

動作時眼球運動の個人差と発達障害との関係

名古屋大学大学院 医学系研究科 精神医学分野

東島（宍戸） 恵美子

1. 目的

私たちが物を見るとき、視点は、ひとつのところに数百ミリ秒留まり、次の場所に移り、次々と別の場所を凝視するように移り変わる[1-3]。たとえば、物をつかもうとするとき、まず動作を行う1秒ほど前に目標の点を見て、次に、その視点のほうに向かって手を伸ばすことが知られる。自閉症スペクトラム障害や学習障害を含む発達障害では、発達障害の児童では、一部に、線画を書いたり、文字を書いたりすることに大きな困難を抱える場合があると報告される。しかし、どんな神経活動に障害があり、結果として行動がどのような影響を受けているのかはほとんどわかっていない。運動の障害が目立つ場合もあれば、めだたない場合も多く、定量的かつ分析的な手法を用いて、異常を起している神経基盤を明らかにすることが、病態理解や介入には大切と考えられる。本研究では動作時におけるアイ・ハンド・コーディネーションの代表的な例として、描画時の目と手の協調運動の測定を行い、手と目の動きのタイミングを時系列で測定・解析し、健常群と疾患群では具体的にどのような違いがあるのかを調べることを目標とし、その結果を踏まえて最適な介入のための評価や手段へつなげることを考察する。

2. 方法

線をなぞるときは、ペン先や手の動きを眼で追いながら、同時に手の動きをコントロールする必要がある。申請者は、これまで、人が線をなぞるときに、手と眼をどのようなタイミングでコントロールするかを測定し、健常人の中に個人差があることを見出している[4]。ペンの入力には、KeyTech社製マジックタッチ(透明なタッチパネル)を用い、視線計測にはTobii TX60Lを用いた。画像呈示用には、Windows PCを用い、ペン入力と、Tobiiからの出力をトリガー信号で同期させた。呈示画像には、ジャーク最小軌道を用い、幅8mmの白線を灰色の背景に描き、両端にピンク色の円を描いたものを使った。参加者には、左から右へ向かって白線をなぞるように指示し、30種類の軌道をランダムに呈示し、それぞれの軌道を4回ずつなぞるように指示した。なぞるときペンの位置と、視線位置の測定を行った。描画スピードの調整は、自然な早さ、描画スピード調整(2段階)の3つの条件でなぞるように指示を出し、画像呈示用PCのプログラミングで、一定時間で画像が切り替わるようにした。19人の被験者に参加していただき、そのうちの7人は書道教師、残り12人は書道経験がない人とした。通常の描画スピード、2段階のスピード調整を行い、全ての条件の測定において、視線取得率80%以上で、30軌道がそろったのは17人だったため、その17人のデータを解析に用いた。提示画像による違い、スピード、視線先行のタイミングや距離、運動誤差(基準線とのずれ)を算出し、目の動き、および、曲率による手の動きのスピードをモデル化した。また、モデルケースとして書道の先生の動きを分析し、その傾向を使って一般の人のバリエーションが記述できるようにデザインした。

3. 結果

平成26年度～平成27年度の測定およびデータ解析では、健常者の動作時(描画時)における目の動き、および、手の動きについて以下の新しい知見を得た。

A

B

C

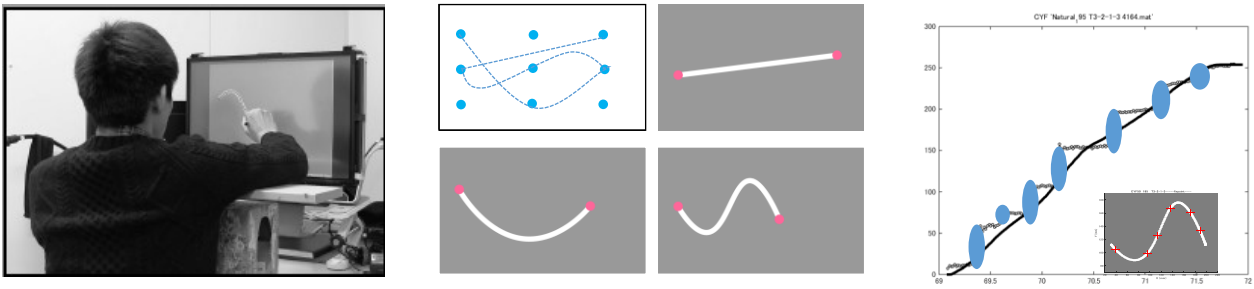


図1 測定系の説明と、ジャーク最小軌道の作図

A測定装置 Bジャーク最小軌道の作図 C軌道上のペン位置と視線位置の時系列データと、視線停留点 (inset)

