

パーキンソン病患者の上腕二頭筋における超音波剪断波エラストグラフィを用いた筋硬度の前向き検討

A Prospective Study of Biceps Brachii Muscle Stiffness in Parkinson's Disease Patients Measured by Ultrasound Shear Wave Elastography

小林 悟士¹⁾, 笠井 健治²⁾, 矢部 仁³⁾, 今尾 仁⁴⁾, 橋本 祐二⁵⁾, 市川 忠⁵⁾

1) 埼玉県総合リハビリテーションセンター 放射線科

2) 理学療法士 埼玉県総合リハビリテーションセンター 理学療法科

3) 大学教員 つくば国際大学 医療保健学部 診療放射線学科

4) 大学教員 群馬大学 保健科学部 放射線学科

5) 医師/博士(医学) 埼玉県総合リハビリテーションセンター 脳神経内科

Key words: Parkinson's disease, biceps brachii muscle, ultrasound shear wave elastography, Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS), rigidity

[Abstract]

In patients with Parkinson's disease (PD), the relationship between biceps brachii muscle stiffness measured by ultrasound shear wave elastography (SWE) and upper extremity rigidity score (indicating severity) evaluated by the Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS) is unclear. This study measured biceps brachii muscle stiffness by ultrasound SWE and scored upper extremity rigidity based on the MDS-UPDRS in 43 patients with PD. Factors affecting muscle stiffness measured by SWE were identified using multiple regression analysis. Threshold values of muscle stiffness (SWE) were also calculated for each upper extremity rigidity score (MDS-UPDRS). This study comprised 43 patients with PD: 20 men and 23 women. The MDS-UPDRS upper extremity rigidity scores 2 and 3 were identified as factors affecting muscle stiffness measured by SWE. The results suggest that the threshold values of muscle stiffness measured by SWE in the dominant arm can be used to determine the MDS-UPDRS upper extremity rigidity scores 1, 2, and 3.

[要 旨]

パーキンソン病 (PD) 患者の上腕二頭筋における超音波shear wave elastography (SWE) による筋硬度と、MDS-UPDRS上肢の筋強剛の重症度 (評点) との関係は明らかではない。PD患者43人に上腕二頭筋のSWEによる筋硬度測定と、MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評価をした。重回帰分析によりSWEによる筋硬度に影響を与える因子を検出した。また筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度の閾値を算出した。上肢の筋強剛の評点2と3は、SWEによる筋硬度に影響を与える因子であった。優位肢のSWEによる筋硬度の閾値を用いて、上肢の筋強剛1～3の各評点を判別できる可能性が示唆された。

1. 緒 言

パーキンソン病 (Parkinson's disease (以下, PD)) は、安静時振戦、運動緩慢、筋強剛 (筋固縮)、姿勢反射障害を特徴とする進行性神経変性疾患である¹⁾。筋

強剛とは筋緊張の亢進した状態であり、他動的に関節を動かした際に抵抗として感じられる。筋強剛は多くの患者で左右差が認められ、優位側は病歴を通じて不変であることが多い²⁾。

運動症状および非運動症状を含めた複数の評価項目から、PDの重症度を評価する臨床指標として、Fahnらにより提唱されたパーキンソン病統一評価スケール (Unified Parkinson's Disease Rating Scale (以下, UPDRS))³⁾や、その後、Movement Disorder Society (MDS) により改訂されたMDS-UPDRS⁴⁾が世界的に広く臨床および研究に用いられている。MDS-UPDRSはPart IからIVで構成されている⁴⁾。各Partは、I: 日常生活における非運動症状、II: 日常生活で経験する運動症状の側面、III: 運動症状の調査、IV: 運動合併症となっている。Part IIIの中に上肢の筋強剛の重症度評価 (3.3) が存在する⁴⁾。上肢の筋強剛の重症度は、左右別々に0: 正常、1: ごく軽度、2: 軽度、3: 中等度、4: 重度の5段階で評点する (Table 1)⁴⁾。

KOBAYASHI Satoshi¹⁾, KASAI Kenji²⁾,
YABE Hitoshi³⁾, IMAO Masashi⁴⁾,
HASHIMOTO Yuji, M.D., Ph.D.⁵⁾,
ICHIKAWA Tadashi, M.D., Ph.D.⁵⁾

