パーキンソン病患者の椅子からの起立動作の特徴*

北村奨悟**, 村木里志***, 大江田知子****, 澤田秀幸****,
田原将行*****, 植田能茂*****, 渡久地政志*****

The purpose of this study was to compare the features of joint angle and muscle activity of standing up movement from a chair in PD (Parkinson's disease) patients and healthy individuals, for design of the chairs assisting standing up movement of PD patients. Twelve PD patients and 12 healthy individuals participated in this study. We measured the joint angle and muscle activity (electromyogram) in the lower limbs, and the ground reaction force during standing up movement from an armchair. In terms of the timing of change of the joint angle and the working joint angle, no significant difference was found between the PD patients and healthy individuals. However, the timing of PD patients in the movement from the start point of the rectus femoris to the start point of the tibialis anterior was significantly shorter than that of the healthy individuals. These results show that PD patients have specific features of muscle activities in standing up movement from a chair.

本研究は、パーキンソン病患者の起立動作を補助する椅子の設計を目的に、健常者との比較から、パーキンソン病患者の起立動作における関節角度および筋活動の特徴について検討した。被験者はパーキンソン病患者12名および健常者12名である。被験者に肘かけの着いた椅子から起立動作を行わせ、動作中の関節角度（股、膝、足関節）、下肢筋活動（大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋）および床反力を測定した。その結果、各関節の伸展開始タイミングならびに最大屈曲角度には病気の影響は見られなかった。一方、下肢の筋活動では、パーキンソン病患者は前脛骨筋の活動開始から大腿直筋の活動開始までの時間が短くなり同時に活動を開始していた。以上のことから、パーキンソン病患者は特に筋活動の開始の順序に特徴が現れることが示唆された。

（キーワード：パーキンソン病、椅子、起立動作、筋電図、床反力、三次元動作解析）

1. はじめに

パーキンソン病（Parkinson's disease：以下PD）は、中脳の黒質にあるドーパミンを生成する細胞が減少し、運動障害が徐々に進行する神経変性疾患である^{1,2)}。この病気は、主に60歳代から発症するといわれ、人口10万人当たり100～150人の患者がいる^{3,4)}。2014年時点では、原因療法が確立されていなく、対症療法として主に薬によ

る一時的な症状の改善⁵⁾と病気の進行を抑えるリハビリテーション⁶⁾が行われている。この病気の運動症状には四大症状と呼ばれる「安静時振戦」「筋固縮」「無動」「姿勢反射障害」がある。無動には、すくみによって動作の開始が困難になる、滑らかな動作ができなくなる、動作が遅くなるといった症状が含まれる⁷⁾。これらの症状が現れると椅子からの起立動作が困難になり、椅子に座ったきりやベッドに寝たきりにつながるが多くなる。

椅子からの起立が困難になると、トイレや浴室などへの移動^{8,9)}だけでなく、趣味や仕事にも影響を及ぼす。さらに、長時間着座状態で過ごす、腰痛や運動能力の低下などからさらに起立動作が困難になるといった悪循環が起これと考えられる。そのため、PD患者のQOL（Quality of Life）の向上のためには、起立動作を自力で行うことが必要である。起立動作を自力で行うための一つの手段として、起立を容易にする椅子が必要になると考えられる。

PD患者の着座状態や起立動作に関する先行研究では、PD患者の着座姿勢での姿勢の制御能力¹⁰⁾、起立動作に必要な下肢の筋力¹¹⁾や起立動作中の重心の移動¹²⁾が中心で

*受付：2014年7月10日 受理：2014年9月11日

**九州大学大学院芸術工学府

Graduate School of Design, Kyushu University

***九州大学大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

****宇多野病院臨床研究部

Clinical Research Center, Utano Hospital

*****宇多野病院臨床研究部・リハビリテーション科

Clinical Research Center and Department of Rehabilitation,
Utano Hospital

*****宇多野病院リハビリテーション科

Department of Rehabilitation, Utano Hospital

あり、PDの問題である起立動作時のすくみ、姿勢の異常、動作緩慢を椅子の機能や形状により解決を試みた研究はみられない。起立動作の補助をするためのPD患者用の椅子を製作するためには、まずPD患者の起立動作時の特徴を理解する必要がある。

