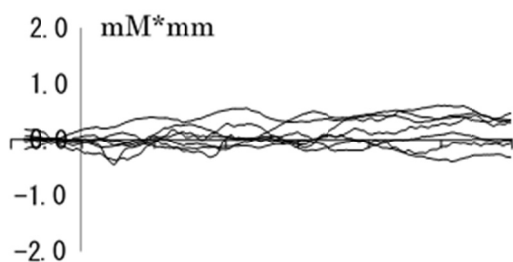


Fig. 4-1-3 LG 条件 (left) の Oxy-Hb 波形

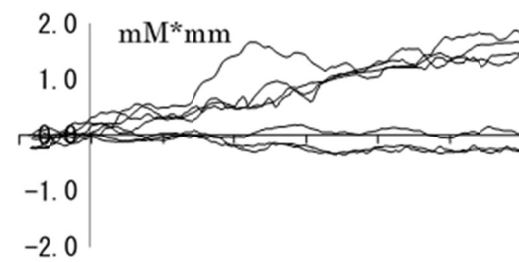


Fig. 4-1-4 LG 条件 (right) の Oxy-Hb 波形

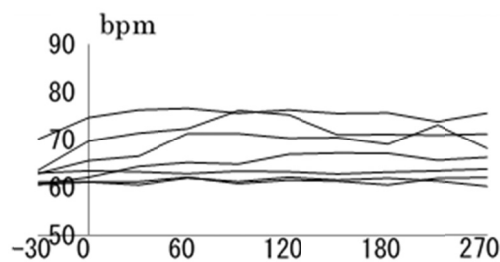


Fig. 4-2-1 BP 条件 (left) の HR 変化

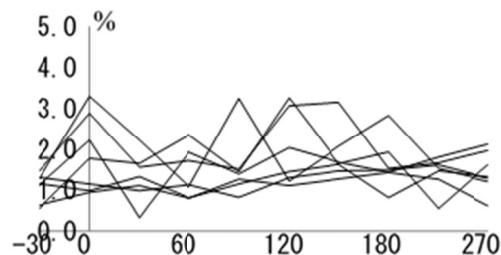


Fig. 4-2-2 BP 条件 (left) の HRV 変化

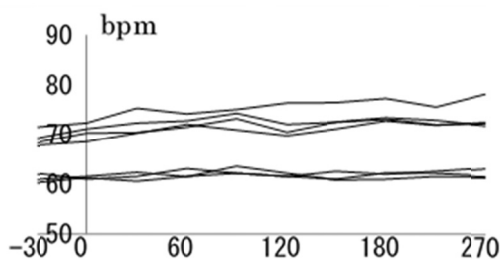


Fig. 4-2-3 LG 条件 (right) の HR 変化

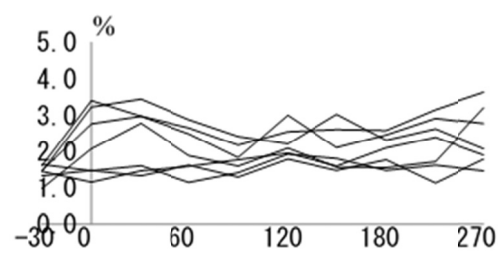


Fig. 4-2-4 LG 条件 (right) の HRV 変化

確認したところ、嗅覚刺激呈示中に、僅かではあるが首を右に傾ける動きが観察された。

4. まとめと今後の課題

今回は 2 名の超重症児を対象に、嗅覚への刺激呈示が脳内の感覚受容の亢進や、それに伴う覚醒水準への影響について、2 chNIRS および HR、HRV から検討を行った。

まず、嗅覚刺激の呈示後に眼窩前頭部における Oxy-Hb の有意な増加や、HR 水準の有意な上昇、さらには HRV の有意な変動が認められた対象児 B について取り上げる。嗅覚刺激の呈示に伴う Oxy-Hb の有意な上昇は、健常成人の嗅覚応答の様相 (Ishimaru, T., Yata, T., Horikawa, K., & Hatanaka, S., 2004; Shoji, H., Sato, N., & Ozaki, H., 2007) と同様の結果を示していたことから、対象児 B の嗅覚情報の受容を反映していたと考えられる。また、HR 水準の有意な上昇や、HRV の有意な変動が認められたことから、覚醒水準の上昇にも寄与していることが考えられた。

