近赤外分光法（near-infrared spectroscopy: NIRS）を用いたポリグラフ検査の可能性

Investigating the Concealed Information Test（CIT）Incorporating Near-Infrared Spectroscopy（NIRS）

桐生　正幸　Masayuki KIRIU
軽部　幸浩*[1]　Yukihiro KARUBE
石岡　綾香**[1]　Ayaka ISHIOKA
蘇　雨青***[2]　Yuqing SU
石橋　加帆****[2]　Kaho ISHIBASHI
小林　綾乃*****[2]　Ayano KOBAYASHI

はじめに

日本の犯罪捜査場面にて、いくつかの心理学的手法が応用されている。

犯罪者の属性や行動、生活拠点などを統計的に推定する「犯罪者プロファイリング」、目撃証言の研究や取り調べにおける「認知面接法」、そして「ポリグラフ検査」である。このポリグラフ検査は、現在、生理反応を測定して記憶再認テストを行う心理検査と定義づけられている（桐生、2017）。

この検査の主要な質問方法は、隠匿情報検査（Concealed Information Test, CIT）である（小川・松田・常岡、2013）。対象事件の犯人でなければ知り得ない犯罪事実に関する質問１項目（裁決項目）と、それに類似した質問４項目から６項目（非裁決項目）によって構成された質問表を用いて検査が行われる。実務場面にて測定されている生理反応は、皮膚コンダクダンス反応（SCR）、呼吸、心拍数（HR）、規準化脈波容積（NPV）などの末梢神経系である。各質問に対する各反応の挙動を比較し判定が行なわれるが、被検査者が裁決項目を知っている場合、非裁決項目と比較し SCR は増大、HR と NPV は低下、呼吸は抑制、といった変化がみられることが確認されている（廣田・小

*軽部幸浩　日本体育大学
**石岡綾香　駒澤大学
***蘇　雨青　東洋大学大学院社会学研究科
****石橋加帆　東洋大学大学院社会学研究科
*****小林綾乃　東洋大学大学院社会学研究科

1　実験計画の立案、及び生理反応測定用の機材搬入・操作などを行った。
2　実験補助を行った。

川・松田、2009）。

CIT の平均検出率（Hit 率）について、実験室実験における分析結果として83.9％（Ben-Shakhar & Furedy、1990）、88.2%（Lykken、1998）などが報告されている。小川ほか（2013）は、現在、日本にて使用されている TEAC 製ポリグラフを用いた模擬窃盗課題による実験において、感度（犯人役で裁決項目を知っていると判定された事例）は86%、特異度（無実役で裁決項目を知らないと判定された事例）は95%との結果を報告している。加えて、小川・松田・常岡（2014）は、犯罪捜査場面での実務検査についても同様の分析を行い、感度は95.3%、特異度は96.0%であったことを報告している。以上のように、CIT の検出成績は極めて良く、各生理反応の発現形態が明確であり、その信頼性と妥当性は実験により検証可能であり高いものと評価されている。日本の公判廷では、いくつもの検査結果が証拠として採用されている（山岡、2000；三井、1998）。一方、実験室実験の結果よりも実務検査の結果が優れていることもうかがわれる。

犯罪捜査場面における CIT の発現機序として、記憶再認に伴う刺激弁別と隠蔽の意図が反映されるものと考えられている。そして、実験室実験による CIT と異なる点は、隠蔽の意図の程度に差があることが予測されている（桐生、2017）。松田（2016）は、主に実験室実験での中枢及び末梢による CIT 研究を総括し、記憶を隠している時の生理反応としてのモデルを提案している。裁決項目を記憶している場合、①非裁決項目との差異から、裁決項目に関する情報収集が行われ、隠さなければならない刺激であると判断されると、そのための行動準備に伴い SCR が増大する、②これら過程を隠すため、自身の生理反応をモニターし制御する結果の一部として呼吸の抑制が起こる、とするモデルである。このモデルは、犯罪捜査場面における CIT の生理反応の挙動にも矛盾しないものと評価される（桐生、2017）が、その確認は実務検査時における末梢神経系と中枢神経系の同時測定方法の確立とデータ集積が必須である。すなわち、犯罪捜査場面における CIT の発現機序に関し、実務レベルでの中枢神経系の同時測定による分析が必要であり、実証的説明が求められるものと言えよう。

