

令和 3 年 5 月 10 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03179

研究課題名（和文）眼球運動長時間計測のための眼電図波形解析手法の研究

研究課題名（英文）Method for analyzing long-time recording of electrooculography

研究代表者

十河 宏行（Sogo, Hiroyuki）

愛媛大学・法文学部・准教授

研究者番号：90359795

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：眼球運動は注意などの脳機能の非侵襲的な指標として有効である。眼球運動測定の実用には日常的な状況で長時間連続的に測定する技術が不可欠だが、この用途に適した測定法である眼電図では、視線を移動させる眼球運動とまばたきの判別が困難である。本研究では、独立成分分析、決定木、多重解像度解析、ニューラルネット（以下NN）を用いて眼電図波形から視線移動の眼球運動とまばたきの判別を試みた。その結果、多重解像度解析とNNの併用で高い判別成績が得られたが、測定ノイズにより成績が低下するという課題も確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

眼球運動研究の成果を応用するためには、応用場面で眼球運動測定が容易に行えるようになる必要がある。しかし、多くの測定装置は非常に高価であったり、頭部運動を制限する必要があったり、短時間しか測定できないなどの問題がある。本研究で用いた眼電図はこれらの問題を克服できる可能性を持つ測定法だが、視線移動のための眼球運動とまばたきの判別が難しいという大きな問題がある。本研究で検討した眼電図からの視線移動運動とまばたきの判別法は、応用場面で実用可能な眼電図装置の開発につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Eye movement is usable as a non-invasive indicator of brain functions such as attention. Electrooculogram (EOG) is suitable for long-time continuous measurement. However, it is difficult to discriminate between saccadic eye movements and blinks in EOG. In this study, I attempted to discriminate saccadic eye movements and blinks from EOG using independent component analysis, decision tree, multiple resolution analysis, and neural network. As a result, high discrimination performance was obtained by combination of multiple resolution analysis and neural network, but it was also found that the performance was degraded by measurement noise.

研究分野：実験心理学

キーワード：electrooculography eye movement blink

1. 研究開始当初の背景

眼球運動は人間の脳機能の研究における有効な行動指標のひとつである。既知の眼球運動と脳活動の関連の一つとして、脳のドパミン作動性神経系の活動と自発的瞬目の関係が挙げられる(Kerson, 1983)。パーキンソン病ではドパミン作動性神経系の減少による症状のひとつとして自発的瞬目の頻度低下が起こるが、治療薬として用いられるドパミン前駆物質のレボドパを投与すると自発的瞬目の頻度が上昇する。したがって、レボドパの効果の非侵襲的なモニタリング手段として自発的瞬目が利用できる可能性があるが、そのためには患者に負担をかけずに長時間装着し連続測定することが可能な装置が必要である。Iwaki et al (2019)はこの条件を満たす眼鏡型の眼電図(EOG)記録装置を用いて、パーキンソン病患者の自発的瞬目の計測を試みた。その研究において、EOG 波形からの自発的瞬目の検出に課題があることが明らかになった。長時間計測に適している交流 EOG の波形では、読書中などに 1 秒間に数回の高頻度で発生する高速な視線移動運動であるサッカードと、瞬目の波形が類似していて判別が困難なのである。自発的瞬目の検出精度を高めるためには、サッカードと瞬目の波形を高い精度で判別できる分析手法が不可欠である。

2. 研究の目的

眼鏡型 EOG 測定装置の交流 EOG 波形から瞬目とサッカードを判別する方法を考案し、その判別成績を評価する。

3. 研究の方法

サッカードは固視と呼ばれる視線方向が一定範囲に停留する運動と交互に生じるため、固視を瞬目やサッカードと誤判定しないようにするために瞬目、サッカード、固視の 3 種類の状態を判別することとした。また、判別器の学習および判別成績の評価のために、眼鏡型 EOG 測定装置による測定とビデオ式眼球運動測定装置による同時計測を行い、ビデオ式眼球運動測定装置の波形より瞬目、サッカード、固視を判定することとした。