- 1) Department of Radiology, Saitama Prefectural Rehabilitation Center
- 2) Department of Physical Therapy, Saitama Prefectural Rehabilitation Center
- 3) Department of Radiology, Faculty of Health Sciences, Tsukuba International University
- 4) School of Radiological Sciences, Faculty of Health Science, Gunma Paz University
- 5) Department of Neurology, Saitama Prefectural Rehabilitation Center

Received February 28, 2022; accepted December 8, 2022

Table 1 MDS-UPDRS rigidity scoring criteria for upper extremities⁴⁾

Instructions to examiner: Rigidity is assessed on slow passive movement of major joints with the patient in a relaxed position and the examiner manipulating the limbs and neck. First, test without an activation maneuver. Test and rate the neck and each limb separately. For the arms, test the wrist and elbow joints simultaneously. If no rigidity is detected, use an activation maneuver, such as tapping fingers, fist opening/closing, or heel tapping, in a limb not being tested. Explain the patient to go as limp as possible as you test for rigidity.		SCORE
0: Normal:	No rigidity.	RUE
1: Slight:	Rigidity only detected with activation maneuver.	LUE
2: Mild:	Rigidity detected without the activation maneuver, but full range of motion is easily achieved.	
3: Moderate:	Rigidity detected without the activation maneuver; full range of motion is achieved with effort.	
4: Severe:	Rigidity detected without the activation maneuver and full range of motion not achieved.	

Note: MDS-UPDRS, Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale; RUE, right upper extremity; LUE, left upper extremity.

筋強剛は評価者が患者の関節を他動的に動かした際の筋の伸張に対する抵抗（硬さ）により評価されるため⁴⁾、定量的評価が困難で熟練を要する。そのため客観的で定量化された指標を用いて、筋強剛の重症度（評点）を評価する手法が求められる。

超音波shear wave elastography（SWE）は、体内に発生した剪断波の伝搬速度から組織の硬度（ヤング率）を求めることができる^{5),6)}。剪断波の伝搬速度は組織の硬度により変化する⁷⁾。SWEは受動的な硬度の評価⁸⁻¹¹⁾や随意収縮による硬度変化の評価^{7),12)}など、骨格筋の力学的特性を研究するために使用されている。Chenらは、10人の健常対照者において、性別および肘の30°屈曲時と伸展時における上腕二頭筋のSWEによる筋硬度について調査した¹³⁾。SWEは上腕二頭筋の硬度の評価において再現性があり定量化に有効であると報告している。一方、PD患者における筋硬度の定量的評価を検討した報告はほとんどなされていない¹⁴⁾。Duらは、PD患者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度と、UPDRS Part IIIの14の評価項目での総合的な運動症状スコア（ $r=.646$, $P=.000$ ）との間に比較的強い相関があることを見いだした¹⁴⁾。そして上腕二頭筋のSWEは、PD患者の筋硬度の定量的評価に有効であると報告している。また上肢の筋強剛が強いほど測定されたヤング率（筋硬度）が高くなり、上肢の運動機能低下に直結していたことから、Duらは「PD患者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度は、筋強剛の重症度（評点）と密接な関係があるようである」と述べている¹⁴⁾。しかし、この報告ではPD患者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度と、同部位の単一評価項目であるUPDRS上肢の筋強剛の重症度（評点）との関係を明らかにしていない。

本研究の目的は、PD患者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度とMDS-UPDRS上肢の筋強剛の重

症度（評点）との関係、および筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度の閾値を明確にすることである。

2. 方 法

2-1 対象と評価

本研究は単一施設の前向き研究であり、当院で実施された。2019年1月から同年7月まで、当院に入院中のPD患者を対象とした。PD患者の診断は、標準的な診断基準として広く使用されているMDSによるパーキンソン病臨床診断基準¹⁵⁾に従って、脳神経内科医により行われた。一方、対照群はいかなる種類の神経筋疾患の診断歴および薬物療法を受けていない健常対照者とした。

PD患者については、上腕二頭筋のSWEによる筋硬度測定と、MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評価をした。また健常対照者は、上腕二頭筋のSWEによる筋硬度を測定しコントロールとした。