この課題を解決するうえで、中枢神経系の測定において比較的測定が簡便な「光イメージング脳機能測定装置：Spectratech OEG-16ME」（(株)スペクトラテック社製）により、前頭部のヘモグロビンの吸光特性変化にともなう生体情報を測定する近赤外分光法（near-infrared spectroscopy：以下 NIRS と呼称する）にて、末梢神経系と同時測定することは意義深い。この測定装置は小型であり、頭部に装着するセンサー部も軽量で装着に伴う痛感もほとんどない。また、これにより、ヘモグロビン（Hb）が酸素との結合状態によって変化する近赤外光から赤光近辺での吸光特性を利用し、前頭内の浅い部分における血液量変化を多チャンネルにて同時計測することができる。

この NIRS を用いたポリグラフ検査の研究として、３刺激オドボール課題を用いた Sai, Zhou, Ding, Fu, & Sang（2014）の実験がある。この研究により、ポリグラフ検査における NIRS の有効性が示されたが、現在の犯罪捜査場面における CIT では裁決質問と非裁決質問の２刺激課題であり、ターゲット刺激を含む３刺激オドボール課題が用いられることはない。従って、CIT による実務場面での効果が明らかにされていない。

これに対し新岡（2018）は、仮想犯罪シナリオを用いた CIT パラダイムによる実験を行い、裁決質問と非裁決質問の前頭領域における脳血流動態反応に、差異があることを明らかにした。そして、CIT の発現機序に伴う記憶情報の隠蔽の意図が、大脳前頭前野の飽和酸素（SpO_2）を測定することで明らかになるのではないかと示唆している。ただし、この研究では NIRS 計測のみであり、従来の末梢神経系の指標との同時測定は行われていない。

そこで、本研究では実務検査時の CIT における末梢神経系と中枢神経系の同時測定方法を検討するために、皮膚伝導反応（skin conductance response：以下 SCR と呼称する）と NIRS を測定指標とした実験を行うものとする。

目　的

本研究の最終的な目的は、CIT を検査手法とする実務ポリグラフ検査において、従来の生理指標の測定に加え NIRS の同時測定が可能かどうか、実験結果同様に NIRS が新たな生理指標として運用が可能かどうかを検討する研究である。そこで本報告では、実際の犯罪捜査場面に使用される CIT パラダイムに準じたカードテストを用いて、SCR と NIRS との測定が適正に行われるかどうかを、まず検討することとする。

方　法

実験参加者

東洋大学の学生17名（男子２名、女子15名、平均19.5歳、SD=1.07）が参加した。

全員正常な視力あるいは矯正視力であり、日本語を日常的に使用していた。実験参加者は、口頭と書面による実験内容の説明を受け、また実験が開始されてから、気分がすぐれなくなった場合などには、途中で参加を拒否できることも告げられた。以上のことが充分に理解されたことを再度確認した後、同意書に署名をしてもらった。

なお本研究は、東洋大学大学院社会学研究科における研究倫理委員会の審査を受け、研究実施の承認を得たものである。

測定装置

１）NIRS：６つの光射出部と６つの光受光部を用いた16チャネルの NIRS システム（SpectraTech OEG-SpO_2、日本）を使用して脳血流変化を測定した。それぞれの光射出部と光受光部は、469㎜×60㎜のセンサーバンドに６×２で配置され、前頭前領域における16のチャネル内の酸素化ヘモグロビ

