

穴見 公隆 論文内容の要旨

主 論 文

Stepping stone sampling for retrieving artifact-free electroencephalogram during functional magnetic resonance imaging

Stepping Stone Sampling 法を用いた、機能MRI 撮像時に
アーチファクト混入のない同時脳波測定法の開発

穴見公隆、森健之、田中富美子、川越勇介、岡本淳、鎗田勝、大西隆、湯本真人
松田博史、斎藤治

NeuroImage 19 巻 281 - 295 [15 頁] 2003 年

紹介者：長崎大学大学院医学研究科内科系専攻 小澤 寛樹 教授

緒 言

従来、脳機能画像診断学では PET、SPECT が主流であった。しかし、これらの方法では時間分解能が不十分なため、短時間の脳内事象に相関する脳部位を描出できなかった。一方、脳波の生理学的知見には莫大な蓄積があるが、その空間分解能の低さのため、ある特定の脳波現象に相関する脳内局在を明らかにできなかった。ところが近年、機能 MRI (以下 fMRI) が開発され、2 秒足らずで全脳の機能画像が撮像可能となった。脳内事象が数百ミリ秒から数秒の持続時間であることを鑑みると、fMRI をもってはいじめて、脳機能画像法が脳内事象の「速さ」に追いついたと言える。そこでもし脳波と fMRI の同時計測が可能になれば、統計的手法によってある特定の脳波現象のみに、たとえばてんかん性異常波、瘤波・紡錘波などの睡眠脳波、薬物脳波、波などの背景脳波、事象関連電位などに相関する脳内局在を MRI 断層画像上にマッピングすることが可能となる。しかしながら、脳波を fMRI と同時・並行的に計測することは容易ではない。fMRI 撮像は数 kW の電磁波と高速な傾斜磁場スイッチングを利用し、一方脳波は μV 単位の微弱な生体信号を対象としている。したがって通常の fMRI 環境下で脳波を測定すると、脳波記録上に巨大なアーチファクト(撮像アーチファクト)が重畳するため脳波信号を得ることは不可能である。本研究は、そのような fMRI 撮像中であっても、高品質の脳波を得るための新しい方法を提案したものである。

対象と方法

ファントムおよび5名の健常ヒト被験者を用いた。脳波計に Neuroscan SynAmps I、MRI スキャナに Siemens Vision Plus (1.5Tesla) を使用した。撮像アーチファクト抑制法の基本概念は以下の通りである。まず、DC から 3000Hz までの広周波数帯域で撮像アーチファクトを検討し、このアーチファクトがもたらす傾斜磁場スイッチングに起因し、電磁誘導の法則によって生じること、つまり元の傾斜磁場波形の微分波形がアーチファクト波形に相当することを見いだした。このことから逆に、傾斜磁場をプログラムすることで撮像アーチファクトの出現時刻と波形を自在にコントロールできる。そこでわれわれは、脳波のデジタル・サンプリングの瞬間には、たとえ傾斜磁場が動作していてもその変化が静止している瞬間を設けることで、アーチファクトを0にできる瞬間「サンプリング柵」を作り、この柵上でサンプリングする限り測定脳波にほとんどアーチファクトを混じらない fMRI シーケンスを開発した。これを 1) stepping stone sequence と称した。さらに、常に安定してこのサンプリング柵上で脳波サンプリングを行うために、2) fMRI 撮像と脳波測定の開始時刻が精密に同時になるように、両者を電気的なトリガーにて開始した。さらに、3) MRI スキャナと脳波計の内部クロックを常に同期させておくために、ふたつの機器がそれぞれに内部クロックを保有するのを改め、MRI スキャナのクロックによって脳波計をも駆動した。以上 1) 2) 3) の工夫がわれわれの提案する fMRI 撮像中の脳波測定の方法であり、これを stepping stone sampling 法と称した。

結果

実験 1) stepping stone sequence が、実際に fMRI シーケンスとして動作するか否かを確認するために、ヒトにて視覚刺激実験（脳波測定なしの状態）を施行し、正常に動作することを確認した。実験 2) ファントムを用いて通常の方法と stepping stone sampling 法とを比較検討した結果、撮像アーチファクトの振幅は通常の方法では 2000 μ V 程度であったが、stepping stone sampling 法ではその約 1/22 にすぎなかった。さらに低振幅の残存アーチファクトの加算平均を減算した結果、アーチファクトが十分に抑制できていることが示された。実験 3) ヒト実験では、同時測定脳波から開閉眼による波の変動を視察で判定することが可能であった。高速フーリエ変換による周波数解析では、fMRI 撮像中でも非撮像中とかわりない品質の脳波が得られることが示された。

考察

従来、広帯域アンプにて歪みなく撮像アーチファクトを測定し、その加算平均波形の減算、適応型フィルタを用いる方法 (Allen et al., 2000) や、高速フーリエ変換を用いたフィルタリング法 (Hoffman et al., 2000) などが提唱されてきた。しかしながらこれらの方法では、脳波信号も消去されたり、周波数帯域が限定されるなどの制限がある。本方法は、それらの制限もほとんどなく、通常の検査室とほぼ同等の品質の脳波測定を可能とする新たな方法であることを確認した。