

助成の種類：

平成 25 年度研究助成

研究テーマ：

「ヒトの動作において視線の果たす役割に関する研究 -書字動作、系列的動作を用いた臨床的検討-

氏名：

寺尾 安生

所属：

東京大学大学院

医学系研究科

脳神経医学専攻神経内科

活動報告

本研究の目的

我々が日常生活で行う動作は、殆どの場合手や足が単独で動くのではなく、外界の視覚情報に基づいて行われている。この際、視線と動作との間には緊密な時間的空間的協調関係 (eye hand coordination) があることが知られている。例えば目の前の物を掴もうとする際、まず視線が対象物に向けられ、その約 0.5 秒後に手がやってきて物をつかむような順序で動作が行われる[1]。最近 15 年ほどの間に、視線解析装置・コンピューターの性能の向上によりこの分野の研究は飛躍的に進歩したが、eye hand coordination の観点から日常動作について検討した研究はまだ少ない。単純な動作だけでなく、より一般的な日常動作で視線の動きがどのような役割を果たすかは殆ど知られていない。そこで本研究は、書字など日常的場面でのヒトの運動動作において視線の果たす役割を明らかにすることを目的とした。また正常人だけでなく神経疾患など臨床症例でも検討を行った。

眼球運動および手の動きの記録装置の開発

実験に先立ち現有の視線解析装置とタッチパネルを組み合わせ、到達動作、書字などの動作の際に視線の動きと手(指)の動きが同時に計測できるシステムを開発した(図1)。視線解析装置は The EyeLink 1000 system (SR Research, Mississauga, Ontario, Canada) を使用した。この装置は、角膜反射法により視線の方向を計測するもので、視線の向きは左

眼より計測した。この装置では課題試行中に視線がモニター上のどこをみているかがフレーム周波数 1000Hz で経時的に記録され、空間解像度は 0.5deg 以内である。

タッチパネル (17 インチ液晶モニターVT-788E、画面の大きさは 35 cm X 26cm、テクトーン、大阪) のリフレッシュレートは 60Hz で被験者からモニターまでの距離は 30cm とし、モニター上の 0.52cm が 視野角の約 1deg に対応した。タッチパネルに付属する計測開始時に同期して眼球運動および手(指)の動きの記録が開始されるようにした。

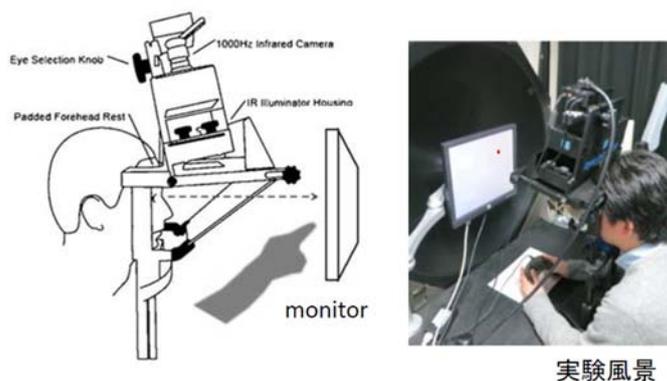


図 1

1. 指鼻試験を用いた eye-hand coordination の臨床的検討

日常生活でのヒトにおける基本動作の一つは、目の前の物体に手を伸ばす **reaching** の動きであるが、これまで正常者の検討が主であり [2]、臨床的な場面でどのような異常が見られるかはあまり検討されてこなかった。神経内科疾患では小脳症状をみる方法の一つとして指鼻試験が行われる。この診察法は、患者にまず指先を自分の鼻にあてさせ、次に検者の指先を触らせるというように、患者の鼻と検者の指の間を交互に行き来させるものである。小脳疾患患者では目的の場所で指を止めることができず、指が鼻の位置を行き過ぎたり (測定過大 **hypermetria**) 到達する前に止まってしまうたりする (測定過小 **hypometria**)。また行き来する間の指の運動の軌道がぎこちなく、いくつかの動きに分解したようになる (運動分解)。本研究は年齢をマッチした正常者と神経疾患患者で視線と手 (指) の動きを同時計測することにより、指鼻試験を行う際の手と視線の協調関係が神経疾患でどのように障害されるかを検討した。