サンプルデータは、10 名の実験参加者に眼電図測定装置を装着したうえで着席させ、前方にビデオ式眼球運動測定装置を設置したうえで、2 種類の課題遂行中の眼球運動を測定したものをを用いた。第 1 の課題では 57cm 前方に設置した PC モニター上に表示された視標の動きを追って、固視とサッカードを繰り返し実行させた。第 2 の課題では、PC のビーブ音に合わせて随意的瞬目を実行させた。

測定終了後、オフラインでビデオ式眼球運動測定装置の出力波形を解析し、速度 22 度/秒以上、持続時間 12 ミリ秒以上、振幅 0.5 度以上の運動をサッカードと判断し、その開始時刻と終了時刻を記録した。また、50 ミリ秒以上にわたって瞳孔が検出されない期間を瞬目と判断して開始時刻と終了時刻を記録した。このようにして検出されたサッカード及び瞬目の開始時刻から、500 ミリ秒分の波形を眼鏡型 EOG 測定装置の出力から切り出した。眼鏡型 EOG 測定装置の出力波形より、サッカードおよび瞬目の開始時刻から終了時刻までの区間を含まないように無作為に 500 ミリ秒分の波形を切り出し、固視注の出力波形とした。眼鏡型 EOG 測定装置のサンプリング周波数は 100Hz で垂直成分、水平成分の 2 チャンネルが記録されるため、サッカード、瞬目、固視の出力波形のいずれも水平、垂直各成分につき 50 次元のベクトルが得られた。得られたデータを確認した結果、ビデオ式眼球運動測定装置の出力において振幅 2.0 未満のサッカードと判定された区間の眼鏡型 EOG 測定装置の出力は、サッカードに対応する波形がノイズと比較して小さく、瞬目と誤判定される可能性は低いと思われたため、サンプルから除外した。

サンプルをサッカード、瞬目、固視に判別する方法として、独立成分分析と決定木を用いる方法(方法 1)と、多重解像度分析とニューラルネットワークを用いる方法を検討した。方法 1 では、独立成分分析を用いてサンプルの水平成分と垂直成分別々に独立成分を計算し、得られた独立成分を結合して特徴ベクトルを得た。続いて、この特徴ベクトルからサッカード、瞬目、固視を判別する決定木を構成した。独立成分の次元は垂直、水平成分ごとに 2 次元から 7 次元までを組み合わせて 49 種類、決定木の深さは 2, 4, 6, 9, 12, 16, 20, 25, 30, 36 の 10 種類を検討した。この方法による判別成績を評価するために、サンプルを参加者毎に無作為に 5 群に分割し、4 群を用いて独立成分の計算および決定木の学習を行い、学習に用いなかった残りの 1 群を判別させた。この手続きを、すべての群が 1 度テスト群に割り当てられるように計 5 回おこない、5 回の正判別率の平均値を計算した。

方法 2 では、1 次、2 次、4 次の Daubechies ウェーブレットを用いてサンプルを離散ウェーブレット変換し、各解像度の変換結果を結合したベクトルを入力として、入力層、中間層、出力層の 3 層からなるニューラルネットワークを構成した。出力は 3 次元とし、サッカードに対して(1, 0, 0)、瞬目に対して(0, 1, 0)、固視に対して(0, 0, 1)を出力するように誤差逆伝播法を用いて学習させた。中間層のユニット数は 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 の 7 種類を検討した。方法 1 と同様に、サンプルを 5 群に分けて、すべての群が 1 度テスト群に割り当てられるように学習とテストを 5 回おこなった。

4. 研究成果

方法 1 で判別を行った結果より、独立成分の次元を高くしても判別成績はほぼ変化しないことが示された。また、決定木の深さは 2 から 9 付近まで増加するにつれて判別成績が改善されるが、それ以上ではなだらかに成績が低下することが示された。これは過学習が原因と考えられる。水平および垂直成分の次元が等しい独立成分を用いた結果で平均正判別率がもっとも高かった組み合わせは「独立成分の次元が 7、決定木の深さが 9」であり、全参加者のデータの平均正判別率は **0.6777** であった。参加者別に見た時、最も正判別率が低かったのは **0.525**、最も高かったのは **0.797** であった。正判別率が低かった参加者のサンプルと高かった参加者のサンプルを比較した結果、測定ノイズの大きい参加者のサンプルでは正判別率が低いことが明らかとなった。固視中の波形の速度ベクトルの絶対値の中央値をノイズの指標として正判別率との相関を計算すると **-0.75** という高い負の相関を示した。