健常者の起立動作における主要関節の変化の順は、初めに体幹を前傾させるための股関節屈曲から始まり、股関節の最大屈曲時に臀部が座面から離床する。その後、股関節と膝関節が伸展を始め、足関節の伸展が始まり起立動作が終了する¹³⁾。この時、使用される下肢筋（大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋）の動員の順は、前脛骨筋が初めに活動し、その後大腿直筋と腓腹筋の活動が起こり、最後に大腿二頭筋の活動が大きくなる^{14,15)}。健常者の起立動作における下肢関節の変化や下肢筋の活動はこのような順で行われる。しかしながら、PD患者においても健常者と同様の順序で下肢関節の変化や下肢筋の活動が起こるかに関しては検討されていない。

以上のことから本研究では、PD患者用の椅子を考えるための基礎資料を得ることを目的とし、PD患者と健常者の起立動作時の姿勢、下肢関節角度の変化および表面筋電図による下肢筋の活動の比較から、PD患者の起立動作の特徴について検討した。

2. 方 法

2-1. 被験者

被験者はPD患者の男性12名、健常者の男性12名である。PDは60歳代での発症が多いためPD患者と健常者ともに被験者を65歳前後とした。被験者の年齢、身長、体重（平均値±標準偏差）は、PD患者がそれぞれ68.0±8.5歳、166.3±6.7 cm、66.3±9.1 kgであり、健常者がそれぞれ64.7±3.5歳、167.9±4.2 cm、63.6±8.9 kgであった。身長および体重に対して対応のないt検定を行った結果、2群間に有意差は認められなかった。被験者には実験内容と個人情報の取り扱いについて同意を得て実験を行った。なお、本研究は九州大学大学院芸術工学研究院倫理委員会（番号187）および、国立病院機構宇多野病院倫理委員会（番号25-15）の承認を得て実施した。

2-2. 運動機能検査

PD患者は、病気の進行による症状の重さだけではなく薬の効果による症状の変動が大きいため、薬の効果がある状態で日常生活中に椅子からの起立が可能な者とした。測定時の運動機能の指標として、医師が実験課題の実行直

前に症状の強さを評価するUPDRS3（Unified Parkinson's Disease Rating Scale）運動機能検査を使用した。この検査は運動機能に関する27項目に対し0から4まで5段階で評価する。評価は0が症状なし、1が軽度、2が中度、3が重度、4が最重度となり、合計は0～108点となる。被験者の合計点数は平均24.3±8.5点であった。なかでも、椅子からの起立動作の点数は平均0.5±0.6点であったことから、今回のPD患者は、症状が軽度で起立動作における運動機能が比較的高い¹⁶⁾ レベルにあったと考えられる。

2-3. 実験手順

実験課題の説明後、起立動作の課題を開始した。課題は床反力計上に配置した肘掛椅子から、開始の合図によって起立動作をさせた。起立後3秒間静止させた後着座させ、さらに着座状態で少なくとも3秒の静止時間を設け、その動作を計3回繰り返した。起立動作開始前の姿勢は、各関節の角度と着座位置を自由とし、足の位置は初めに起立しやすい位置に移動させた後は動かさないように指示した。なお、PD患者の実験時には転倒の危険を考慮し、医師または理学療法士が付き添った。

2-4. 実験に使用する椅子

実験に使用した椅子は金属パイプフレーム製であり、肘掛と背もたれが付いている。サイズはPD患者が日常で起立動作が可能であることを条件としたため、座面高は日本の一般的なダイニングチェアに多く見られる430 mmに統一した。座面奥行は450 mm、座面幅は450 mm、肘掛高は640 mmである。筋電図測定のために、大腿二頭筋に貼り付けた電極が接触する座面の左前面部分を幅180 mm、奥行120 mm分カットした。