(1) サッケード運動のタイミングは、原則的に描画スピードに比例する

図2Aに示すように、サッケード前の視線は、多くの場合でペンよりも遅れており、ペンスピードが増す毎に、視線は遅れていく。MatlabのRobust回帰を用いて線形回帰モデルを作成したところ、多くの被験者で、回帰P値<0.05であり、サッケード前の視線先行はペンスピードに依存してマイナスの方法に増加する。つまり、自分で描いているペンのスピードが速くなればなるほど、視線は早めのタイミングでサッケード

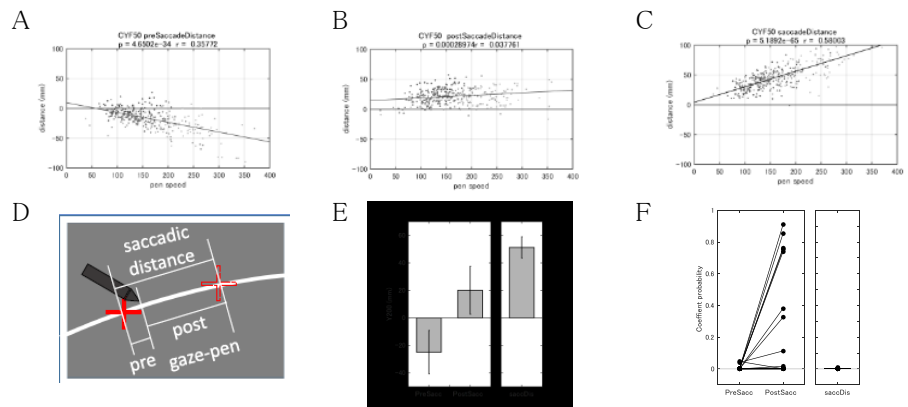


図2 サッケード前後の視線先行とペンスピードの関係

A、B サッケード前(A)、サッケード後(B)の視線先行 Cサッケードによる移動距離。いずれも代表的な被験者の例。D測定値の説明、サッケード前後の視線位置を赤いプラス記号で表し、サッケード時におけるペンスピードに対してプロットした。E ペンスピード200mm/secにおける17人の被験者の視線距離。 F 線形回帰モデルのP値、17人の被験者全員をサッケード前後、サッケード距離についてプロットした。

ドを始める性質がある。一方で、サッケード後の視線先行については、このような性質は多くの場合でなく、サッケード後の視線先行量は、ペンのスピードにあまり依存しない(図2B、F)。しかし、ペンスピードが上がるにつれて、サッケードで移動する距離は比例して多くなり(図2C)、回帰モデルは17人全ての被験者でP<0.05となる。以上から、「サッケードを始める位置は、ペンのスピードに比例して手前になり、サッケードで移動する距離は、ペンのスピードに比例して長くなる」、という基本的な性質が明らかになった。

(2) サッケード時に視線がある部分の曲率の違いによって、描画スピードが変わる

次に、描画スピードを見てみると、Sタイプの軌道(図3A左上のinset)では、最初と最後にスピード上昇下降するが、その中間ではスピードはほぼ一定である(図3Aのオレンジ線)。また、曲率(青線点線)も大きな変化がない。一方で、Tタイプの軌道(図3B左上のinset)では、曲率の変化に合わせて、スピードが上下する。カーブがきつところではスピードを上げ、直線に近いところでは、描画スピードを上げる。このような行動は何から起こるのだろうか？本研究では、元となるジャーク軌道、および、実測値について、ペンのスピードと視線位置における曲率の関係を探索的に解析した。