一方、対象児 A については、嗅覚刺激の呈示後、眼窩前頭部における Oxy-Hb の有意な増加は認められなかった。睡眠中の嗅覚刺激の受容については、嗅皮質における感覚ゲーティングが情報を効率的に伝達しないこと、その背景には、脳幹や前脳基底部が嗅皮質の情報処理モードをコントロールしていることが指摘されている (Murakami, M., Kashiwadai, H., Kirino, Y., Mori, K., 2005)。また、人間の覚醒水準は、脳幹網様体賦活系の作用下にあることが指摘されている (片桐ら, 1999)。対象児 A は常時人工呼吸器の管理下にあり、脳幹水準

にまで及ぶ重篤な脳障害を有している可能性が高く、睡眠と覚醒の区別が困難であるため、「超重症児分類」(大村, 2004) に基づけば「1」の昏睡状態に該当する。こうした点を考慮すれば、嗅覚刺激の情報が、眼窩前頭部に伝達されていない可能性がある。

しかしながら、HR 水準の有意な上昇や HRV の有意な変動が認められていたことから、嗅覚刺激の呈示が対象児 A の覚醒水準の上昇に何らかの影響をもたらしていた可能性は否定できない。今回の 2 chNIRS 計測は、脳波測定で行う 10-20 法に基づいて実施した。超重症児は脳に構造的な変容がみられることが多いとの指摘もあり (小林・大村・菊池・八島・尾崎・土屋, 2008)、今後は MRI 画像の検証も踏まえた上で、嗅覚刺激の感覚受容と覚醒水準との関係について検討を行う必要がある。

今回対象とした 2 名の超重症児は、嗅覚刺激に対する眼窩前頭部の Oxy-Hb の変化について、異なった結果を示した。一方で、両者とも HR 水準の有意な上昇や HRV の有意な変動が認められていた。ただし、対象児 A、対象児 B の HRV 変動値は 1 %~3 % 台で推移しており、健常乳幼児の HRV 変動値 (3 %~4 % 台) (片桐ら, 1999) と比較すると低い値であった。この低さは、人工呼吸器による影響や、重篤な脳障害に起因している可能性があると考えられる。こうした状況のなかでも、嗅覚刺激の呈示が対象児 A、対象児 B の覚醒水準の上昇に寄与している可能性が認められたことは、超重症児に対する教育支援への応用の可能性が示されたという点において一定の意義があろう。ただし、嗅覚刺激の呈示の伴う行動表出との関連が不明であるため、今後さらなる検証が必要である。

文 献

- Ishimaru, T., Yata, T., Horikawa, K., & Hatanaka, S.
(2004) Near-infrared spectroscopy of the adult human olfactory cortex. *Acta Oto-Laryngologica. Suppementum*, 553, 95–98.
- 片桐和雄・小池敏英・北島善夫（1999）重症心身障害児の認知発達とその援助ー生理心理学的アプローチの展開ー. 北大路書房.
- 川住隆一・佐藤彩子・岡澤慎一・中村保和・笹原未来（2008）応答環境下における超重症児の不随意的微小運動と心拍数の変化について. 特殊教育学研究, 46, 81–92.
- 小林康子・大村清・菊池紀彦・八島猛・尾崎久記・土屋滋（2008）超重症児の嗅覚反応ー近赤外線光トポグラフィー（NIRS）による検討. 脳と発達, 40, 176.
- Murakami, M., Kashiwadai, H., Kirino, Y., & Mori, K.
(2005) State-dependent sensory gating in olfactory cortex. *Neuron*, 46, 285–296.
- 野崎義和・川住隆一（2012）最重度脳機能障害を有する超重症児の実態理解と働きかけの変遷ー心拍数指標を手がかりとしてー. 特殊教育学研究, 50, 105–114.
- 岡澤慎一・川住隆一（2005）自発的な身体の動きがまったく見いだされなかった超重症児に対する教育的対応の展開過程. 特殊教育学研究, 43, 203–214.
- 大村清（2004）難病主治医の立場から. 小児看護, 27, 1249–1253.
- 佐藤記子・菊池紀彦・八島猛・勝二博亮・尾崎久記（2007）近赤外線光トポグラフィーからみた超重症児の嗅覚応答. 日本特殊教育学会第45回大会発表論文集, p 569.
- Shoji, H., Sato, N., & Ozaki, H. (2007) Neural activation due to olfactory stimulation measured by near- infrared spectroscopy. *Brain mapping research developments*, 1–9.