2-5. 測定項目

無線送信電極を使用した表面筋電図、床反力の測定および三次元動作解析による関節角度の変化を測定した。データの同期は、トリガスイッチ（キッセイコムテック、無線トリガセット、MQ-WT）を使用して筋電図と床反力のデータにスイッチの信号を記録し、カメラにスイッチの信号と同時に発光するLEDの光を撮影し同期させた。筋電図と床反力のデータの記録にはVitalRecorder2（キッセイコムテック）を使用し、それぞれサンプリング周波数は1000 Hzとした。なお、解析にはKineAnalyzer（キッセイコムテック）を使用した。

表面筋電図の測定は被験者の左下肢の大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋および腓腹筋に対して行った。測定には多チャンネルテレメータシステム（日本光電、WEB-

7000) を使用し、身体に貼り付ける電極は筋電図送信機 (日本光電, ZB-150H) を使用した。データはハイカット 500 Hz, ローカット 15 Hz で記録を行い, KineAnalyzer による解析時には 30 Hz のローカットを使用した。

床反力の測定は 400 mm×600 mm の床反力計 (キスラー社, type9286AA および type9286BA) 3 枚を配置し, 鉛直方向の反力を記録した。解析には床反力計 3 枚を合成した値を使用し, 椅子を乗せた状態を基準とした。

三次元動作解析は, 被験者の左半身の頭部, 肩, 肘, 手首, 大転子, 膝, 踝および第 5 趾に貼り付けた動作マーカーを 2 台のカメラ (CASIO, EXILM, EX-F1) で 60 fps によって撮影し, 股関節, 膝関節, 足関節の矢状面上の角度変化を解析した。関節角度の解析は, 3DCalculator (キッセイコムテック) を使用してスティックピクチャーを作製して行った。被験者に張り付けたマーカーは自発光式を使用した。

2-6. 開始タイミングの規定

起立動作の動作開始タイミングは股関節角度の屈曲開始とし, 動作終了タイミングは股関節角度の最大伸展時とした。股関節, 膝関節および足関節はそれぞれの伸展開始タイミングを使用し, 大腿直筋と前脛骨筋は表面筋電図波形の立ち上がり筋活動を開始タイミングとした。床反力は z 軸 (鉛直方向) の変化開始タイミングを使用した。

2-7. 統計処理

統計処理には起立動作 3 回の測定データを平均した値を使用した。各開始タイミングの時間, 各開始タイミング間の時間差および動作中の関節角度について, PD 患者と健常者の差に対して対応のない検定を行った。有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3-1. 表面筋電図による筋活動の比較

図 1 に PD 患者と健常者の筋電図の波形の一例を示す。健常者では起立動作後期において大腿二頭筋の筋電図振幅が大きくなるが, PD 患者にはその様子がほとんど見られない。大腿直筋と前脛骨筋は PD 患者と健常者ともに活動が大きい。

3-2. 関節変化・筋活動・床反力各開始タイミング

図 2 に PD 患者と健常者の下肢関節, 下肢筋および床反力の各開始タイミングの平均値を示す。PD 患者と健常者

図 1 筋電図波形の比較

Fig. 1 Comparison of the EMG waveform.

図 2 各開始タイミング平均の順序性 (縦線は平均値, 横線は標準偏差)

Fig. 2 Average start timing of each activity in order (Vertical line stands for average value. Horizontal line stands for standard deviation).

は下肢筋の活動開始の順序が異なり, 下肢関節の伸展開始までの間隔も両群で異なる。合図から動作開始までの時間に有意差は無く, 合図から動作終了までの時間は PD 患者が有意に長くなった (図 3)。起立動作中の伸展開始タイミングには PD 患者と健常者との間に有意な差は見られない (図 4)。下肢筋の動員の順序をみると, 健常者は前脛骨筋がまず活動を開始し, 少し時間をおいて大腿直筋が活動を開始するのに対して, PD 患者はその時間が有意に短く (図 5), PD 患者は前脛骨筋の活動開始と同時に大腿直筋が活動を開始している。

3-3. 関節角度

表1に動作開始時と動作終了時のPD患者と健常者の下肢関節角度の比較および動作開始姿勢から最大屈曲時の角度差を示す。動作開始時の関節角度はPD患者の足関節が有意に屈曲していたが、股関節や膝関節には有意な差が見られなかった。しかし、動作終了時の関節角度では股関節、膝関節、足関節すべてにおいてPD患者は有意に

図3 合図から動作開始までの時間差と合図から動作終了までの時間差

Fig. 3 The difference of duration from signal to action start and from signal to action finish.

