

a 運動神経

記録電極は、陰極を母指球の短母指外転筋の筋腹上に置き、陽極を同じ筋の末梢での腱の付着部に設置した。接地は手掌に設置した。刺激部位は、手掌刺激（手掌中央付近で最も大きな電位の得られる所）、手関節部の手根管より中枢で橈側手根屈筋と長掌筋の二つの腱の間（刺激点と記録間電極間の距離は7 cm）の遠位部刺激、肘関節前内側で上腕二頭筋の付着部より内側の3ヶ所とした。評価として、手掌刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節部刺激の間の立ち上がり潜時の差と距離から求めた運動神経伝導速度を用いた。

b 感覚神経

逆行性感覚神経伝導検査による測定を施行した。記録電極は陰極を示指の近位部、陽極を示指の遠位部、接地は手掌に設置した。刺激は、運動神経伝導検査と同様に手掌部、手関節部及び肘関節部で行った。手掌部では刺激点と記録電極間の距離は7 cm、手関節部では刺激点と記録電極間の距離は14 cmとした。評価として、手掌刺激での頂点潜時、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節部刺激の立ち上がり潜時の差と距離から求めた感覚神経伝導速度を用いた。

(i) 尺骨神経伝導検査

a 運動神経

記録電極は、陰極を小指外転筋の筋腹上に、陽極を同じ筋の末梢の腱の付着部に設置した。接地は手掌に設置した。刺激部位は、遠位部では尺側手根屈筋の腱の上（刺激点と記録間電極間の距離は7 cm）、肘部では、肘関節の尺骨神経溝を挟んで尺骨神経溝より上部5 cmの部位（above elbow: AE）と尺骨神経溝より下部5 cmの部位（below elbow: BE）の合計3ヶ所として測定を行った。評価として、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節上部及び下部刺激各々の間の立ち上がり潜時の差と距離から求めた運動神経伝導速度（MCV、AE-BE）を用いた。

b 感覚神経

逆行性感覚神経伝導検査を施行した。記録電極は陰極を小指の近位部、陽極をその遠位部に置き、接地は手掌に設置した。刺激は、運動神経伝導検査と同様に、遠位部では手関節部とし、肘部では尺骨神経溝を挟んだ肘関節の上下2ヶ所（AE、BE）で行った。手関節部では刺激点と記録間電極間の距離は14 cmとした。評価として、遠位部刺激での立ち上がり潜時（遠位潜時）、遠位部刺激と肘関節部上部及び下部の間の各々の立ち上がり潜時の差と距離から求めた感覚神経伝導速度（SCV、AE-BE）を用いた。

ウ データの解析

記録された正中神経・尺骨神経伝導検査の結果を、振動障害群と対照群で比較した（対応のないt検定、 $p < 0.05$ ）。さらに、振動障害群と対照群それぞれにおいて、年齢補正を施した正常値から、異常値を判定した。これらの解析に用いる数値は、一般的に行われており、年齢を加味した正常値が算出できることから、正中神経では運動神経の

遠位潜時、前腕での運動神経伝導速度 (MCV)、感覚神経の手関節刺激での遠位潜時、前腕での感覚神経伝導速度 (SCV)、尺骨神経では運動神経の遠位潜時、肘上から肘下までの MCV、感覚神経の手関節刺激での遠位潜時、肘上から肘下までの SCV とした。

なお、年齢補正された正常値は、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査において用いられている Oh らによる電気診断学の教科書⁷⁾に記載された年齢層別の健常者の平均値と標準偏差 (SD) より平均 \pm 2SD を算出し、それを正常上限・下限とした。

各対象者において、年齢補正された正常値 (表 F1) との比較で異常と判定されるパラメータがいくつあるかにより、クラス分類を行った (表 F2)。この神経伝導検査のクラス区分と、振動障害群の SWS-N 及び厚生労働省 NS 区分との相関をスピアマンの順位相関係数により分析した。

神経伝導検査上の異常の有無と振動障害の関連性について Fisher の直接確率法で検定し、神経伝導検査上の異常の有無により振動障害を診断した場合の敏感度と特異度を計算した。

エ 結果

(ア) 振動障害群と対照群の比較

振動障害群と対照群の各パラメータの比較を表 F3 に示した。振動障害群と対照群で有意差を認めた項目は、左右の正中神経 MCV、左右の正中神経 SCV、右正中神経の運動神経遠位潜時、左右の尺骨神経の運動神経遠位潜時であった。また、左尺骨神経の感覚神経遠位潜時、右尺骨神経の SCV でも有意な傾向があった。

