

視標追跡検査を用いた パーキンソン病患者の手の運動機能の解析： DBS手術の定量評価

井手順子, 杉 剛直*, 島 史雄†

Quantitative Evaluation of Hand Movement
on Visual Target Tracking
for Patients with Parkinson's Disease

Junko IDE, Takenao SUGI and Fumio SHIMA

1 まえがき

パーキンソン病 (Parkinson's disease : PD) は, 大脳基底核の黒質における脳内神経伝達物質ドパミンが不足する神経変性疾患で, 中年以降に発症し, 原因不明の進行性の病気である [1]. PD の主な運動機能障害の特徴は, 上肢および (または) 下肢の 4-6Hz の振戦 (tremor), 筋肉のこわばりである固縮 (rigidity), 動作が緩慢になったり動かなくなる無動 ((akinesia), 寡動 (bradykinesia)), そして体のバランスを保てなくなってしまう姿勢反射障害 (postural instability) の主に 4 つである [1, 2, 3]. 病気が進行すると歩行も困難になり, 日常生活動作 (activities of daily living : ADL) は著しく低下する. PD 患者に対する一般的な治療は, 不足したドパミンを補うために, レボドパ (L-dopa) などの投薬を行うことであるが, 症状が進行した場合, 薬物療法がつねによりよい改善方法でない場合もある. 薬がきかない, またはきいている時

*佐賀大学大学院工学系研究科

†BOOCSクリニック福岡機能神経外科

間が短い場合や、薬の副作用（薬の効きすぎによる不随意運動、ジスキネジア（dyskinesia）など）が強い場合などは、脳深部に電極を埋め込み、電気的な刺激を与える外科手術である脳深部刺激（Deep Brain Stimulation：DBS）[4,5]が行われる。DBS手術では、視床下核（subthalamic nucleus：STN）や淡蒼球内節（internal segment of the globus pallidus：GPI）に細い針電極を埋め込み、電気的な刺激を24時間連続して行う。DBS手術後は、刺激の強さや頻度を調整して、各患者にとって全身状態を最適に保つ。PD患者は手術によって薬の量を大幅に減らす事ができ、薬の副作用や振せんの症状などもかなり軽減される。DBS手術はパーキンソン病の根本治療ではないものの、PD患者に対して極めて効果的な治療法といえる。しかしながら、その効果や有効性は、通常現場の医師による主観的な視察により評価されており、定量的な評価はあまり明確に行われていない[6,7]。

PD患者の症状の程度を評価するには、Hoehn & Yahrの重症度分類（ヤールの値）[1]が基本であるが、さらに日常生活活動の評価も兼ね備えたパーキンソン病統一スケールUPDRS（Unified Parkinson's Disease Rating Scale）[1,2]も広く採用されている。UPDRSは4つのパートに分かれており、それぞれ精神機能、行動および気分（Part I）、日常生活動作（Part II）、運動能力検査（Part III）、治療の合併症（Part IV）から構成される。UPDRSの中で、運動に関する項目のPart IIIでは、指タップや手の回内回外運動、運動量の減少や動作緩慢などがあり、医師の経験に基づいて評価されている部分もある。

PD患者の初期症状としては、振せんの頻度が圧倒的に高く、次いで歩行障害である[1]。歩行の第一歩がでなくなる第一歩障害やすくみ足、歩幅が狭くなる小刻み歩行やつま先歩行、前屈前傾姿勢から一度動き出すと徐々に速足になる突進現象などがある[2,3]。PD患者の歩行や姿勢に関しては、PD患者と高齢者の歩行解析[8]や、トレッドミルによる歩行計測[9]、立位姿勢制御能力の評価[10]などが行われている。歩行以外でも、ヒトの運動機能の解析と評価に関する研究は多く行われている[11]。視標追跡検査は、ヒトの手の運動機能の評価する有効な手段の1つである[12,13]。幼・小児を対象とした上肢運動機能発達の評価のために、視標追跡描円運動課題の結果に対し、3次元モデル

の構築が行われた[14].

著者らは過去の研究において、視標追跡運動機能検査を小脳失調症患者とPD患者に対して行い、病態群間による特徴抽出を行った[13]. その結果、反応性や正確性について、両群間で相違が見受けられた. PD患者に関しては、小脳失調症患者に比べて運動機能そのものは劣っていたものの、学習効果が認められた.

本研究では、毎回異なる軌跡を描き、ランダムな方向に移動するランダム変動視標を用いた追跡運動機能検査を、DBS手術対象者である6名のPD患者に対して行った. DBS手術効果を定量評価するために、DBS手術前と、術後1週間程度で視標追跡検査を行い、手の動きの特徴を評価しうるパラメータを用いて手の運動機能の比較を行った. 目標視標に対する反応性や追従の正確さ、速やかさといった、PD患者の運動特徴と関連のある評価パラメータを被検者の検査結果から算出し、DBS手術の効果を評価した. また、健常成人の検査結果との比較も行った.

2 方法

2.1 被検者と検査方法

視標追跡検査の被検者は、医療法人貝塚病院（福岡市東区箱崎）のPD患者（49歳から76歳の男女）6名であった. 検査にあたっては、その目的と意図を被検者に対して十分に説明し、口頭での同意を事前に得た. 被検者の詳細は、表1に示す. 表には、各被検者の年齢、性別、DBS手術の前後におけるヤールの値と、UPDRSの運動能力検査に関するPart IIIの中で、上肢に関する21（動作時振せん）、22（固縮）、23（指タップ）、24（手の運動）、25（手の回内回外運動）、31（動作緩慢と運動減少）のON時（いわゆる薬が効いており、全身状態のよい時）の合計点、および医師による視察（主症状とDBS手術法）について記している. 一人の被検者に対し、DBS手術の前後でそれぞれ2-6回の視標追跡検査を行った. その中で最も成績のよかった回を採用したことで、学習効果の影響を排除した形での評価を行った.