2-2 上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度（ヤング率）測定

PD患者および健常対照者のSWEによる筋硬度（ヤング率）は、上腕二頭筋を左右別々に測定した。全ての被験者の測定体位は、仰臥位で腕を体の脇に置き手足を完全にリラックスさせた状態で行った¹⁴⁾。筋硬度測定は、4.0~18.2 MHzのリニアプローブを取り付けたAplio i700システム（キヤノンメディカルシステムズ、栃木）を用いて施行した。まず、上腕二頭筋を観察するために、骨格筋に設定したBモード像でスキャンを開始し^{16),17)}、プローブの向きを上腕二頭筋の筋線維方向（縦断像）に設定した^{5),13),14),18)}。またプローブを上腕二頭筋がある腕の皮膚の上に組織を圧迫しないように静置し、最大筋束が位置する筋腹の中央部分を

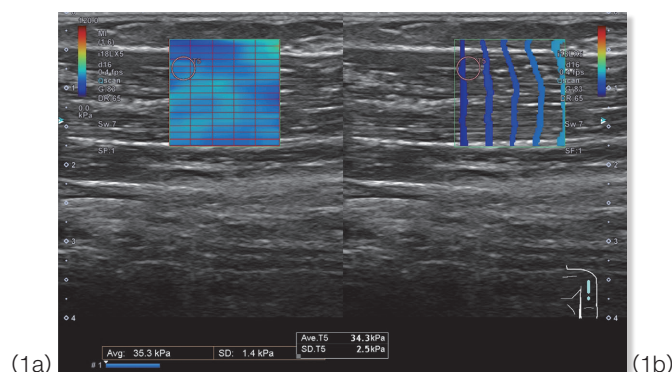


Fig.1 Measuring muscle stiffness by SWE in longitudinal plane of biceps brachii

Muscle stiffness (Young's modulus) was measured at the middle portion of the biceps brachii muscle belly where the muscle bundle was the thickest¹⁴⁾. SWE has three image display modes (propagation velocity, muscle stiffness, and propagation [arrival time contour]). The left image (1a) is the muscle stiffness display mode, and the right image (1b) is the propagation display mode. The propagation display mode shows shear wave propagation within the muscle tissue as a moving image (1b). The color box superimposed on the B-mode scan image represents the region of interest (ROI) (1a). Muscle stiffness (Young's modulus) values are represented by the color scheme in the ROI box, where blue indicates soft tissue and red indicates hard tissue (1a). A 5-mm diameter circle was placed within the ROI for quantitative measurement^{14), 23)}. Muscle stiffness (Young's modulus) is calculated within the circle (1a). Muscle stiffness measurements were obtained three times both in the left and right biceps brachii of each patient^{13), 14)}.

描出した^{11), 14), 19-22)}. このように、われわれは測定方法が明記され研究成果が得られている報告^{11), 14), 19-22)}に倣って測定を実施した。次に、筋硬度を測定するためにSWE機能に切り替えた。SWE機能には3つの画像表示モード〔伝搬速度・筋硬度・伝搬（到達時間等高線）〕が存在する。Fig.1の左側（1a）は筋硬度表示、右側（1b）は伝搬表示である。伝搬表示では、筋肉内を伝搬する剪断波を動画像として表示される（Fig.1b）。Bモード像に重ねられ色分けされたボックスは関心領域（ROI）を表す（Fig.1a）。またこの色分けされたボックス内の青（軟らかい組織）および赤（硬い組織）のカラースケールは、ROI内の筋硬度の値を表している（Fig.1a）。定量分析のために、このボックス内に直径5 mmの円のROIを配置した^{14), 23)}。それにより円内の筋硬度（ヤング率）が算出される（Fig.1a）。筋硬度測定をするための設定は、視野深度4 cm、単一焦点、組織ハーモニックイメージングを使用した。筋硬度測定は、全ての被験者（PD患者および健常対照者）の上腕二頭筋において、左右別々に3回ずつ施行した^{13), 14)}。そしてその平均値を算出し、左右別々の上

腕二頭筋の筋硬度の代表値とした^{13), 14)}。これらの測定方法は全ての被験者に適用した。筋硬度測定は、超音波検査を14年以上経験した認定超音波検査士である1人の診療放射線技師が施行した。