ン変化（ΔCoxy）、脱酸素化ヘモグロビン変化（ΔCdeoxy）が測定された。センサーバンドの配置は、バンドの中心が Fpz の位置になるように装着した。光射出部と光受光部のセンサー間は30㎜であり、頭蓋骨から15-25㎜の深さの神経活動が測定可能である（図１）。

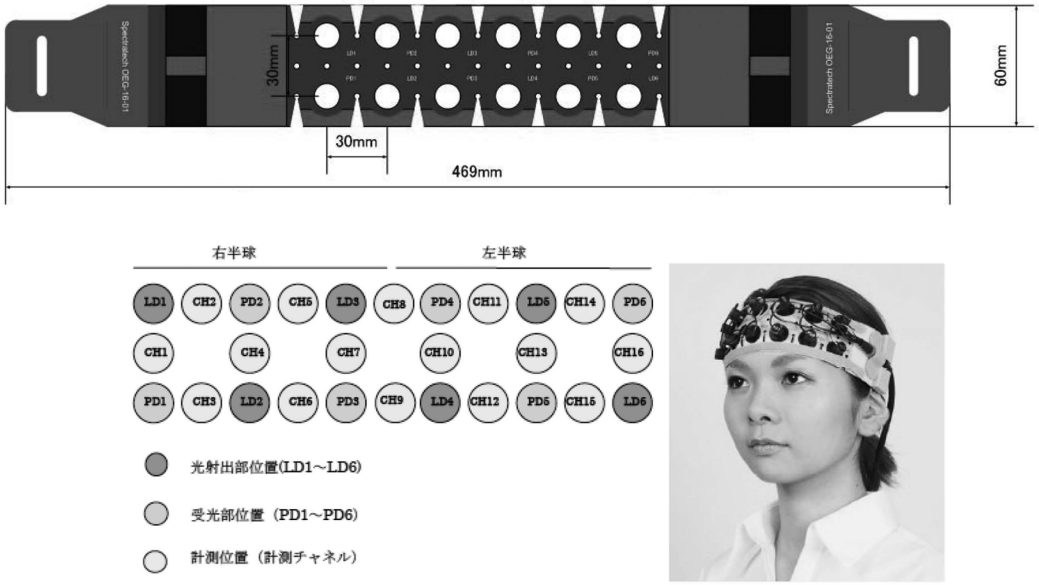


図１　計測チャネルとセンサーバンド
（(株)スペクトラテック社製 Spectratech OEG-16ME、OEG-SpO_2 取扱説明書より）

NIRS 測定に使用した近赤外光の波長は、840nmと770nmの２波長を使用し、特定波長λの生体への入射光のうち、生体内で吸収と散乱を受けて生体外に戻ってきた光量とその変化量を Iout（λ）とΔIout（λ）、オキシヘモグロビン（OxyHb）の吸光係数をεoxy（λ）、デオキシヘモグロビン（DeoxyHb）の吸光係数をεdeoxy（λ）、OxyHb の濃度変化をΔCoxy、DeoxyHb の濃度変化をΔCdeoxy とし、修正ランベルト・ベールの法則（modified Lambert-Beer law）によりヘモグロビン変化[1]に変換した。変換により得られたヘモグロビン変化は、光路長が規定できないので光路長を含んだままのmM・㎜（ミリモル・ミリメートル）の単位で記録され、0.76Hz（Fine mode）の分解能でサンプリングされた。

２）末梢系神経の活動：データの記録は、生理指標（SCR：EDA ユニット（AP-U030）、呼吸：センサー（AP-C034）・呼吸アダプター（AP-U033）、脈波：AP-C030）を、ポリグラフ（Polymate

1　SpectraTech OEG-SpO_2のヘモグロビン変化の正確な表現としては、みかけのヘモグロビン濃度変化光路長積（The product of change in the apparent Hb concentration and the optical pathlength）である。そのため、本論文では、簡略化した記号表現としては、酸素化ヘモグロビン変化をΔCoxy･L、脱酸素化ヘモグロビン変化ΔCdexoy･L として使用する。

