

脳波バイオフィードバック訓練による行動変容

——タッピング間隔と圧を変数として——

上久保晶子・柿木 昇治

(受付 1997年 5月 30日)

《序 論》

バイオフィードバックとは、通常は認知しがたい自己の生体现象を、認知の容易な外部情報に変換して生体に還元し、それを基に生体现象を自己統制しようとする手法と定義される。つまり、バイオ（生体）から出た生理情報がもとの生体にフィードバック（還元）されることになり、このフィードバックは人工的に付加された外付けのループとなる。生体において、骨格筋系の反応には、このフィードバックループが生来的に存在するが、生理反応には殆どない。この外付けフィードバックを生体に付加することにより、生理反応を随意に統制できるようになる。これがバイオフィードバックの原理といえる。

Miller & Dicara (1968) は1960年頃から動物の自律神経領域の機能を、随意的にコントロールさせる方法について研究を行っていた。それまで血圧や心拍数のような自律機能を制御することは、条件づけとしては古典的条件づけによる以外にはないと考えられていたが、彼は心拍の条件づけについてオペラント条件づけ、すなわち心拍数のような自律機能も、オペラント（報酬や処罰など）によって、随意にコントロール可能であるということを示した。また、Kimmel (1967) は同様にヒトにおいても皮膚電気反応などの自律神経系反応のオペラント条件づけが可能であるとした。その後ヒトを被験体とした研究が相次ぎ、現在のバイオフィードバック研究の原型が確立されたと言える。

ヒトにおけるバイオフィードバック研究の中で、今日まで最も盛んに行

われてきた研究活動の一つは、脳波の分野における研究である。脳波は多くの場合、脳の中でも最もよく発達し、知的機能の座である大脳皮質の種々の状況を反映している。従って、ヒトの複雑な精神活動や行動を理解する上で脳波を扱うことは重要な意味を持つと考えられる。

脳波のバイオフィードバック研究は Kamiya (1968) の研究に始まっている。彼は高 α 波状態が精神的な弛緩をもたらし、また、 α 波出現状態をフィードバックすることにより主観的な制御が可能であるとした。また、Brown (1970) も独自に、音信号の代わりに視覚フィードバック信号を用いて Kamiya と同様の現象、すなわち高 α 状態と精神的な弛緩について報告した。さらに Brown (1971) は、 α 波に加えて β 波、 θ 波の各活動とそれに関連した主観的経験に関心を持ち、 α 波、 β 波、 θ 波をフィードバックし、 α 波と精神的安静、 β 波と緊張の高まり、 θ 波と警戒心の低下という関連を報告した。

しかし、 α 波の主観的弁別と随意制御について否定的な報告もある (Cott, Pavloski, & Black, 1981)。しかし、これは α 波の制御方略に問題があると考えられる。そこで我々の研究室では、新たなフィードバック技法を開発した (柿木・古満, 1981)。ここでは α 波制御方法として累積積分法を用いた α 波弁別訓練を行い、5秒の累積積分値法の弁別成績が最も良く、 α 波の主観的弁別と随意制御は可能であるとした (古満・柿木, 1984)。更に、 α 波の増強と抑制両方向への随意制御の可能性 (栗栖・伊藤・古満・柿木, 1985)、 α 波の長期増強訓練の効果 (柿木・古満・栗栖, 1985) 等を検討することにより、積分フィードバック訓練の有効性を明らかにしてきた。5秒という比較的長期の α 波出現状態をフィードバックすることによりフィードバック信号に連合した内部感覚 (internal sense) の意識化が容易になるものと考察された。柿木らによる積分値法を用いた一連の研究は (1981, 1984, 1985)、それまでその効果について正否の結果が相半ばしていた α 波バイオフィードバック研究に少なからぬ意義を認めたとと言える。

以上のように、これまでの脳波バイオフィードバック研究は α 波出現に

伴う主観的状态の変化やその制御方法に関するものが主であり、バイオフィードバックによる脳波の変化に伴う行動変容を検討した組織的研究は殆ど提出されていないのが現状である。

そこで我々の研究室では α 波バイオフィードバック訓練の効果を行動変容の指標として反応時間課題を用いて検討してみた。その結果、反応時間には α 波バイオフィードバックの訓練効果は影響しないことが確かめられた(小川, 1996)。また、最近のバイオフィードバックの動向として、マルチフィードバックの観点がある。臨床場面でのバイオフィードバック療法において一元的なアプローチだけでなく、他の生理指標を付加させながら多面的にバイオフィードバックを進めていく考え方である。このマルチフィードバックの立場に立つと、複数指標を対象にしたマルチフィードバックが今後期待され、バイオフィードバック訓練と他指標との関係を考察した基礎的な研究データが必要となってくるのは必至である(志和, 1996)。