3回測定を採用した理由について述べる。先行研究の上腕二頭筋のSWEによる筋硬度測定において、2～3回の測定回数でも検者内および検者間の信頼性が良好であることが報告されている^{13), 14), 20), 21)}。一方、われわれは事前検討において、検者は1人のため検者間の信頼性は確認できなかったが、検者内の信頼性は良好であったため本研究においても3回測定を採用した。

2-3 MDS-UPDRS 上肢の筋強剛の評点

筋強剛の評点は、MDS-UPDRS 上肢の筋強剛を評価するPart IIIの3.3（Table 1）⁴⁾を用いて、全てのPD患者において左右の上肢を別々に施行した。そして筋強剛が強い側を優位肢、弱い側を非優位肢とした。筋強剛の評点は、PD患者の理学療法を16年以上経験した1人の理学療法士が施行した。筋硬度測定と筋強剛の評点は同日同時刻に行った。

2-4 統計分析

SWEによる筋硬度に影響する要因を分析するため、SWEによる筋硬度を従属変数、両上肢（優位肢と非優位肢）における年齢、性別、MDS-UPDRS筋強剛0～4の各評点、および優位肢の7つを独立変数とした重回帰分析を行った。性別と優位肢はダミー変数を用いた。重回帰分析に含まれる独立変数は、先行研究の結果と臨床判断に基づいて選択された¹⁴⁾。またReceiver operating characteristic curve (ROC) 解析による優位肢の筋硬度の閾値を算出した。SWEによる筋硬度測定の検者内信頼性は、級内相関係数（Intraclass Correlation Coefficients（以下、ICC））を使用して評価した。有意水準は5%とし、P値<.05は統計的有意差を示すと見なした。全ての分析は、EZRソフトウェア（自治医科大学附属さいたま医療センター、埼玉）を使用して実施した²⁴⁾。

2-5 倫理的手続き

本研究は、当院の倫理委員会に承認を得て実施された（承認番号H29-015）。また全ての被験者から書面によるインフォームドコンセントを取得した。本研究はヘルシンキの宣言に従って実施された。

3. 結 果

PD患者43人について、上腕二頭筋のSWEによる筋硬度測定と、MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評価をした。また健常対照者12人は、上腕二頭筋のSWEによる筋硬度を測定した。PD患者43人の性別は、男性20人(40肢)、女性23人(46肢)であった(Table 2)。平均年齢は69.7歳±8.3歳であった。健常対照者12人の性別は、男性5人(10肢)、女性7人(14肢)であった。平均年齢は67.9±5.3歳であった。

MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点基準(Table 1)⁴⁾に基づいた、PD患者43人(86肢)における筋強剛の各評点の頻度は、評点0:8肢(9.3%)、評点1:23肢(26.7%)、評点2:44肢(51.2%)、評点3:11肢(12.8%)、評点4:0肢(0%)であった。

Fig.2に、PD患者のMDS-UPDRS上肢の筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度(ヤング率)を示す。すなわち、PD患者の右上肢の筋強剛の評点に対する右上腕二頭筋の筋硬度について示している。同様に、左上肢の筋強剛の評点に対する左上腕二頭筋の筋硬度についても示している(Fig.2)。また図には健常対照者(Control)の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度も示している。PD患者の上肢の筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度は、評点0:49.66 [40.80~

61.20] kPa, 評点1:57.81 [40.29~84.93] kPa, 評点2:110.13 [63.69~159.14] kPa, および評点3:180.75 [112.93~259.84] kPaであった。また健常対照者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度は、53.99 [43.66~61.62] kPaであった。

両上肢(優位肢と非優位肢)における重回帰分析の結果、SWEによる筋硬度に影響を与える因子は、MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点2 ($P<.001$) と3 ($P<.001$)、年齢 ($P=.030$)、および優位肢 ($P=.012$)であった(Table 3)。年齢は回帰係数推定値が1.44とSWEによる筋硬度に与える影響は小さいため、閾値の検討の因子から除外した。ROC解析により、PD患者の優位肢における筋硬度の閾値を算出した。優位肢におけるMDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点1と2の閾値は93.55 kPa, 曲線下面積(Area Under

Table 2 Clinical characteristics of the PD and control groups

Item	Control (n=12)	PD (n=43)	P-value
Age, mean±SD	67.9±5.3	69.7±8.3	$p \geq .05$
Female sex, n(%)	7(58.3%)	23(53.5%)	$p \geq .05$

Note: PD, Parkinson's disease.