(イ) 年齢補正した正常値との比較

各パラメータに対して年齢補正した正常値 (表 F1) を作成し、振動障害群、対照群それぞれについて、年齢を補正した正常値と比較した。異常と判定されたものの数とその割合について表 F4 に示した。左正中神経の感覚神経遠位潜時のみ、対照群の方が異常と判定される割合がわずかに大きかったが、その他はすべて振動障害群の方が、対照群より異常と判定される割合が大きかった。振動障害群では左正中神経の SCV、左尺骨神経の感覚神経遠位潜時以外のすべてのパラメータで異常を認め、各パラメータの間に大きな偏りはなかった。

(ウ) 振動障害の末梢神経伝導検査によるクラス分類と SWS-N 及び厚生労働省 NS 区分との比較

各対象者において、年齢補正された正常値との比較で異常と判定されるパラメータがいくつあるかにより、クラス分類を行った (表 F2)。振動障害群、対照群において各クラスに分類される患者の数を表 F5 に示した。振動障害群においては異常を認めないもの (クラス 0) が 9 人 (29.0%)、1~4 個の異常を認めるもの (クラス 1) が 14 人 (45.2%)、5~8 個の異常を認めるもの (クラス 2) が 6 人 (19.4%)、9 個以上の異常を認めるもの (クラス 3) が 2 人 (6.5%) であった。一方、対照群ではクラス 0 が 10 人 (40.0%)、クラス 1 が 12 人 (48.1%)、クラス 2 が 3 人 (12.0%)、クラス 3 は 0 人であった。

振動障害群において、今回行ったクラス分類と SWS-N、厚生労働省 NS 区分の相

表F1 年齢補正した正常値

年齢	正中神経				尺骨神経			
	運動神経		感覚神経		運動神経		感覚神経	
	遠位潜時	MCV (前腕部)	遠位潜時	SCV (前腕部)	遠位潜時	MCV (AE-BE)	遠位潜時	SCV (AE-BE)
	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値
45-54	4.3	52	2.8	55	3.1	50	3.0	49
55-64	4.4	51	2.9	53	3.2	43	3.2	44
65-74	4.5	50	3.0	51	3.2	43	3.3	44
75-	4.6	50	3.2	49	3.3	43	3.5	44

表F2 神経伝導検査によるクラス分類

クラス	異常値の数
0	0個
1	1-4個
2	5-8個
3	9個以上

関をスピアマンの順位相関係数で分析した結果、クラス分類とSWS-Nでは相関係数 $r=0.55$ 、 $p<0.01$ で有意な相関を認めた。クラス分類とNS区分の間でも、相関係数 $r=0.38$ 、 $p<0.05$ で有意な相関を認めた。

(エ) 神経伝導検査での振動障害の診断

今回用いたクラス分類により、クラス0を異常なし、クラス1以上を異常ありとし、振動障害と神経伝導検査上の異常の有無との関連性をFisherの正確確率計算法で検定したところ、有意な関連性はなかった(表F6)。神経伝導検査のみで振動障害を診断した場合、感度は71.0%、特異度は40.0%となった。

オ 考察

(ア) 振動障害の末梢神経障害

振動障害の末梢神経障害の病態に関しては、種々の議論があり未だ定説がないのが現状である。原因としては、振動による直接的な侵襲によるものだとする意見と末梢循環障害による二次的な障害であるとする意見の2つが考えられている⁸⁻⁹⁾。動物実験からは、振動ばく露によって引き起こされた神経内浮腫により、神経の内圧が上昇、静脈うっ血と神経虚血をもたらす、線維芽細胞の活性の亢進によって引き起こされる神経鞘の硬化をもたらすという機序も考えられている¹⁰⁻¹¹⁾。病理学的には、末梢神経における軸索変性及び節性脱髄が報告され¹²⁻¹³⁾、また、循環器系では組織の小動脈の変性が指摘されている¹²⁾。水野らは第34回臨床神経生理学学会において、振動障害患者の正中神経・尺骨神経の感覚神経伝導検査の遠位潜時と冷水負荷試験における皮膚温の回復と相関していることを報告した¹⁴⁾。このことは、振動障害患者において末梢神経障害と末梢循環障害が同時に存在している病理所見と矛盾しない。臨床的には、ポリニューロパチーを呈すると考えられていたが、現在では単一の神経が障害されるモノニューロパチーとなることが多いとする報告もある¹⁵⁾。

表 F 3 振動障害群と対照群の各パラメータの平均と標準偏差
 MCV (運動神経伝導速度)、SCV (感覚神経伝導速度)、AE-BE (肘上・肘下)