方法

これまでで小脳症状を呈する神経疾患患者 6 名 (多系統萎縮症 3 例、遺伝性脊髄小脳変性症 (SCA31) 1 例、小脳症状が著明な進行性核上性麻痺 (PSPc) 2 例) と年齢をマッチした健常者 4 例において計測を行った。課題としては、指鼻試験に類似した **finger to nose** 課題、また視覚誘導性、および記憶誘導性 **reaching** 課題も行なった (図 1)。

finger to nose 課題は被験者の前に垂直に置かれたタッチパネル画面上の様々な位置に提

示されたターゲットの場所を示指でタッチさせる課題である。finger to nose 課題では、最初机の上に置いた starting position のボタンに被験者に手を置いてもらう。その 1-2 秒後に、タッチパネルの画面中央を中心として 3.4、6.7、10.1 cm の円の外周上で、左右上下の位置を含む均等の間隔(7.5 度)で並んだ 48 か所の位置のうちの一つに、ランダムな順序でターゲットが呈示されるので、被験者はボタンを離し、このターゲットの位置をタッチした。

視覚誘導性 reaching 課題では、まずタッチパネルの画面中央に赤い点が提示されるので、被験者に触ってもらう。1-2 秒経過すると、この点が上記 48 か所のいずれかの位置にジャンプするので、タッチパネル上で指を滑らせながら、この位置に向かって動かしてもらう。

記憶誘導性 reaching 課題では、同様にまず画面中央に赤い点が提示されるので、被験者にここを触ってもらう。その後 1-2 秒後にターゲットの位置に同様の赤い点が上記の 48 か所のうちの一つの位置に短時間(50ms)提示され、すぐに消える。被験者はこの位置を記憶しておくが、真ん中の赤い点が呈示されている間はこれを触ったまま指を動かさないように指示する。更に 2-3 秒後に真ん中に提示された赤い点が消えるので、記憶しておいたターゲットの場所に向かって、タッチパネル上で画面上を滑らせながら指を動かしてもらう。

finger to nose 課題の各試行の始まりは、被験者が starting position のボタンを離れた時点とした。試行が始まってから、被験者がタッチパネルに触るまでの間の経時的な画面上の視線の位置、及び手(指)がタッチパネルに触れた位置とタイミングを記録した。

視覚誘導性 reaching 課題、記憶誘導性 reaching 課題では、被験者がタッチパネル上の真ん中の点に触った時点を試行の始まりとした。この時点から被験者の指がターゲットの位置に移動するまでの間の経時的な画面上の視線の位置、及びタッチパネル上の手(指)の位置のピクセル座標を同時記録した。

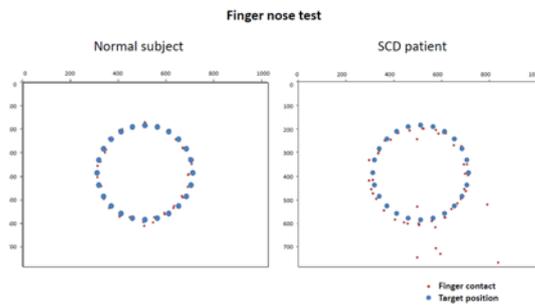
結果

Finger to nose 課題では、神経疾患群で健常者群に比較してタッチした位置のばらつきは大きかった(図 2,3)。視覚誘導性 reaching 課題においては、神経疾患群・健常者群とも比較的正確にターゲットの場所をタッチできていたが、神経疾患群では健常者に比較して hypometria の傾向が目立った。他方、記憶誘導性 reaching 課題では、神経疾患患者では健常者と比較して hypermetria がより目立つ傾向があった。

