

中枢および自律神経系情報に基づく 複合型ニューロフィードバックによる注意機能訓練系の開発

研究者 成蹊大学理工学部 准教授 櫻田 武

〔研究の概要〕

本研究では、ヒトの注意機能向上を目的とした、ニューロフィードバックによる訓練システムの開発を目指した。特に、訓練効果を高めるための手段として、中枢神経系における脳活動に加え、心理状態を反映する自律神経系における心拍変動も解析対象とした、複合型のシステム構築を試みた。具体的には、訓練中の注意状態を推定するための生体信号として、定常状態感覚誘発電位と呼ばれる律動的脳波に着目した。一方、心理状態(訓練中のストレス状態)を推定するための生体信号として、心拍変動に着目した。以上の生体信号をリアルタイムに解析するニューロフィードバック訓練システムを構築し、自律神経系情報がニューロフィードバック訓練の効果向上に寄与しえることを見出した。

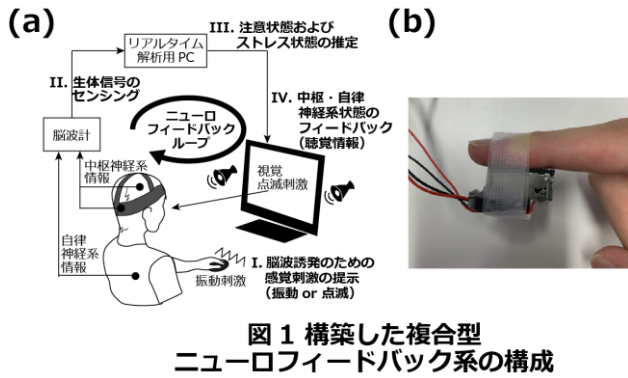
〔研究経過および成果〕

「注意」とは、神経系に入力される様々な感覚情報(視覚や体性感覚などの五感情報)を取捨選択し、その時の状況に応じて一部の情報を優先的に処理するフィルターの役割を担う認知機能を指す。このような注意機能を訓練するための神経科学的手法として、ニューロフィードバックと呼ばれる技術があるが、この技術を利用した訓練においては、その効果に個人差が大きいことが指摘されている。本研究では、このようなニューロフィードバック訓練効果差を克服するための手段として、訓練中における心理状態(ストレス状態)がモニターできる複合型ニューロフィードバック訓練システムの構築を試みた。

開発した複合型ニューロフィードバック訓練系において、訓練者の注意状態は定常状態体性感覚誘発電位 (Steady-state somatosensory evoked potentials: SSSEP)あるいは定常状態視覚誘発電位 (Steady-state visual evoked potentials:

SSVEP)と呼ばれる脳波を利用した。これらの脳波は感覚刺激が提示された際に、低次感覚野で観察される脳波であり、感覚刺激に注意を向けると応答が強くなる特性を持つ。本システムでは、このような該当脳波の応答強度の変化をリアルタイムにモニターすることで、訓練者の注意状態を推定する処理系を実装した。具体的には、「I. SSSEP および SSVEP を誘発するための感覚刺激呈示 II. 脳波および心拍変動計測 III. 注意関連成分およびストレス状態の定量化 IV 注意状態・ストレス強度のフィードバック」という情報処理フローによりニューロフィードバックループが形成される(図 1a)。SSSEP 誘発のため、振動素子としては AlpsAlpine 社製のハプティックリアクタを採用した(図 1b)。

ストレス状態の推定には、心電図から観測されるR波と呼ばれる信号の間隔変動に着目した。検出したR波間隔に対し、トーン・エントロピー解析を適用することで、ストレス状態を定量化した。予備検討結果か



ら、1 分程度のR波間隔データからストレス状態が推定できることを示唆する結果を得た。この結果は、5分程度のデータ長を必要とする従来研究よりもリアルタイム性に優れる結果であり、ニューロフィードバック訓練系に組み込むことが可能であるものと言える。

構築したニューロフィードバック訓練システムの有効性を示すため、事前に同意を得た健常者 7 名を対象とし、5 日間のニューロフィードバック訓練を実施した(本報告書においては、SSSEP を利用した訓練結果を説明する)。7 名のうち、4 名は心電図から推定されたストレス状態を訓練中にフィードバックし、残り 3 名はストレス状態のフィードバックは行わないものとした。訓練中においては、訓練者の左人差し指に 22Hz・右人差し指に 25Hz の機械振動刺激を呈示した。訓練者には左人差し指の刺激へ注意を向けることを指示し、適切に注意が向けられていればスピーカーからの音量が大きくなる設定とした。評価指標として、関心領域である体性感覚野の SSSEP 応答変化に着目した。

5 日間の訓練期間のうち、初日と最終日における脳活動変調の結果を図 2 に示す。図 2 における縦軸は、指示された左人差し指の振動刺激に注意を向けていない時の右体性感覚野における SSSEP 応答を基準として、同じ振動刺激に注意を向けた際の増幅率である。その結果、ストレス

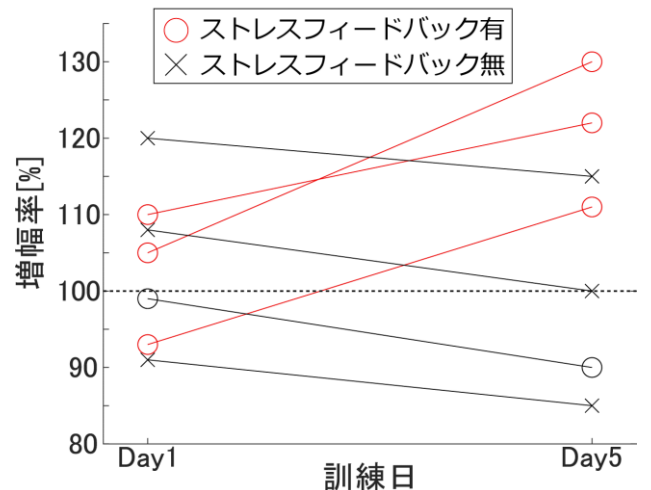


図 2 ニューロフィードバック訓練効果

フィードバックを受けなかった 3 名は訓練初日に対して訓練最終日では注意強度が低下してしまい、訓練失敗の傾向を示した。その一方、ストレスフィードバックを受けた 4 名のうち 3 名は注意強度が増加し目的とする脳活動変調を達成することができた。これらの結果から、訓練中において自身のストレス状態を認識することで、過度な緊張状態や集中力低下が回避され、効率的な神経活動修飾の実現が可能であることが見いだされた。

以上の結果から、本研究で提案する複合型ニューロフィードバックは、訓練の成功率を高める有用なアプローチである可能性が見いだされた。しかしながら、現状においては低次感覚野における活動変調しか着目していない。今後は脳活動変調に伴う行動変容も評価し、注意機能が実際に向上したことを示していく必要がある。最終的には、本システムの有効性を実証したうえで、高齢者の QOL 向上や脳卒中患者のリハビリテーション促進に向けた提案を行っていく。

[発表論文]

未定