

バイオフィードバックゲームの医療応用

棟方渚^{†1}

エンタテインメントコンテンツとして開発したバイオフィードバックゲームを、臨床医の意見を取り入れて病気の治療を行うトレーニングシステムとして改良し、医療分野での応用を試みた。本論文は、実際に開発した治療用のバイオフィードバックゲームの紹介と、その臨床試験の結果について報告する。

1. はじめに

バイオフィードバックをエンタテインメントコンテンツの一要素としてとらえ、コンピュータゲームに取り入れる試みがある。Kuikkaniemiらは、一人称視点のシューティングゲームにおいて、バイオフィードバックを暗示的もしくは明示的にゲームに取り入れ、それらがユーザの印象に与える影響を比較した[1]。結果として明示的にフィードバックを行った方がユーザの熱中度が増大し、ゲームにポジティブな影響を与えていたことが報告されている。また、Nackeらは、フィードバックを行う生体信号として、ユーザが直接的にコントロールできる呼吸活動や筋活動、温度(センサに息を吹きかける)と、直接的にコントロールできない皮膚電気活動や心拍について、それぞれに適したゲーム設計を調査した[2]。実験結果から、生体信号を反映させたゲームが反映させないものに比べてユーザに好まれていたこと、ユーザが直接的にコントロールできる生体信号が特に好まれる傾向にあったことが示された。

一方、バイオフィードバックゲームのトレーニング効果を活用したシリアスゲームとして、病気の治療や健康管理に応用する試みがある。例として、脳卒中や脳の障害等をもつ患者のリハビリテーションゲーム[3][4]やストレス評価のためのゲームなどが挙げられる[5]。これらのゲームはトレーニングを目的としているため、エンタテインメント性に乏しいものが多い。しかし、ゲームのエンタテインメント性は、ユーザのモチベーションを維持する重要な要素として、治療にもポジティブな影響を与え得ると考えられる。そこで著者は、エンタテインメントコンテンツとして開発したバイオフィードバックゲームを、病気の治療を行うトレーニングシステムとして改良し、医療分野での応用を試みた。ゲームは臨床医の意見を取り入れて改良した。本論文は、実際に開発した治療用のバイオフィードバックゲームを紹介し、臨床実験について症例の報告を行う。

2. 提案するシステム

2.1 バイオフィードバック

これまで著者は、エンタテインメントコンテンツとして

様々なバイオフィードバックゲームを提案してきた[6-9]。これらの先行研究から、バイオフィードバックのエンタテインメント利用の有効性を実験的に示してきた。また、バイオフィードバックゲームのユーザのモチベーションを維持する要素について考察し、知見を得た。エンタテインメント性の高いゲームへのモチベーションは、治療のモチベーションとなり、トレーニング効果にも影響を与えると考えられる。

Nagaiらの研究では、難治性てんかん患者に対して、皮膚電気活動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人でてんかん発作が50%以上減少したと報告されている[10]。このシステムは、患者が手掌の皮膚抵抗値をシステムの指示通り維持することが出来た場合(手掌の抵抗値の減少)に、アニメーションが進行し、維持できなかった場合(手掌の抵抗値の増大)に、アニメーションが後退する。患者はそのアニメーションの進行・後退を目安に、手掌の発汗のコントロールを試みる。本研究では、エンタテインメントコンテンツとして構成したゲームをベースに、先行研究[10]を参考として、てんかん治療用のバイオフィードバックゲームを開発した。また、これまで構築したバイオフィードバックゲームの中でも特にシンプルな構成をもつThe ZEN[11]を用い、治療用のゲームとして改良することとした。

2.2 “The Zen”の概要と改良

The ZENは、ユーザにヘッドフォンを装着させ、ユーザは音声情報によるフィードバックのみを頼りにゲームクリアを目指す。ユーザから取得した皮膚抵抗値をPCに取り込み、リアルタイムにデータ解析や処理を行い、ゲームの進行状況を音声情報でフィードバックする。ゲームのストーリーは、禅の基本的な修業法である「座禅」の修行として、どのような刺激環境下においても、落ち着いている状態、いわゆる「無の境地」を目指す設定とした。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。ゲームでは、リラックス(皮膚抵抗が高い)状態を保つことを目指すRelaxモ

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

表1 実験で使用したノイズ音

①工事	掘削機, トラックの駐車, ハンマー
②交通	車通過音, 車停車, 電車通過音
③天候	雨, 雷, カラスの鳴き声
④生活音	林檎の咀嚼音, ドライヤー, 階段を上がる

ード(R-mode)と, エキサイトする(皮膚抵抗が低い)状態を保つことを目指す Excite モード(E-mode)の, 2つを選択することができる. それぞれのモードにおいて指示された皮膚抵抗値の状態を一定時間保つことができた場合に, 全てのノイズ音を消すことができる.

