

平成22年 5月28日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700352
 研究課題名（和文） 皮質・小脳・上丘によるサッケード眼球運動制御機構の複合的モデルの構築
 研究課題名（英文） Development of integrative model of saccadic eye movement control by Cerebrum cortex, Cerebellum, and Superior Colliculus
 研究代表者
 池田 琢朗（IKEDA TAKURO）
 生理学研究所・発達生理学研究室・共同研究員
 研究者番号：90419862

研究成果の概要（和文）：サッケード眼球運動は日常生活において重要な運動であるが、その制御機構には不明な点が多い。サッケードは100ミリ秒以下の極めて短時間に行われる運動であり、そのため運動中には制御されていないと考えられてきた。しかし本研究により大脳皮質からの視覚情報によってサッケード運動中に精密な制御が行われていることが明らかになった。この結果は運動制御だけではなく、視覚認知や注意といったより高次の脳機能の理解にも繋がるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：Saccadic eye movement was considered as a ballistic movement, which is not controlled during its movement. However, in the current research, we showed that saccades are precisely controlled during its movement using visual information from visual cortex. The result will help to understand higher order cognitive functions which often modulate saccadic eye movement.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学 神経・筋肉生理学

キーワード：眼球運動

1. 研究開始当初の背景

人間は周囲の環境を知覚する際にサッケードと呼ばれる極めて速く正確な眼球運動を繰り返し行っている。網膜の解剖学的特製により、広範囲の視覚情報を処理するにはサッケード眼球運動が不可欠であり、無意識に行われるこの運動は、我々の日常生活において

非情に重要である。また、測定の簡便さと指標としての有効性から、多くの心理学、生理学実験において行動課題として使われている。特にこの数十年の間に、サッケード眼球運動が、単なる反射的な運動ではなく、注意や予測、報酬期待といった高次の情報によって調節されることが明らかになっており、高

次脳機能の研究におけるサッケード眼球運動の重要性は増している。また数々の神経疾患においてサッケード眼球運動の異常が知られており、臨床鷹揚においても重要である。近年の研究の結果、サッケード眼球運動の神経基盤について多くの知見が得られているが、その詳細な運動制御機構については明らかになっていない。特に、その正確性については不明な部分が多い。サッケード眼球運動は極めて速く、角速度にして1000度/秒を超えることもあり、実際の運動時間は100ミリ秒以下という短時間で終了する運動であるが、同時に極めて正確であり、その誤差は視野角にして数度以下であることが知られている。如何にしてこれほど速く、正確な運動を達成しているのかについてはいくつかのモデルによる予測も為されているが、実験による検証とモデルの確立は為されていない。サッケード眼球運動の制御機構について高等哺乳類を用いた実験を行って解析することにより、今までの研究結果をより深く理解することが可能になり、また今後の研究や臨床応用に役立つことが期待される。

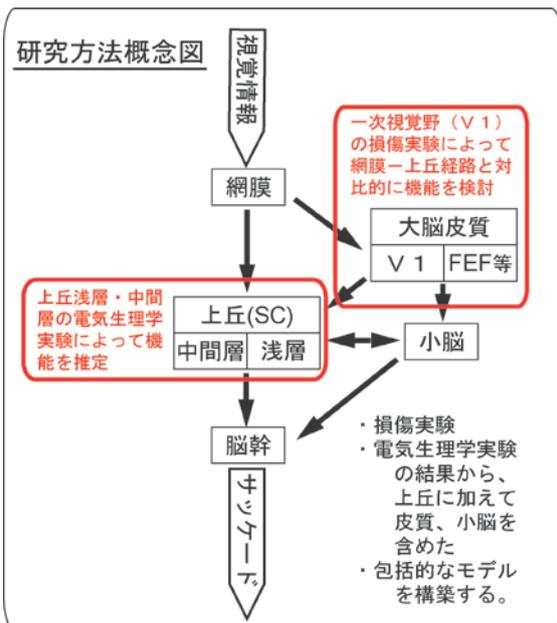
2. 研究の目的

本研究ではサッケード眼球運動の制御機構の神経基盤を明らかにすることを旨とした。特に現在サッケード眼球運動において重要な役割を果たしていると考えられている、視覚野を含む大脳皮質、小脳、上丘の相互関係に着目し、それらの差異、繋がりを知ることによって、複合的なモデルを構築することを目的とした。現在までの研究において、サッケード眼球運動における上丘の機能や、大脳皮質の前頭眼野、補足眼野の機能、あるいは小脳虫部の機能についての知見は蓄積されているが、それらの領域間の関連については明らかになってはいない。また、実際の運動制御についての研究も多くはないのが実情である。本研究では、こうした点に注目し、領域間の関連と、サッケード眼球運動の制御におけるその役割について研究を進めるものとした。

サッケード眼球運動の制御においては、上丘と小脳が機能分担をして働いている、あるいは大脳皮質からの情報によって上丘からの運動司令が修飾される、といったモデルが提示されているが、実験的にこうしたモデルを直接検証した研究はほとんど存在しない。本研究では、損傷実験、生理学実験、行動解析を組み合わせることにより、実験結果から既存のモデルを評価し、より優れたモデルを構築することを最終的な目的として設定している。

3. 研究の方法

一次視覚野を除去した動物モデルを用いて、視覚誘導性眼球運動課題中のサッケード眼球運動の運動パラメータを記録し、正常状態と比較することにより、一次視覚野を介した視覚情報が運動制御に果たしている役割を明らかにすることを試みた。サッケード眼球運動は高等哺乳類において特に発達しており、ヒトのサッケード眼球運動の神経基盤を知るためには解剖学的にも生理学的にもヒトに極めて近いマカクサルを使用すること