今回の研究でも、脳波バイオフィードバック訓練による行動の変容に着目した。脳波と連続打叩運動(タッピング)との関係を示した研究としては、タッピングと α 波の周波数との相関を示したものがある。Shiomi(1973)は、 α 周波数とタッピング、パーソナリティテスト、知能テストとの関係を検索し、タッピングにのみ相関関係を見いだしている。そのほかに両者の関係を報告した研究は数多くなされており(Pogelt, 1981; Pogelt and Roth, 1982; Roth, Wundrich and Pogelt, 1985; Roth and Batting, 1991)。いずれも中枢とタッピングとの関係を示唆している。

以上のように表出される行動と生理指標の間には何らかの関連性は想定できるが、バイオフィードバック訓練による脳波変化に伴う行動変容の検討は残された課題といえよう。

本実験では、タッピングを行動変容の指標として取り上げた。累積積分法を用いた脳波バイオフィードバックとタッピングの関連についてバイオフィードバック訓練前と訓練後のタッピング圧と間隔を指標として、その関係を検討することを目的とした。

【第 1 実 験】

《目 的》

本実験では累積積分法を用いた脳波バイオフィードバック (α 波増強・抑制訓練) が行動指標であるタッピングに及ぼす影響について検討することを目的とする。

《方 法》

1. 被 験 者

広島修道大学の学生および大学院生18名 (男性9名, 女性9名, 平均年齢21.7歳) を被験者として用いた。

2. 装置および測定法

脳波は皿電極を用い, 活性電極を後頭部 (Oz), 不関電極を左耳たぶ (A1), 接地電極を右耳たぶ (A2) とし, 単極導出した。導出した脳波は, 生体電気用誘導パネルを介して, 生体電気用アンプ (日本光電製 AB-621G) に入力し, 交流増幅 (時定数0.3秒, 感度700 mv/50 μ v) を行い A/D コンバーター (カノーブス製) により0.01秒毎にA/D変換した。A/D変換して得られたデジタル値はマイクロコンピューターシステム (日本電気製 PC-9801E) によりフロッピーディスクに磁気記録した。また, 増幅した脳波は, バンドパスフィルタ (NF 回路設計製 P-83) に入力し各被験者の α 波周波数成分 (8-13 Hz) を抽出した。原脳波および抽出した α 波成分は, レクチコーダー (グラフテック製 FWR3701) によりすべてペン書き記録した。

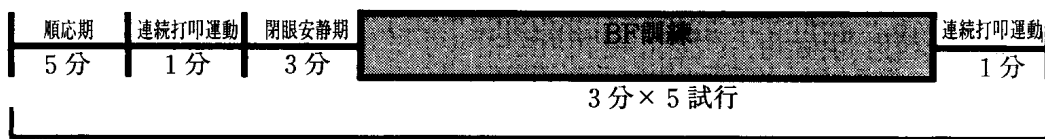
聴覚フィードバック刺激は, マイクロコンピューターにより制御し, 電子スイッチ (リオン株式会社製 SB-10A) を介し, オーディオジェネレーター (トリオ製 AG-202A) より600 Hzの純音として発信した。発信した純音は, オーディオアンプ (ソニー製 TA-FA) で増幅後, 被験者前方のスピーカー (ビクター製 BA-25) から提示した。

打叩運動は被験者の前方の机の上に置かれたプラットホーム型荷重変換器（共和電業製 LCL-5KD）により電気信号に変換し，歪み測定器（共和電業製 DPM-305A）で増幅させたものをパーソナルコンピュータ（日本電気製 PC-9801DA）に設置してある A/D 変換ボードに入力し，その後多用途生態情報解析プログラム（キッセイ社製 BIMUTAS）で処理した。

3. 手 続 き

実験に先立ち被験者に実験に関する簡単な教示を与えた後，実験室に慣れさせるために5分間の安静状態をとり，実験を始めた。

実験スケジュールは α 波増強訓練と α 波抑制訓練の2条件からなり，1日1条件の2日間で行われた。各訓練は被験者ごとにカウンターバランスされた。1条件は，連続打叩運動（1分）—閉眼安静期（3分）—フィードバック訓練期（3分 \times 5）—連続打叩運動（1分）からなり，各試行の間には1分間の休憩が入った。打叩運動の前には「自分にとって最も気持ちのよい速さで叩いてください」との教示の後，利き手の人差し指での打叩が1分間測定された。実験終了後には実験に関する質問紙と内省報告をとった。以上の手続きを Fig. 1 に示す。



× 2 条件 (増強訓練・抑制訓練)