屈曲した状態であった。股関節、膝関節、足関節の動作開始時の姿勢からの最大屈曲角度にはPD患者と健常者の間に有意差は認められなかった。

4. 考 察

本研究では、PD患者の起立動作の特徴を検討するために、健常者との比較を行った。また、起立動作の比較は動作開始から終了までの時系列に沿って行った。まず、合図から起立動作を開始するまでの時間を見るとPD患者と健常者に有意差は見られなかった。PD患者は前方に棒をまたぐステップ動作や側方へのステップ動作に動作開始の遅れがあると報告されており¹⁷⁾、起立動作にも同様の遅れが予想されたが本研究ではその遅れを確認するこ

図5 前脛骨筋活動開始から大腿直筋活動開始までの時間

Fig. 5 Start timing of rectus femoris action to start timing of tibialis anterior action.

図4 動作時間内の関節の伸展開始タイミング

Fig. 4 Extension start timing of the lower limb joint during stand up action.

表1 動作開始時と動作終了時の関節角度の比較と動作開始姿勢からの関節最大屈曲角度の比較

Tab. 1 Comparison of joint angle movement (timing from start to end) and comparison of maximum joint flexure angle at start posture.

		PD患者		健常者		有意性
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
動作開始時	股関節(度)	102.0	3.2	102.8	1.8	n.s.
	膝関節(度)	86.4	1.7	90.8	1.7	n.s.
	足関節(度)	97.5	2.3	105.9	1.3	P<0.01
動作終了時	股関節(度)	158.7	2.8	173.8	1.3	P<0.01
	膝関節(度)	150.6	1.8	166.0	1.4	P<0.01
	足関節(度)	98.1	2.0	108.1	1.7	P<0.01
動作開始姿勢からの最大屈曲角度	股関節(度)	19.4	2.4	22.4	2.2	n.s.
	膝関節(度)	0.4	0.2	0.3	0.1	n.s.
	足関節(度)	10.1	1.1	7.9	0.7	n.s.

とはできなかった。その理由の一つとして、本研究のPD患者は起立動作における運動機能が高いため¹⁶⁾、動作開始の遅れが現れなかったことが考えられる。また、PD患者の運動の補助に患者に対してキュー（外的刺激）を与えることで動作開始を促す方法がある¹⁸⁾。そのキューには歩行動作時のリズムを与えるキューや、運動開始の手がかりを与えるためのキューがある。本研究では動作開始の合図が運動開始のキューとなり、動作開始の遅れを軽減することも理由の一つとして考えられる。

次に、動作開始タイミングから下肢筋の動員の順序をみると、健常者は起立動作開始時にまず前脛骨筋の活動があり、その後大腿直筋が活動を開始している。この動員の順は先行研究でも報告されている^{14,15)}。対してPD患者では、大腿直筋の動員が早く、図6のように動作開始の股関節屈曲時に前脛骨筋と同時に大腿直筋が動員されていた。この現象にはいくつかの原因が考えられる。PD患者は体幹屈曲筋の腸腰筋などの活動が低下し^{19,20)}、さらに筋活動量を動作に合わせて調整することが難しくなると報告されている²¹⁾。このことから、体幹傾斜時の股関節の屈曲運動を補助するために大腿直筋が健常者に比べ早く活動を開始していたと考えられる。もしくは、本来は脳の大脳基底核系の回路に大脳皮質からの入力と、黒

質からのドーパミンの入力を受けて運動の順序や組み合わせの制御が行われている²²⁾が、PD患者はこの黒質に異常が起きてドーパミンの量が減少することで運動の順序や組み合わせが困難になっている²³⁾と考えられる。そのため、順序立てた筋活動が困難になり、動作の開始時に動作に使用される屈筋の活動が同時に起こっていたとも考えられる。