今回、視標追跡検査で用いた装置は、図1(a)に示す通り、パソコン（NEC

表 1：被検者の情報。DBS手術の前後における PD 患者の所見（ヤールおよび UPDRS の値と視察）と検査回数。Subjects' information on diagnosis of PD.

被検者	ヤールの値 (術前→術後)	UPDRS(Part III)の合計点 (術前→術後)	視 察 (主症状および手術法)
Subject 1 (76M)	3 → 2.5	9 → 3	振せん, GPi-DBS
Subject 2 (49M)	4 → 1	2 → 0	寡動, STN-DBS
Subject 3 (59M)	3.5 → 3	3 → 3	無動, 固縮, STN-DBS
Subject 4 (61M)	3/4 → 3	5 → 0	振せん, 固縮, 無動, GPi-DBS
Subject 5 (56F)	3/4 → 3	1 → 0	無動, STN-DBS
Subject 6 (71M)	3/4 → 3	3 → 1	寡動, STN-DBS

※GPi-DBS は両淡蒼球内節 DBS 手術施行
STN-DBS は両視床下核 DBS 手術施行

PC-9801Xa) とディスプレイ, タブレット (デジタイザ, GRAPHTEC, KD 4300) とスタイラスペンから構成した[15]. パソコンのモニタには, 1cm 四方の緑色正方形の視標点 (target point) と, 被検者がデジタイザ上の動かすペンに対応した追跡点 (pursuit point) が直径 1 cm の赤色円で表示される. 被検者には, モニタ上を動く目標点を見ながら, 追跡点が目標点に重なるように, 正確かつ速やかに追従するという課題を課した.

視標追跡検査における目標視標としては, 上下直線運動[13]や円など, 目的に応じて様々な動き (形状と速度) を設定できるが, 今回はランダム変動視標 [15]を採用した. 目標視標の動きの例を, 同じ図 1 (b) に示す. 目標視標は, 画面中央から動き出して, ランダムな方向に等速で 9 秒間動き, 描く軌跡は毎回異なっていた. 視標が動く前後の 3 秒間ずつを合わせて 15 秒間を検査結果として記録した. 被検者は背筋を伸ばし肘を浮かした状態でペンを握り, モニタから約 50cm 離れた位置に座る. 検査結果は, ペンの位置座標 (X, Y 方向) が保存され, サンプリング時間は 23msec であった.

21-31 歳の 6 名の健常成人に対しても, 同じ条件で視標追跡検査を実施した.

2.2 運動特徴評価パラメータ

手の運動機能の特徴を定量的に評価するために、検査結果から過去の研究[13]において採用した次のパラメータを算出した。

まず、反応の遅れ時間 (Reaction time) は、目標視標が動き出してから実際に手が動くまでの時間とした。また、最小誤差 σ_L として、

$$\sigma_L(\tau) = \sqrt{\frac{1}{t_3 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} \{Z_d(t - \tau) - Z(t)\}^2 dt} \quad (1)$$

を算出した。ここで、 $Z_d(t)$ と $Z(t)$ は、視標点と追跡点のXY座標の合成成分である。 $t_1 (= 3s)$ は目標視標が動き出した時刻、 $t_3 (= 12s)$ は停止した時刻である。 τ をサンプル時間ごとに移動させていき、 $\sigma_L(\tau)$ が最小となる時刻 τ を追従遅れ時間 (Tracking dead time) とした。次に、位置誤差 (Position error) σ は、視標点と追跡点から、次式で求めた。

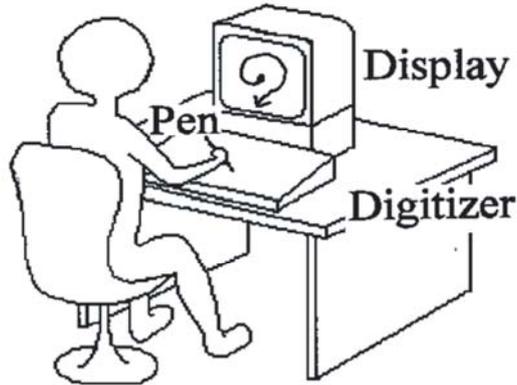
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t_3 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} \{Z_d(t) - Z(t)\}^2 dt} \quad (2)$$

反応の遅れ時間、追従遅れ時間、位置誤差の3つのパラメータでは、基本的なヒトの手の運動機能の評価を行った。さらに本研究では、PD患者の運動機能障害の特徴を把握するために、次の2つのパラメータを追加した。目標視標の形状をうまく捉えられたかどうかを評価するために、視標点と追跡点の相関係数を

$$R = \frac{\frac{1}{t_3 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} (Z_d(t - \tau) - Z_{dav})(Z(t) - Z_{av}) dt}{\sqrt{\frac{1}{t_3 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} \{Z_d(t - \tau) - Z_{dav}(t)\}^2 dt} \sqrt{\frac{1}{t_3 - t_1} \int_{t_1}^{t_3} \{Z(t) - Z_{av}(t)\}^2 dt}} \quad (3)$$

で求め、軌跡の相関 (Coincidence of locus) とした。ここで Z_{dav} 、 Z_{av} は、視標点と追跡点の平均とした。追従遅れ時間を考慮した視標点と追跡点のXY座標上の軌跡の相関係数なので、1に近い程軌跡は一致しており、0に近ければ異なった軌跡を描いたといえる。ただし、反応の遅れや誤差といった他の評価パラメータでは、小さい値である方が運動機能は高いと評価できるため、軌跡の相関のパラメータでは、1-相関係数、の値を評価パラメータとして採用した。また、加速度標準偏差 (Standard deviation of the acceleration) A_{sd} を次

(a) 検査装置の構成



(b) ランダム変動視標の動きの例

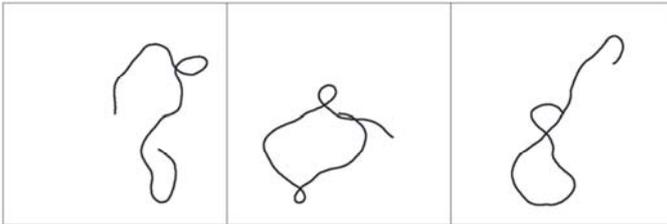


図 1：ランダム変動視標追跡検査装置。(a) 検査装置の構成，(b) ランダム変動視標の動きの例. Visual target tracking test. (a) Experimental equipment, (b) Example for pursuit trajectory of random moving target.