Fig. 1. 第1実験の手続き

《 結 果 》

全被験者のバイオフィードバックによる α 波積分値の変化について，ベースラインを基準値として，変化率（%）を求めた。各訓練のベースラインから第5試行目までの全被験者の変化率を Fig. 2 に示す。

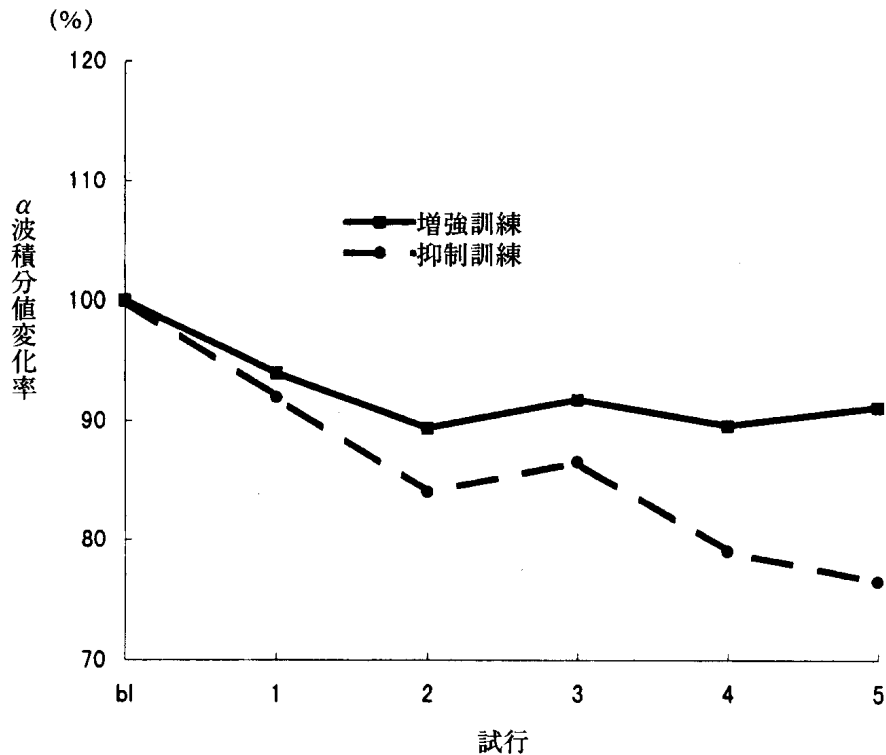


Fig. 2. α波増強・抑制訓練における積分値変化率.

α波増強訓練, 抑制訓練それぞれの訓練効果を見るため検定にかけたところ, α波抑制訓練に試行間で有意差が認められた ($F(5,85) = 5.87, P < .001$)。一方, α波増強訓練においては有意な差はみられなかった。

タッピングについては, 圧 (g) と間隔 (m sec) を指標として用いた。圧の値を条件と試行で2要因の分散分析にかけたところ試行間に有意な差が認められた ($F(1,17) = 10.88, P < .01, \text{Fig. 3}$)。間隔について同様の分析を行ったが有意な差は得られなかった。

タッピングの変動性を見るため圧, 間隔それぞれの変動係数 (CV, SD を平均で除し, 100倍したもの) を求めた。この値を条件と試行で2要因の分散分析にかけたところ, 圧の変動係数に訓練間で有意差が認められた ($F(1,17) = 10.41, P < .01, \text{Fig. 4}$)。間隔については有意な差は見られなかった。

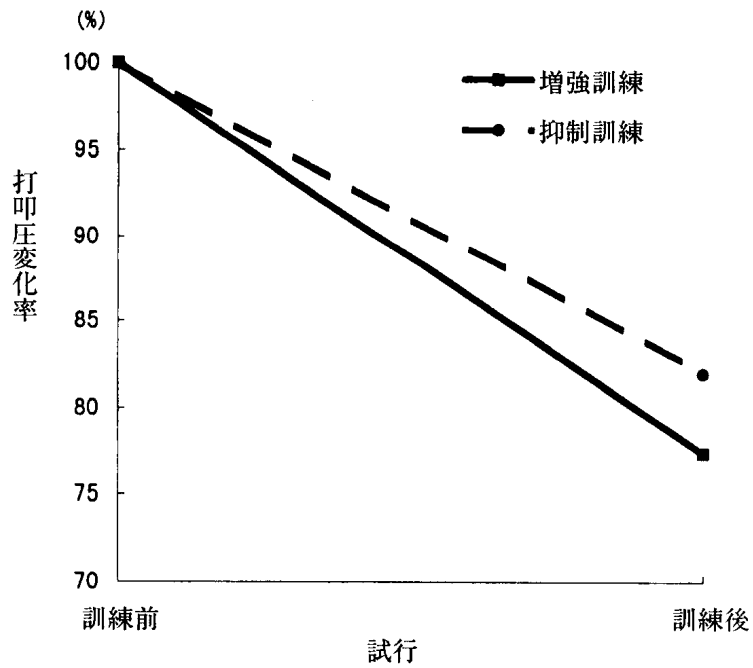


Fig. 3. α 波増強・抑制訓練における打叩圧変化率.