Pro：MP6000、みゆき技研、日本）を経由してノートパソコン（NEC VersaPro VJT23F-1）の専用ソフト（AP Monitor Pro Ver. 1.00E）により、サンプリング周波数1000Hzで磁気記録した。今回、分析対象とした SCR は実験参加者の非利き手の第２指と第４指の２節に電極を装着し、EDA ニットを経由してポリグラフに接続した。呼吸は、腹部に空気圧式センサーを装着し、呼吸アダプターを経由してポリグラフに接続した。脈波は非利き手の第３指末節に電極を装着し、直接ポリグラフに接続した。

実験手続き

実験参加者は実験への参加に同意した後、NIRS センサーの装着をおこなった。センサーの装着を最初におこなった理由は、センサーが生体温度になじむまで約15分程度の時間を要するからである。その間に、末梢神経系指標となる、SCR、呼吸、HR（脈拍）のピックアップを装着した。15分ほどのエージング時間が経過した後、実験参加者には各１字が記載された５枚のカード（２、３、４、５、６）を見せて１枚だけ選ぶように伝え、その際に実験者には選んだカードが見えないようにして、よく数字を覚えてもらうように指示した。選んだカードの確認が終わったら、そのカードを実験参加者の近くにあるテーブルに数字が見えないようにして、空いている方の手で隠してもらった。選ばなかったカードは実験参加者の見える位置のテーブルの上に置いた。なお、この実験手続きは CIT に準ずるカードテストと呼称されるものである。

教示の内容は次の通りである。

『これから、あなたが選んだ「２」「３」「４」「５」「６」のいずれかのカードに対して、どのような生理反応が出るかを確認します。私が、「あなたが、今選んだカードは○ですか」と尋ねますので、あなたは「いいえ」と、全てに対し答えてください。質問の間は、出来るだけ体を動かさないようにしてください。器材の調子と、あなたの反応傾向を見るための検査なので、緊張しないで、ゆったりとした気持ちで実験に参加してください。何か、質問はありますか？』

実験参加者の生体反応が落ちつくのを見計らってから実験を開始した。質問の呈示方法は、実験参加者の後方より実験者の一人が肉声にて、『あなたが、今選んだカードは○○ですか？』と質問し、そのタイミングで測定機器にマーカーを入れた。質問は５つのカードの質問を１セットとして、５セット行った（図２）。すなわち、25試行（５質問項目×５セット）であり、また各文字の口頭による質問はランダム呈示とした。

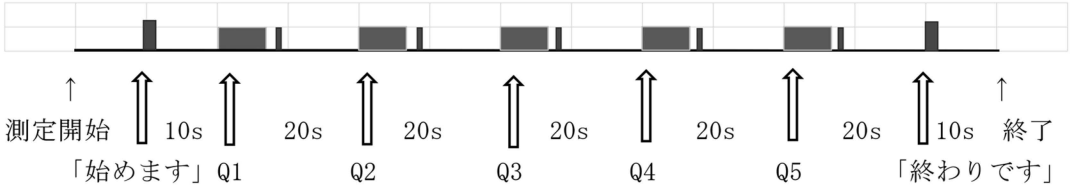


図２　質問の呈示間隔

全ての質問が呈示後、センサーバンドを取り外し、デブリーフィングを実施してから実験を終了した。

データの前処理

従来の NIRS を用いた研究では、oxyHb 濃度変化が脳血流反応の鋭敏な指標であると報告されている（Lu, Zhang, Biswal, Zang, Peng, & Zhu、2010；Sai, et.al.、2014）。また、deoxyHb 濃度変化よりも oxyHb 濃度変化について、嘘をついた場合と真実を返答した場合で異なる様相があると報告されている（Tian, Sharman, Kozel, & Liu、2001）。そこで今回は、ΔCoxy･L に着目して検討をおこなった。