式で定義し，速やかな追従を評価した。

$$A_{sd} = \sqrt{\frac{1}{t_3 - t_2} \int_{t_2}^{t_3} \{A(t) - A_{av}\}^2 dt} \quad (4)$$

ここで， A_{av} は，視標が動かしだして 1.5 秒後の $t_2 (= 4.5s)$ から停止する t_3 までの加速度の平均とした。

3 結果

3.1 DBS手術における手の動きの変化

6名の被検者を対象としたランダム変動視標追跡検査結果のうち、DBS手術前後で運動の様子が大きく変化した2例、Subject 3およびSubject 4の結果について述べる。他の4名の被検者については、付録に示す。

Subject 3の視標追跡検査結果を図2に示す。図の左側がDBS手術前、右側がDBS手術後の結果であった。灰色の破線は目標視標の動き、黒色の実線が被検者の手の動きである。各図の最上段にはディスプレイ上の軌跡を示す。二段目以降は時系列であるが、上から順に、手の位置変化（原点からの距離）、位置誤差、速度変化、そして最下段には動き始めの位置変化の拡大図を示す。いずれも横軸が時間、縦軸がそれぞれの値である。

Subject 3のディスプレイ上の軌跡を見ると、手術前は内回りで緩慢な動作であったが、DBS手術後は、視標点と追跡点が重なることが増え、位置誤差の減少も確認された。視標点の動きだしに対する反応の遅れにはDBS手術前後で大きな違いはなかったが、検査開始から6秒（目標視標の動きだしから3秒）を過ぎたあたりから、術後は目標視標に追いつくという動作が可能となった。視標点が移動する区間（3-12sec）における追跡点の速度は、DBS手術後は大きくなった。

Subject 4の視標追跡検査結果を図3に示す。図の見方は図2と同じである。手術前は固縮が強く、横（右）方向は比較的移動可能であったが、上下方向の移動は困難な様子であった。位置変化を見ると、常に目標視標より原点よりの小さな動きであったが、手術後は視標点に追いつく動作が可能になった。その結果、位置誤差も小さくなった。速度の大きさはDBS手術前後で大きく異なっており、手術後は目標視標の速度3cm/sを超えることが多くなった。DBS手術後は目標視標に追従可能であった。

3.2 DBS手術による運動機能の改善

表2には、DBS手術前後における各評価パラメータの比率（DBS手術前/DBS手術後）を示す。1を超えると、術前よりも改善したといえる。特にSub-

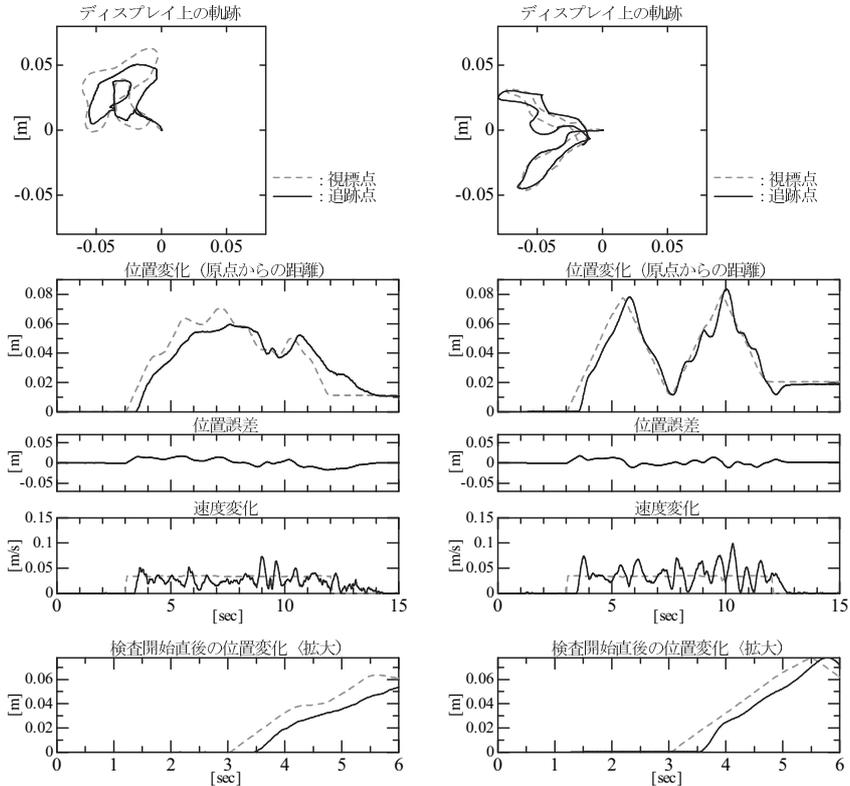


図 2：視標追跡検査結果の一例 (Subject 3)。DBS 手術後の PD 患者の手の動きは改善した。Result of visual tracking test before DBS surgery and after DBS surgery. Improvement of hand movement for PD patient after DBS surgery was seen.