Finger to nose 課題、視覚誘導性 reaching 課題では、健常者・神経疾患患者とも視線がまずターゲットをとらえ、その後ターゲットへの指の動きが認められた(図 2,3)。Finger to nose、視覚誘導性 reaching、記憶誘導性 reaching 課題いずれも、健常者では視線がほぼすべての試行で一つのサッカードでターゲットをとらえているのに対し、神経疾患患者においては hypometria や hypermetria のため、二回以上のステップのサッカードでターゲットをとらえる試行が多かった。

神経疾患患者において指のタッチのばらつきと、ターゲットをとらえる視線のばらつきとを比較すると、hypometria や hypermetria の程度は前者の方が比較的軽かった。

手の位置



視線の動き

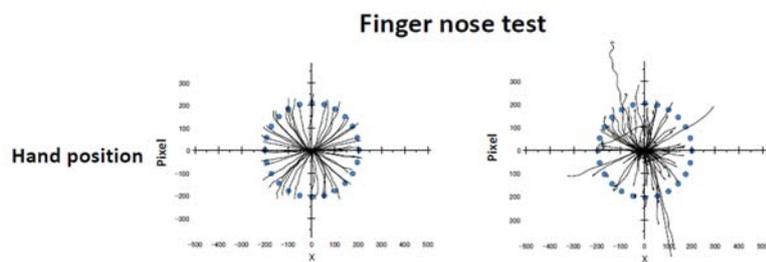
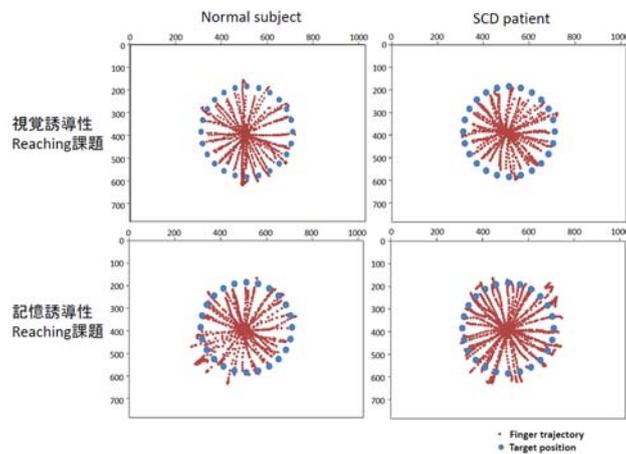
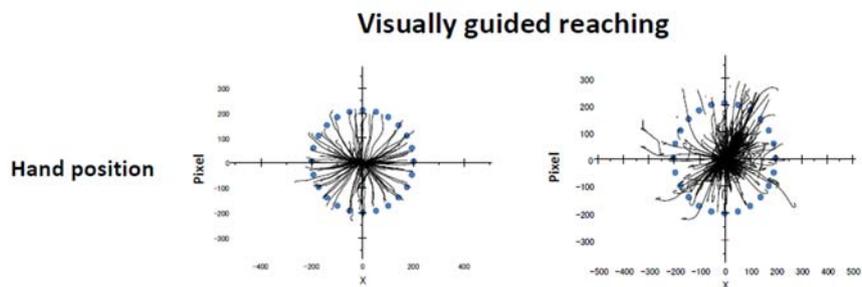


