

パーキンソン病患者の姿勢障害

—前胸部圧迫試験における前脛骨筋反応と下肢関節運動について—

田 幸 健 司

鹿教湯病院 神経内科

Postural Disturbance in Parkinsonism

— Analysis with Electromyography and Joint Goniometer in the Push Test —

Kenji TAKOU

Department of Neurology, Kakeyu Rehabilitation Hospital

Displacements of the ankle, knee and hip joints, EMG of the leg flexors and extensors, movements of the head in the sagittal plane and the center of gravity were studied in normal subjects and parkinsonian patients in the precordial push test. In the initial part of responses, EMG activities appeared prominently in the pretibial muscles, and the ankle joints dorsiflexed nearly at the same time. This pretibial muscle response was not modified under ischemic block at the thighs, but it was not observed under instruction not to resist stimuli while standing or under instruction to resist and to keep upright posture while sitting. We conclude that this pretibial muscle response was not the stretch reflex of the muscle but was one of the postural responses from the supraspinal postural control mechanism.

Characteristics of the responses in parkinsonism were a decrease in the amount of ankle dorsiflexion and knee flexion and delayed movement of knee flexion and hip extension. There was no significant difference between parkinsonian patients and the controls in the onset and rise time of the EMG of the pretibial muscle response.

The abnormal leg joint movements in parkinsonism were considered to reflect disturbance in the central postural control mechanism. *Shinshu Med. J.*, 34: 44—55, 1986

(Received for publication September 24, 1985)

Key words : parkinsonism, surface EMG, postural reflex, push test, leg joints

パーキンソンニズム, 表面筋電図, 姿勢反射, 前胸部圧迫試験, 下肢関節

はじめに

立位姿勢の維持は歩行とともにヒトにおける基本的な身体活動のひとつである。静的な立位姿勢を保つためには下肢筋のうち特に足関節周囲の筋活動が重要な役割を果たすと考えられている。たとえば、安定した静的な立位姿勢時には重心の変動は足関節の変化を中心として出現し、下腿三頭筋に筋放電が持続的に出現

する¹⁾。一方、直立姿勢から体を前方へ傾け重心を安定立位の位置から前方へ移動した場合には下腿三頭筋の筋放電が増し、反対に、体を後方へ傾けた場合には重心の移動がある程度を超えると、前脛骨筋および大腿四頭筋に突発的に出現し持続する筋放電がみられる²⁾。このような下肢筋による立位姿勢の保持反応には伸張反射のほか、他の下肢固有受容器、前庭迷路および視覚からの求心入力による種々の姿勢反射および

小脳や大脳基底核を始めとする中枢神経系による姿勢調節機序が関与していると考えられる³⁾⁻⁷⁾。

ある種の中枢神経疾患では立位姿勢の障害が主要な臨床徴候の1つとされている。たとえば、パーキンソン病では立位姿勢保持障害がめだち、臨床的によく用いられる前胸部圧迫試験 push test において前胸部を急に後方へ圧迫すると柱のように倒れたり、容易に後方に足を踏み出したり、あるいは後方へ突進する現象が出現しやすいことが知られている。これは姿勢調節障害 postural dysequilibrium あるいは、姿勢の立ち直り反射の障害 disturbance of righting reflex によるとされているが、種々の外乱に対する立位姿勢の調節・保持に係わる生理学的機序は十分解明されているとはいえない。

我々は、前胸部圧迫試験における立位時の各種姿勢、構えによる違い、および下肢神経ブロックの効果を下肢筋とくに前脛骨筋の反応について正常者で検討し、さらにパーキンソン病患者の姿勢保持反応について下肢筋電図、下肢関節角度、重心動揺軌跡等を用いて検討した。

対象および方法

刺激方法：前胸部圧迫刺激は、圧センサーを組み込んだ先端が球面の直径約 2.5cm の円筒型をした金属製の圧変換指示器（昭和測器製、DS-IL 型）を用いて、検者が用手的に被験者の胸骨中央部に後方へ向けて、2-5秒のランダムな間隔で行った（図1）。圧迫刺激の強さは 2.5 から 5.0kg (3.9±0.4kg, 平均±標準偏差)

で圧迫開始からピークまでの時間は平均 90.8 ± 7.8 msec であり、これらの値は検査条件間で統計的に有意な差はなかった。検者の刺激動作に対する被験者の見込みによる随意性運動の混入を防ぐため、圧迫の動作のみで実際の刺激は加えないフェイント動作、皮膚に触れるのみで上体の移動を生じない、程度の弱い刺激、あるいは後方からの圧迫刺激をランダムに混在した。

計測およびデータ処理：表面筋電図記録は若年正常者群では両側の前脛骨筋および下腿三頭筋、また一部の症例で傍脊柱筋で、そしてパーキンソン病患者およびその対照正常者群では右側の前脛骨筋、下腿三頭筋、大腿四頭筋および大腿屈筋群で記録を行った。表面筋電図は筋腹中央部から表面電極を 3-4cm 離して双極導出し医用テレメーター（三栄測器製、271型、時定数 0.03 秒）により増幅記録した。下肢関節の角度変化はポテンシオメーターを用いた関節角度計（精度 0.2 deg. ± 10.0%）を右下肢関節に取り付けて記録した。矢状面における頭位の前後屈角度を頭位回転角度計（アニマ製、G2210、精度 0.5deg. ± 5%）を頭頂部に取り付けて記録した。本装置はジャイロセンサーを用いて回転角度変位を記録するもので、頭部に取り付けることで頭蓋内の前庭迷路に加わる回転性刺激を検出することができると考えられる。立位姿勢の場合には重心動揺計（アニマ製、G6870、精度 4mm ± 4%）で重心動揺軌跡も記録した。