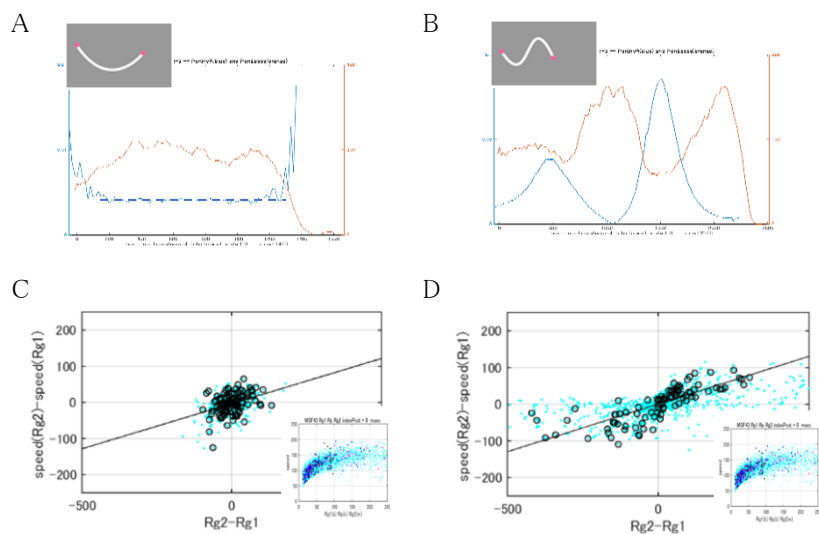


図3 ペンスピードと曲率の関係
 A 曲率の変化が少ないSタイプの軌道におけるペンスピード(オレンジ)と基準線の曲率半径(青)。横軸は時間(msec)。B 曲率の変化が大きいTタイプの軌道におけるペンスピード(オレンジ)と基準線の曲率半径(青)。C、D サッケード前後の視点における曲率半径の差分とペンスピードの差分。曲率半径とペンスピード(inset)。

曲率とスピードは、そのままでは比例関係にないが(図3CDの右下inset)、サッケード直前の視線位置と、サッケード後の視線位置における、曲率の差と、スピードの差を比較したところ、両者に関係があることがわかった。Sタイプの軌道では、曲率の変化、スピードの変化とも少ないが(図3C)、Tタイプの軌道では、二点間の曲率の差と、スピードの差が比例関係にあり、つまり、曲率の絶対値ではなく、曲率の変化に伴って、ペンのスピードを上げたり下げたりしていることが明らかになった(図3D)。

4. 考察

本研究は、人の描画における動作を、視線の計測と、手(ペン)の動きから解析した非常に単純な測定系である。動作時における手の動きのスピードと、サッケード眼球運動の関係、そして、手の動きと、視覚情報の関係を詳しく示した最初の例である。被験者間で一致した基本的な描画時の目と手の動きの性質を見つけ出すことができたことは、「視覚情報を伴った手のコントロール」の指標作成の際の基礎となると考えられる。今後は、まず健常者大人におけるバリエーションを記述するためにデータを蓄積し、次には、小児の測定および健常群大人および健常者小児のデータを使って、学習障害、自閉症スペクトラム障害、統合失調症の一部に学習障害を合併する場合など、疾患群でどのような性質があるかを調べ、特徴を抽出し、各疾患の下位サブタイプの分類や介入に役立てることができると考えている。

5. 参考文献

1. Todorov, E. and M.I. Jordan, Optimal feedback control as a theory of motor coordination. Nat Neurosci, 2002. 5(11): p. 1226-35.
2. Flanagan, J.R. and R.S. Johansson, Action plans used in action observation. Nature, 2003. 424(6950): p. 769-71.
3. Coen-Cagli, R., et al., Visuomotor characterization of eye movements in a drawing task. Vision Res, 2009. 49(8): p. 810-8.
4. Emiko SHISHIDO, K.Y., Tatsuki ITOH, Yoshikuni ITOH, Shuntaro OKAZAKI, Keiji IMOTO, Norihiro SADATO, Naohiro FUKUMURA, Norio OZAKI, *Eye-hand coordination in tracing tasks by professional and non-professional calligraphers*. 日本神経科学学会大会

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.