はじめに実験参加者ごとに、全16チャネルの測定記録から質問呈示時のマーカーをトリガーとして質問呈示時のブロックごとにデータを取り出した。左半球の測定センターと右半球の測定センサーに分け、左右の半球のチャネルごとに刺激呈示前1300msの平均値を基準として、刺激呈示後20秒間までのΔCoxy･L の最大値の平均値と標準誤差を算出した。

なお、この平均値と標準誤差を基にして、逸脱しているΔCoxy･L をデータ分析の対象から除外した。

末梢神経系指標については、今回、SCR についてのみ言及する。SCR は質問呈示後0.5秒～５秒以内に立ち上がる波形の最大変化値を SCR 振幅として算出し、１を加えて log 変換をおこなった。

結果と考察

末梢神経系：SCR

図３は非裁決質問と裁決質問の平均 SCR 振幅の結果である。

非裁決質問に比べ裁決質問に対して大きな振幅の SCR が生じていた。非裁決質問と裁決質問に関して対応のある t 検定をおこなったところ、有意な差が認められた（$t_{(16)}$=3.532、p<.001、d=0.5601）。

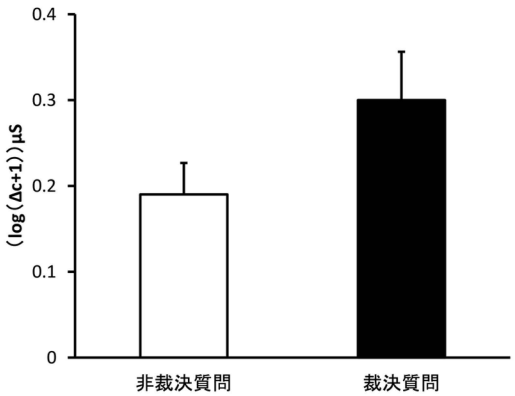


図３　非裁決質問と裁決質問の平均 SCR 振幅

NIRS:ΔCoxy･L の最大値の比較

チャネルごとに刺激呈示前1300msの平均値を基準として、刺激呈示後20秒間までのΔCoxy･L の最大値について、非裁決質問と裁決質問で平均値を求めた（図４～図８）。

図４は、前頭前領域におけるΔCoxy･L の最大値について、図示したものである。非裁決質問呈示時よりも裁決質問呈示時のΔCoxy･L 最大値が有意に大きいことが認められた（$t_{(16)}$=2.40、p<.05、d=0.4655）。

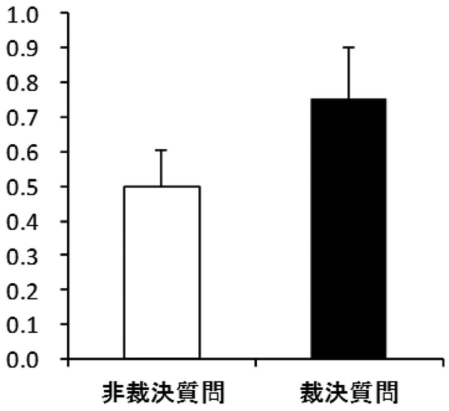


図４　非裁決質問と裁決質問の
ΔCoxy･L の最大値（両半球）

図５は、左半球のチャネルにおけるΔCoxy･L の最大値について、図示したものである。非裁決質問呈示時よりも裁決質問呈示時のΔCoxy･L 最大値が有意に大きいことが認められた（$t_{(16)}$=1.819、p<.05、d=0.3491）。また、図６は右半球のチャネルにおけるΔCoxy･L の最大値について、図示したものである。非裁決質問呈示時よりも裁決質問呈示時のΔCoxy･L 最大値が有意に大きいことが認められた（$t_{(16)}$=1.793、p<.05、d=0.2971）。