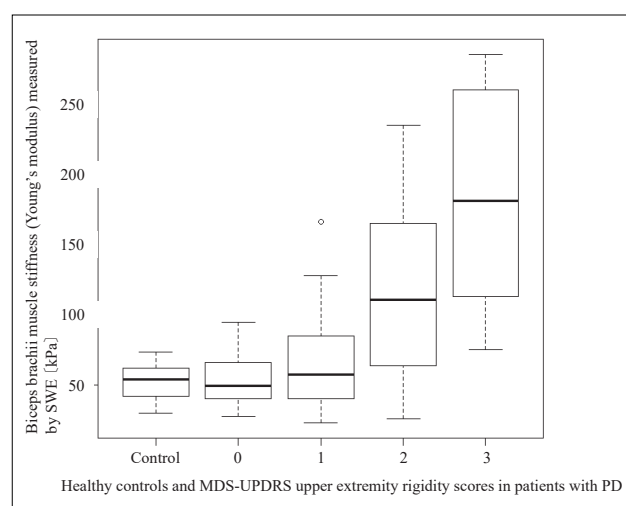


Fig.2 Muscle stiffness (Young's modulus) measured by SWE according to MDS-UPDRS upper extremity rigidity scores in patients with PD

Table 3 Factors affecting muscle stiffness measured by SWE in both upper limbs (dominant and non-dominant)

	Regression Coefficient	t-value	p-value
Constant	-45.515		
Age	1.443	2.202	.030
Female sex	-1.233	-0.131	.90
MDS-UPDRS upper extremity rigidity score : 0	0.764	0.037	.97
MDS-UPDRS upper extremity rigidity score : 1	-0.197	-0.013	.99
MDS-UPDRS upper extremity rigidity score : 2	50.704	3.793	$P<.001$
MDS-UPDRS upper extremity rigidity score : 3	98.327	4.839	$P<.001$
Dominant extremities	27.450	2.550	.012

Note: Analysis of variance $p<.001$, Coefficient of determination (R^2) = 0.440;

MDS-UPDRS, Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale; SWE, shear wave elastography.

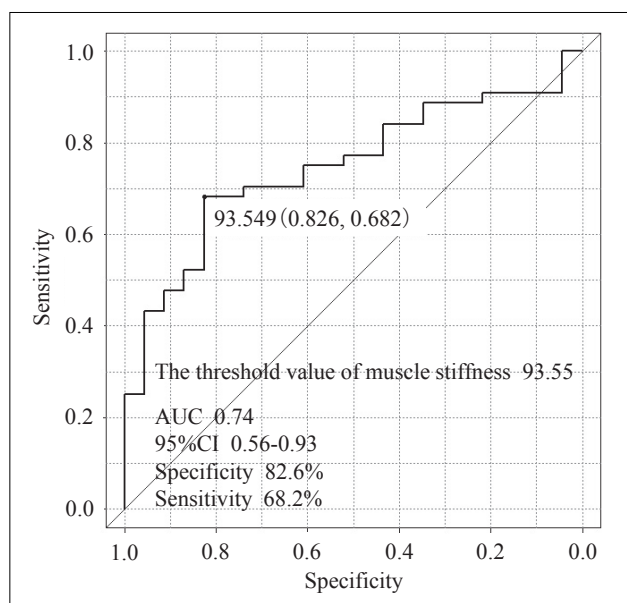


Fig.3 ROC analysis of patients with PD with an MDS-UPDRS rigidity score of 1 or 2 in the dominant arm