これらのデータはデータレコーダー（SONY, UFR 61640）に記録後再生し、筋電図記録はシングルプロ

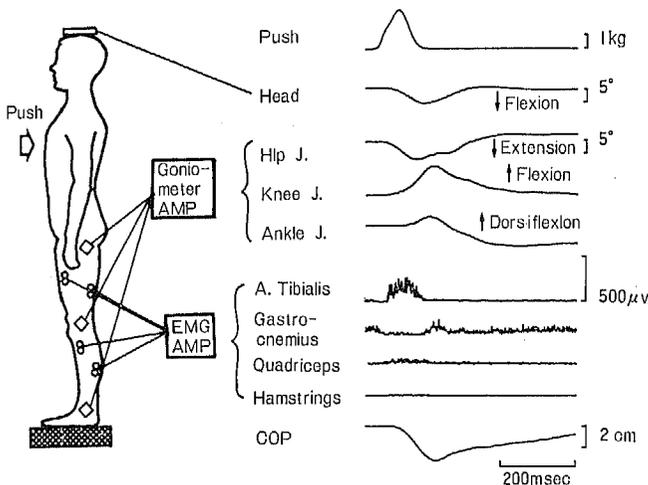


図1 前胸部圧迫試験の模式図（左）と正常者の記録例（右）。上から前胸部圧迫刺激（Push）、頭位の矢状面の回転角度（Head）、股関節角度（Hip J.）、膝関節角度（Knee J.）、足関節角度（Ankle J.）、前脛骨筋筋電図（A. Tibialis）、下腿三頭筋筋電図（Gastrocnemius）、大腿四頭筋筋電図（Quadriceps）、大腿屈筋群筋電図（Hamstrings）、重心動揺記録（COP: center of pressure）。10回の記録の加算結果、筋電図は全波整流後加算した。前胸部圧迫刺激により、頭位前屈、股関節伸展、膝関節屈曲、足関節背屈運動がおき、前脛骨筋に最も著明な筋放電が約60msecの潜時で突発し、約200msec持続する。

表1 パーキンソン病患者群の臨床徴候

Patients	Age (yrs)	Duration of illness (yrs)	Severity ^{a)}	Bradykinesia	Rigidity of the leg muscles	Push test ^{b)}	Ankle movement ^{c)}
Y. M.	69	9	IV	severe	trace	s	d/p
F. T.	68	17	IV	severe	slight	f	d/d
C. F.	66	3	III	slight	none	f	d/d
S. T.	64	10	IV	moderate	moderate	s	d/p
K. A.	70	5	III	slight	slight	f	d/d
K. S.	69	2	III	moderate	slight	s	p/p
T. O.	60	9	III	slight	none	f	p/d
T. K.	60	3	III	moderate	trace	f	d/p
S. T.	58	3	IV	slight	slight	f	d/p
T. M.	73	5	IV	severe	none	f	p/—

a) Severity of parkinsonism according to Hoehn and Yahr (1967).

b) Postural reaction to push test : s=liable to step back, or retropulsion ; f=liable to fall backwards without apparent postural response.

c) Direction of the initial movement of the ankle joint in response to push test : d=dorsiflexion, p=plantar flexion, —: no record. Eyes open/eyes closed condition.

セッサー (三栄測器製, 7T17) を用いて 1KHz のサンプリング周波数で A/D 変換し, 転倒した場合などの計測上不適当な反応は除外して, 以下の条件下の刺激結果10回につき次に述べる計測を行った。①刺激開始から下肢筋の筋放電開始の潜時, および筋放電開始から最大電位までの時間 rise time を CRT 上に表示して計測した。②シグナルプロセッサのプログラムにより 筋電図記録を全波整流し, 筋放電開始から 400msec までを積分した筋放電量について検討した。筋放電量の積分値は一定の条件下では筋の張力と相関することが知られており, 前脛骨筋の生ずる張力がある程度推定することができる⁸⁾と考えられる。前脛骨筋の筋放電開始から 10msec および 50msec ごとの積分値を等尺性最大収縮時の筋放電量に対する比として算出し, 経時的に比較を行った。③パーキンソン病患者および対照群の下肢関節の角度変位は, シグナルプロセッサ (三栄測器製, 7T08) により前胸部圧迫開始点でトリガーし 500Hz のサンプリング周波数で 10回の試行を加算し, 結果を XY レコーダーに記録して関節角度変化の開始時間, 最大変位角度および最大角度に達する時間を計測した。

対象および刺激条件: A. 23歳から 29歳の全例右利きの健康な男子延べ 8 名 (27.1 ± 2.5歳, 平均年齢 ± 標準偏差) で, 開眼した下記の条件下で前胸部圧迫刺激に対する反応を検討した。

① 8名の被験者で, 40×40cm² の重心動揺計の床上に踵を約10cm 離して足先は約 120 度外旋した安定した直立姿勢をとらせ, 指標として約 4m 前方の目の高さに置いた直径約2cm の赤色燈を注視させて, 「これから前胸部を圧迫するが, 倒れないよう努力せよ」と指示した後に圧迫刺激を行った。1名の被験者では, アクセロメーターを前頭部に取りつけて記録を行い, 別の1名では, 圧迫部位の皮膚および直下の骨膜を 1%リドカインで浸潤麻酔した後にも同部の圧迫刺激を行い反応を記録した。② 5名の被験者で, 前脛骨筋反応における下肢筋の Ia 求心入力関与をみる目的で下肢の虚血による神経ブロック後に同様の検索を行った。両側大腿に幅21cm のマンジュエツトを巻き, 圧を 180-220mmHg に保つと 15-20分後からアキレス 腱反射が完全に消失するが足関節の背屈力, 底屈力ともに正常に保たれている状態が 5-10分間持続する。この虚血性神経ブロックの状態では「前胸部を圧迫するが, 倒れないよう努力せよ」と指示し立位姿勢で刺激を行った。刺激の前後で徒手筋力検査により前脛骨筋, 下腿三頭筋とも筋力は正常に保たれ, 最大収縮時の筋放電もほとんど減少していないことを表面筋電図記録により確認した。③ 4名で, 直立姿勢から重心を前方あるいは後方へ偏位させた前傾および後傾立位姿勢を保った状態をとらせて, 「倒れないよう努力せよ」と指示し前胸部圧迫を行った。前傾姿勢は, 被験者の前面に

置いたオシロスコープに表示した重心位置を観察させることにより、股関節、足関節をなるべく変化させず足関節をより背屈させることにより重心位置を直立姿勢から5cm前方へ偏位させた状態で、また後傾姿勢は同様に重心を2.5cm後方へ偏位させた状態である。重心を後方移動したまま安定した立位姿勢を保つのは2.5cmが限界であった。④3名で、刺激に抵抗するという「構え」による違いをみる目的で、「転倒しないよう努力するな」と指示した直立姿勢で前胸部圧迫を行った。この際後方に検者が立ち、上体を支えて転倒を防ぐようにし、このことを被験者に説明して転倒に対する不安を抱かない状態で検索を行った。⑤3名の被験者を足が床から離れる高さの安定した台に深く腰掛けさせ、リラックスした坐位姿勢をとらせた状態で「倒れないよう努力せよ」と指示して前胸部圧迫を行った。⑥3名で同様の坐位姿勢で「圧迫されたらできるだけ早く足関節を背屈させよ」と指示し、圧迫刺激を合図にした前脛骨筋の随意性筋収縮による反応時間の測定を行った。