図 2

手の位置



視線の動き



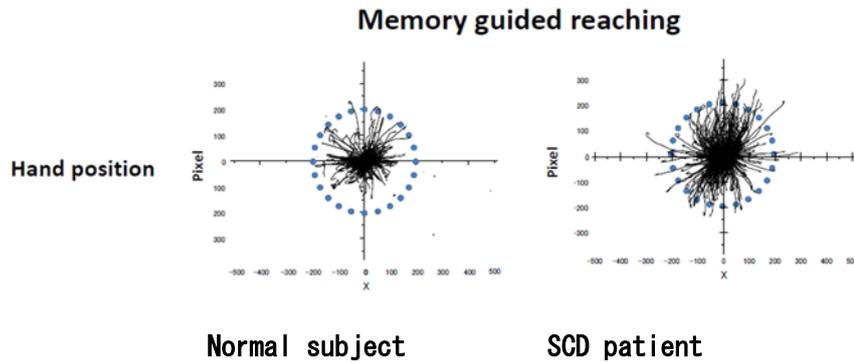


図 3

考察

各課題で神経疾患患者で、手の動き、視線の動きともターゲットをとらえる動きがばらついたことは、小脳疾患患者の指鼻試験で振幅過大・過小がみられやすいという臨床的観察と合致していた。他方、神経疾患群では視線のばらつきが直接指でタッチする位置のばらつきに反映されるわけではないことも示された。さらなる定量的評価のため、より症例数を増やした検討が必要である。

2. 人における書字動作の際の eye hand coordination に関する研究

書字動作を行う際の eye hand coordination について検討した。Parkinson 病(PD)患者では文字を書いているうちに段々字が小さくなっていく小字症という症状が知られるため、PD における記録も行った。近年、PD 患者では注視範囲が健常者に比べて狭小化することが明らかになってきている[3]。このことより PD では単に手の動きがしづらだけでなく、眼球運動や注視範囲が小さくなるのが小字症に関与している可能性もある。被験者に正面に置いたタッチパネル画面上に指で文字を書かせ、同時に視線が画面上のどの場所を見ているかを記録・解析した。書字中の eye hand coordination に関する解析は極めて少ない上[4-6]、平仮名・漢字のような複数の文字体系をもつ日本語では検討がなされていない。

方法

対象は PD 患者 7 名、健常者 12 名。用いたセットアップ及び解析方法は実験 1 と同様であるが、この実験ではタッチパネル上で画面上に書いた文字の形が、指の軌跡としてオンラインで画面上に表示されるようにした(図 4)。

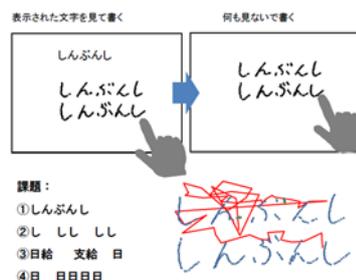


図 4

結果

各行において書字中は視線と指の位置の x 座標（水平方向）はほぼ一致しており、視線と手が遅れも先行もなく一緒に、水平方向に移動していた。その一方で y 軸方向には視線の動きは手と必ずしも一致せず、視線はあまり y 軸方向に動いていないことがわかった(図 5)。改行時にはまず行頭への saccade が起こり、次いである時間の後に指が行頭に到着する傾向があった。この時間差は PD 患者では $0.98 \pm 0.27 \text{sec}$ 、健常者は $0.81 \pm 0.16 \text{sec}$ であり、有意差はなかった。従って PD 患者・健常者とも、書字動作において視線は指の近傍に向けられるが、行の途中と改行時には視線と指の動きには視線が指に先行した。

文字を書いている途中に、その字の左上、右上、左下、右下の部位を注視している合計時間を測定した。その結果、左上または左下を注視している時間が比較的長く、さらに漢字よりも平仮名の書字中に左上への偏りが目立った(図 6)。