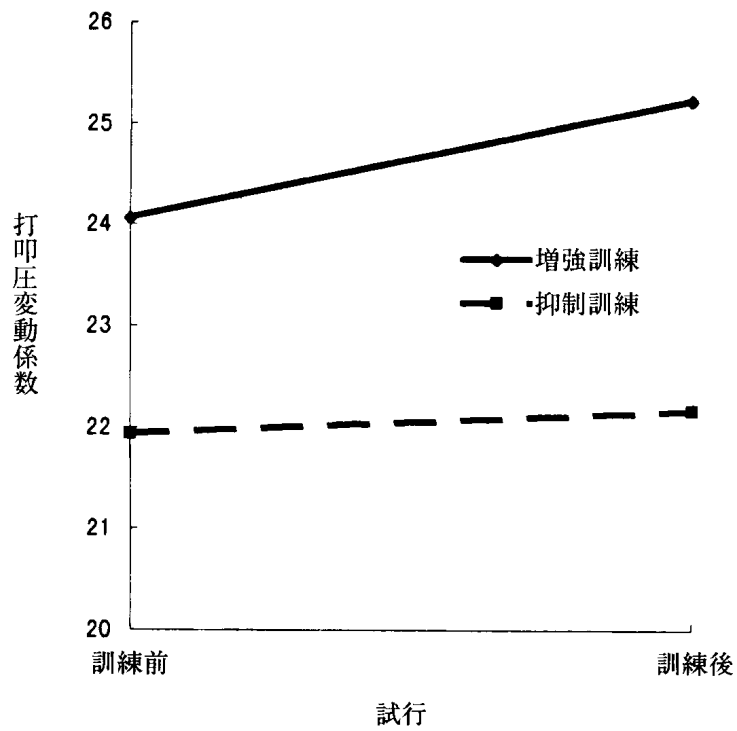


Fig. 4. α 波増強・抑制訓練における打叩圧の変動係数.

《考 察》

圧に関しては、 α 波抑制訓練で、バイオフィードバック訓練前に比べ訓練後に有意に低下することが明らかとなった。打叩圧の変動係数の値が α 波増強訓練で高く、また、被験者の内省報告より α 波増強訓練後に11名の被験者より「難しかった」「疲れた」との報告を得ており、訓練の困難度のためタッピングへの注意が減衰したものと考察される。これは圧の変動が心的エネルギーの配分、あるいは心的動揺といった心理的要因と密接に関連していると言う報告(杉之原・松田・平, 1985)より、バイオフィードバック訓練により被験者の意識が内的になり、課題としてのタッピングへの注意がそらされ、それが圧に影響を及ぼしたと考えられる。しかし、今回の実験では増強訓練において訓練効果を得ることはできなかったため、圧の変化がバイオフィードバック訓練による効果であると断定してしまうわけにはいかないであろう。バイオフィードバック訓練効果を確かなものとするために、訓練期間の延長が求められる。

【第 2 実 験】

《目 的》

α 波増強訓練数の増加が(3日間)、行動指標であるタッピングに及ぼす影響を検討することを目的とする。

《方 法》

1. 被 験 者

広島修道大学の学生および大学院生26名(男性9名、女性17名、平均年齢22.0歳)を被験者として用いた。被験者はバイオフィードバック訓練(α 波増強)を行う実験群(16名)と行わない統制群(10名)に分けられた。

2. 装置および測定法

脳波，タッピングとも装置および測定法は第1実験と同様である。

3. 手 続 き

実験スケジュールは実験群，統制群ともに，1日1セッションの3日間行われた。実験群の手続きは第1実験と同じである。統制群の実験手続きを Fig. 5 に示す。統制群は脳波測定期ではフィードバック信号がない点で実験群と異なり，他の条件は同じである。第2実験では開眼で実験を行い，なるべく眠らないようリラックスして実験に望むよう教示した。

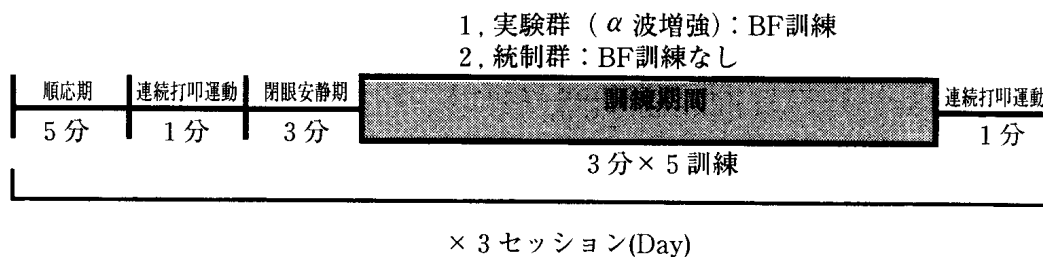


Fig. 5. 第2実験の手続き.