B. 診断の確定しているパーキンソン病患者10名および健康高齢者6名を対象として、若年者の直立姿勢と同様の姿勢をとらせ、「前胸部を圧迫するが倒れないよう注意せよ」と指示して、開眼および閉眼の条件下で前胸部圧迫試験を行った。年齢はパーキンソン病患者 65.7 ± 5.0 (平均±標準偏差)、対照健康者群 63.8 ± 0.8 歳で両群に統計的な差は認められなかった ($p > 0.10$, t-test)。パーキンソン病の発症年齢は 59.2 ± 6.5 歳、罹病期間は $2-7$ (6.6 ± 4.7) 年であった。Hoehn と Yahr⁹⁾ による重症度、寡動、下肢の筋固縮および振戦の程度および前胸部圧迫試験に対する立ち直り反応の態度を表1に示す。

結 果

正常者の前脛骨筋反応

安定した立位姿勢を保っている正常人の前胸部を前方から後方へ向けて圧迫すると、軀幹上部の後方への変位とともに前脛骨筋には下肢筋のうちで最も著明な筋放電が突発的に出現し、100-200msec持続したのち消退する(図1)。他の下肢筋では大腿四頭筋に前脛骨筋とはほぼ同じ時間経過で筋放電が認められるが、前脛骨筋の場合と比べると出現態度は定常的ではなく筋放電量も少ない。また、下腿三頭筋、大腿屈筋群および傍脊柱筋にはほとんど筋放電は記録されない。背面中部を前胸部圧迫と同じ高さで後方から前方へ圧迫し

た場合には、下腿三頭筋に約30-40msecの潜時で持続の短い一相性の筋放電が出現するが、前脛骨筋および大腿四頭筋には筋放電を認めず、傍脊柱筋には低電位で開始が不明瞭な筋放電を認めるのみである。前胸部圧迫の刺激の強さが一定の場合には、前脛骨筋反応はかなり一定の潜時と放電量を持って出現し、約100回までの繰り返し刺激で減衰することはなかった。前脛骨筋の表面筋電図を全波整流後に加算して得られた放電パターンは一相性であり、2あるいは3のピークを示す傾向は認められなかった。刺激が加えられる皮膚およびその直下の胸骨・骨膜の浸潤麻酔により、刺激による痛覚および圧迫感覚が消失した状態での前胸部圧迫では、前脛骨筋の反応の潜時および筋放電パターンに差がなかった。前胸部圧迫のフェイント動作のみ、あるいは前胸部の皮膚の接触のみで軀幹の変位を生じない、ごく弱い刺激による場合には、いずれの下肢筋にも筋放電はみられなかった。

各条件下の前胸部圧迫に対する前脛骨筋反応の潜時および rise time、頭位および足関節運動開始時間の計測値を表2に示す。前脛骨筋の潜時および rise time とも被験者間および左右側で統計的に有意の差はなかった。下肢の虚血による神経ブロックを行った場合(図2B)には神経ブロックを行わない場合(図2A)と比べて前脛骨筋反応の潜時および rise time とも統計的に有意な差を認めず、筋放電量にも差はなかった。直立および前・後傾姿勢での前胸部圧迫刺激では、前脛骨筋の初期の筋放電パターンに大きな差は見られなかった(図2C, D, E)。この場合の前脛骨筋反応の潜時は直立姿勢より前傾姿勢で遅延しており、後傾姿勢では直立姿勢より早かった($p < 0.05$, t-test)が、rise time は3条件で差が認められなかった(表2A)。前脛骨筋の筋放電量は、筋放電開始から始めの50msecでは直立姿勢と前傾・後傾姿勢とで統計的に有意の差はなかったが、50msec以後では後傾姿勢で他の条件より筋放電量が増加していた。

立位姿勢で、前胸部圧迫刺激に対し「抵抗するな」と指示した場合には3名の被験者全員で、「刺激に抵抗せよ」と指示した場合に出現する前脛骨筋の初期のダイナミックな反応が認められなかった(図3A)。坐位姿勢での前胸部圧迫刺激では、刺激に抵抗し姿勢を立て直したにもかかわらず3名の被験者全員で前脛骨筋の筋放電反応を認めなかった(図3B)。これらの条件下でも、頭位および軀幹は立位時とはほぼ同方向かつ同程度の運動を示すことが観察された。

表 2 A 前胸部圧迫試験における前脛骨筋筋放電の潜時および立上がり時間 (rise time)

		N	Latency	Rise time
Upright posture	R	80	62.0±16.3	61.8±31.3
	L	80	66.6±17.9	57.0±31.8
Ischemic block	R	50	60.2±14.9	47.4±21.8
	L	50	61.9±15.4	52.2±30.4
Leaning forward	R	40	68.6±21.4*	52.7±28.1
	L	40	78.0±26.8*	45.4±22.3
Leaning backward	R	38	51.7±10.8*	56.7±27.1
	L	38	57.3±14.7*	40.3±21.3
Reaction time	R	25	122.6±28.0**	
	L	25	125.7±28.4**	

*=p<0.05, **=p<0.01 by t-test compared to the upright posture. msec, Mean±SD.