ject 4 では、加速度標準偏差以外の評価パラメータで改善率が高かった。軌跡の相関が顕著に改善し、加速度標準偏差は術後悪くなった。これは、検査において、視標点に追跡点が重なる様被検者が随時修正を行っていた様子と捉えることができる。各被検者の位置誤差と加速度標準偏差の改善率を見ると、その状況が確認できる。Subject 1, 3, 4, 5 は、位置誤差の改善率が 1 以上、加速度標準偏差の改善率は 1 未満で、Subject 2, 6 は、位置誤差の改善率が 1 未満、加速度標準偏差の改善率は 1 以上であった。反応の遅れ時間については、Subject 3 以外は 1 より大きく、改善傾向にあった。また、Subject 4 の UPDRS part

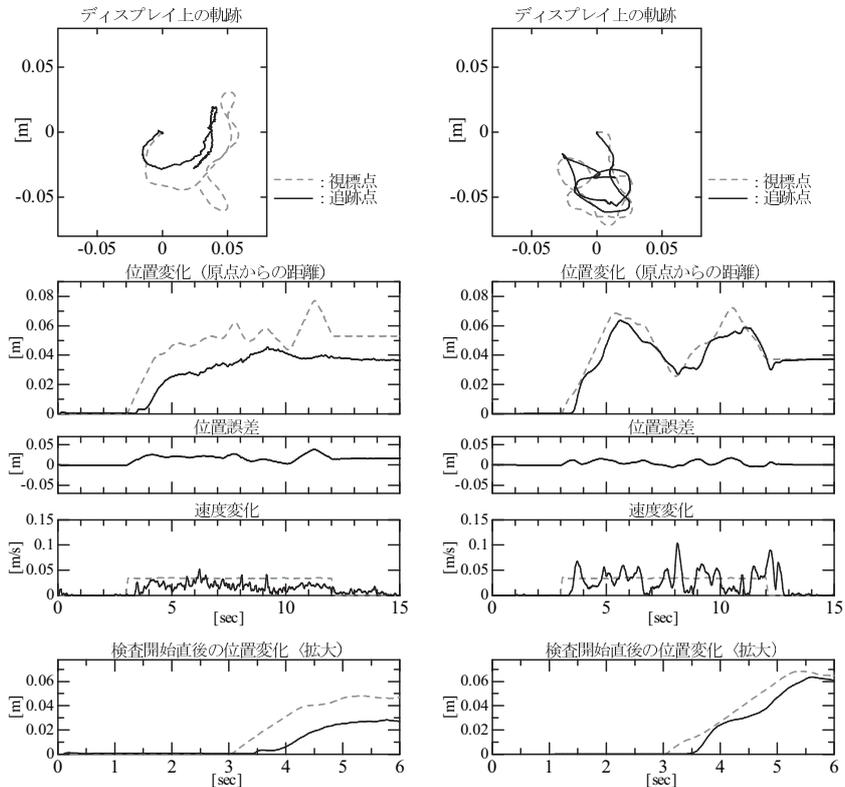


図3：視標追跡検査結果の一例（Subject 4）。DBS手術後のPD患者の手の動きは顕著に改善した。Result of visual tracking test before and after DBS surgery.

IIIの手の動きに関するスコアの合計点は、DBS手術前が5で手術後が0と、5ポイント減少し、評価パラメータの改善率が他被検者より極めて大きかった結果が反映されていた。Subject 1も、UPDRSの値は9から3に6ポイント減少し、加速度標準偏差以外の評価パラメータで改善が認められ、DBS手術効果と対応のとれたパラメータであったと言える。

表2の最下段に、6名の被検者のDBS手術前後における評価パラメータの改善率の平均値を示す。加速度標準偏差以外のパラメータで1以上となり、総じてDBS手術による、手の運動機能の改善が伺えた。特に軌跡の相関が7.21

表 2：運動機能評価パラメータと DBS 手術前後における改善率. The Ratio of parameters before versus after DBS.

被検者	反応の遅れ時間 前/後 (改善率)	追従遅れ時間 前/後 (改善率)	位置誤差 前/後 (改善率)	軌跡の相関 前/後 (改善率)	加速度標準偏差 前/後 (改善率)
Subject 1	0.52/0.45(1.15)	0.21/0.16(1.29)	1.02/0.74(1.38)	0.05/0.03(1.45)	0.28/0.29(0.97)
Subject 2	0.47/0.40(1.17)	0.14/0.25(0.55)	0.72/0.98(0.73)	0.02/0.03(0.44)	0.33/0.29(1.14)
Subject 3	0.59/0.63(0.93)	0.37/0.23(1.60)	1.28/0.96(1.34)	0.04/0.02(1.76)	0.11/0.15(0.75)
Subject 4	0.96/0.59(1.63)	1.40/0.18(7.63)	3.43/0.97(3.54)	1.39/0.04(35.91)	0.09/0.16(0.56)
Subject 5	0.61/0.54(1.13)	0.44/0.21(2.11)	1.55/0.85(1.83)	0.02/0.01(1.36)	0.08/0.22(0.36)
Subject 6	0.70/0.66(1.07)	0.18/0.34(0.53)	0.92/1.37(0.67)	0.04/0.02(2.35)	0.18/0.13(1.39)
Average	0.64/0.55(1.18)	0.45/0.23(2.28)	1.49/0.98(1.58)	0.26/0.03(7.21)	0.18/0.21(0.86)

と顕著であった。これは、Subject 4 の 35.9 に大きな影響を受けた。反応の遅れ時間に関しては、改善率の平均が 1.18 であり、0.1sec 程の短縮で、顕著な改善とまではいえなかった。

Subject 2 は、ヤールの値は大きかったものの、UPDRS の上肢運動に関わるスコアは、6 被検者中一番小さかった。術前の反応の遅れ時間や位置誤差、軌跡の相関といった評価パラメータで一番小さな値であり、DBS 手術前後における医師の視察結果を反映した結果であった。

3.3 健常成人との比較

図 4 では、評価パラメータの平均値および標準偏差を示す。灰色の棒は DBS 手術前の評価パラメータの平均、黒色の棒は手術後の平均である。横方向の破線は、健常成人 6 名の平均値を示す。