書字中のx-y座標の経時的変化

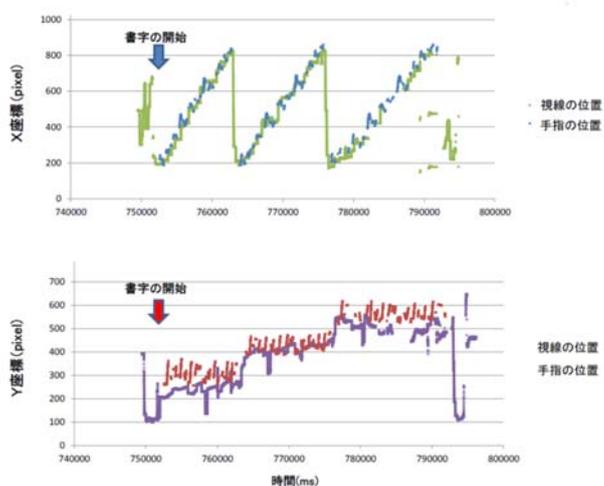


図 5

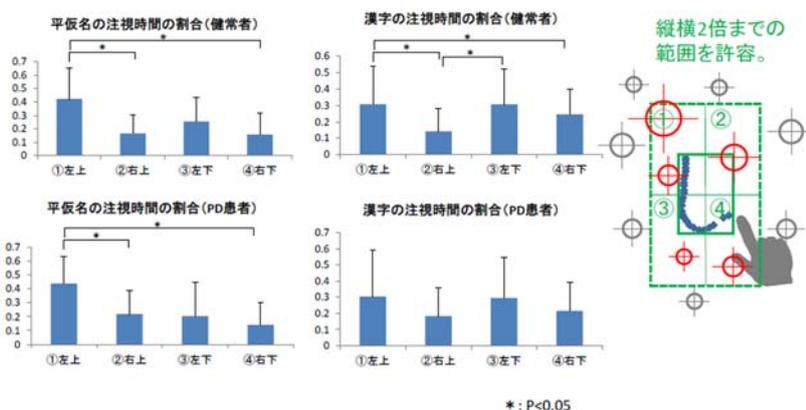


図 6

考察

健常者を対象とした先行研究[4]では、書字の途中で視線はペン先の近傍をみるが、改行時はペンに先行して動くことが報告されている。本研究でも正常群・PD 群とも同様の傾向

がみられた。また書字中の手指と視線の協調関係や文字の注視位置の解析から、視線が文字に先行して視覚情報を参照して指を動かす何らかの神経機構が働いている可能性がある。

PDの小字症の先行研究[5,6]では、正常に比して文字は小さく、行頭に比べ行末の字が小さくなることが報告されている。本研究でも同様の現象を確認したが、小字症の原因については、小字症の程度と書字中のサッカードの振幅とが相関していたことから、書字中のサッカードの振幅が影響している可能性を考えた。しかしPD患者は比較的初期の患者が多かったため、今後はさらに症例数を増やし、重症例についても検討をしていく予定である。

今回開発した装置を用いて **reaching** の動作における **eye-hand coordination** を臨床の場面で定量的に計測・評価できることを示した。また書字動作などこれまで殆ど検討がない領域にも応用できることが判った。このような検討はスマートフォンなどタッチパネルが広く用いられるようになった現在、ますます重要な意味をもつと思われる。小脳疾患、パーキンソン症状等を呈する神経疾患患者において様々な日常動作での解析を行うことにより、大脳基底核、小脳の機能が目と手の協調運動を通じて日常動作にどのように関わるかを明らかにできると思われる。

文献

1. Johansson RS, et al. Eye-hand coordination in object manipulation. *J Neurosci* 2001;21:6917-32.
2. Prablanc C, et al. Neural control of on-line guidance of hand reaching movements. *Prog Brain Res* 2003;142:155-70.
3. Matsumoto H, et al., Small saccades restrict visual scanning area in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2011;26: 1619-1626.
4. Caporossi, G., et al., *Lecture Notes in Computer Science*, 3245; 242-254, 2004.
5. Oliveira, R. et al., *J Neurol Neurosurg Psychiat* 63: 429-433, 1997.
6. Wagle Shukla A, et al., Micrographia and related deficits in Parkinson's disease: a cross-sectional study. *BMJ Open* 25;2:2012.

謝辞

本研究は、中山科学振興財団の平成24年度研究助成を得て行われました。ここに、心より御礼申し上げます。また大学院生の徳重真一先生の協力なしには、今回の成果をあげることはできませんでした。この場をお借りして改めて御礼申し上げます。