

論文内容の要旨

論文題目 Fractal Behavior of Human Eye Movements during Sleep.

和訳 睡眠時眼球運動のフラクタル性について

指導教官 五十嵐 隆 教授

東京大学大学院医学系研究科

平成10年4月入学

医学博士課程

生殖発達加齢医学専攻

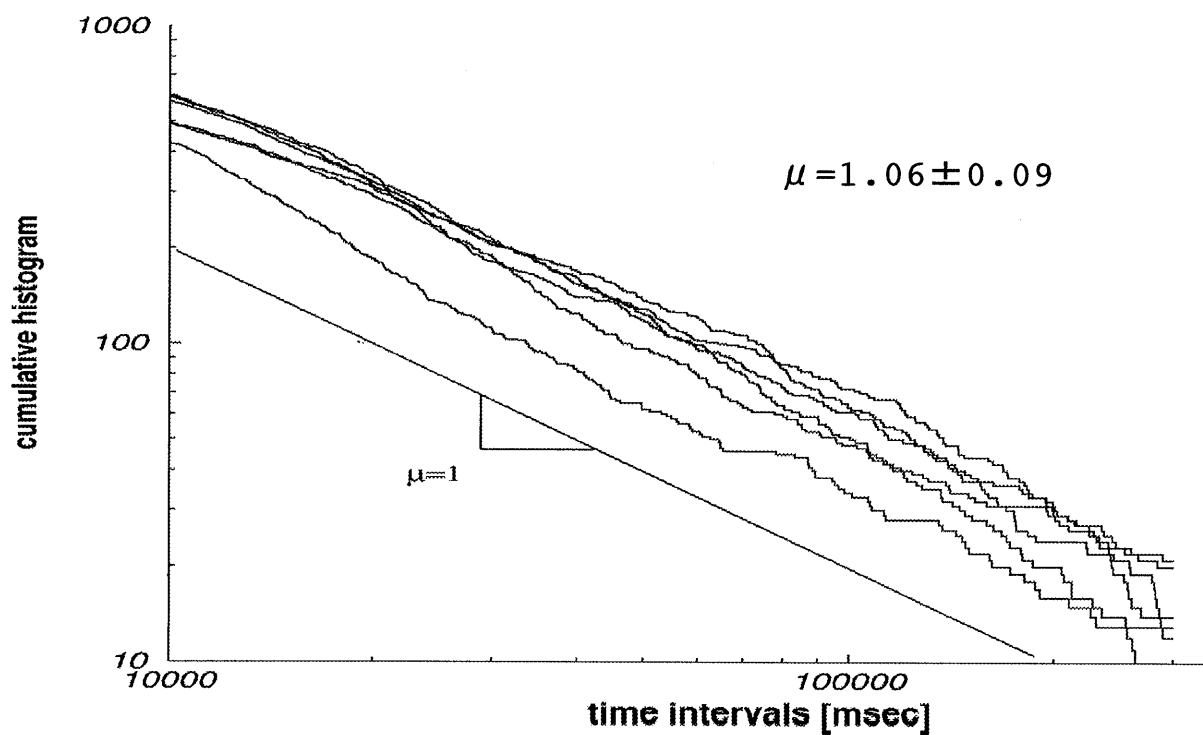
氏名 星山 雅樹

標準的な睡眠評価は、短い時間スケール、または長い時間スケールの構造を用いるが、両者を統合した測定方法は少ない。REM睡眠時の急速眼球運動は、脳波の低振幅パタン、抗重力筋の筋緊張低下、及び夢を伴うが、急速眼球運動の機能とそのフラクタル的特性についての解析は、十分になされていない。この研究では、脳の発達・休息及び記憶の保持に対して重要な情報を含んでいると考えらる睡眠時急速眼球運動の時間構造を明らかにするため、コンピュータを使用した眼電図からの眼球運動抽出プログラムを開発し、夜間睡眠時の急速眼球運動 Burst 間隔（以下 IOBI）のフラクタル解析を試み、さらにそのメカニズムを推論した。