反応の遅れ時間は、DBS 手術後小さくなり、目標視標の動きにすばやく反応できている様子が伺えるが、健常者の平均値よりも反応がよかった被検者はいなかった。定常的な遅れを評価する追従遅れ時間は、手術前に 0.5sec 程だったのが、術後は 0.2sec 程に改善された。位置誤差は術前の 0.015m から術後 0.01m 以下へと大きく減少した。軌跡の相関は、目標視標の形状をどの程度とらえられたかを評価するもので、パラメータが小さい程正確な形状で追従できたといえる。健常者はほぼ 0 であったが、PD 患者は術前 0.26 が 0.03 にまで

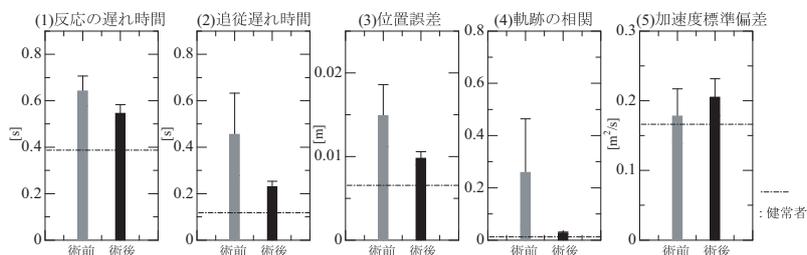


図 4：DBS 手術前後における評価パラメータの比較。各パラメータの平均と標準偏差，および健常成人の平均値を示す。 Comparison of the characteristic parameters between before DBS surgery and after DBS surgery. Average and standard deviation of parameters.

下がり、健常者に大きく近づき顕著な改善が伺えた。加速度標準偏差については、術後大きくなり、速やかな追従とはいえなかった。これは、術前の緩慢な動作から、術後は逐次誤差を修正しようとした運動の特徴が変化した結果といえる。加速度標準偏差以外の評価パラメータで、DBS 手術後は運動機能の向上が見受けられた。術後、軌跡の相関や追従遅れ時間といった評価パラメータで、PD 患者は健常者の値に近づき、DBS 手術効果が確認できた。

4 考察

4.1 DBS 手術の定量評価

6名の被検者の統計量において、手の動きの正確性を評価した位置誤差や、目標視標の形状を捉えた軌跡の相関のパラメータでは、DBS 手術後に顕著に改善した。反応の遅れ時間は1名の被検者以外で改善したが、全被検者の改善率の平均は1.18で、大きな変化ではなかった。これらは、反応や加速度応答についてはDBS手術で大きな変化はない、という医師の視察と一致するものであった。PD患者は、健常成人よりは劣るものの基本的な反応動作は概ね問題がないと言われおり、それを裏付ける結果であった。

医師の視察によれば、Subject 3の検査開始後6sec（目標視標移動後3sec）までの定常的な遅れはDBS手術前後、いずれもすくみ足の症状に似通った症状ともいえる。手術によってすくみ足が改善されると、定常的な遅れも改善さ

れるといわれており、追従遅れ時間も DBS 手術前後で 1.60 の改善率であった。手術後に追いつく動作が可能になったことが視標追跡検査結果から伺え、手術の前後において、運動の特徴が変化したことが確認できた。

Subject 3, 4 は医師の所見において、主症状として固縮が挙げられた。その影響で、手術前は肘関節の動きが固く画面中央の小さな動きしかできなかったが、手術後は画面全体で大きな動きが実現できた。視標追跡検査で直接、上肢の筋固縮の状態を評価できるわけではないが、筋肉のこわばりによって小さな動きしか実現できなかった被検者が、手術後は大きな動きが可能になった様子との関わりが、軌跡の相関や位置誤差といった評価パラメータで捉えられた。

DBS 手術によってヤールの値がもっとも改善した Subject 2 の評価パラメータは、他の被検者よりも変化が小さく、改善率も低かった。DBS 手術後、運動機能が顕著に改善し、歩行動作や日常生活動作は向上したが、手先の動作に関しては術前と大きな変化はなかった。これは、手術前の評価パラメータの値が小さく、他の被検者よりも追従動作がよかったためである。Subject 2 の手術前は、薬が効いている ON 時と効いていない OFF 時との差が大きく、OFF 時には無動のため検査は不可能な状態であった。一日にたった数時間という ON 時に検査を行ったため、DBS 手術後との比較をすると、ほとんど変化がない、逆に悪くなったパラメータもある、という状況であった。また、手術後は薬 (L-dopa) を服用していなかったことも関与していると考えられる。DBS 手術は、手先の動きや巧緻性については効果が表れにくく、歩行や姿勢、腕の振りなどについては顕著な効果があると言われている。本研究では、DBS 手術前後において、PD 患者全体の傾向や被検者個人の状態など、現場の医師が総合的に捉えた患者の印象と対応のとれる評価パラメータが得られ、DBS 効果を定量評価することができた。

4.2 検査法の有用性

視標追跡検査は、目標視標を見ながらペンを持つ手を動かし、ペンの位置座標を検査結果として保存する。PD 患者の主たる運動機能障害である固縮、無動、振せんや、指タップや動作緩慢など UPDRS による医師の視察と直接対応

がとれるものではない。しかし、検査結果から算出された評価パラメータにより、運動における反応性、正確性、即応性について、医師の視察の印象と一致するものがあつた。PD患者の場合、手の動きよりも、歩行や姿勢維持について、DBS手術で改善することが多い。患者によっては、日常生活は大きく改善しても、指タップ等の手先の動作ではほとんど変化がない場合もある。また、患者によって個人差も大きい。こういった状況において、4.1に述べた通り、PD患者全体あるいは被検者個人で、ある一定のDBS手術効果を定量的に評価できた意義は大きい。視標追跡検査の一番の利点は、パソコンとタブレット、ペンといった市販の装置を使い、その場ですぐに結果が得られる簡便性である。検査結果から得られる評価パラメータによって、手先の巧緻性に関する運動特徴の概要を評価できる。今後の発展として、視標追跡検査法は、ベッドサイドでの簡易的な運動機能検査や、リハビリテーションの現場における、患者のモチベーション維持への応用などが考えられる。