《 結 果 》

1. バイオフィードバック訓練

両群における α 波積分値の変化率を Fig. 6 に示す。 α 波積分値は実験群でその値が高く，また，ベースライン値から上昇することが観察された。 α 積分値の値を群と試行で分散分析を行った結果，実験群，統制群間 ($F(1,24) = 8.33, P < .01$) と，試行 ($F(5,24) = 5.94, P < .001$) に有意な差が認められた。統制群における α 波積分値の変化率を Fig. 7 に示す。統制群でも同様の分析を行ったが，有意な差は見られなかった。

実験群の α 波積分値の変化を Fig. 8 に示す。 α 波積分値の値を日数と試行で分散分析を行ったところ試行間に有意な増加が見られた ($F(5,75) =$

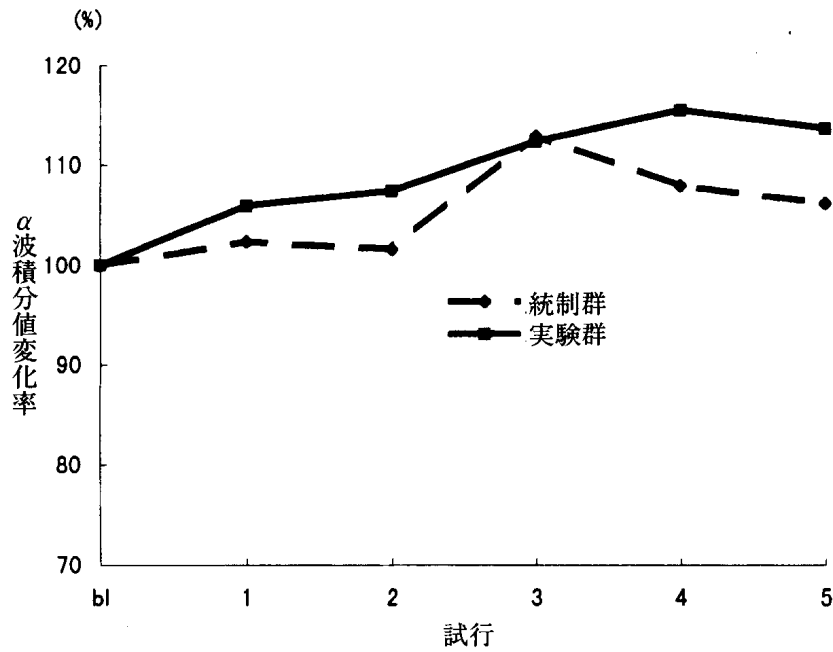


Fig. 6. 統制群と実験群の α 波積分値変化率.

