パーキンソン病患者の症状と重心移動の自己認識能力との関係性の分析

○髙村映， 濵田裕幸， 安琪， 長谷川哲也（東京大学）， 温文（立教大学），
菊地謙（東京大学）， 四津有人（日本医科大学，東京大学）， 太田順（東京大学），
中村新（栃木県医師会塩原温泉病院）， 藤田裕明， 鈴木圭輔（獨協医科大学），
山下淳（東京大学）

概要 パーキンソン病患者の病態理解のために，重心移動の自己認識能力を計測し，疾患関連症状との関係性を調査した．自己認識能力は，モニタに投影された 2 つのマークから，自己の重心移動を反映したマークを探索する制御検出課題の正答率にて評価した．健常高齢者群に比べ，患者群の自己認識能力の低下を認めた．また，患者群の自己認識能力とバランス能力には軽度の相関傾向がみられた．

キーワード: 運動主体感，評価手法，リハビリテーション

1 序論

パーキンソン病は中脳にある黒質のドパミン神経細胞が障害され，神経伝達物質であるドパミンの減少により運動障害を引き起こす進行性の神経変性疾患であり [1]，厚生労働省が特定疾患に指定する神経難病の 1 つである．本邦におけるパーキンソン病の有病率は 10 万人あたり 166.8 人であり [2]，世界的に増加傾向にある [3]．この神経変性疾患は随意的な運動制御に影響を及ぼし，主な症状として無動といった運動の減少が現れる．また，疾患の進行とともに姿勢保持障害が現れ，安定した姿勢を保つことが困難になる．歩き始めや途中で止まってしまうすくみ足などの現象や逆に加速歩行などの現象も特徴的で，姿勢保持障害もあわせて転倒しやすさの原因となる．他にも筋固縮や振戦などの不随意運動症状や，自律神経障害や精神・認知障害など多様な非運動症状も生じ，このように様々な症状を呈するパーキンソン病の病態メカニズムは今のところ十分に解明されていない [1]．

パーキンソン病の治療方法としては，ドパミン補填など症状改善のための薬物療法を基本とするが，長期間服用により運動合併症がある場合は脳深部刺激療法（Deep Brain Stimulation；DBS）などの外科治療が行われている．これらの内科的，外科的療法に加えてリハビリテーションを行うことは，症状の更なる改善や QOL の向上が期待でき，治療法として有用であることが示されている [1, 4]．パーキンソン病患者の予後は悪くなく，平均余命は一般より 2〜3 年短いだけであり [5]，健康面について QOL を維持向上させることが重要である．健康関連 QOL に大きな影響を及ぼす歩行障害とバランス障害を改善するための様々なリハビリテーションの手法が検討されているが [6]，筋力の向上や重心移動領域の拡大に対するリハビリテーション手法に比べ，転倒の要因となるすくみ足や姿勢制御異常によるバランス能力の低下を改善するリハビリテーション手法は現在乏しい状況である．

運動能力の向上には，「自分が自分の運動を制御しているという感覚」である運動主体感が寄与することが報告されており，運動機能障害のリハビリテーションにおいて運動主体感を強く感じることができる環境を整えることが持続的な効果につながると考えられている [7]．運動機能が低下した患者は運動主体感が変容することが知られている．運動機能障害を有するパーキンソン病患者においても運動主体感の変容が推察されるが，その研究報告は少なく詳細は明らかになっていない．また，パーキンソン病はバランス障害を有する病態であるが，これまでの運動主体感の研究では，手の動きや時間感覚によるもの [8, 9] で，バランス機能を課題とした運動主体感に関する報告はない．

運動主体感の評価方法として，同時に動いている複数の物体から自分の運動が含まれる物体を選択させる課題を行う手法が研究されている [10]．これは自己の運動に対する検出能力を測ることで運動主体感を間接的に評価するものである．パーキンソン病患者についてこの手法を用い，随意の重心移動に対する自己検出能力を測ることでバランスに関する運動主体感を間接的に評価する．