表 2 B 前胸部圧迫試験における頭位および足関節運動の開始時間

	N	Ankle dorsiflexion	Neck flexion
Upright posture	80	117.9±34.2	75.4±19.1
Leaning forward	40	128.2±40.4	74.9±11.3
Leaning backward	40	87.0±25.6	69.1±14.5

msec, Mean±SD

表 2 C 前胸部圧迫試験におけるパーキンソン病患者群および対照群の前脛骨筋筋放電の潜時および立上がり時間 (rise time)

		N	Latency	Rise time
Parkinsonian patients	Eyes open	10	46.4±17.0	59.2±25.0
	closed	9	52.0±12.7	63.0±24.8
Normal subjects	Eyes open	6	60.8±22.0	76.2±32.4
	closed	6	62.8±20.7	84.5±14.8

msec, Mean±SD

坐位姿勢で行った、前胸部圧迫を合図にした前脛骨筋の随意性反応時間は124.2±28.0msec (N=50, 左右合計)で、立位姿勢の前胸部圧迫試験における前脛骨筋反応の潜時より統計的に有意に長かった (p<0.01, t-test)。

下肢関節角度の記録では、立位姿勢では全例で刺激直後に下腿が前傾し、このため足関節は運動開始直後には背屈運動を呈する (図1)が、この足関節の運動は前脛骨筋を伸張するのではなく、短縮する方向とな

る。足関節背屈の開始時間はほぼ全例で前脛骨筋の筋放電開始時間よりおくれておきた (表 2B)。

頭位回転角度計の記録から、すべての条件下で前胸部圧迫刺激による反応の初期には、軀幹が後方へ変位するとともに頭位は前屈し、その後ゆっくり後屈する (図1, 3)。この頭位前屈の開始は前脛骨筋の筋放電開始より遅延していた (表 2B)。しかし、頭部に取りつけたアクセロメーターには前胸部圧迫開始の直後あるいは10-20msec後から頭位に微小な変動が記録さ

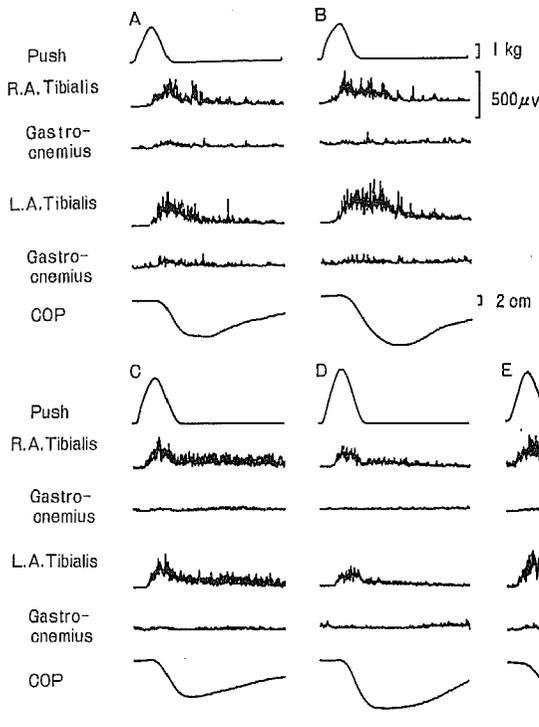


図2 前胸部圧迫刺激に対する左右の前脛骨筋, 下腿三頭筋の筋電図記録。同一被験者で行った直立姿勢時(A)と虚血による下肢の神経ブロック時(B)。筋放電の潜時, 筋放電量ともに差がない。別の同一被験者で行った直立姿勢(C), 前傾姿勢(D)と後傾姿勢(E)の記録。前脛骨筋反応のパターンは前・後傾姿勢で差が認められない。いずれも全波整流後の10回加算結果。

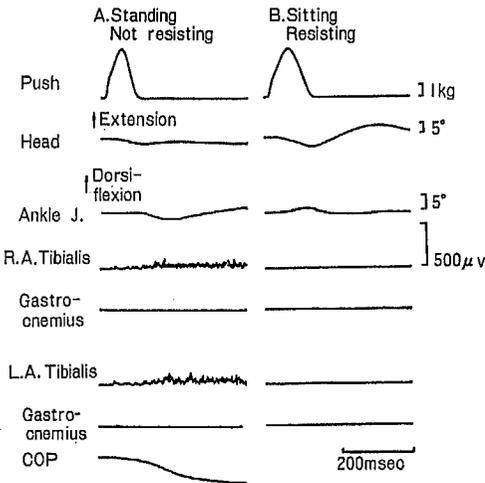


図3 開眼した直立姿勢で、「刺激に抵抗するな」と指示した場合(A)と、坐位姿勢で、「刺激に抵抗せよ」と指示した場合(B)の前胸部圧迫刺激の結果。いずれの場合にも、立位姿勢で「刺激に抵抗せよ」と指示した場合(図1)に出現する前脛骨筋のダイナミックな筋放電が見られない。10回加算結果。

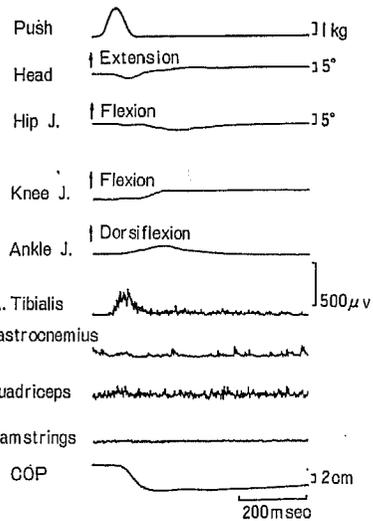


図4 パーキンソン病患者の前胸部圧迫刺激の例。上から、刺激、頭位の矢状面の回転角度、股関節角度、膝関節角度、足関節角度、前脛骨筋筋電図、下腿三頭筋筋電図、大腿四頭筋筋電図、大腿屈筋群筋電図、重心動揺記録。10回加算結果。下肢関節運動は正常者と同じ股関節伸展、膝関節屈曲、足関節背屈パターンをとるが、それらの最大変位角度は減少しているか、あるいは到達時間が遅延している。

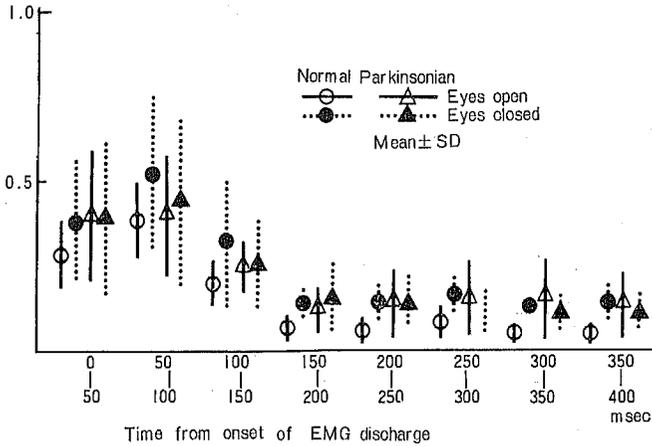


図5 前脛骨筋の筋放電積分値の経時変化。50msec ごとの筋放電量の積分値を最大随意収縮における筋放電量との比(縦軸)で示した。正常者群とパーキンソン病患者群で筋放電量は統計的に有意な差はなかった。