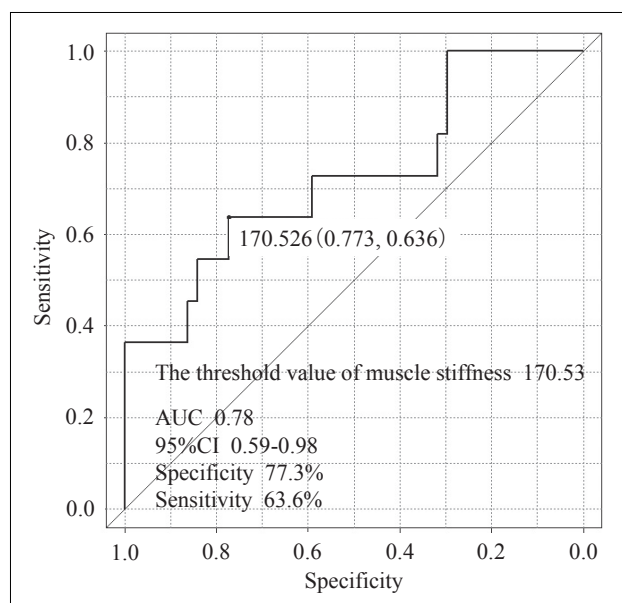


Fig.4 ROC analysis of patients with PD with an MDS-UPDRS rigidity score of 2 or 3 in the dominant arm

the Curve (以下, AUC)) 0.74, 95% confidence interval (CI) 0.56-0.93 (Fig.3), 評点2と3の閾値は170.53 kPa, AUC 0.78, 95% CI 0.59-0.98であった (Fig.4). SWEのICCは0.94 ($p<.05$) であった。

4. 考 察

本研究の目的は, PD患者の上腕二頭筋におけるSWEによる筋硬度和MDS-UPDRS上肢の筋強剛の重症度(評点)との関係, および筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度の閾値を明確にすることであった。

重回帰分析の結果, SWEによる筋硬度に影響を与える因子は, MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点2と3, 年齢, および優位肢であった (Table 3). また優位肢のみのSWEによる筋硬度の閾値を用いて, 上肢の筋強剛1~3の各評点を判別できる可能性が示唆された。

Duらは, PD患者および健常対照者における上腕二頭筋のSWEによる筋硬度について調査した¹⁴⁾. 顕著および軽度な上肢の筋強剛のあるPD患者の上腕二頭筋の筋硬度は, 健常対照群と比較して有意に高かったと報告している. しかし, この研究では上腕二頭筋のSWEによる筋硬度和, UPDRS上肢の筋強剛の評点との関係を調査していない. そのため筋強剛の評点がSWEによる筋硬度に影響を与える因子であるかは明らかではない。

われわれは重回帰分析を行った結果, SWEによる

筋硬度和上肢の筋強剛の評点2と3が影響を与える因子であることを検出した. 年齢も影響を与える因子として検出されたが, 回帰係数推定値が1.44であり (Table 3), SWEによる筋硬度和に大きな影響を与えないと考えられる. われわれは筋硬度和に影響を与える他の因子に強く注目して検討した。

次に, 両上肢(優位肢と非優位肢)における重回帰分析では決定係数が0.440であった (Table 3). 一方, 優位肢のみの重回帰分析では決定係数が0.536であり, 両上肢の場合より当てはまりが良いと考えられる. そのため優位肢のSWEによる筋硬度和を用いて, MDS-UPDRS上肢の筋強剛の各評点における筋硬度の閾値を算出することが望ましいと考えた. そして優位肢のみのROC解析による筋硬度の閾値を算出した結果, 優位肢におけるMDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点1と2の閾値は93.55 kPa (Fig.3), 評点2と3の閾値は170.53 kPaであった (Fig.4). この結果から, 優位肢のSWEによる筋硬度の閾値を用いることにより, 筋硬度和が93.55 kPa未満では筋強剛の評点1, 93.55~170.53 kPaの範囲内の場合は評点2, 170.53 kPa以上では評点3と, 筋強剛1~3の各評点を判別することが可能であると考えられる。

Table 1に, MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点基準を示す⁴⁾. 0は「正常」, 4は「評価者が患者の関節可動域全域を動かすことができない」となっている (Table 1)⁴⁾. すなわち, 評点0と4については, 評価