本研究において、薬の副作用（ジスキネジア）が強い状況における運動機能検査が行えた意義も大きい。検査時にジスキネジアの状態であつたSubject 2, 6の評価パラメータを見ると、定常的な遅れを示す追従遅れ時間はいずれも0.2以下、位置誤差は1以下と、他の被検者よりも小さな値であつた。これは、ジスキネジアの状態では、身体が勝手に動くものの、ある程度の随意運動は可能である、という医師の視察の通りであり、良好な結果であつた。

大脳基底核は、歩行や姿勢といった無意識に行う動作や下肢に大きな影響を与える部位である。手先の巧緻性に関しては、大脳皮質の関与が大きいと言われている。視標追跡運動は、大脳基底核と、多くは大脳皮質の働きに関与していると考えられるため、本検査法は、PD患者の大脳基底核における脳活動のみを評価したものではないが、その一部を反映しうるものと推測される。また、パーキンソン病は「リズム障害」とも言われる。運動の開始時期を予測したり、運動パターンのためのリズム生成が脳内で正確に行われず、すくみ足や運動減少、振せんなどの運動機能障害が表出する。本検査法で、大脳基底核そのものの働きや、大脳基底核の障害に起因した運動機能障害を評価するには、限界がある。そこで、今後は、DBS手術を行ったPD患者の歩行解析を行う予定で

ある。DBSのスイッチをON/OFF切り替えることで、脳深部の針電極から脳内への電気刺激を一時的に遮断することが可能である。DBSをOFFにして脳に電気刺激を与えないと、手術前の様々な運動機能障害が出てくる。DBS ON/OFFそれぞれの状態で、歩行の様子に合わせて視標追跡検査を行い、大脳基底核に大きく関与する歩行や姿勢といった運動機能と、大脳皮質に大きく関与する手先の巧緻性との関係を把握したいと考えている。DBSによる上肢と下肢に及ぼす影響の違いを解析することによって、大脳基底核の神経機構の解明に資することが期待される。

5 まとめ

本研究では、6名のPD患者に対してランダム変動視標追跡検査を実施し、被検者の手の運動機能を解析することで、DBS手術の効果を定量的に評価した。検査結果から運動の特徴を捉える評価パラメータを求め、PD患者共通の特徴と患者個々の特徴を捉えた。PD患者6名の統計量から、正確性に関してDBS手術後に顕著な改善傾向にあり、反応性については改善しているもののその変化は小さく、医師の視察の印象と一致した。個人ごとの運動特徴と視察における運動特徴との間に、相関の見られる項目があった。PD患者の運動特性には、心理面などの要素が多分に影響を与える。DBS手術効果を定量的に評価するにあたっては、個々の特徴や服薬からの経過時間などの状態を十分に検討した上での解析が重要である。

参考文献

- [1] 山本光利：“パーキンソン病診断ハンドブック”，ライフ・サイエンス，pp.7-21，pp.51-63
- [2] 山本光利：“パーキンソン病-臨床の諸問題-”，中外医学社，pp.2-44，2006年3月
- [3] 水野美邦，近藤智善：“よくわかるパーキンソン病のすべて”，永井書店，pp.3-20，2005年4月
- [4] G. Deuschl, P. Bain, “Deep brain stimulation for tremor[correction of trauma] : patient selection and evaluation”, *Movement disorders*, vol.17, suppl 3, 102/111, 2002

- [5] 日本神経学会監修：“パーキンソン病治療ガイドライン”，医学書院，pp.230－258，2004年9月
- [6] T. Yamamoto, Y. Katayama, T. Kano, K. Kobayashi, H. Oshima, C. Fukaya, “Deep brain stimulation for the treatment of parkinsonian, essential, and poststroke tremor: a suitable stimulation method and changes in effective stimulation intensity”, *Neurosurg*, 101-2, 201/209 (2004)
- [7] Y. Hirashima, H. Ikeda, T. Asahi, T. Shibata, K. Noguchi, F. Shima and S. Endo, “Mechanical Injury of the Subthalamic Area During Stereotactic Surgery Followed by Improvement of Trunk, Neck, and Face Tremor -Case Report-”, *Neurol Med Chir*, 45, 484/486 (2005)
- [8] T. Egerton, D. R. Williams and R. Ianssek, “Comparison of gait in progressive supranuclear palsy, Parkinson’s disease and healthy older adults”, *BMC Neurology*, 12, 116/122 (2012)
- [9] E. Pelosin, E. Faelli, F. Lofrano, L. Avanzino, L. Marinelli, M. Bove, P. Ruggeri and G. Abbruzzese, “Effects of treadmill training on walking economy in Parkinson’s disease: a pilot study”, *Neurol Sci*, 30, 499/504 (2009)
- [10] 佐橋健斗・堀場充哉・山下豊・田中照洋・和田郁雄：“進行期パーキンソン病の動的立位姿勢制御”，愛知県理学療法学会誌，23，No.2，2011年12月
- [11] S. Yahagi and T. Kasai, Facilitation of motor evoked potentials (MEPs) in first dorsal interosseous (FDI) muscle is dependent on different motor images, *Electroenceph, clin. Neurophysiol.*, vol. 109, 409/417, 1998
- [12] J. -L. Vercher and G. M. Gauthier: Oculo-manual coordination control: Ocular and manual tracking of visual targets with delayed visual feedback of the hand motion, *Experimental Brain Research*, 90, 599/609, 1992
- [13] 井手順子・杉剛直・中村政俊・柴崎浩：“ヒトの手の視標追跡運動機能学習効果の病態別特徴定量評価”，西南学院大学商学論集，46，3-4，347/361，2000年2月
- [14] 橋爪一治・伊賀崎伴彦・村上伸樹・林田祐樹：“幼・小児期における上肢運動機能の発達～視標追跡描円運動課題の3次元モデル”，臨床神経生理学，40，2，73/81，2012
- [15] 中村政俊，井手順子，杉剛直，寺田清人，柴崎浩，“ランダム変動視標を用いた手の追跡運動機能学習効果検査法の開発とその健常成人への適応”，信学論 (D-II)，J78-D-II-3，547/558，1995