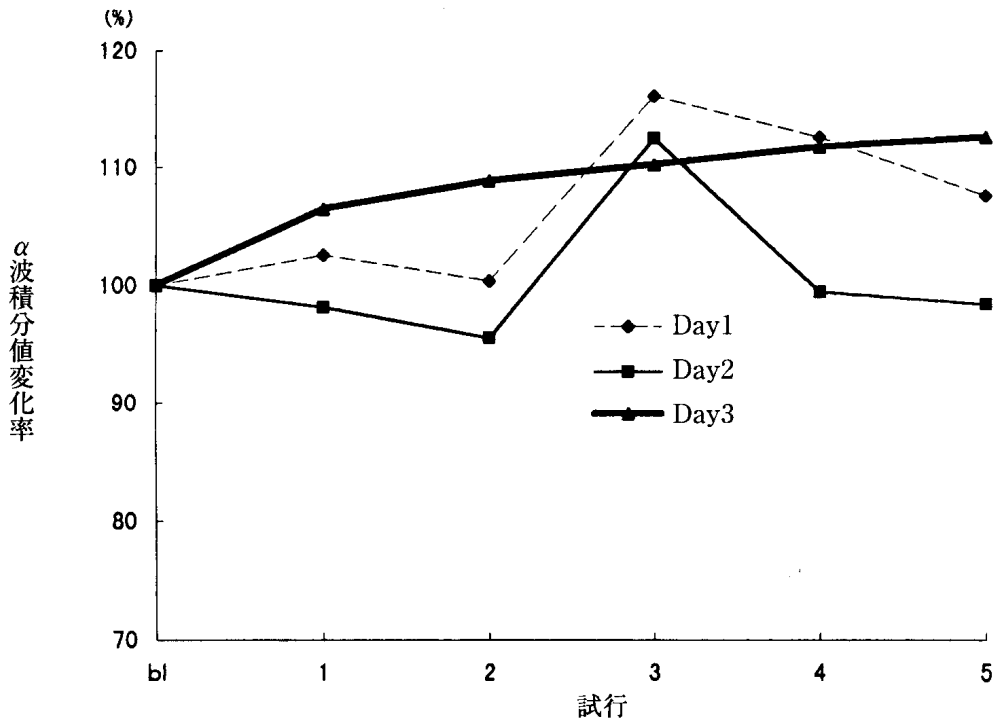


Fig. 7. 統制群における α 波積分値変化率.

6.03, $P < .001$)。以上の結果より、α波積分値はベースライン値から有意に上昇していったことが分かり、α波増強訓練の効果が明らかとなった。

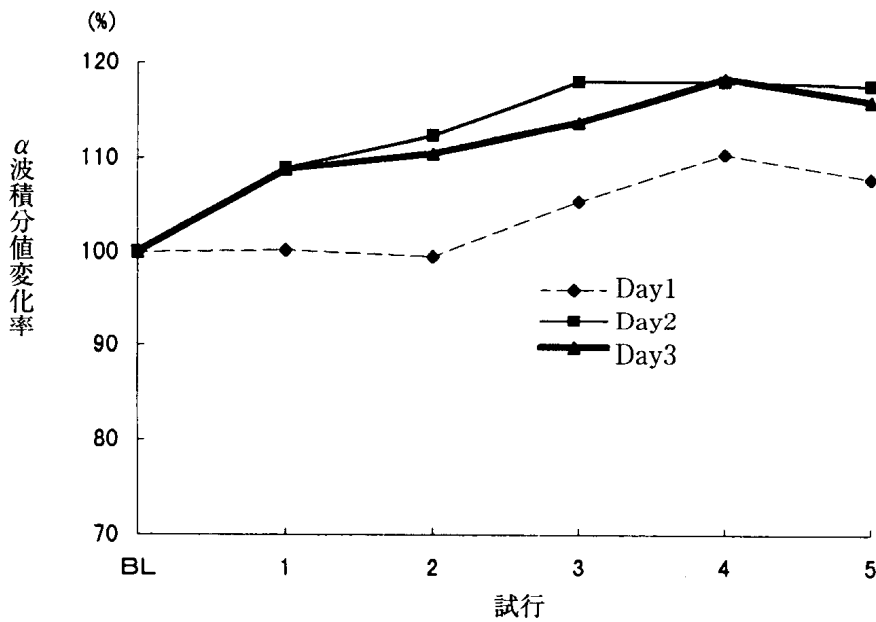


Fig. 8. 実験群における α 波積分値変化率.

2. タッピング

両群における圧の変化率を Fig. 9 に示す。圧の値を群と試行で分散分析を行った結果、試行間に有意な差が認められた ($F(1,24) = 7.50, P < .05$)。一方、間隔について同様の分析を行ったが有意な差はみられなかった。

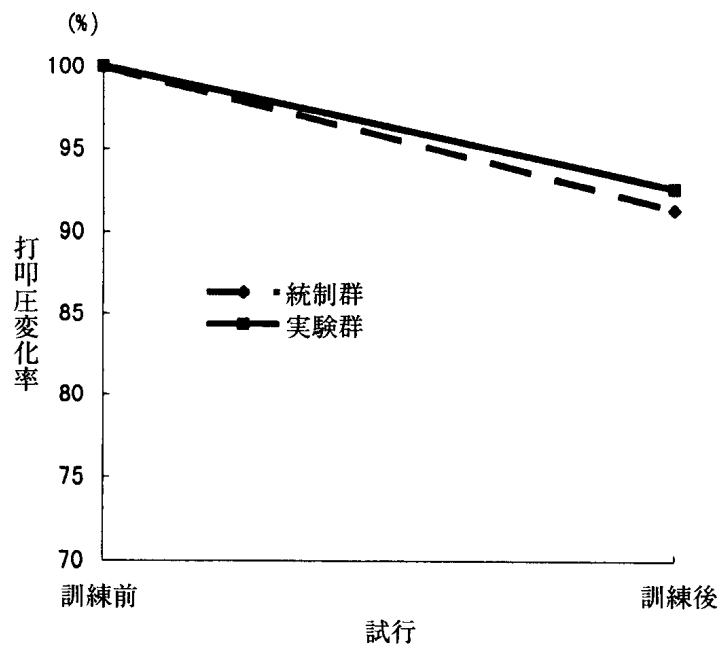


Fig. 9. 統制群と実験群の打叩圧変化率.