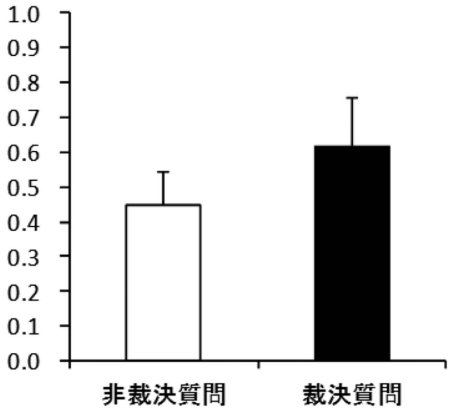


図５　非裁決質問と裁決質問の
ΔCoxy･L の最大値（左半球）

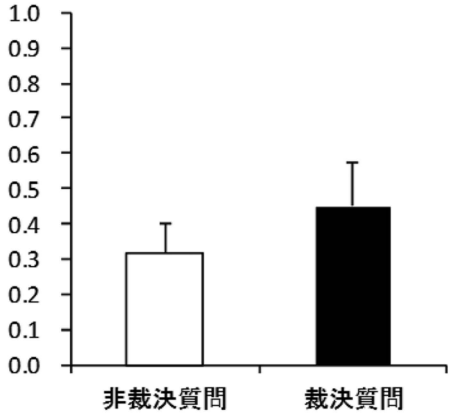


図６　非裁決質問と裁決質問の
ΔCoxy･L の最大値（右半球）

本研究では、実際の犯罪捜査場面を想定した状況での末梢神経系主体のポリグラフ検査（CIT）に

て、中枢神経系を反映している NIRS が同時測定することで適正に行われるかどうかを検討した。その結果、① SCR において裁決質問での反応が非裁決質問の反応よりも有意に大きく、従来の知見を支持する結果であったこと、②同時に、NIRS において前頭前領域における ΔCoxy･L の変化が、裁決質問での変化が非裁決質問での変化よりも大きかったこと、がそれぞれ確認された。これより、通常のポリグラフ装置に光イメージング脳機能測定装置（Spectratech OEG-16ME）を加え、末梢神経系と中枢神経系との同時測定による CIT 検査が可能であることが示唆された。互いの測定装置が干渉することなくデータ記録をおこない、選択したカード文字の検出、すなわち CIT による裁決項目の検出が示されたことになる。

先行研究において、前頭前領域における ΔCoxy･L の変化が、非裁決質問よりも裁決質問の変化が大きいということが報告されている（Sai ら、2014）。今回の実験は、CIT パラダイムに準ずるカードテストであり、CIT と比較し隠蔽の意図がそれほど強くないと予測されたが、末梢神経系および NIRS に関し裁決質問での反応が非裁決質問の反応よりも有意に大きく、従来の知見を支持する結果となった。このことは、NIRS の実務検査への導入の意義を高めたものと評価されよう。

さて、fMRI を用いた CIT による実験結果では、右前頭前野腹外側部の賦活が事実に関する情報の有無を判断するうえで重要であることが指摘されている（Nose, Murai, & Taira、2009）。CIT を用いた NIRS による左右差の検討は未だなされていないが、例えばストループテスト実行中の NIRS を測定した実験においては、酸化ヘモグロビン変化量について左右差が認められたという報告がされている（池田・池田・塩崎・平安、2016）。新岡（2018）が、NIRS における裁決質問と非裁決質問の脳血流動態反応の差異を生じさせる要因として、隠蔽の意図の重要性を示唆しているが、CIT の発現機序を検討するうえで、今後、前頭前領域の左右半球差を検討することは重要と考えられる。

以上、新しい指標としての NIRS の利用可能性について、さらに研究を進めて必要が肝要であろう。

参考文献

Ben-Shakher, G. & Furedy, J. J.（1990）. Theories and Applications in the Detection of Deception. New York: Springer-Verlag.