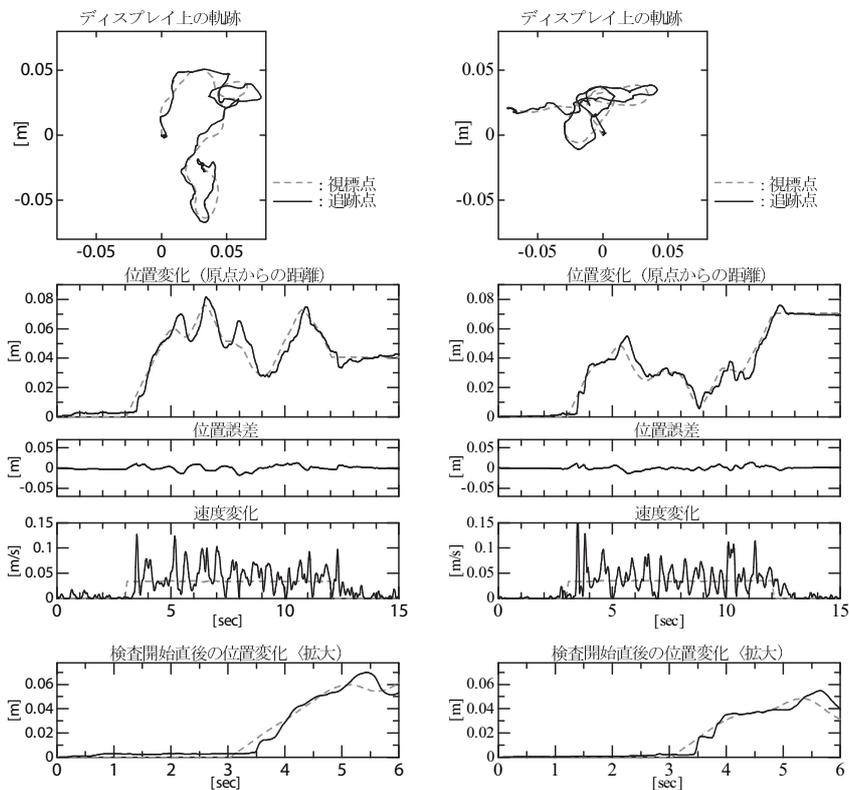


図 5：視標追跡検査結果の一例 (Subject 1)。Result of visual tracking test before and after DBS surgery.

A 付録：他の被検者の検査結果

Subject 1 の視標追跡検査結果を図 5 に示す。図の味方は図 2 と同じである。手術の前後で際立った変化はないが、正確さでやや改善傾向が見受けられた。この被検者は精神的に不安定なこともあり、検査に対する意欲も低かった。手術前、振せんが強く表れており、小刻み歩行であったが、その他の動作については、ある程度可能であった。手術後はこれらの症状については改善された。

Subject 2 の視標追跡検査結果を図 6 に示す。図の味方は図 2 と同じである。被検者の中で一番若く、DBS 手術前後で全身状態が最も改善した。歩行や日

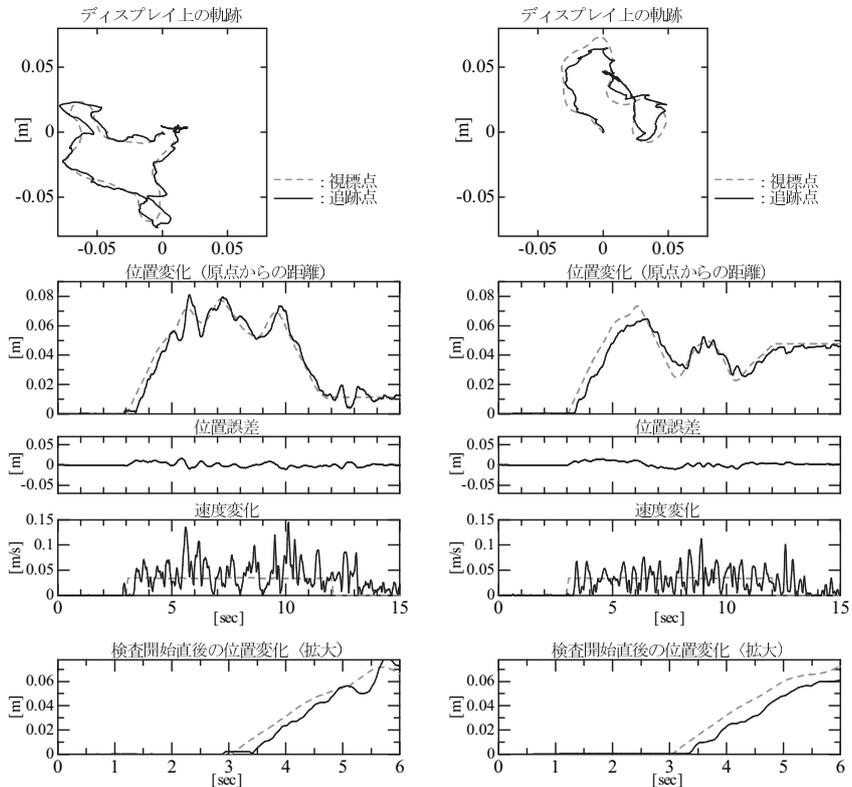


図 6：視標追跡検査結果の一例 (Subject 2)．Result of visual tracking test before and after DBS surgery.