本研究ではパーキンソン病患者の運動主体感の解明と，バランス能力に対する効果的なリハビリテーションの検討のために，随意的な重心移動を行った際の自己の運動に対する認識を制御検出課題により評価し，バランスに関わる身体機能との関係性を解析する．

2 方法

パーキンソン病患者の自己の重心移動の認識を評価するために，随意的な重心移動を床反力計を介してリアルタイムで視覚提示し，視覚提示されている軌跡の自他判断を行う課題を設計する．さらに，パーキンソン病患者の重心移動の認識の度合いとすくみ足やバランス能力との関係性を調査する．

2.1 制御検出課題

重心移動の認識を評価する手法として，Wen らによる手の運動に関する自己認識の課題 [11] に基づき以下の制御検出課題を設計する．実験参加者は床反力計の上に立ち，前後左右任意の方向に体を動かすように指示される（Fig. 1）．画面上に 2 つのマークが表示され，参加者の動きに応じてそれぞれ異なる方向に移動する（Fig. 2）．2 つのマークのうち一方は，参加者が重心移動を行っている時に，その重心移動とあらかじめ記録された他者の重心移動が一定の割合で混ぜられた動きをする．参加者には，自身の重心移動に近い動きをするマークを選択するよう求める．ここで使用された他者の動きは，実験前に 800 秒間記録された健常者の重

Fig. 1: The experiential setup of the control detection task

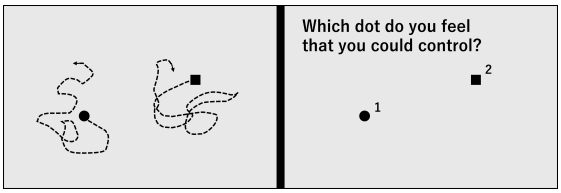

Fig. 2: Protocols of the control detection task

心移動データからランダムに切り出されたものである．自己の重心の移動の割合を制御度合いとして，20 %，40 %，60 %，80 %，100 %の 5 段階で設定する（Fig. 3）．画面上のマークの位置について，式 (1) に示す．

$$\mathbf{r}(t+\Delta t) = \mathbf{r}(t) + (C\mathbf{v}_1(t) + (1-C)\mathbf{v}_2(t))\Delta t, \quad (1)$$

ここで，$\mathbf{r}(t) \in \mathbb{R}^{2\times1}$ は表示されるマークの座標，$\mathbf{v}_1(t) \in \mathbb{R}^{2\times1}$ は参加者の重心の速度ベクトル，$\mathbf{v}_2(t) \in \mathbb{R}^{2\times1}$ は他者の重心の速度ベクトル，C は制御度合いを示す．もう一方のマークは常時あらかじめ記録された他者の重心移動を示す．制御度合い 5 種類を各 6 回ランダムに実施し，計 30 回の試行を実施する．探索時間は試行ごとに参加者が提示されるマークのどちらか一方を自分の動きだと選択した時点，もしくは随意動揺の総軌跡長が 2 m を超える時点で打ち切る．また，事前に練習として，制御度合い 60 %，80 %，100 %の 3 種類をランダムに各 2 回，計 6 回の試行を実施する．

2.2　属性および患者背景に関する情報

健常者群およびパーキンソン病患者群に関する基本的な情報として，年齢，性別，認知機能検査であるミニメンタルステート検査（Mini-Mental State Examination；以下，MMSE）[12]，パーキンソン病患者群の背景に関する情報として，パーキンソン病統一スケール（Unified Parkinson's Disease Rating Scale；以下，UPDRS）[13] の part III（運動機能検査），機能的自立度評価法（Functional Independence Measure；以下，FIM）[14] を事前に調査する．