統制群における圧と間隔の値を日数と試行で分散分析を行ったがいずれにも有意な差はみられなかった。

実験群における圧の値を日数と試行で分散分析を行った。その結果試行に有意差が認められた ($F(1,15) = 6.47, P < .05, \text{Fig. 10}$)。間隔についてはいずれにも有意な差は見られなかった。

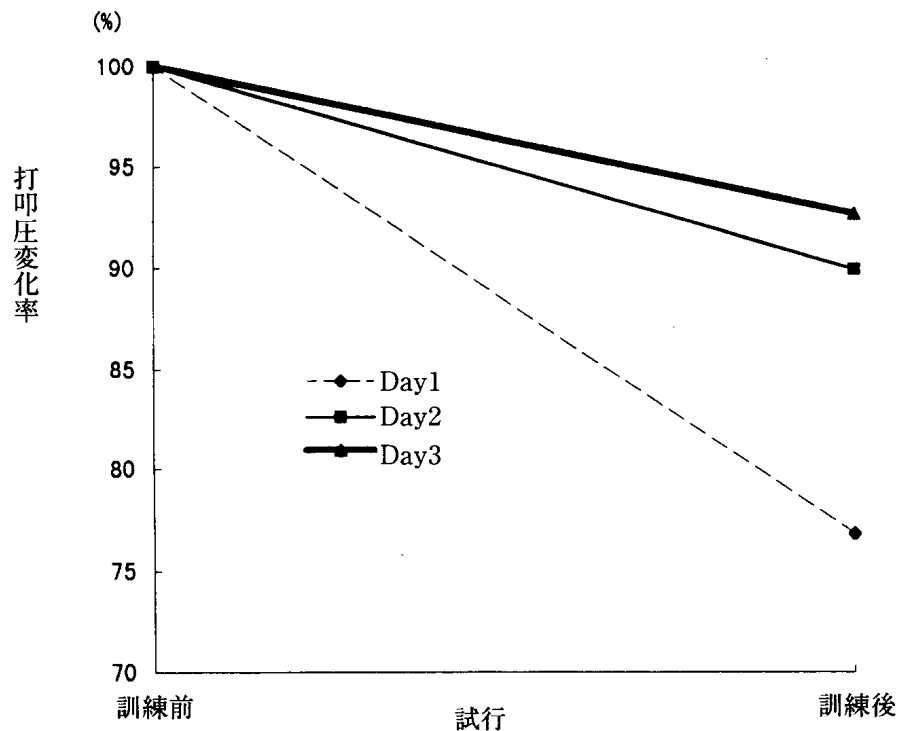


Fig. 10. 実験群における打叩圧変化率。

《 考 察 》

圧は α 波が増強されると有意に減少するということが確認された。今回の結果は第1実験での考察よりバイオフィードバック訓練による心的エネルギーの方向の変化によるものとも考えられるが、被験者より、訓練による疲労を訴える報告を多数得ており、圧の変化はバイオフィードバック訓練のための精神疲労によるものとも考え得る。このことは、圧の値が訓練初日の試行間でその変動が最も大きくなっていることから伺える。

《 総 合 考 察 》

本実験は、タッピングを表出行動として用い、累積積分法を用いた脳波バイオフィードバックとの関連についてバイオフィードバック訓練前と訓練後の圧と間隔を指標として利用し、その関係を検討することを目的とした。

第1実験において、脳波バイオフィードバックの効果が増強と抑制の両方向へ明確には現れなかった。また、行動指標としてのタッピングにおいては圧に試行の効果が出ただけであり、条件間の差異を反映したものではなかった。第2実験では、脳波のバイオフィードバック効果を顕著にさせるため3日間の訓練を行い、実験の結果、有意な訓練効果がみられた。タッピングに関しては圧に実験群で有意な差が生じたが、統制群との間に有意な差は得られていない。今回の研究より、脳波バイオフィードバック訓練は行動指標としてのタッピングに何らかの影響を及ぼしているものと考えられるが、バイオフィードバック訓練以外に圧に影響及ぼした要因として、被験者の課題に対する注意の方向や訓練に伴う疲労感などが予想された。今回の実験では被験者数が少なかったため、その原因の追求はできなかった。従って、バイオフィードバック訓練による疲労感の削減などを考慮した上での検討が望まれる。

バイオフィードバックは米国を中心として活発に用いられている臨床技法である。我が国でも不安神経症の患者に、脳波バイオフィードバック訓練を施すと不安除去ができ、また、書痙の患者に筋電図のバイオフィードバックを行うと書痙が軽減する（志和，1996）という報告があり、臨床的には目的を達成している。しかし、基礎の側面では、それらの症状の改善に至るプロセスは明確ではない。今後はバイオフィードバックによってなにが変わるのか、即ち明確な行動変容が生じるのか否かが中心的な課題になることは間違いない。それを明らかにすれば、より効率的な治療法が導かれるのには異論はないであろう。