The ZEN をてんかんの専門医の方に何度か体験してもらい, 治療応用に際して注意する点や改良点について議論を行い, 以下のようにまとめた.

- ゲーム開始時にチュートリアルが始まる(毎回)
- ゲームの状況をわかりやすく提示する
- ゲームスコアを表示し, 前回の結果と比較する
- 実験者がリアルタイムにゲーム状況を確認できる
- データ測定・解析を考慮した構成とする
- 診察の時間内で終わらせる構成とする
- 短いゲームを何度か体験させる構成とする
- ノイズ音は不快にならないものを使用する

上記の助言をもとに, チュートリアルやゲームスコアを追加し, 実験者用にゲーム状況を可視化するなどの改良を加えた. また, ゲームで使用するノイズ音は, 日常的に体験する一般的なノイズを中心に表1のような構成とした. 1回の試行は, 表1の①から④の4つのゲームで構成され, 1つのゲームの制限時間を3分とし, ゲーム後に1分の休憩を挟み, 実験の前後には3分間の安静時測定を行った. 上記の行程とチュートリアルを含めて, 全体で最長約15分, 最長約25分となる.

ゲームスコアは, 早く正確にステージをクリアできたことと判断された場合に加点する仕組みとした. また, 前述のノイズ音とは別に, 皮膚抵抗値が指示通りコントロールできていることを, リアルタイムにフィードバックする「お知らせ音」を用意した. ユーザは3つのノイズ音の変化(再生, 消失)に加えて, リアルタイムに鳴る「お知らせ音」を参考に試行錯誤し, ゲームクリアを目指す.

3. 実験

被験者は同意を得られた難治性てんかん患者3名(M:50代男性, S:30代女性, W:40代男性)とした. 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. 本実験は, 北

	1	2	3	4
E-mode	61.8	0.2	66.4	63.1
rest	37.4	0.2	34.7	30.2
	5	6	7	8
E-mode	61.5	73.5	50.4	60.9
rest	21.2	27.9	18.9	23.0

	1	2	3	4
E-mode	44.9	8.6	61.3	51.5
rest	18.7	9.0	27.5	34.0
	5	6	7	8
E-mode	27.9	60.3	25.5	56.3
rest	3.4	28.0	10.8	19.6

	1	2	3	4
E-mode	0.4	2.1	14.6	13.2
rest	0.3	1.7	7.8	14.0
	5	6	7	8
E-mode	1.3	10.5	5.3	13.9
rest	0.6	12.5	4.2	23.0

図1 試行毎の被験者の皮膚抵抗値(平均)

上段: 被験者 M, 中段: 被験者 S, 下段: 被験者 W
 (ゲーム中: E-mode, 休憩: rest)

海道大学病院倫理委員会で承認済みであり, 本研究のすべての担当者は, 「ヘルシンキ宣言(2008年10月修正)」および「臨床研究に関する倫理指針(平成20年7月31日改正, 以下臨床研究倫理指針)」を遵守して実施された. 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[10]のように, 末梢交感神経系の活動性を亢進させることで治療を試みるため, ゲームモードは全て皮膚抵抗値を減少させる(発汗を促す)コントロールを行う E-mode に統一させた.

4. 実験結果

被験者 M, 被験者 S, 被験者 W の平均の皮膚抵抗値(指標)を E-mode に, ゲーム前後の休憩時の皮膚抵抗値を rest に分けて, 図1にまとめた. 結果から, 実験の前半期間(試行回1-4)に比べて後半(試行回5-8)では, rest と E-mode の皮膚抵抗値の差が増大していることが理解できた. ゲームスコアの平均(計8試行, 0-100点)では, 被験者 M は 80.75 点, 被験者 S は 69.75 点, 被験者 W は 47.5 点であった. 被験者 M は試行を重ねることでスコアが安定した. その一方, 被験者 S, W は制限時間内にクリアできずにゲームオーバーとなった試行回が多く, 結果にばらつきがみられた. 実験終了後のインタビューでは, 被験者 M は, 「簡

単にゲームクリア出来る時と出来ない時があり難しいと感じたが楽しく体験できた」と回答し、被験者 S, W は「どうやればゲームクリアできるのかが、最後までよくわからなかった」と回答した。一方で、全ての被験者で、ゲームを楽しむことができたことや、「更に実験を続けたい」との申し出があり、実験を継続することで今以上の効果が得られるのではと考えていたことが報告された。

次に、てんかん発作の回数について、被験者 M の発作回数は、実験前 12 週では 43 回、実験後 12 週では 23 回となり 47% の減少をみとめた。被験者 S の発作回数は、実験前 12 週では 99 回、実験後 12 週では 77 回となり 22% の減少をみとめた。被験者 W は実験前 8 週では 6 回、実験後 8 週では 4 回となり 33% の減少をみとめた。実験期間終了後の観察結果から、副作用もみとめられず、効果が持続していることが確認された。先行研究[10]において、バイオフィードバックトレーニングによる発作回数減少の効果が、トレーニング期間終了後も持続されていたことが示されており、本実験においても同様の結果となった。今後も長期的に観察を行う。