2.3　すくみ足の評価

パーキンソン病患者群のすくみ足の重症度を評価する手法として，日本語版 Characterizing Freezing of Gait

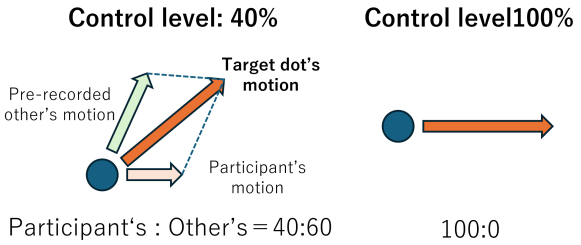

Fig. 3: Settings of Control levels

Table 1: A part of C-FOGQ Section II

	質問	回答
1.	その場で向きを変えるとき	0・1・2・3・4
2.	角を曲がるとき	0・1・2・3・4
3.	歩きながら会話をするとき	0・1・2・3・4

Questionnaire（C-FOGQ）[15] の Section II を用いる．C-FOGQ の section II では，12 項目のすくみ足を生じさせる状況と頻度についての質問に対し，0〜4 の 5 段階（0: 全くない，1: まれにある，2: 時々ある，3: しばしばある，4: いつもある）で回答し，その合計点によってすくみ足の重症度を評価する．Table 1 に質問の例を示す．C-FOGQ の得点の判定は，理学療法士が対象者から面接聞き取り方式で行う．

2.4　バランス能力の評価

2.4.1　静的立位時の安定度評価

床反力計上で開眼静止立位を 30 秒間保持した状態での重心の軌跡を記録し，重心動揺面積の大きさおよび重心軌跡長に基づいて静的立位時の安定度を評価する（Fig. 4）．重心動揺の軌跡は，サンプリング周波数 1,000 Hz で 30 秒間の足圧中心の座標点を記録し，MATLAB 上でカットオフ周波数が 20 Hz であるローパスのバタワースフィルタによって処理する．

(1) 重心動揺面積

重心動揺面積 S_{COP} は重心動揺軌跡の前後の最大径 H と左右の最大径 W を乗じた矩形面積として，式 (2) によって算出する．

$$S_{COp} = HW. \quad (2)$$

計測は 2 回行い，平均値を代表値として採用する．

(2) 重心動揺軌跡長

足圧中心の座標点間のユークリッド距離の総和を重心動揺軌跡長として式 (3) から算出する．

$$T = \sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2 + (y_{i+1}-y_i)^2}, \quad (3)$$

ここで T は重心動揺軌跡長，N は座標点の数，(x_i, y_i) は i 番目の点の座標，(x_{i+1}, y_{i+1}) は $i+1$ 番目の点の座標である．計測は 2 回行い，平均値を代表値として採用する．

2.4.2　IPS による動的バランス能力の評価

望月らによって考案された姿勢安定度評価指標（Index of Postural Stability；以下，IPS）[16] を用いて，動的バランス能力を評価する．IPS は安定域面積と重心動

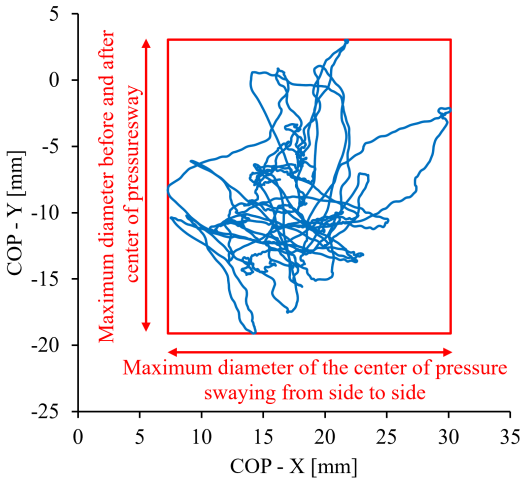

Fig. 4: Center of pressure sway area (within the red frame) and center of pressure sway trajectory