我々は、脳波バイオフィードバックの訓練を通して反応時間、タッピングという行動変容を検討してきたが、まだ、明確な結論を得ていない。今後の研究で、バイオフィードバック訓練と行動変容の関係を定量的に究明していくことが臨床応用の側面で残された大きな課題といえる。

引用文献

- Brown, B. B. 1970 Recognition of aspects of consciousness through association with EEG alpha activity represented by a light signal. *Psychophysiology*, **6**, 442-452.
- Brown, B. B. 1971 Awareness of EEG-subjective activity relationships detected within a closed feedback system. *Psychophysiology*, **7**, 451-464.
- Cotto, A., Pavloski, R. & Black, A. H. 1981 Operant conditioning and discrimination alpha: Some methodological limitations inherent in response discrimination experiments. *Journal of Experimental Psychology*, **10**, 398-414.
- 古満伊里・柿木昇治 1984 α 波の弁別と制御に及ぼすバイオフィードバック訓練の効果 生理心理学と精神生理学, **2**, 13-21.
- 柿木昇治・古満伊里 1981 脳波のバイオフィードバックに関する基礎的研究: α 波積分法による刺激提示効果の検討 広島修大論集, **22**, 151-154.
- 柿木昇治・古満伊里・栗栖久恵 1985 バイオフィードバックに関する基礎的研究 広島修道大学総合研究所.
- Kamiya, J. 1968 Conscious of brain waves. *Psychology Today*, **1**, 57-60.
- Kimmel, H. D. 1967 Instrumental conditioning of autnomicly mediated behavior. *Psychological Bulluetin*, **5**, 337-345.
- 栗栖久恵・伊藤泰彦・古満伊里・柿木昇治 1985 α 波の随意制御に及ぼす積分フィードバックの効果 バイオフィードバック研究, **12**, 3-8.
- Miller, N. E., & Dicara, L. V. 1968 Instrumental learning of urine formation by rats;changes in renal blood flow. *American Journal of Physiology*, **215**, 677-683.
- 小川栄一 1996 脳波バイオフィードバック訓練に関する一考察:反応時間課題と分化強化訓練を変数として 広島修道大学大学院修士論文.
- Pogelt, B. 1981 Relations between rhythmic brain processes and psychomotor tempo. *Activitas nervosa superior*, **23**, 97-101.
- Pogelt, B., & Roth, N. 1982 Frequency and phase relationship between the EEG and rhythmic automated movements. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*,

42, 163–173.

Roth, N., & Batting, K. 1991 Effects of cigarette smoking upon frequencies of EEG alpha rhythm and finger tapping. *Psychopharmacology*, **105**, 186–190.

Roth, N., Wundrich, B., & Pogelt, B. 1985 Development of psychomotor tempo (tapping speed and stability) and EEG alpha frequency in 7 to 15-years-old children. *Activitas nervosa superior*, **27**, 169–178.

Shiomi, K. 1973 Relationship between EEG alpha-frequency and ability of tapping. *Psychologia*, **16**, 30–33.

志和資朗 1996 バイオフィードバック療法 (Biofeedback therapy) に関する研究 広島修道大学大学院博士学位論文.

杉之原正純・松田 俊・平 伸二 1985 精神テンポの基礎的実験的研究 広島修道大学研究叢書, 第31号.

Summary

The effect of EEG alpha biofeedback training upon behavioral measures of tapping interval and pressure

Akiko Kamikubo and Shoji Kakigi

The present study was to determine whether the EEG biofeedback training could affect the behavioral measures of finger tapping interval and pressure. In Experiment 1 the alpha bidirectional controls of increase and decrease were given to 18 college students to observe the following behavioral modification of tapping. Each subject was undertaken 5 biofeedback training trials of 3 min., tapping being measured in the periods of preceding and following biofeedback training. The results showed that the tapping pressure decreased significantly with no difference in training condition, while no marked biofeedback training effect for both directions was appeared.

Twenty six subjects were participated in Experiment 2 in order to enhance the effect of alpha biofeedback training using a prolonged period of training. The alpha increase training was given to 16 experimental subjects and to 10 control subjects for 3 days each. The evident effect of alpha increase training was observed in the experimental group with the significant decrease of tapping pressure, while no significant changes in EEG and behavioral measure were obtained for control group. Taken these experiments together, it can be concluded that the EEG biofeedback training can modify the following behavioral measure of tapping pressure, which would imply the useful technique in the clinical field.