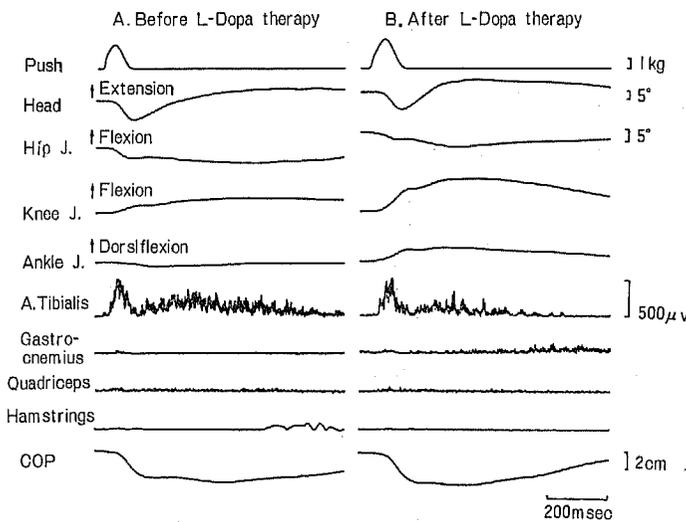


図6 パーキンソン病患者の治療前後の刺激結果。未治療時(A)には足関節は始めから底屈運動となる。L-Dopa投与後(B), 臨床症状の改善とともに足関節は背屈運動が見られるようになったが、下肢関節角度の最大変位に達する時間は延長している。

れた。

パーキンソン病患者における姿勢保持反応

前胸部圧迫刺激に対するパーキンソン病患者群の下肢筋の反応パターンは対照群と同様で、下肢筋の筋放電は前脛骨筋で最も著しく、大腿四頭筋にこれに次ぐ程度に出現する(図4)。前脛骨筋筋放電の潜時およびrise timeはパーキンソン病患者と対照群の間および閉眼と閉眼状態で統計的に有意の差を認めなかった(表2C)。前脛骨筋の筋放電量はパーキンソン病患者群と対照群で差を認めなかった(図5)。

パーキンソン病患者では膝関節および股関節運動は正常者と同様、膝関節屈曲、股関節伸展パターンで開始した(図4)が、足関節では初期底屈運動が開眼時

で10名中3名、閉眼時に9名中5名で認められた(図6A)。これは正常者にはみられない運動パターンである。残りの患者では足関節は正常者と同様の背屈運動を呈した。1名の患者で、L-Dopa療法の前後で前胸部圧迫試験を行ったが、未治療時には足関節底屈パターンであった(図6A)が、治療後には正常者と同様の足関節背屈パターンに変化した(図6B)。下肢の3関節の運動開始時間はいずれもパーキンソン病と正常者群とで統計的に有意の差はなかった。足関節背屈・膝関節屈曲運動の最大変位はパーキンソン病では対照群に比して統計的に有意に小さく、また股関節の最大変位に達する時間も有意に延長していた($p < 0.05$, 図7)。パーキンソン病患者にみられた下肢関節運動

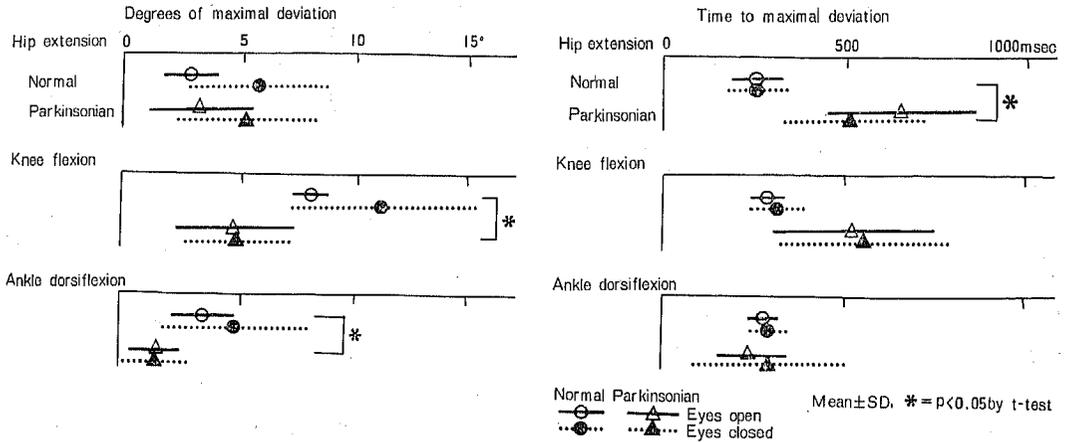


図7 前胸部圧迫による下肢関節の最大変位角度(左)と、その到達時間(右)。正常者に比べ、パーキンソン病患者では閉眼条件とともに、膝・足関節の最大変位が統計的に有意に小さく、股・膝関節の最大変位に達する時間も有意に延長している ($p < 0.05$)。

の異常は Hoehn と Yahr による重症度、下肢筋の固縮および寡動の程度とは明らかな相関は認められなかった。

考 察

前脛骨筋反応の出現機序

立位姿勢時の前胸部圧迫刺激に対する下肢筋の反応としては前脛骨筋に最も早く、そして最も著明に筋放電が出現するが、この前脛骨筋反応の潜時は同筋の随意性筋収縮による反応時間より遥かに短いことから、随意性反応ではないと考えられる。また、刺激部位の皮膚の浸潤麻酔により潜時および筋放電量に変化が見られなかったことから、局所の痛覚刺激に対する非特異的な反応ではないことが明らかである。前脛骨筋反応の少なくとも最も速い成分に関与する神経機序としては、従来の知見から前脛骨筋の伸張反射、前庭迷路反射および視覚性反射が問題となる¹⁰⁾⁻¹²⁾。本反応への前脛骨筋の伸張反射の関与については、①正常者および大多数のパーキンソン病患者で、前脛骨筋の筋放電は足関節運動開始より16から120msec 先行して出現すること、②足関節の初期運動は背屈であり、これは前脛骨筋を伸張するのではなく短縮する方向の運動であること、および、③虚血による下肢の神経ブロックで前脛骨筋筋放電の潜時および筋放電量に変化がないという我々の結果から否定される。この結論は、立位