廣田昭久・小川時洋・松田いづみ・高洋則美（2009）．隠匿情報検査時に生じる自律神経系反応の生起機序モデル．生理心理学と精神生理学．27⑴17-34

池田東香・池田英二・塩崎一昌・平安良雄（2014）２チャンネル近赤外分光法を用いて前頭前課題実行中の前頭前野の活性と５因子性格モデルの関連性．精神神経学雑誌、118⑵、65-69.

桐生正幸（2017）．日本におけるポリグラフ検査の変遷―犯罪事実の記憶．隠蔽の意図―行動科学、56⑴.31-42.

Lu, C.M., Zhang, Y.J., Biswal, B.B., Zang, Y.F., Peng, D.L., & Zhu, C.Z.（2010）. Use of fNIRS to assess resting state functional connectivity. Journal of neuroscience methods. 186⑵、242-249.

Lykken, D.T.（1998）. A tremor in the blood:Uses and abuses of the lie detector.（２nd Edition）. New York:Plenum Press.

松田いづみ（2016）．隠すことの心理生理学:隠匿情報検査からわかったこと．心理学評論、59、162-181.

三井誠（1998）．ポリグラフ検査　法学教室、209、90-96.

新岡陽光（2018）．近赤外分光法を用いた虚偽検出：情報秘匿意図の影響に関する検討．法政大学大学院紀要⑻、43-54、2018.

Nose, I., Murai,J., & Taira, M.,（2009）. Disclosing concealed information on the basis of cortical activations NeuroImage.44⑷、1380−1386.
小川時洋・松田いづみ・常岡充子（2013）. 隠匿情報検査の妥当性：記憶検出技法としての正確性の実験的検証. 日本法科学技術学会誌、18、35−44.
小川時洋・松田いづみ・常岡充子（2014）. 隠匿情報検査の生理反応―フィールドデータの分析―. 日本心理学会第78回大会発表論文集、537.
Sai, L., Zhou, X., Ding, X. P., Fu, G., & Sang, B.（2014）. Detecting Concealed Information Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. Brain Topography, 27, 652−662.
Tian, F., Sharman, V., Kozel, F. A., & Liu, H.（2009）. Functional near-infrared spectroscopy to investigate hemodynamic responses to deception in the prefrontal cortex. Brain research, 1303, 120−130.
山岡一信（2000）. 公判廷での証拠能力　平伸二・中山誠・桐生正幸・足立浩平（編）ウソ発見：犯人と記憶のかけらを探して　北大路書房　pp.101−109.

【Abstract】

Investigating the Concealed Information Test (CIT) Incorporating Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)

Masayuki KIRIU
Yukihiro KARUBE
Ayaka ISHIOKA
Yuqing SU
Kaho ISHIBASHI
Ayano KOBAYASH

The application of near-infrared spectroscopy (NIRS) is gaining ground in clinical monitoring of tissue oxygenation. Furthermore, NIRS is also being employed in human brain mapping, in which field it is referred to as functional near-infrared spectroscopy (NIRS). In Japanese criminal investigations, police officers conduct polygraph tests in order to judge whether suspects tell the truth or lie on the basis of their peripheral nervous reactions. Peripheral nervous system reactions are rooted in central nervous system reactions. Therefore, functional brain imaging techniques are also useful in detecting lies or concealments. NIRS has great advantages over other techniques when we apply it to real criminal investigations. In this study, the effects of the intention to conceal the information on cerebral hemodynamic responses during the Concealed Information Test (CIT) were investigated using near-infrared spectroscopy. A card test of the CIT was conducted with seventeen participants, who were asked to conceal the number of the selected card. During the questions—some relevant to the crime and others not—cerebral hemodynamic responses of their prefrontal regions and autonomic indexes were measured. It was found that skin conductance response and the concentrations of oxygenated hemoglobin significantly increased during crime-relevant questions.