揺面積の平均値の比率を対数で表し，姿勢の安定度を評価する指標である．安定域面積（Fig. 5 中の赤色の点線で囲まれた領域）は支持基底面を変化させずに身体を保持できる範囲を示し，重心動揺面積（Fig. 5 中の赤色の実線で囲まれた領域）は身体の重心の揺れの大きさを示す．安定域面積が大きく，重心動揺面積が小さいほど姿勢の安定性が高いことから，IPS の値が大きいほど姿勢が安定していることを意味する．床反力計を用いて対象者に安定して立位を保つ範囲内で重心を前方，後方，右方，左方，および中央へ 10 秒間ずつ移動させる．各方向での重心動揺面積 S_{COP_f}，S_{COP_b}，S_{COP_r}，S_{COP_l}，S_{COP_c} を測定し，その平均値 $\bar{S}_{COP}$ を式 (4) により算出する．

$$\bar{S}_{COp} = \frac{S_{COP_f} + S_{COP_b} + S_{COP_r} + S_{COP_l} + S_{COP_c}}{5}. \tag{4}$$

安定域面積 S_{SR} は，前方への重心移動位置 P_f と後方への重心移動位置 P_b の距離，および右方への重心移動位置 P_r と左方への重心移動位置 P_l の距離を乗じた矩形面積として式 (5) により算出する．

$$S_{SR} = (P_f - P_b)(P_r - P_l). \tag{5}$$

算出した重心動揺面積の平均値 $\bar{S}_{COP}$ と安定域面積 S_{SR} から，IPS を式 (4) により求める．

$$\mathrm{IPS} = \log \frac{S_{SR} + \bar{S}_{COP}}{\bar{S}_{COP}}. \tag{6}$$

IPS が姿勢を保つことができる最大の安定域面積を基準とした評価指標であることから，2 回行った計測のうち最大値を代表値として採用する．

3 実験

第 2 章に述べた方法を用いて，実験を行った．本研究は東京大学工学系研究科倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：KE23-68）．

3.1 実験参加者

健常者 20 名，パーキンソン病患者 13 名を実験参加者として第 2 章に示す課題を行った．パーキンソン病患者は指示理解に問題のないことを参加条件とした．実験参加者の属性を Table 2 に示す．

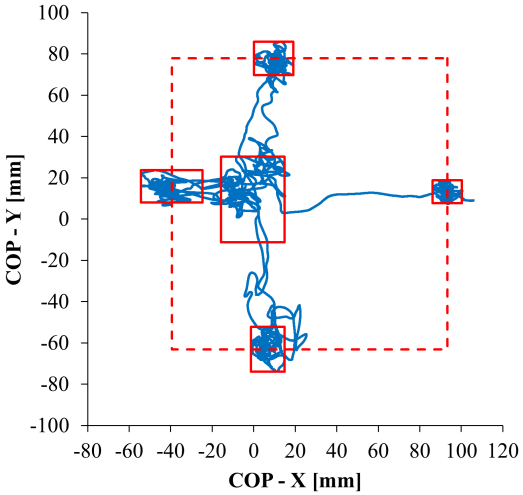

Fig. 5: Stable area (area surrounded by red dotted lines) and center of pressure sway area when the center of pressure shifts forward, backward, right, left, and to the center (area surrounded by red solid lines).

Table 2: Characteristics of Healthy controls and Parkinson's disease.

	HC	PD
Sex（male, female）	9，11	5，8
Age	73.6 ± 6.0	74.9 ± 6.2
MMSE	28.9 ± 1.3	27.5 ± 2.4
UPDRS	-	20.8 ± 8.7
FIM	-	110.8 ± 11.1

Average ± SD

3.2 実験手順

実験を以下の順番で行った．実験には 1 時間程度を要した．患者の体調に考慮し，各手順間および制御検出課題の 15 試行目と 16 試行目の間に休憩を設けた．

1. C-FOGQ の聞き取り調査（パーキンソン病患者群のみ）
2. 静的立位時の重心動揺面積の測定
3. IPS の測定
4. 制御検出課題（練習）
5. 制御検出課題

4 結果

4.1 制御検出課題の結果

健常者群とパーキンソン病患者群における制御度合ごとの正答率の平均値を Fig. 6 に示す．制御度合い 40 %，60 %，80 %，100 %のときにパーキンソン病患者群の正答率は低下していた．1 標本の t 検定の結果，両群の制御度合い 20 %での正答率の平均がチャンスレベルである 50 %と有意な差がない（健常者群: $t = -0.89$, $p = 0.38$; パーキンソン病患者群: $t = -0.52$, $p = 0.61$）ことが示された．また，制御度合いが 40 %以上のときのの両群の正答率（Fig. 7）についてマン・ホイットニーの U 検定を行った結果，$U = 187.5$，$p = 0.03$ で