姿勢の被験者に足関節を底・背屈させるような床の回転性外乱を加えることにより、前脛骨筋を伸張した場合にも同筋の伸張反射は出現しなかったとする報告⁵⁾⁷⁾と矛盾しない。筋紡錘以外の足関節周囲の固有受容器からの求心入力に関与についても、足関節の変化は前脛骨筋反応に遅れておこること、およびパーキンソン病患者群の一部でみられたように、足関節の変化方向が異なっても前脛骨筋反応の潜時や筋放電量に差がないという結果から否定的である。

前庭迷路系が抗重力筋のトーンに影響をおよぼし姿勢の維持に関与していることは従来から知られている。我々の実験結果では、①前胸部圧迫による頭位の前屈は前脛骨筋反応より遅れておこること、および、②「刺激に抵抗せよ」との指示下の坐位姿勢および「抵抗するな」との指示下の立位姿勢の反応では、「刺激に抵抗せよ」と指示した立位姿勢の場合と頭頸部の動きに差異がないにもかかわらず、前脛骨筋反応がまったくみられない。以上の結果から、前脛骨筋反応が頭位の前屈に伴う三半器官の興奮による前庭脊髓反射による可能性は否定的である。ただし、アクセルメーターによる記録から、頭部は前胸部圧迫の直後から微細な影響を受けることが明らかであること、および前庭迷路器官の感度はきわめて高いことを考えると前庭脊髓反射のうちでも耳石器からの入力による反射の可能性は残される。しかし、立位姿勢保持に係わる

ヒトの下肢に対するこのような特定の前庭脊髄反射の存在は知られていない¹³⁾¹⁴⁾。Dietz らは、シーソー台上の被験者の頭位の動きは、下肢筋による素早い姿勢保持反応に大きな影響を与えないと報告している⁶⁾。

前庭の電気刺激により下腿の抗重力筋に 100 msec 以上の長い潜時を持って筋放電が出現して、立位姿勢に影響することが報告されている¹⁵⁾⁻¹⁷⁾ が、この場合の神経機序には多シナプス性の経路の関与が考えられている。姿勢調節の中枢神経機序は階層構造をもっており、姿勢に関する種々の末梢感覚器官からの求心性入力情報が、特定の姿勢反射について異なる方向の効果をもつ場合には、前庭迷路系は身体の絶対的な空間位置を検出することにより、姿勢調節機序の上位階層における判断に重要な機能を果たすとの考えがある¹⁸⁾が、我々の結論は姿勢調節機序における、前庭迷路のそのような高次の機能をも否定するものではない。

閉眼条件下で筋放電の潜時および筋放電量に差がないことから、視覚が前脛骨筋反応を生ずる直接の求心入力であるとは考えられない。

立位と坐位、「刺激に抵抗する」か「抵抗しない」等の条件により、前脛骨筋反応の出現が大きく影響を受けるという結果から、本反応には、末梢の感覚受容器の求心入力による単シナプス性あるいは小数のニューロンを介する多シナプス性の直接的な脊髄反射によるのではなく、より複雑な神経機序による可能性が考えられる。身体外部からの強い外乱に対する姿勢調節には静的に安定した立位姿勢を保持する場合とは異なった神経機序が作用しているものと思われる。立位姿勢の保持は全身の骨格筋に関与する反応であり、そこには四肢の固有受容器、視覚および前庭迷路系など姿勢制御に密接に関与する感覚器からの求心入力と、それに基づき現在の状態を判断して最も適した反応を出現する、中枢における種々の反射回路の統合化作用が重要であると考えられており、そのような神経機序では伸張反射や前庭脊髄反射などの局所的な反射は状況により抑制されることがあると考えられている⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹⁸⁾⁻²⁰⁾。前胸部圧迫刺激に対して出現する前脛骨筋反応は、立位姿勢の保持に特異的に係わる姿勢反応の一種と考えられ、その出現機序には、前庭迷路系および下肢・軀幹の体性固有感覚受容器からの求心入力情報および姿勢を保とうとする意図の中枢における統合作用が特に重要と考えられる。本研究では前脛骨筋反応の神経機序をこれ以上確定できないが、ヒトの前脛骨筋の伸張反射の潜時は30数 msec である²¹⁾のに対し、

前胸部圧迫刺激に対する前脛骨筋反応の潜時は約 60 msec と比較的長いことから、本反応は中枢における比較的潜時の長い多シナプス性あるいは、長潜時性 long latency の反応の一種である可能性が考えられる。

既知の姿勢反応との異同

本研究で注目した前脛骨筋反応とすでに知られている立位保持に関する類似の姿勢反応との関係が問題となる。

被験者の立っている床を突然、足関節の軸を中心として回転したり、あるいは前後方向へ移動するような外乱を加えて足関節を底屈あるいは背屈させた場合に、下腿筋に潜時の異なるいくつかの筋反応が出現することが知られている⁴⁾²⁰⁾²²⁾²³⁾。つま先上がりに床が変化する外乱により伸張された下脛三頭筋には 35-50 msec の短い潜時の反応と、これに続く 100-120 msec の潜時を持つ筋反応がおこり、前脛骨筋には 120-150 msec の長い潜時の反応が出現する。一方、つま先下がり床の変動による外乱では前脛骨筋に 100-120 msec の長い潜時の反応と下脛三頭筋に 130-170 msec の潜時をもつ反応が出現する。下脛三頭筋に見られる短い潜時の反応は脊髄節性伸張反射 segmental stretch reflex であると考えられるが、つま先上がりに床が変化する外乱の場合には姿勢保持に役立たない反応となる。前脛骨筋、下脛三頭筋に見られる 100-120 msec の潜時の反応は Functional stretch reflex (FSR)²⁴⁾ と呼ばれるもので、床の変動に対する立位姿勢保持に重要な機能を果たしていると考えられている。130-170 msec の長い潜時の反応も同様の姿勢反応の一種と考えられているが、随意運動との異同が問題とされる²⁰⁾。これらの反応は床の変化により特に足関節周囲の変化に基づく固有感覚および皮膚受容器からの求心性入力による長潜時反応 long latency response であると考えられる²³⁾。これに対し我々の見ている前脛骨筋の反応は、FSR より潜時が短く、前脛骨筋の伸張を伴わないこと、および外乱が直接加わる部位は下腿あるいは足関節ではなく軀幹であることから、軀幹の固有受容器および前庭系からの求心入力情報がより重みをもつ点で、床の外乱によって下腿に出現する反応とは異なった神経機序に基づく姿勢反応であると考えられる。Marsden ら²⁵⁾²⁶⁾は、微小な外乱の加えられた部位から離れた筋に微小な筋活動電位による姿勢保持反応が出現することを報告し、anticipatory postural response と呼んだ。この反応は外乱が加