起立動作中の下肢関節の伸展開始タイミングや最大屈曲角度においては、PD患者と健常者との間に明確な差は認められなかった。PD患者は筋の固縮や動作緩慢によって可動域の制限が起こると言われていることから²⁴⁾、健常者と異なると考えられたが、それを支持する結果は得られなかった。しかし、健常者は起立動作後期の体幹伸展時に大腿二頭筋の活動が見られたことに対して、PD患者はその活動が小さかった。加えて起立動作終了時の3つの下肢関節角度全てが有意により屈曲し、伸展動作が減弱していた。先行研究ではPD患者は立位姿勢において頸部や腰部がより屈曲することが報告されており²⁵⁾、本研究の結果と一致する。このようにPD患者は屈曲動作よりも伸展動作の方に可動域の制限や筋活動の低下が起こりやすく、その特徴が起立動作終了時に表れたと示唆される。

最後に合図から起立動作の開始までの時間を見ると、PD患者と健常者との間には有意差が認められなかったが、合図から動作終了までの時間はPD患者が有意に長くなった。PD患者は諸種の動作時間が長くなることが、上肢に対するペンを用いたターゲットの追跡課題²⁶⁾や起立動作時の重心動揺²⁷⁾の研究などから示されている。このことから、本研究のPD患者は動作開始の遅れより、動作緩慢によって各関節の屈曲動作や伸展動作などの起立動作全体が遅くなり、合図から動作終了までの時間が長くなったと考えられる。

本研究では、起立動作中の関節角度の変化に明確な差は確認できなかったが、PD患者は大腿直筋の活動開始タイミングが有意に早くなり、前脛骨筋と同時に動員される現象が見られた。このことから、PD患者に対し起立動作の補助を行うためには特に下肢筋の動員の順に着目し、順序立てた筋活動を促すことが有効であろう。順序立てた筋活動を行うためには前脛骨筋と大腿直筋の2つの筋肉に働きかける方法がある。前脛骨筋は前述のように股関節の屈曲開始と同時に動員される。そこで、股関節の屈曲開始時の動きが足関節運動の誘起に連動するような椅子の機構を開発し、前脛骨筋の活動を促す方法などが考えられる。一方、PD患者の大腿直筋は健常者と違い体幹傾斜時から動員される。これに対し、起立動作開始時の体幹の前方への傾斜が容易になる肘かけを設計し、大腿

図6 大腿直筋の活動開始タイミング

Fig. 6 Start timing of rectus femoris activity.

直筋の働きを軽減することによってその活動開始を遅らせる方法などが考えられる。これらの工夫により、順序立てた筋活動を促すことでPD患者の起立が容易に、そして滑らかに行うことが可能になると考えられる。ただし、振戦の症状が強い者や、姿勢の変形が特に強い者など症状に対して必要とする機能が異なることも考えられる。そのため、PD患者用の椅子を考えるには、症状に合わせて機能を選択できる必要があると思われる。さらに、PD患者は薬の効果による症状の変動が大きいいため、これらの補助機能の使用不使用を選択できる必要がある。今後はこれらの問題を解決してPD患者の起立動作を容易にする椅子を実現し、PD患者のQOL (Quality of Life) の向上につなげていきたい。

5. 結 論

本研究では、PD患者の起立動作を補助する椅子の開発を目指し、PD患者と健常者の椅子からの起立動作の比較からPD患者の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、PD患者と健常者の下肢関節角度の変化に有意な差は見られなかった。しかし、健常者では前脛骨筋の活動開始から遅れて大腿直筋の活動が開始しているのに対し、PD患者では前脛骨筋の活動開始と同時に大腿直筋が活動を開始する特徴がみられた。この特徴から、PD患者に対して順序立てた筋活動を促すことが、すくみや順序立てた動作が困難なPD患者のための椅子を考える上で重要な手掛かりになると示唆される。