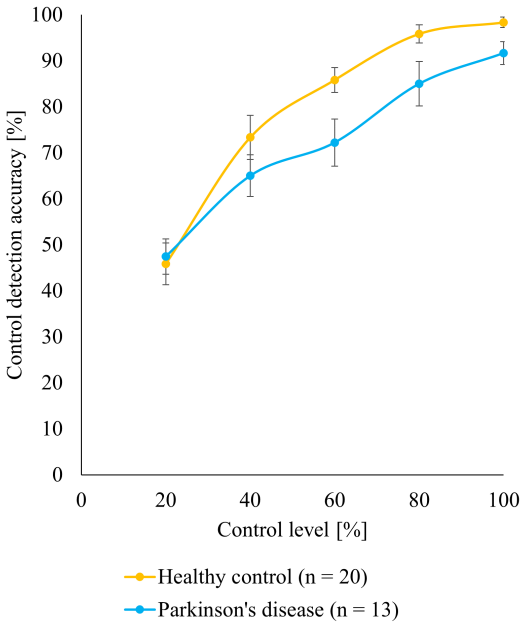

Fig. 6: Averages accuracy of control detection tasks for each control level in Healthy controls and PD. Error bars indicate standard error.

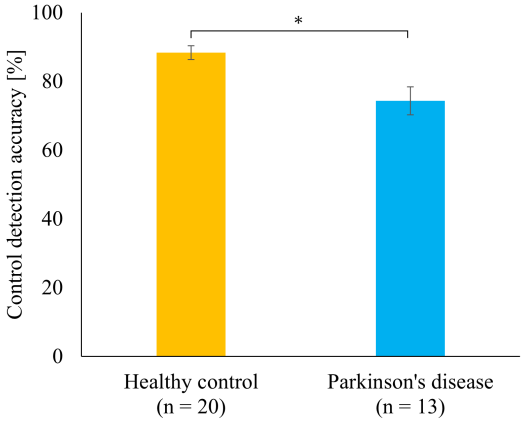

Fig. 7: Average accuracy of control detection tasks for Health controls and PD groups at control levels of 40 % or higher. Error bars represent the standard error. ($*p < 0.05$)

あり有意な差がみられた．したがって重心移動の自己認識低下の特徴量として，制御度合いが 40〜100 %のときの計 24 試行での正答率を用いることとした．

4.2 患者背景と制御検出課題の結果との関係

制御検出課題の正答率と健常者，パーキンソン病患者背景とのスピアマンの順位相関係数を Table 3 に示す．UPDRS については，評価時の症状と制御検出課題計測時の症状に著しく差があった患者 1 名を除外した 12 名の相関係数を算出した．パーキンソン病患者群において，正答率と年齢，MMSE，UPDRS，FIM には有意な相関はみられなかった．

4.3 すくみ足と制御検出課題の結果との関係

パーキンソン病患者群の C-FOGQ の点数と制御検出課題の正答率の関係を Fig. 8 に示す．スピアマンの

Table 3: Spearman's rank correlation coefficient between accuracy of control detection task and characteristics of examinees

	HC		PD	
	ρ	p	ρ	p
Age	-0.02	0.92	-0.19	0.53
MMSE	-0.64	< 0.01	0.06	0.84
UPDRS	-	-	-0.28	0.37
FIM	-	-	0.23	0.45

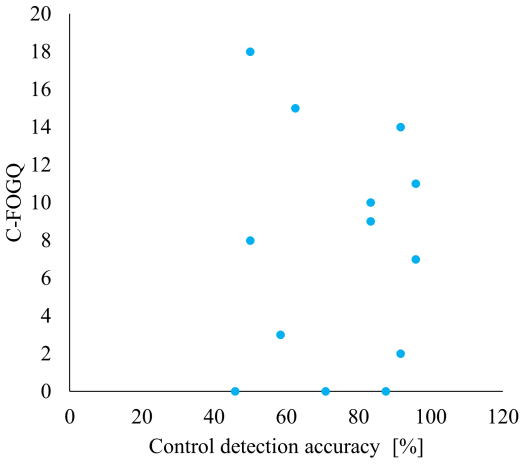

Fig. 8: The relationship between the accuracy of the control detection task and C-FOGQ score when the control level is 40 % or higher. The correlation coefficient was 0.04 ($p = 0.90$).