えられた部位の求心性感覚入力に起因して駆動された姿勢保持反応の一種であると考えられ、大脳皮質あるいは小脳等の中樞性機序の介することが推定されている。Anticipatory postural responseは、立位姿勢で前腕を牽引した場合には、軀幹の変位は伴わず、下腿三頭筋に約80msecの潜時で30 μ V以下の筋放電として観察される²⁷⁾。パーキンソン病では消失あるいは減弱するが、小脳失調症では変化しなかったという。一方、Busselら²⁸⁾は、頸および下肢関節を固定した条件下で突然被験者を前方へ押すと、下腿三頭筋に約60msecの潜時で筋放電が出現することを報告している。この下腿三頭筋の反応は下肢の虚血による神経ブロックや前庭障害患者で潜時の遅延や筋放電電位の振幅が低下することから、その出現機序には前庭迷路および下腿のIa求心入力の統合が重要であると彼らは強調している。

前脛骨筋反応の機能的役割

立位の身体の最も単純なモデルとしては、身体全体を1つの剛体として足関節を軸とした単純な倒立振り運動が考えられるが、下肢関節角度の記録から前胸部圧迫により下肢関節は、もっと複雑で一定のパターンをもった屈伸運動を呈することが明らかとなった。この下肢関節運動にみられる足関節の初期背屈は下腿の前傾によりおこることから、前脛骨筋反応は能動的な筋収縮により下腿を前傾させる機能を果たしている可能性が考えられる。一方、一連の下肢関節の運動の初期には、前胸部圧迫による身体各部の機械的で受動的な運動による要因も含まれると考えられる。すなわち、刺激により軀幹および大腿は重心を中心とする回転運動を行い(図8A)、この身体上部の回転運動により大腿が前方へ振り出されると、足底が床に固定されているため、下腿が前傾し足関節は背屈する。前脛骨筋反応は、これらの下肢関節運動の結果弛緩しようとする前脛骨筋の筋トーンを以前と同じに保つ機能を果たしている可能性も考えられる。立位姿勢で上肢の随意運動の発現に先行して、軀幹や下肢を床に固定する機能を持つ、一連の筋群の姿勢反応が知られている²⁹⁾³⁰⁾。前胸部圧迫に対する前脛骨筋反応も、立ち直り反応の初期に下腿を床に固定する機能を果たす姿勢反応と考えられるが、パーキンソン病や小脳失調症患者でも前脛骨筋反応の潜時や初期の筋放電量にも大きな差がない³¹⁾ことから、この前脛骨筋反応は立位姿勢の保持に関する強固な姿勢反応であると考えられる。

パーキンソン病患者の姿勢反応障害

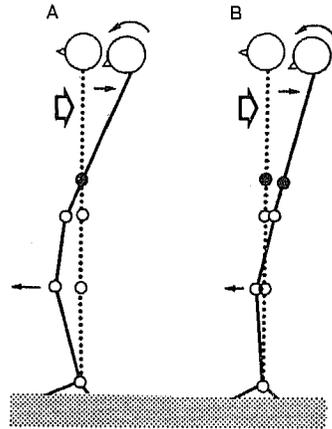


図8 前胸部圧迫刺激に対する正常者(A)とパーキンソン病患者(B)の姿勢保持反応の違いを示す模式図。中抜き矢印は圧迫刺激、矢印は身体各部の運動開始の方向、●は重心位置、○は上から、股関節、膝関節、足関節を示す。刺激により、正常者では軀幹および大腿は重心を中心とした回転運動を呈し、このため下腿が前傾し足関節は背屈運動をすることになる。パーキンソン病患者では、軀幹の回転運動、下肢関節運動の変位が少なく、一部の症例では足関節が底屈することがある。

前胸部圧迫刺激に対する頭位前屈、軀幹の回転、下肢関節の屈伸運動は刺激による受動的運動として開始するが、これらの運動の最大変位およびその到達時間は能動的な姿勢反応の結果を反映していると考えられる。前胸部圧迫刺激に対するパーキンソン病患者の立位姿勢保持反応の障害は下肢関節角度記録からみると、軀幹の回転運動の消失あるいは減少と下肢関節運動の遅延および変位角度の減少として捉えられた(図8B)。これらの異常所見の程度は、パーキンソン病患者の重症度や寡動、下肢の筋固縮および振戦の程度に単純に相関するものではなかった。パーキンソン病患者の個々の下肢筋の反応には、表面筋電図による検討で正常者と明確な差異が認められなかった。以上の結果、およびすでに述べたように刺激に対する下肢関節の運動はその上に位置する軀幹の動きの影響を大きく受けると考えられることから、これらパーキンソン病患者の下肢関節の運動障害は、筋の固縮、寡動の程度という臨床徴候に単純に依存したり、特定の下肢筋の姿勢反射の障害によるものではなく、姿勢に係わる種々の反

射の中樞神経系における統合作用による、全身の筋の関与する姿勢調節機序の障害が重要であると考えられる。中野らは、パーキンソン病患者の前胸部圧迫に対する立ち直り反応の障害について、重心の最大後方変位に達する時間が有意に延長することを報告しパーキンソン病の中樞性の高次の姿勢保持障害によるものであると考察した³²⁾。パーキンソン病患者の下肢関節運動障害に関する我々の所見も、全身の姿勢反応障害の総合効果を反映したもので、その神経機序はパーキンソン病の中樞神経系における高次の姿勢保持障害と関

係深いと考えられた。

本論文の要旨の一部は第24回日本神経学会総会(1983年5月, 京都) および 7th International Congress of Electromyography (1983, Oct, Munich) で発表した。

稿を終えるにあたり、御指導いただいた柳沢信夫教授に深謝します。また研究に便宜をお図りいただいた藤田勉院長始め、御協力をいただいた鹿教湯病院の方々にも感謝の意を表します。