引用文献

- 1) 松田憲之, 田中啓二: 神経変性疾患「若年性パーキンソン病」の発症メカニズム, 化学と生物, 49 (8), 535-541, 2011.
- 2) 武山博文, 高橋牧朗, 他: パーキンソン病・パーキンソン症候群, 日本内科学会雑誌, 100 (3), 635-640, 2011.
- 3) 田代邦雄: よくわかるパーキンソン病のマネジメント改訂版, 16-25, 医薬ジャーナル社, 大阪・東京, 2008.
- 4) 厚生労働省: 平成22年国民生活基礎調査の概況 統計表, Retrieved May 24, 2014, available from <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/toukei.html>
- 5) 望月秀樹: パーキンソン病の治療と病態, 臨床神経学, 50 (9), 623-627, 2010.
- 6) 阿部和夫, 河野奈美, 他: パーキンソン病に対する運動療法, リハビリテーション科診療, 13, 25-30, 2013.
- 7) Jankovic J: Parkinson's disease: clinical features and diagnosis, Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 79 (10), 368-378, 2008.
- 8) 杉原敏道, 三島誠一, 他: 高齢者の起立動作能力と排泄の自立度について, 理学療法科学, 22 (1), 89-92, 2007.
- 9) 原澤大祐, 染谷和久, 他: トイレ動作に着目した維持期におけるパーキンソン病患者への関わり, 埼玉県包括的リハビリテーション研究会雑誌, 11 (1), 41-43, 2011.
- 10) van der Burg JC, van Wege EE, et al: Postural control of the trunk during unstable sitting in Parkinson's disease, Parkinsonism and Related Disorders, 12 (8), 492-498, 2006.
- 11) Pääsuke M, Ereline J, et al: Leg-extension strength and chair-rise performance in elderly women with Parkinson's disease, Journal of Aging and Physical Activity, 12 (4), 511-524, 2004.
- 12) 大林永幸, 青村茂, 他: パーキンソン病患者の立ち上がり動作解析に関する研究, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス講演論文集, 2011, 235-240, 2011.
- 13) 帯刀隆之, 金子誠喜: 動作成立のための運動制御に関する研究一起立動作の運動力学的分析から一, 理学療法科学, 20 (4), 303-307, 2005.
- 14) 長瀬浩明, 相澤淳平, 他: 起立補助椅子の有効性に関する研究, 長野県工技センター研報, 1, I20-I24, 2006.
- 15) 木島幸次, 潮見泰蔵, 他: 立ち上がり動作における下肢筋の筋収縮の順序性, 理学療法科学, 31 (2), 123, 2004.
- 16) 檜皮谷泰寛, 近藤智善: UPDRS Hoehn-Yahr, Journal of Clinical Rehabilitation, 14 (10), 952-956, 2005.
- 17) 水野真由子, 福澤一吉, 他: パーキンソン病患者におけるステップ運動の運動学的解析, 臨床神経学, 50 (2), 74-80, 2010.
- 18) Keus SHJ: 運動のための外的キューと認知戦略, 松尾善美, パーキンソン病の理学療法, 175-189, 医歯薬出版, 東京, 2011.
- 19) 森山英樹, 吉田義弘, 他: パーキンソン病の前傾姿勢について, 理学療法科学, 29 (2), 262, 2002.
- 20) 中馬孝容: 転倒の要因一ヒトはなぜ転ぶのか一, リハビリテーション医学, 43 (2), 79-82, 2006.
- 21) Berardelli A, Dick JP, et al: Scaling of the size of the first agonist EMG burst during rapid wrist movements in patients with Parkinson's disease, Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 49 (11), 1273-1282, 1986.
- 22) 嘉戸直樹: 大脳基底核の機能, 関西理学療法, 5, 73-75, 2005.
- 23) 高草木薫: 大脳基底核の機能 パーキンソン病との関連において, 日本生理学雑誌, 65 (4.5), 113-129, 2003.
- 24) 山永裕明, 野尻晋一: 図説パーキンソン病の理解とリハビリテーション, 68-72, 三輪書店, 東京, 2010.
- 25) Oeda T, Umemura A, et al: Clinical factors associated with abnormal postures in Parkinson's disease, Plos One, 8 (9), e73547, 2013.
- 26) 中西亮二, 村山伸樹, 他: パーキンソン病における上肢運動機能障害の定量化 反応運動と視標追跡運動時の有効パラメーターの検討, 日本リハビリテーション医学会誌, 36 (1), 49-58, 1999.
- 27) 榊原敏正, 真野行生, 他: 運動失調症およびパーキンソニスムにおける起立時動揺に関する検討, 日本リハビリテーション医学会誌, 22 (4), 221-223, 1985.