5. まとめ

実験では、治療用に改良された The ZEN の体験によって、てんかん患者の発作回数が減少し、少ない症例数ではあるが、ゲームのトレーニング効果が示された。被験者によって、ゲームの得点やコントロールの出来が大きく異なるが、どの患者も発作回数の減少がみられた。また、全ての被験者が毎回のゲームスコアを気にかけており、これまでのスコアをみて、どういった方法でコントロールを試みるのが良いのかなどの考察を行っていた。また、それらの方法については、最初はいま表現できない様子であったが、最終的にはどういったイメージでコントロールを試みているのかを言語化するようになり、実験者や医師に相談することが多くなった。このように、全ての被験者で、試行のたびにコントロールの方法を理解・工夫するなどして、高い得点を狙う行動がみられた。

本研究で提案した The ZEN は、ユーザの皮膚抵抗値を入力とし、その挙動のみで勝敗が決まるシンプルな設定としているため、常に不確定な要素に影響される。ユーザ自身の状態の変化によって、常に難易度が変化するという点で、習熟による慣れが生じにくい。また、被験者のコメントから、エンタテインメント性がトレーニングのモチベーションを引き出していたことや治療のモチベーションがエンタテインメント性を生じさせることが理解できた。つまり、このようなゲームにおいて、トレーニング効果とエンタテインメント性が相互に影響し合うことが示された。

6. おわりに

本研究では、バイオフィードバックゲーム The ZEN を用

いて、難治性てんかん患者の治療を行い、そのトレーニング効果と発作への影響を調査した。被験者から「ゲームを楽しむことができた」「もっと体験したい」とのコメントを得た。特に、ゲームを用いた治療の利点は、治療を行なっているという意識をせずに治療が進む点にある。また、薬に頼らない治療方法としてバイオフィードバックの治療応用は今後発展が期待される。

しかし、エンタテインメント性とトレーニング効果について、またそれらの治療効果に与える影響については、被験者数が少なく統計的な議論ができない。今後は、ユーザの印象を左右する要因(ユーザの趣向や、ノイズ音の影響、ゲームモードの組み合わせ等)の抽出や、トレーニング効果や問題(てんかんの症例や発作のタイプによる違い、被験者の個人差、副作用)について、より詳細に調査する必要がある。

参考文献

- 1) Kuikkaniemi K., Laitinen T., Turpeinen M., Saari T., Kosunen I., Ravaja N.: The influence of implicit and explicit biofeedback in first-person shooter games; In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 859-868. (2010)
- 2) Nacke, L.E., Kalyn, M., Lough, C., Mandryk, R.L.: Biofeedback Game Design. Using Direct and Indirect Physiological Control to Enhance Game Interaction. In Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems. 103-112. (2011).
- 3) Aimee LB., Tony S., Zahra KM., Cristabel N.: Video Game-Based Exercises for Balance Rehabilitation: A Single-Subject Design. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 87 (8), 1141-1149, (2006).
- 4) 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).
- 5) Pop-Jordanova N., Gucev Z.: Game-based peripheral biofeedback for stress assessment in children, Pediatrics International, Vol. 52 (3), 428-431, (2010).
- 6) 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁.: 生体信号を利用したゲームにおけるバイオフィードバックの効果, 日本知能情報ファジィ学会誌, 17(2), 243-249. (2005).
- 7) 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁.: モーションメディアコンテンツを使用したバイオフィードバックデザイン, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(2), 275-282. (2006).
- 8) Munekata, N., Yoshida, N., Sakurazawa, S., Tsukahara, Y. and Matsubara, H.: Design of positive biofeedback using a robot's behaviors as motion media. In Proceedings of the 5th international conference on Entertainment Computing. 340-349, (2006).
- 9) 棟方渚, 中村光寿, 田中伶, 土門裕介, 松原仁.: 攻撃行動をとまなうバイオフィードバックゲーム. 情報処理学会論文誌. 50(12), 2969-2977. (2009).
- 10) Nagai Y., Goldstein LH., Fenwick PB.C., Trimble MR.: Clinical efficacy of galvanic skin response biofeedback training in reducing seizures in adult epilepsy: a preliminary randomized controlled study, Epilepsy & Behavior, Vol.5 (2), 216-223, (2004).
- 11) 棟方渚, 中村光寿, 田中伶, 土門裕介, 松原仁. (2010). The 禅 ~ユーザの発汗を利用した坐禅バイオフィードバックシステム, CEDEC2010, インタラクティブ発表 (2010).