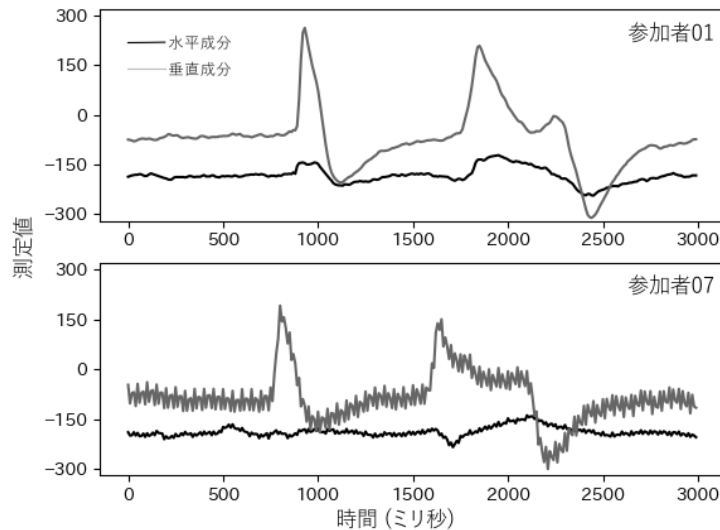


図 1 正判別率が高いサンプル（上）と低いサンプル（下）

方法 2 の結果より、4 次の **Daubechies** ウェーブレットと **4096** の中間層ユニットの組み合わせで最も正判別率が高かった。全サンプルの平均正判別率は **0.691**、最低値は **0.552**、最高値は **0.871** であった。方法 1 の結果と比較するため、方法 1 と方法 2 で最も平均正判別率が高かったパラメータでの正判別率を散布図としてプロットした。その結果、方法 1 で正判別率が高かった参加者のサンプルにおいては方法 2 でさらに高い判別率が得られることが示された。

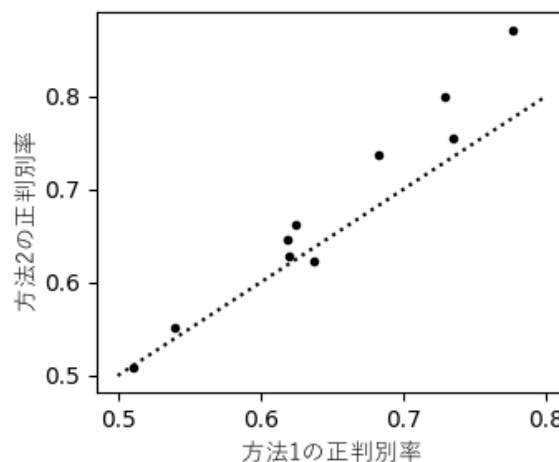


図 2 方法 1 と方法 2 の平均正判別率の比較（各点は参加者に対応する）

以上の結果より、測定ノイズが小さい場合、方法 1 より方法 2 の方が良好な判別成績が得られることが示された。いずれの方法も測定ノイズが大きい場合には判別成績が大きく低下するため、測定ノイズを抑えることが非常に重要である。日常生活のなかで長時間眼鏡型 **EOG** 測定装置を装着して連続記録を行うという状況ではノイズの抑制が困難な場合も考えられるため、さらにノイズに頑健な判別方法を模索し続ける必要がある。

文献

Karson, C. N., (1983). Spontaneous eye-blink rates and dopaminergic system. *Brain* 53, 106–643.

Iwaki H, Sogo H, Morita H, Nishikawa N, Ando R, Miyaue N, Tada S, Yabe H, Nagai M, Nomoto M (2019). Using Spontaneous Eye-blink Rates to Predict the Motor Status of Patients with Parkinson's Disease. *Internal medicine*, 58, 1417-1421.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 十河宏行	4. 巻 49
2. 論文標題 独立成分分析および決定木を利用した瞬目・固視・サッカードに伴う眼電図波形判別の試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 愛媛大学法文学部論集 人文学編	6. 最初と最後の頁 83-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 十河宏行
2. 発表標題 独立成分分析および決定木による瞬目・固視・サッカード眼電図波形判別の試み
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------