

バイオフィードバックトレーニングにおける 末梢の交感神経機能の挙動

棟方渚^{*1}

てんかん治療用のバイオフィードバックゲームについて、そのトレーニングとその効果の関係性を調査した。具体的には、バイオフィードバックゲームによるトレーニングを体験したてんかん患者4症例の末梢の交感神経機能の挙動を解析した。結果から、適切なバイオフィードバックデザインについて議論を行った。

1. はじめに

バイオフィードバックは、(1) 興味のある生理学的な情報を何らかの方法によって客観的な情報として測定し、(2) その測定された情報を意味ある情報として呈示する、といった二つの要素から構成される。(1)の要素である「興味のある生理学的な情報」としては、脳波、抹消温度、筋電図、心電図、皮膚電気活動などが挙げられる。これらの情報は人体を侵襲することなく測定できるというメリットがあるが[1]、応用する分野によっては体内に挿入した電極から生理学的な情報を測定する場合もある。バイオフィードバックは、主に患者の病態の把握や治療に用いられる。バイオフィードバックトレーニングにおける患者のモチベーションを維持することを目的として、エンタテインメント要素を付加したシリアスゲームを構成し、患者に体験させる試みも行われている[2][3]。

バイオフィードバックによる治療は、投薬などの一般的な治療法では問題の症状が抑えられない場合にも用いられる。例えば、薬では発作を抑えることのできない難治性のてんかん患者において、バイオフィードバックトレーニング療法がいくつか試みられている。てんかんは、大脳神経の過剰な興奮によってもたらされる反復性の発作を主徴とする症候群であり、日本には約100万人の患者が存在している。抗てんかん薬で治療されるが、約3割が薬で発作が抑制されない難治性てんかんとなる。Nagaiらは、難治性のてんかん患者に対して、皮膚電気活動(SCL)を指標に末梢交感神経系の活動を亢進させるバイオフィードバックトレーニングを行い、10人中6人で50%以上の発作回数の減少がみられたと報告した[4]。Nagaiらの研究に着想を得たFranchiらの研究においても、皮膚電気活動(SCL)のバイオトレーニングについて、難治性の側頭葉てんかん患者11人において、平均48%の発作減少がみとめられたと報告されている[5]。このように、難治性てんかんのバイオフィードバック療法は、いくつかの成果がみとめられており、副作用のない治療法として注目されている。

一方、それらのバイオフィードバックトレーニングによ

る効果は、個人によって異なり、発作の減少が全くみられない症例もある。システムを構成する様々な要素のうち、どの要素がトレーニングの効果に影響を与えたのかなど、具体的に調査されていない。また、実際に使用されたセンサの特性、データの解析法やその提示方法など、システムに関する情報が少なく再現性に乏しい。このように、バイオフィードバック研究の多くが、個々の症例報告にとどまり、方法論として整えられていないといった現状がある。

そこで本研究では、てんかん患者のバイオフィードバックトレーニングゲームを用いた実験を行い、システムやゲームログの記録と患者の末梢の交感神経機能の挙動の関係を解析し、トレーニングの効果を調査する。

2. バイオフィードバックトレーニングゲーム

実験は、著者らが構築したThe ZEN[6]を用いた。The ZENは、音声情報によるフィードバックのみを頼りに手掌の皮膚抵抗値(skin conductance response: SCR)をコントロールすることでゲームクリアを目指す。ゲームは、患者のSCR値をPCに取り込み、リアルタイムにデータ解析や処理を行い、その進行状況を音声情報でフィードバックする。ゲームが始まるとヘッドフォンから3つのノイズ音が流れる。ゲームの指示通りに皮膚抵抗値をコントロールすることができると、ノイズ音を1つずつ消すことができ、その状態を維持できると、3つのノイズ音が全て消失しゲームクリアとなる。指示された状態を維持することができない場合、音は消失せずにゲームオーバーとなる。

3. 実験

被験者は同意を得られた難治性てんかん患者4名(S:30代女性, O:40代女性, W:40代男性, M:50代男性)とした(被験者S, O, W:側頭葉てんかん, M:前頭葉てんかん)。実験は、週2回(4週間)で計8回試行した。また、1回の試行で、計4回のゲームを実施した。試行1回の所要時間は装置の設定や電極の装着、ゲームを含め、約30分とした。ユーザは実験前に3分間の安静時測定を行い、ある程度リラックスした状態でゲームをスタートさせた。先行研究[4]のように、末梢交感神経系の活動を亢進させることで治療を試みた。また、環境による影響を考慮し、実験を行う部屋の温度を24-25°C、湿度を35-40%に統一させた。

*1 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology Hokkaido University

また、バイオフィードバックの対象とした SCR のほか、手掌の発汗の緩徐な変化をとらえた skin conductance level :SCL (Q-sensor[6]を元に作成) や指尖皮膚温 (fingertip temperature : FT) の取得を行った。実験者は「手掌の神経の活動を高めて下さい」と被験者に指示を与え、ゲームをスタートさせた。