者はおおむね正確に評価できると考えられる。一方、評点0および4と比較して、評点1～3は評価者の主観により評価されるため評点が一定ではない可能性が考えられる (Table 1)^{3), 4)}。それに対して本研究結果では、SWEによる筋硬度の閾値を用いることにより、客観的に筋強剛の各評点を判別できる可能性が示唆された。適切な治療方針の決定や薬剤の治療効果判定のためには、客観的で定量化された指標を用いてMDS-UPDRSの筋強剛の重症度 (評点) を評価する必要がある。また全ての診療施設において、統一した評価が行えることが重要である。これらを目的とした場合において、本研究結果からSWEは、PD患者の上腕二頭筋における筋硬度を定量化するための手法として有効であると考えられる。

5. 限 界

本研究は単一施設の調査であるという制限があることを認識している。先行研究の筋硬度測定において、各メーカーの超音波装置のSWEによる筋硬度を比較した報告は存在しない。従って今後の課題として、メーカーの違いによるSWEを用いた筋硬度の評価など、多施設共同研究を実施する必要があると考えられる。

6. 結 語

MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点2と3は、SWEによる筋硬度に影響を与える因子であった。優位肢のSWEによる筋硬度の閾値を用いて、上肢の筋強剛1～3の各評点を判別できる可能性が示唆された。

利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反事項はない。

表の説明

Table 1 MDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点基準⁴⁾
評価者への指示：筋強剛は患者をリラックスさせた状態で、評価者が四肢、頸部の主な関節をゆっくりと他動的に動かして受ける抵抗から評価する。まず筋強剛の誘発方法を用いず評価する。頸部と各四肢を別々にテストし評価する。上肢については手首と肘の関節を同時に評価する。もし筋強剛が検出されない場合は、被験肢と対側の肢で指のタッピングや手指の開閉、踵のタッピングをさせて筋強剛を誘発する。患者には筋強剛をみるためにできるだけ四肢の力を抜くよう説明する。

- 0：正常：筋強剛なし。
1：ごく軽度：評価者が、誘発方法を用いて初めて筋強剛が検出できる程度。
2：軽度：誘発方法を用いず筋強剛が検出できる。評価者は関節可動域全域を容易に動かせる。
3：中等度：誘発方法を用いず筋強剛を検出できる。評価者が関節可動域全域を動かすには努力がいる。
4：重度：誘発方法を用いず筋強剛を検出できる。評価者が関節可動域全域を動かすことができない。

Table 2 PD患者と健常対照者の臨床的特徴

Table 3 両上肢 (優位肢と非優位肢) におけるSWEによる筋硬度に影響を与える因子

図の説明

- Fig. 1 上腕二頭筋の縦断面におけるSWEによる筋硬度の測定
筋硬度 (ヤング率) は、最大筋束が位置する上腕二頭筋腹の中央部分で測定した¹⁴⁾。SWE機能には3つの画像表示モード (伝搬速度・筋硬度・伝搬 (到達時間等高線)) が存在する。左の画像 (1a) は筋硬度表示、右の画像 (1b) は伝搬表示である。伝搬表示は筋肉内を伝搬する剪断波を動画像として表示される (1b)。Bモード像に重ねられ色分けされたボックスは、関心領域 (ROI) を表す (1a)。この色分けされたボックス内の青 (軟らかい組織) および赤 (硬い組織) のカラースケールは、ROI内の筋硬度の値を表している (1a)。定量分析のために、ROI内に直径5 mmの円を配置した^{14), 23)}。それにより円内の筋硬度 (ヤング率) が算出される (1a)。筋硬度測定は、全ての被験者の上腕二頭筋において、左右別々に3回ずつ施行した^{13), 14)}。
- Fig. 2 PD患者のMDS-UPDRS上肢の筋強剛の各評点におけるSWEによる筋硬度 (ヤング率)、および健常対照者のSWEによる筋硬度
- Fig. 3 PD患者の優位肢におけるMDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点1と2のROC解析
- Fig. 4 PD患者の優位肢におけるMDS-UPDRS上肢の筋強剛の評点2と3のROC解析

参考文献

- 1) Jankovic J: Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. J Neurol Neurosurg Psychiatry, Apr, 79 (4), 368-376, 2008.
- 2) Djaldetti R, et al.: The mystery of motor asymmetry in Parkinson's disease. Lancet Neurol, Sep, 5 (9), 796-802, 2006.
- 3) Fahn S, et al.: Members of the UPDRS Development Committee: Unified Parkinson's Disease Rating Scale. in Recent Developments in Parkinson's Disease, Vol.2 (ed by Fahn S, et al.). Macmillan Health care Information, Florham Park, NJ, 153-163, 293-304, 1987.
- 4) Goetz CG, et al.: Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): scale presentation and clinimetric testing results. Mov Disord, Nov, 23 (15), 2129-2170, 2008.
- 5) Creze M, et al.: Shear wave sonoelastography of skeletal muscle: basic principles, biomechanical concepts, clinical applications, and future perspectives. Skeletal Radiol, Apr, 47 (4), 457-471, 2018.