				振動障害群		対照群		t検定
				平均	標準偏差	平均	標準偏差	
正中神経	運動	遠位潜時	左	4.1	0.5	4.0	0.6	NS
			右	4.1	0.6	3.8	0.5	<0.05
	MCV (前腕部)	左	54.1	3.3	56.7	4.3	<0.05	
		右	53.8	3.9	57.3	4.0	<0.01	
	感覚	遠位潜時	左	2.8	0.4	2.8	0.4	NS
			右	2.8	0.6	2.6	0.4	NS
SCV (前腕部)	左	59.4	3.9	61.9	3.3	<0.05		
	右	59.6	4.5	63.5	4.5	<0.01		
尺骨神経	運動	遠位潜時	左	3.2	0.4	2.9	0.3	<0.05
			右	3.1	0.4	2.9	0.3	<0.05
	MCV (AE-BE)	左	52.3	9.7	53.2	6.9	NS	
		右	49.4	10.6	53.5	7.4	NS	
	感覚	遠位潜時	左	2.7	0.5	2.5	0.2	NS
			右	2.8	0.6	2.6	0.5	NS
	SCV (AE-BE)	左	59.4	12.5	62.6	11.5	NS	
		右	55.5	13.8	62.0	12.5	NS	

表 F 4 振動障害群と対照群の各パラメータの異常者数とその割合

				異常者数		異常者%	
				振動障害	対象	振動障害	対象
正中神経	運動	遠位潜時	左	6	5	19.4	20.0
			右	8	4	25.8	16.0
	MCV (前腕部)	左	4	0	12.9	0.0	
		右	4	0	12.9	0.0	
	感覚	遠位潜時	左	11	10	35.5	40.0
			右	7	5	22.6	20.0
SCV (前腕部)	左	0	0	0.0	0.0		
	右	2	0	6.5	0.0		
尺骨神経	運動	遠位潜時	左	12	8	38.7	32.0
			右	11	4	35.5	16.0
	MCV (AE-BE)	左	4	3	12.9	12.0	
		右	7	1	22.6	4.0	
	感覚	遠位潜時	左	0	0	0.0	0.0
			右	4	1	12.9	4.0
SCV (AE-BE)	左	5	0	16.1	0.0		
	右	5	1	16.1	4.0		

表F5 振動障害群と対照群のクラス分類（各区分の人数と割合）

クラス	人数		%	
	振動障害群	対照群	振動障害群	対照群
0	9	10	29.0	40.0
1	14	12	45.2	48.0
2	6	3	19.4	12.0
3	2	0	6.5	0.0

表F6 振動障害群、対照群における異常の有無と人数

	異常なし (クラス0)	あり (クラス1以上)	計
振動障害群	9	22	31
対照群	10	15	25
計	19	37	56

(イ) 神経伝導検査所見

神経伝導検査は、末梢神経障害を診断するために広く使われており、客観的な評価を行うことが可能である。また、末梢神経障害による自覚的な症状がまだ出現していない早期から異常を発見できるという利点があることから、振動障害の末梢神経障害に関する、多くの電気生理学的研究が報告されている¹⁶⁻¹⁹⁾。

一方、年齢と神経伝導速度の関係は、 $Y = -0.18X + 64.29$ (Y : 尺骨神経運動神経伝導速度、 X : 年齢)、 $Y = -0.26X + 77.04$ (Y : 正中神経感覚神経伝導速度、 X : 年齢)と、回帰直線で表されるという報告²⁰⁻²¹⁾があり、加齢とともに低下してくるといわれている。潜時も加齢とともに遅延してくる傾向を示す。今回の実証検査において、明らかな末梢神経障害を認めない非振動障害患者でも同様の傾向が認められ、このような検査結果を詳細に検討するためには、年齢補正された正常範囲との比較が必要であると考えられる。

振動障害の末梢神経障害で、正中及び尺骨神経の遠位潜時 (distal latency) に関しては、運動、感覚神経ともに有意な遅延が認められていると報告されている^{9, 17-19)}。久永ら¹⁹⁾と荒記ら¹⁷⁾は、運動神経よりも感覚神経で異常を示すことが多いと報告しており、久永ら¹⁹⁾は、236名の振動工具使用者において、正中神経及び尺骨神経のMCVの低下を示すものが6-13%、SCVの低下は前腕部で26-39%、手掌部で30-49%に認められたと報告している。また、椿原・木村ら⁹⁾と久永ら¹⁹⁾は、前腕部の神経伝導速度の低下も指摘しており、病変が手指だけでなく、近位側にも影響が及んでいることが考えられたと報告している。久永ら¹⁹⁾は、前腕部と手掌部において、振動工具使用者の感覚神経障害は、正中神経よりも尺骨神経のほうが強いと報告している。上腕部、前腕部については、MCV及びSCVに対照群と差がみられないという報告¹⁷⁻¹⁸⁾もある。Sakakibaraら²²⁾は、正中神経及び尺骨神経のSCVを手指-手掌・手掌-手関節・手関節-肘で比較したところ、手指-手掌では50-70%、手掌-手関節では10-25%に伝導速度の異常を認めたことから、指神経の障害がより優位に起