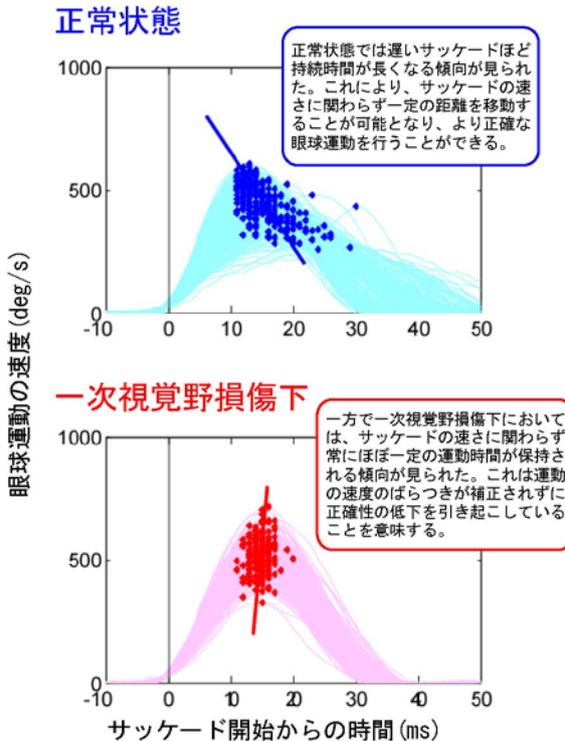


が必要である。眼球運動に必要な視覚情報については、両生類のような進化の早い段階から存在している皮質下の経路（網膜—上丘経路）と、行動哺乳類において発達している皮質経路（網膜から一次視覚野を介して皮質や他の脳領域へと至る経路）の2つの経路に大別することができる。本研究は、これら2つの経路の内、皮質経路を選択的に阻害することにより、皮質下の経路によって制御する機能と皮質経路を必要とする機能を分離比較する。同時に上丘からの神経細胞活動記録を行い、皮質と上丘の関係を調べ、また小脳を含めた機能を推察する。これまでの研究は、単一領域に焦点をあて、それぞれの領域がどのような機能を持っているかを調べるものがほとんどであったが、サッケード眼球運動のように脳内の多くの領域が関与する現象においては、個々の領域の機能だけではなく、それぞれの関係を知ることが重要である。本研究では、損傷実験による特定の経路の機能を阻害することにより、各領域の機能連関を調べ、さらに従来の電気生理学的実験を組み合わせることにより、今までの知見を発展させて新しいモデルを構築することを試みた。

4. 研究成果

一次視覚野を損傷した状況下においては、サ

ッケードの正確性が損なわれることが知られている。この原因としては一般的に、一次視覚野の損傷によって視覚情報が曖昧になるために結果として運動が正確に行えなくなるものと考えられてきたが、今回サッケード運動のパラメータを詳細に検討した結果、正常な状態ではサッケードの運動中に正確さを保つための制御が働いているのに対し、一次視覚野損傷下ではこうした制御が阻害されていることが明らかとなった（下図参照）。



こうした制御機構がサッケード運動の度に働いていることを直接的に示す結果は初めて報告されるものであり、学会発表においても、臨床の分野から、生理学や計算論、工学の分野に至るまで、幅広い研究者から国内外において新しい発見として評価を受けることができた。サッケード眼球運動が極めて短時間に終了することを考えると、運動中のフィードバックによる制御機構が働いていることは考えにくく、なんらかの内部モデルによるリアルタイムの制御が機能しているものと考えられる。現在電気生理学的実験の結果とあわせて新たなモデルを構築している段階であり、より発展的な知見を提供できるものと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① T. Ikeda, M. Yoshida, T. Isa

Lesion of primary visual cortex in monkey impairs the inhibitory, but not facilitatory, cueing effect on saccade
Journal of Cognitive Neuroscience (2010)
掲載決定 査読有

② M. Yoshida, K. Takaura, R. Kato, T. Ikeda, T. Isa

Striate cortical lesions affect deliberate decision and control of saccade: implication for blindsight
Journal of Neuroscience. 28: 10517-10530 (2008) 査読有

[学会発表] (計5件)

① T. Ikeda, M. Yoshida, T. Isa

Functional role of primary visual cortex in compensatory control of saccade.
Annual meeting: Society for Neuroscience (2009, Oct 17-21 Chicago, USA)

② 池田琢朗 吉田正俊 伊佐正

Function of primary visual cortex in compensatory control of saccadic eye movement
日本神経科学大会 (2009年9月16~18日 愛知)

③ T. Ikeda, M. Yoshida, T. Isa

Compensatory control of saccadic eye movement is impaired after V1 lesion.
European conference on eye movements (2009, Aug 23-27 Southampton, England)

④ T. Ikeda, M. Yoshida, T. Isa

Accurate control of saccade during movement was impaired after lesion of the primary visual cortex
Annual meeting: Society for Neuroscience (2008, Nov 15-19 Washington, DC., USA)

⑤池田琢朗 吉田正俊 伊佐正

Retino-tectal visual pathway is
insufficient for precise control of
saccades

日本神経科学大会 (2008年7月9～1
1日 東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 琢朗 (IKEDA TAKURO)

生理学研究所・発達生理学研究系・共同研
究員

研究者番号：90419862