常生活では顕著な変化があったが、手先の動作に関しては、手術前と大きな変化はなかった。

Subject 5 の視標追跡検査結果を図 7 に示す。図の味方は図 2 と同じである。手術前は一定時間遅れて追従する状態であったが、DBS 手術後は逐次誤差を修正し、正確な追従を試みている様子があった。位置誤差や追従遅れ時間は改善したが、加速度標準偏差は手術後悪化した。

Subject 6 の視標追跡検査結果を図 8 に示す。図の味方は図 2 と同じである。DBS 手術後ひと月経過してもめまいやたちくらみがあり、術後経過があまり

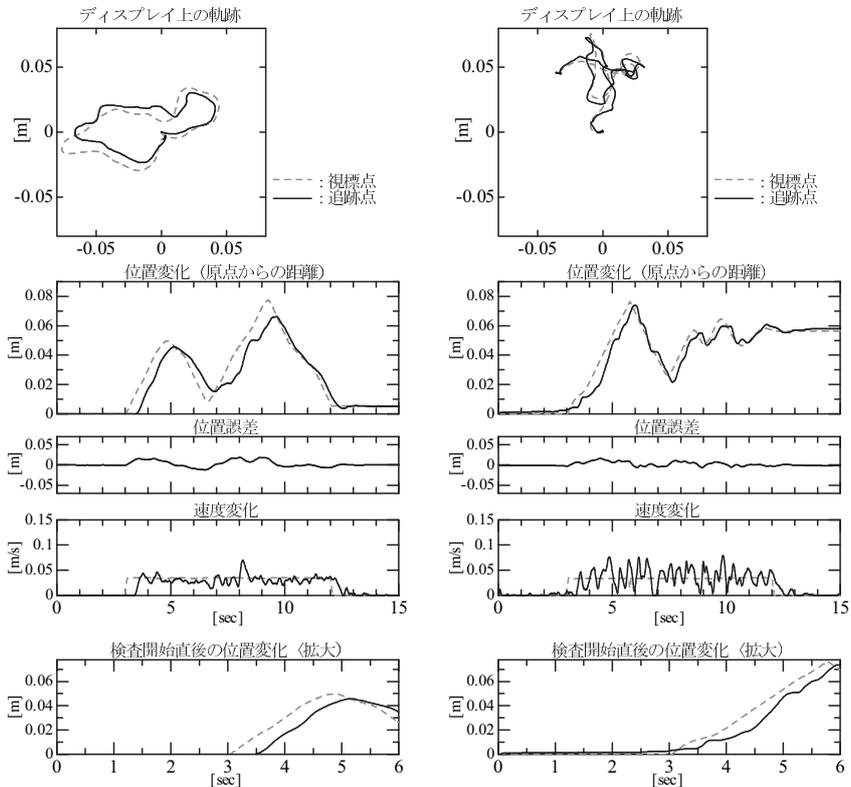


図 7：視標追跡検査結果の一例 (Subject 5). Result of visual tracking test before and after DBS surgery.

よくない被検者であった。手術後の日常生活は、悪くはないが、手先の動きに改善は見受けられなかった。視標追跡検査においては、手術後一定の遅れを保って目標視標を追いかけたため、位置誤差や追従遅れ時間は悪くなった。軌跡の相関は改善し、動作開始時の反応の遅れは、手術の前後でほぼ変化がなかった。

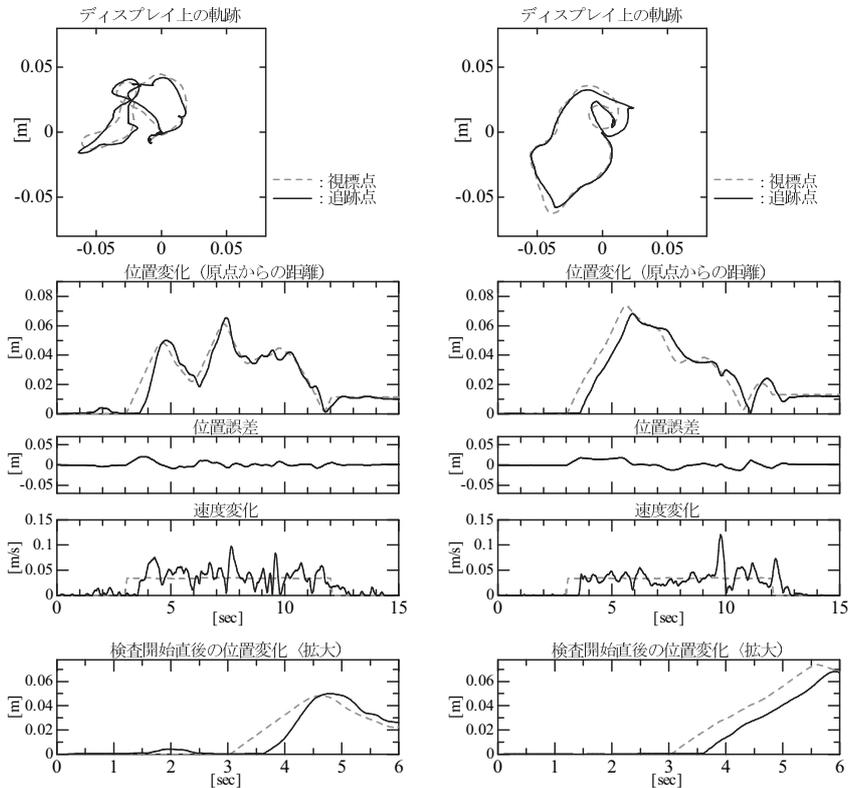


図 8：視標追跡検査結果の一例 (Subject 6) . Result of visual tracking test before and after DBS surgery.