順位相関係数は $\rho = 0.04$（$p = 0.90$）であり，有意な相関はみられなかった．

4.4 バランス能力と制御検出課題の結果との関係

4.4.1 静的立位時の安定度と制御検出課題の結果との関係

実験参加者の重心動揺面積と制御検出課題の正答率の関係を Fig. 9 に示す．スピアマンの順位相関係数により，健常者群においては中程度の有意な負の相関が見られ（$\rho = -0.57$，$p = 0.01$），パーキンソン病患者群においては有意な相関が見られなかった（$\rho = -0.09$，$p = 0.75$）．

実験参加者の重心動揺軌跡長と制御検出課題の正答率の関係を Fig. 10 に示す．スピアマンの順位相関係数により，健常者群においては中程度の負の相関が見られ（$\rho = -0.62$，$p < 0.01$），パーキンソン病患者群においては有意な相関が見られなかった（$\rho = -0.03$，$p = 0.93$）．

4.4.2 動的バランス能力と制御検出課題の結果との関係

実験参加者の IPS と制御検出課題の正答率の関係を Fig. 11 に示す．健常者群とパーキンソン病患者群におけるスピアマンの順位相関係数はそれぞれ $\rho = 0.26$（$p = 0.27$），$\rho = 0.37$（$p = 0.21$）であり，パーキンソン病患者群において軽度の相関傾向がみられた．

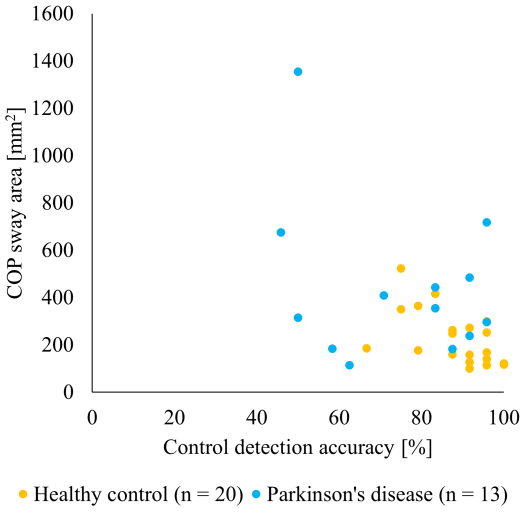

Fig. 9: The relationship between the accuracy of the control detection task and the size of the center of pressure sway area when the control level is 40 % or higher. The correlation coefficient for Healthy controls was -0.57 ($p = 0.01$), and that for PD was -0.09 ($p = 0.75$).

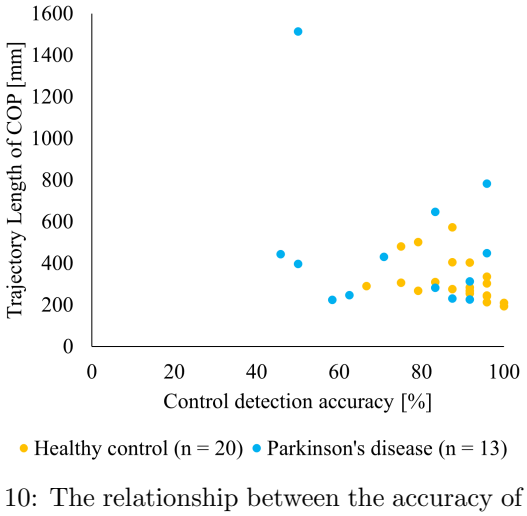

Fig. 10: The relationship between the accuracy of the control detection task and the length of the center of pressure sway trajectory when the control level is 40 % or higher.The correlation coefficient for Healthy controls was -0.62 ($p < 0.01$), and that for PD was -0.03 ($p = 0.93$).