- 6) Brandenburg JE, et al.: Ultrasound elastography: the new frontier in direct measurement of muscle stiffness. *Arch Phys Med Rehabil*, Nov, 95 (11), 2207-2219, 2014.
- 7) Shinohara M, et al.: Real-time visualization of muscle stiffness distribution with ultrasound shear wave imaging during muscle contraction. *Muscle Nerve*, Sep, 42 (3), 438-441, 2010.
- 8) Maisetti O, et al.: Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. *J Biomech*, Apr, 45 (6), 978-984, 2012.
- 9) Chino K, et al.: Measurement of gastrocnemius muscle elasticity by shear wave elastography: association with passive ankle joint stiffness and sex differences. *Eur J Appl Physiol*, Apr, 116 (4), 823-830, 2016.
- 10) Gennisson JL, et al.: Viscoelastic and anisotropic mechanical properties of in vivo muscle tissue assessed by supersonic shear imaging. *Ultrasound Med Biol*, May, 36 (5), 789-801, 2010.
- 11) Eby SF, et al.: Shear wave elastography of passive skeletal muscle stiffness: influences of sex and age throughout adulthood. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, Jan, 30 (1), 22-27, 2015.
- 12) Nordez A, et al.: Muscle shear elastic modulus measured using supersonic shear imaging is highly related to muscle activity level. *J Appl Physiol*, May, 108 (5), 1389-1394, 2010.
- 13) Chen J, et al.: Ultrasound shear wave elastography in the assessment of passive biceps brachii muscle stiffness: influences of sex and elbow position. *Clin Imaging*, Sep-Oct, 45, 26-29, 2017.
- 14) Du LJ, et al.: Ultrasound shear wave elastography in assessment of muscle stiffness in patients with Parkinson's disease: a primary observation. *Clin Imaging*, Nov-Dec, 40 (6), 1075-1080, 2016.
- 15) Postuma RB, et al.: MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord*, Oct, 30 (12), 1591-601, 2015.
- 16) Gennisson JL, et al.: Transient elastography in anisotropic medium: application to the measurement of slow and fast shear wave speeds in muscles. *J Acoust Soc Am*, Jul, 114 (1), 536-541, 2003.
- 17) Gennisson JL, et al.: Human muscle hardness assessment during incremental isometric contraction using transient elastography. *J Biomech*, Jul, 38 (7), 1543-1550, 2005.
- 18) Eby SF, et al.: Validation of shear wave elastography in skeletal muscle. *J Biomech*, Sep, 46 (14), 2381-2387, 2013.
- 19) Murayama M, et al.: Changes in biceps brachii muscle hardness assessed by a push-in meter and strain elastography after eccentric versus concentric contractions. *Sci Rep*, Jun 2;12 (1), 9214, 2022.
- 20) Gao J, et al.: Quantitative Ultrasound Imaging to Assess the Biceps Brachii Muscle in Chronic Post-Stroke Spasticity: Preliminary Observation. *Ultrasound Med Biol*, Sep, 44 (9), 1931-1940, 2018.
- 21) Phan A, et al.: Ultrasound shear wave elastography in assessment of skeletal muscle stiffness in senior volunteers. *Clin Imaging*, Nov-Dec, 58, 22-26, 2019.
- 22) Lacourpaille L, et al.: Non-invasive assessment of muscle stiffness in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Muscle Nerve*, Feb, 51 (2), 284-286, 2015.
- 23) Akagi R, et al.: Acute effect of static stretching on hardness of the gastrocnemius muscle. *Med Sci Sports Exerc*, Jul, 45 (7), 1348-1354, 2013.
- 24) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant*, Mar, 48 (3), 452-458, 2013.