4. 実験結果

表 1 前後 12 週の発作数と発作の減少率

被験者	発作	前 12 週	BFT4 週	後 12 週	減少率
S	SPS	91	27	65	28.57
	CPS	9	5	6	33.33
	計	100	32	71	29.00
O	SPS	25	4	22	12.00
	CPS	6	2	6	0.00
	計	31	6	28	9.68
W	SPS	6	0	0	100.00
	CPS	7	2	5	28.57
	計	13	2	5	61.54
M	SPS	44	9	23	47.73
	CPS	-	-	-	-
	計	44	9	23	47.73

バイオフィードバックトレーニング期間の前後 12 週の発作回数と減少率を表 1 に示す。意識が保たれる発作 (simple partial seizure :SPS) と意識が障害される発作 (complex partial seizure: CPS) をそれぞれ示した。発作の減少率は 4 症例の平均で 36.98%であった。

次に、それぞれの SCR, SCL, FT の値について、被験者が交感神経機能の亢進を試みたゲーム時の反応と、安静時の反応の差異を変化率として表 2 にまとめた。末梢交感神経系の活動が亢進されると、手掌の皮膚抵抗値は減少 (SCR, SCL の値は上昇) し、指尖皮膚温 (FT) も減少する。表 2 では、SCR と SCL の上昇率と、指尖皮膚温の減少率を変化率としてまとめた。それぞれの変化率が高いほど、被験者が指示通りに、末梢の交感神経機能が亢進できていたと判断した。また、実際に取得された被験者の各値の最大値 (ゲーム時) を表 3 に示す。

5. 実験結果の考察

表 1 で発作の減少率が最も低かった被験者 O の変化率 (表 2) の結果から、SCR 値で高い値を示したものの、SCL や FT では変化率の減少がみられ、末梢の交感神経機能の亢進に失敗していたことが示された。てんかん治療においては、交感神経機能の亢進を示す指標値として、皮膚抵抗値を用いることが多いため、より確実に判断するために数種のセンサなどの情報から統合的に判断することが必要である。表 3 は、各値の最大値 (ゲーム時) を示したもので

表 2 SCR, SCL, FT の変化率

被験者	SCR	SCL	FT
S	183.67%	15.28%	0.41%
O	281.01%	-2.01%	-0.15%
W	28.20%	4.02%	0.22%
M	112.19%	27.44%	0.46%

表 3 SCR, SCL, FT の平均値 (ゲーム時)

被験者	SCR	SCL	FT
S	61.30	2.48E-06	27.65
O	16.18	8.99E-07	29.24
W	14.60	1.19E-06	31.50
M	31.70	2.81E-06	33.48

あるが、被験者間での著しい差異が確認できる。バイオフィードバックトレーニングの先行研究では、トレーニングの成果を評価する場合に、閾値を設定したり、安静時の反応を基準にしたりすることが一般的であるが、表 3 のような個人間の差異に加えて、個人内においても体調や環境の変化等の影響を受けるため、解析や処理による規格化が必要である。

6. おわりに

本研究では、難治性てんかん患者の治療に向けたバイオフィードバックトレーニングゲームについて、トレーニングの結果と、その効果への影響とを調査した。具体的には、末梢の交感神経機能の挙動を解析し、その結果から適切なバイオフィードバックデザインについて議論を行った。

参考文献

- 1) 宮田洋 (監修) :新生理心理学第一巻, 北大路書房(1998).
- 2) Donoso Brown EV, McCoy SW, Fechko AS, Price R., Gilbertson T, Moritz CT.: Preliminary Investigation of an Electromyography-Controlled Video Game as a Home Program for Persons in the Chronic Phase of Stroke Recovery. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol.95 (8), 1461-1469, (2014).
- 3) Pop-Jordanova N., Gucev Z.: Game-based peripheral biofeedback for stress assessment in children, Pediatrics International, Vol. 52 (3), 428-431, (2010).
- 4) Nagai Y., Goldstein LH., Fenwick PB., Trimble MR. (2004). Clinical efficacy of galvanic skin response biofeedback training in reducing seizures in adult epilepsy: a preliminary randomized controlled study. Epilepsy Behavior. 5(2), 216-223.
- 5) Micoulaud-Franchi JA, Kotwas I, Lanteaume L, Berthet C, Bastien M, Vion-Dury J, McGonigal A, Bartolomei F.:Skin conductance biofeedback training in adults with drug-resistant temporal lobe epilepsy and stress-triggered seizures: A proof-of-concept study
- 6) 棟方渚, 櫻井高太郎, 中村光寿, 吉川浩, 小野哲雄.: バイオフィードバックゲーム “The ZEN” のトレーニング効果とエンタテインメント性—長期実験観察と治療応用の一症例の報告—, デジタルゲーム学研究, 第 7 巻第 2 号, p.63-74, (2015).
- 7) Affectiva Q sensor
<http://qsensor-support.affectiva.com/>