文 献

- 1) Mori, S. : Servo-control of quiet standing. In : Somjen, G. (ed.), *Neurophysiology in man*. pp.401-411, Excerpta Medica, Amsterdam, 1972
- 2) Joseph, J. : *Man's posture : Electromyographic studies*. pp.46-49, Thomas, Illinois, 1960
- 3) Mori, S. : Discharge patterns of soleus motor units with associated changes in force exerted by foot during quiet stance in man. *J Neurophysiol*, 36 : 458-471, 1973
- 4) Nashner, L. M. : Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res*, 26 : 59-72, 1976
- 5) Gurfinkel, V.S., Lipshits, M.L., Mori, S. and Popov, K.E. : The state of stretch reflex during quiet standing in man. In : Homma, S. (ed.), *Progress in brain research : vol. 44, Understanding the stretch reflex*, pp.473-486, Elsevier, Amsterdam, 1976
- 6) Dietz, V., Mauritz, K.H. and Dichgans, J. : Body oscillations in balancing due to segmental stretch reflex activity. *Exp Brain Res*, 40 : 89-95, 1980
- 7) Diener, H.C., Bootz, F., Dichgans, J. and Bruzek, W. : Variability of postural "reflexes" in humans. *Exp Brain Res*, 52 : 423-428, 1983
- 8) Yanagisawa, N. : EMG characteristics of involuntary movements. In : Bruyn, G.W., Buruma, O. J.S. and Roos, R.A.C. (ed.), *Dyskinesias*, pp.142-159, Sandoz, Uden, 1984
- 9) Hoehn, M.M. and Yahr, M.D. : Parkinsonism : Onset, progression and mortality. *Neurology (Minneapolis)*, 17 : 427-442, 1967
- 10) Mori, S. and Brookhart, J.M. : Characteristics of postural reactions of the dogs to a controlled disturbance. *Am J Physiol*, 215 : 339-348, 1968
- 11) Nashner, L.M. : Vestibular and reflex control of normal standing. In : Stein, R., Pearson, K., Smith, R. and Redford, J. (ed.), *Control of posture and locomotion*. pp.291-308, Plenum, New York, 1973
- 12) Lestienne, F., Soechting, J. and Berthoz, A. : Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Exp Brain Res*, 28 : 363-384, 1977
- 13) Wilson, V.J. and Peterson, B.W. : Vestibulospinal and reticulospinal systems. In : Geiser, S.R. (ed.), *Handbook of physiology, section I. vol. 2*, pp.667-702, American Physiological Society, Washington DC, 1981
- 14) Chan, C.W.Y. : Tonic labyrinthine reflex control of limb posture : Reexamination of the classical concept. In : Desmedt, J.E. (ed.), *Motor control mechanisms of health and disease*, pp.621-632, Raven Press, New York, 1983
- 15) Njiokiktjien, Ch. and Folkerts, J.F. : Displacement of the body's centre of gravity at galvanic stimulation of the labyrinth. *Confin Neurol*, 33 : 46-54, 1971
- 16) Nashner, L.M. and Wolfson, P. : Influence of head position and proprioceptive cues on short latency postural reflexes evoked by galvanic stimulation of the human labyrinth. *Brain Res*, 67 : 255-268, 1974

- 17) Mano, T., Hibino, R., Mitarai, G., Watanabé, S., Jijiwa, H., Baron, J.-B. and Toma, S. : Electrophysiological study on vestibulo-spinal reflex in man. *Aggressologie*, 17 : 71-76, 1976
- 18) Nashner, L.M., Black, F.O. and Wall, C. : Adaptation to altered support and visual conditions during stance : Patients with vestibular deficits. *J Neurosci*, 2 : 536-544, 1982
- 19) Gurfinkel, V.S., Lipshits, M.I. and Popov, K.E. : Is the stretch reflex the main mechanism in the system of regulation of the vertical posture of man? *Biofizika*, 19 : 744-748, 1974
- 20) Diener, H.C., Dichgans, J., Bootz, F. and Bacher, M. : Early stabilization of human posture after a sudden disturbance : influence of rate and amplitude of displacement. *Exp Brain Res*, 56 : 126-134, 1984
- 21) 柳沢信夫, 塚越 広 : 下肢痙性麻痺における前脛骨筋反射について. *臨床神経*, 15 : 1004, 1975
- 22) Allum, J.H.J. and Büdingen, H.J. : Coupled stretch reflexes in ankle muscles : An evaluation of the contribution of active muscle mechanism to human posture stability. *Prog Brain Res*, 50 : 185-195, 1979
- 23) Dietz, V. and Berger, W. : Interlimb coordination of posture in patients with spastic paresis. *Brain*, 107 : 965-978, 1984
- 24) Melvill Jones, G. and Watt, D.G.D. : Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *J Physiol (Lond)*, 219 : 709-727, 1971
- 25) Marsden, C.D., Merton, P.A. and Morton, H.B. : Anticipatory postural responses in the human subject. *J Physiol (Lond)*, 275 : 47P-48P, 1978
- 26) Marsden, C.D., Merton, P.A. and Morton, H.B. : Human postural responses. *Brain*, 104 : 513-534, 1981
- 27) Traub, M.M., Rothwell, J.C. and Marsden, C.D. : Anticipatory postural reflexes in Parkinson's disease and other akinetic-rigid syndromes and in cerebellar ataxia. *Brain*, 103 : 393-412, 1980
- 28) Bussel, B., Katz, R., Pierrot-Deseilligny, E., Bergego, C. and Hayat, A. : Vestibular and proprioceptive influences on the postural reactions to a sudden body displacement in man. In : Desmedt, J.E. (ed.), *Progress in clinical neurophysiology : vol 8. Spinal and supraspinal mechanisms of voluntary motor control and locomotion*, pp.310-322, Karger, Basel, 1980
- 29) Belen'kii, V. YE., Gurfinkel, V.S. and Pal'tsev, YE.I. : Elements of control of voluntary movements. *Biophysics*, 12 : 154-161, 1967
- 30) Cordo, P.J. and Nashner, L.M. : Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J Neurophysiol*, 47 : 287-302, 1982
- 31) 田幸健司, 柳沢信夫 : 筋電図・下肢関節角度・頭位変化からみた姿勢反応障害—パーキンソン病, 小脳失調症の検討一. *脳波と筋電図*, 12 : 89, 1984
- 32) 中野知幸, 柳沢信夫, 塚越 広 : パーキンソニズムの姿勢保持障害について—筋電図と重心記録による検討. *臨床神経*, 20 : 924-932, 1980

(60. 9. 24 受稿)