5 考察

本研究では，パーキンソン病患者のバランスに対する運動主体感を調査するために，重心移動の自己認識を制御検出課題により評価した．健常者群とパーキンソン病患者群に対し制御検出課題を行った結果，パーキンソン病患者群の正答率は健常者群に比べて低下していた．このことから，パーキンソン病患者は重心移動の認識が低下する可能性があると考えられ，バランスに対する運動主体感が変容する可能性が考えられる．

次に，重心移動の自己認識の低下とパーキンソン病患者の症状との関係性を調べるために，制御検出課題の正答率と患者の背景およびバランス能力との関係性

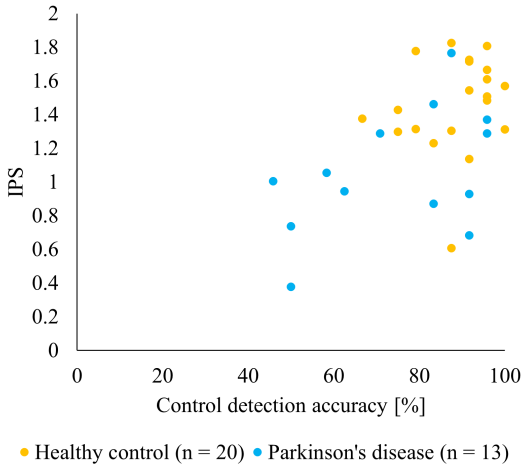

Fig. 11: The relationship between the accuracy of the control detection task and IPS score when the control level is 40 % or higher.The correlation coefficient for Healthy controls was 0.26 ($p = 0.27$), and that for PD was 0.37 ($p = 0.21$).

についてスピアマンの相関係数により検討した．その結果，すくみ足との関係について有意な相関は見られなかった．ただし，C-FOGQ が聞き取り調査であることから，患者のすくみ足に対する感覚的な個人差があると考えられる．臨床現場で患者の日常生活を観察している理学療法士からは，4 名の患者については客観的な症状に比べて自覚的な訴えが強く，C-FOGQ のスコアが高いとの指摘があった．すくみ足との関係性を精査するには，すくみ足に対する客観的な評価を導入し分析していくことが必要だと考える．

IPS による動的バランスとの関係については，パーキンソン病患者において軽度の相関傾向がみられた．この相関については，自己の運動の認識能力の低下が，IPS 測定時における重心移動の自己認識を不確かにし，移動可能な範囲を狭めた可能性が考えらえる．一方，パーキンソン病患者の身体の可動域の縮小が，IPS の低下と，制御検出課題のマークの動きの減少による判別の難化に影響した可能性も推察される．今後，制御検出課題における重心移動軌跡に関して，さらなる検証が必要である．今後は更にサンプル数を増やして検討する必要がある．

運動主体感の生起は人にとって運動した結果得られる内的な報酬であり，運動の選択と実行を促進する効果があると考察されている [17]．近年ではこの理論を取り入れ，患者にとって適応しやすく意欲が維持できるよう，運動主体感を利用したリハビリテーションが提案されている [18]．パーキンソン病患者においても，継続しやすい効果的なリハビリテーションの設計に繋げられるよう，パーキンソン病患者の運動主体感や症状および機能との関係性について研究を重ね，多くの知見を得ていくことが必要である．

6 結論

重心移動の自己認識に関する制御検出課題を行った結果，パーキンソン病患者群の正答率は健常者に比べて低下していた．これより，パーキンソン病患者は重心移動の自己認識が低下する可能性があり，バランス

に対する運動主体感が変容する可能性が考えられる．

重心移動の自己認識と症状の関係性について分析したところ，パーキンソン病患者のすくみ足と静的バランス能力には相関は認められなかった．また，パーキンソン病患者の IPS による動的バランス能力については軽度の相関傾向が認められた．