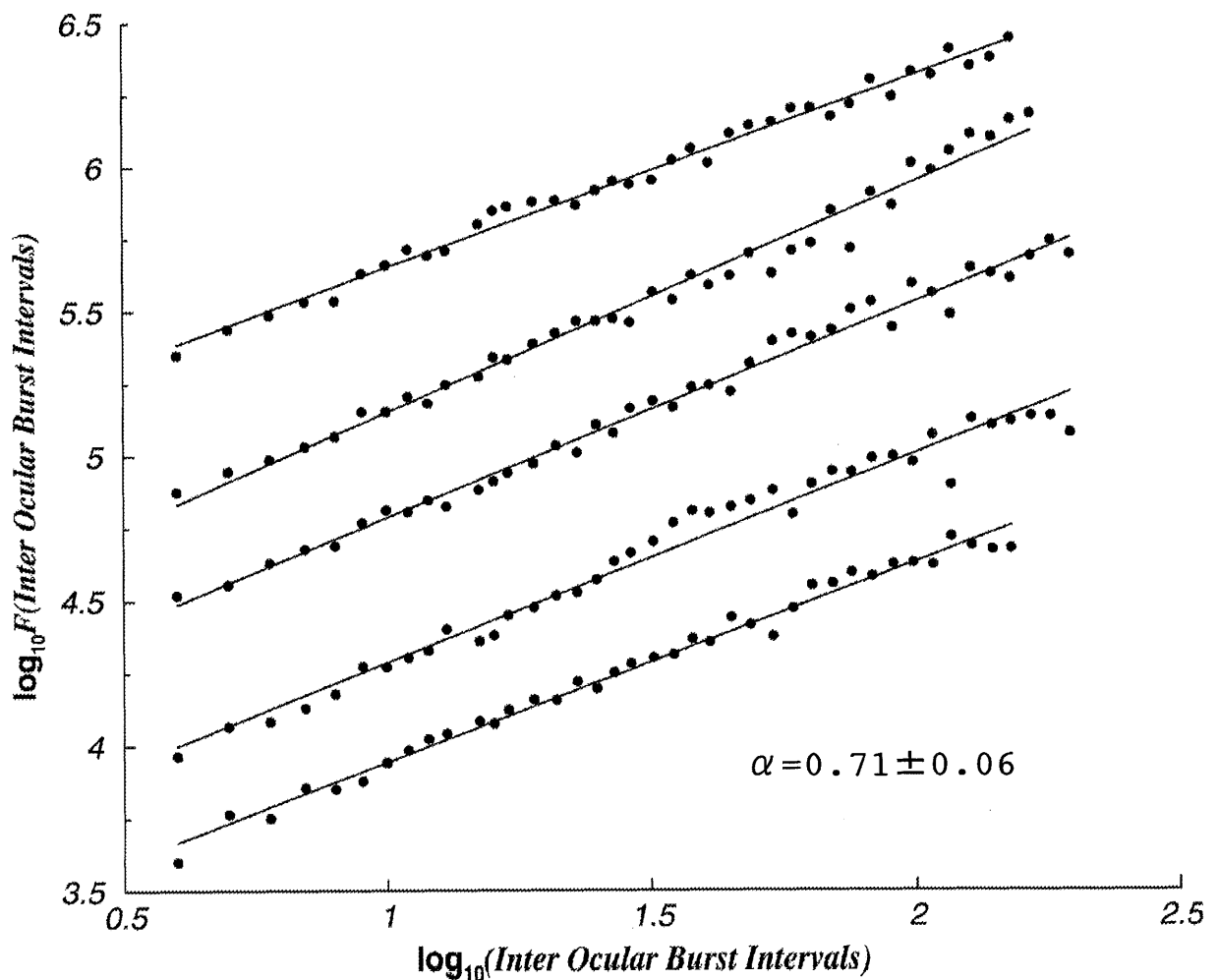
対象は健康な睡眠を有する青年 6 名。

眼球運動抽出プログラムは FORTRN 言語で作成し、左右の眼電位の増幅率の調節、パルスの雑音の除去、左右の電位差の算出、多項式フィルターを用いた高速変動の除去・基線ドリフトの除去、個々の眼球運動の抽出、眼球運動 Burst の抽出という手順で、基線変動や雑音成分の多い眼電図から IOBI を抽出した。

IOBI 積算ヒストグラムでは、べきの関係が認められ、べき指数 $\alpha = 1.06 \pm 0.09$ であった。このことは、急速眼球運動 Burst の静的分布に、スケールに依存しないフラクタル的特性があることを示している。



IOBI の Detrended Fluctuation Analysis (以下 DFA) においても、DFA 指数 $\alpha=0.71\pm 0.06$ なる長期相関が認められた。このことは、急速眼球運動 Burst の動的特性におけるフラクタル性を示している。IOBI の順序をランダムに並べ替えると、DFA 指数 α は 0.52 ± 0.03 と不相関を示した。このことは、IOBI に認められた動的長期相関がデータの静的分布による影響によるものではなく、真の動的長期相関であることを示している。



上記結果から、急速眼球運動 Burst を発火させるメカニズムを推論し、対数ポテンシャル場における random walk model を構築した。対数ポテンシャル場は、

$$V(x) = b \ln x$$

で記述され、その場では発火基線 ($x=0$) に向かう

$$f(x) = -dV(x)/dx = -b/x$$

なる引力がはたらく。ここで、

$$f(x) = -b/x^\gamma$$

なる引力が、スケール依存しないフラクタル的特性を発生させるには、 $\gamma = 1$ が要請される。今回のデータから、ポテンシャルパラメータは $b = 0.56 \pm 0.09$ と算出された。さらに、DFA に表現された動的長期相関を織り込むべく、長期相関メモリー効果のある神経回路網を想定し、対数ポテンシャル場にメモリー効果を導入した。

睡眠急速眼球運動時における cholinergic Pontine-Geniculate-Occipital (PGO) 状態が、脳の発達・休息及び記憶の保持に対して重要な役割をはたすこと、及び睡眠障害の cholinergic-aminergic balance model による説明を考慮すると、IOBI のフラクタル的活性化様式は、短時間および長時間構造を統合した新しい睡眠の定量的指標として有用であると考えられた。また、分裂病の眼球運動固定時間にフラクタル性を認めた報告があるが、夢をみている状態の意識との共通性を考慮すると、精神疾患、心理的影響の定量化への可能性も示唆される。