今後は他のバランス評価指標との関係性を分析し，パーキンソン病患者の重心移動の自己認識と症状の関係性についてさらに詳細な検討を行う必要があると考える．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP19H05729 の助成を受けたものである．

参考文献

1) 日本神経学会：パーキンソン病診療ガイドライン 2018, 医学書院（2018）

2) 馬塲健次，直井一郎，柴原秀俊，井上幸恵，相野博司：日本におけるパーキンソン病患者のホーン・ヤール重症度別直接医療費：医療情報データベースを用いた分析, 臨床神経学, **62 巻**, 7 号, 524/531（2022）

3) E. Ray Dorsey, Bastiaan R. Bloem, The Parkinson Pandemic—A Call to Action, JAMA Neurology. **volume 75**, No. 1, 9/10 (2018).

4) 中馬孝容：パーキンソン病に対するリハビリテーション, The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, **53 巻**, 7 号, 524/531（2016）

5) 厚生労働省, “6 パーキンソン病”, (2024/09/15, https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000089954.pdf).

6) 岡本昌幸，徳久謙太郎，榊野浩司：パーキンソン病のリハビリテーション -歩行障害とバランス障害に対する運動療法-，保健医療雑誌，**5 巻**，2 号，95/101（2014）

7) K. Matsumiya: Awareness of Voluntary Action, Rather Than Body Ownership, Improves Motor Control, Scientific Reports, **volume 11**, Issue 1, 418 (2021)

8) James W. Moore, Susanne A. Schneider, Petra Schwingenschuh, Giovanna Moretto, Kailash P. Bhatia, Patrick Haggard: Dopaminergic Medication Boosts Action–Effect Binding in Parkinson’s Disease, Neuropsychologia **Volume 48**, Issue 4, 1125/1132 (2010)

9) N. Saito, K. Takahata, H. Yamakado, N. Sawamoto, S. Saito, R. Takahashi, T. Murai, H. Takahashi: Altered Awareness of Action in Parkinson’s Disease: Evaluations by Explicit and Implicit Measures, Scientific Report, **Volume 7**, 8019 (2017)

10) 温文，濵田裕幸，鈴石陽介，Acer Chang：運動主体感は人間にとって何を意味するのか？ , 基礎心理学研究, **42 巻**, 1 号, 53/64（2023）

11) W. Wen, H. Shibata, R. Ohata, A. Yamashita, H. Asama, H. Imamizu: The Active Sensing of Control Difference, iScience, **Volume 23**, Issue 5, (2020)

12) 杉下守弘：MMSE-J 精神状態短時間検査改訂日本版，日本文化科学社（2019）

13) International Parkinson and Movement Disorder Society, 2019, “MDS-Unified Parkinson’s Disease Rating Scale (MDS-UPDRS)”, (2024/09/15, https://www.movementdisorders.org/MDS/MDS-Rating-Scales/MDS-Unified-Parkinsons-Disease-Rating-Scale-MDS-UPDRS.htm).

14) 厚生労働省, 2017, “（参考）日常生活動作（ADL）の指標 FIM の概要”, (2024/09/15, https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12404000-Hokenkyoku-Iryouka/0000184198.pdf).

15) 近藤夕騎, 望月久, 加藤太郎, 鈴木一平, 板東杏太, 滝澤玲花, 吉田純一朗, 西田大輔, 水野勝広：日本語版 Characterizing Freezing of Gait Questionnaire （C-FOGQ）の作成, The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, **58 巻**, 2 号, 208/214（2021）

16) 望月久，峯島孝雄：重心動揺計を用いた姿勢安定度評価指標の信頼性および妥当性，理学療法学, **第 27 巻**, 第 6 号, 99/203 (2000)

17) N. Karsh, B. Eitam, I Control Therefore I Do: Judgments of Agency Influence Action Selection, Cognition, **Volume 138**, 122/131, (2015)

18) 温文：運動主体感に着目した身体拡張, VISION, **Volume 35**, No.2, 62/67（2023）