

原著論文

健常者の末梢神経伝導検査に与える年齢・身長・性別の影響 – 自治医科大学附属病院における基準範囲の設定も含めて

柳田浩己¹ 安藤明彦² 岡田健太² 長坂昌一郎^{2,3} 石橋俊² 小谷和彦^{1,4,5} 長谷川修⁶ 谷口信行^{1,4}

¹自治医科大学附属病院臨床検査部 〒329-0498 栃木県下野市薬師寺3311-1

²自治医科大学医学部内科学講座内分泌代謝学部門

³昭和大学藤が丘病院糖尿病・代謝・内分泌内科 〒227-8501 神奈川県横浜市青葉区藤が丘1-30

⁴自治医科大学医学部臨床検査医学講座

⁵自治医科大学地域医療学センター地域医療学部門

⁶横浜市立大学附属市民総合医療センター総合診療科 〒232-0024 神奈川県横浜市南区浦舟町4-57

要 約

神経伝導検査は、糖尿病神経障害を含めた末梢神経障害の評価に極めて有用である。その測定値は年齢や身長の影響を受けやすいとされるが、こうした影響に関する本邦の健常者での検討は少ない。今回、健常者ボランティアで年齢・身長・性別と、神経伝導検査各指標との関連を検討し、併せて当院での神経伝導検査基準範囲の設定を行った。神経伝導速度のほか、振幅・潜時・持続時間及びF波に関する各指標の基準範囲を求めた。年齢は上下肢の活動電位振幅と負の相関、身長は上下肢の活動電位振幅と負の、潜時と正の相関を認めた。F波に関しては、身長と最小潜時との間に正の相関（相関係数：正中0.79、脛骨0.78）、平均潜時との間に正の相関（相関係数：正中0.76、脛骨0.72）、最大潜時との間に正の相関（相関係数：正中0.66、脛骨0.64）を認めた。性別において多指標で有意差を認めたが、性別間の身長差・体格・解剖学的特徴に伴う差異が考えられた。軸索障害の指標として振幅の評価は重要であり、年齢・身長・性別の影響に関する留意が必要だが、今回の基準範囲設定により今後の診療への寄与が期待される。

（キーワード：神経伝導検査，F波，年齢，身長，性別）

I. 諸言

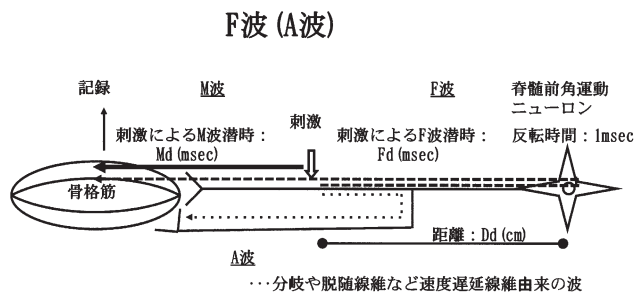
神経伝導検査とは、神経幹を電気刺激し、同じ神経束上から複合神経活動電位を記録（感覚神経）、あるいは支配筋から複合筋活動電位を記録（運動神経）する検査であり、末梢神経疾患の評価に極めて有用である。しかしその検査値に影響を与える主な要因に、被検者の年齢・身長・性別が挙げられる。各要因の検査値への影響に関する報告¹⁾⁻¹²⁾は多数あるが、本邦で健常者に対する検討は少ない¹³⁾⁻¹⁶⁾。

それ以外にも、環境・被検者・検査技術・機器特性等も測定値に影響を与える¹⁷⁾ため、神経伝導検査は標準化が難しい¹⁸⁾。このため日本臨床神経生理学会では、施設ごとに基準範囲を設定することを推奨している¹⁹⁾。測定項目には大きく分けて伝導速度・潜時・持続時間といった速度因子と活動電位振幅とがあり、速度因子は髄鞘の障害により低下する。脱髄に伴って伝導遅延・伝導遮断が起ると伝導速度が低下し、潜時が延長する。また各線維の発火時

間に時間差が生じ、活動電位の持続時間が延長する。一方活動電位振幅は、伝導軸索数に比例し、同期性が低くなくても低下する²⁰⁾。当院臨床検査部ではこれまで、伝導速度のみの基準範囲を文献より引用²¹⁾して使用し、振幅値はレポートに波形を添付するなどに対応していた。

運動神経伝導検査で通常記録するM波は刺激部位から末梢側の神経伝導のみの評価となる。さらにF波（図1参照）を記録することにより、末梢神経幹全長の評価が可能となる。F波は運動神経を最大上刺激することにより発生した逆行性のインパルスが運動神経線維内を上行し、前角細胞の細胞体で発生した電位が再び順行性に末梢運動神経を下降して支配筋を興奮させた振幅の小さい筋電位である。

今回我々は、健常ボランティアを対象に、神経伝導検査各種指標と年齢・身長・性別との関連を検討した。また併せて、伝導速度のみではなく、振幅・F波の各種指標に関しても、当院としての基準範囲を求めた。



$$F\text{波伝導速度: } FCV \text{ (m/s)} = Dd / (Fd - Md - 1) * 1/2 = 2 Dd / (Fd - Md - 1)$$

$$F\text{率: } F\text{-ratio} = (Fd - Md - 1) / 2Md$$

図1 F波 (A波) の図示

II. 方法

A. 対象と方法の概要

被検者は健常者ボランティア51名(女性30名:男性21名)で、年齢 44.3 ± 8.5 (SD) 歳(女性 43.6 ± 8.4 歳:男性 45.3 ± 8.9 歳;最低24歳,最高59歳)である。対象者に末梢神経疾患並びに末梢神経障害を生じ得る糖尿病等の合併はなかった。

検査機器は日本光電ニューロパックM1 (KD-026A) を使用した。フィルター条件は10Hz~3kHzとし、皮膚温は上肢(前腕部中点)で33℃以上,下肢(下腿部中点)で32℃以上¹⁹⁾とした(遠赤外線体温測定器で測定)。筋収縮や視覚刺激・睡眠によりF波は高振幅となる²²⁾ため、安静覚醒時に同一の検査室で測定を行った。すべての神経で各電極の接触抵抗を十分に下げ、電気刺激は最大上刺激(supramaximal stimulation)で行った。測定は全て左側で行った。

本研究は自治医科大学疫学研究倫理審査委員会により承認され(疫12-69),被検者には個々に検査の説明を行い、文書による同意を得た。

B. 各神経における測定方法

1. 尺骨神経

運動神経伝導検査では、記録用活性電極を小指外転筋上に、基準電極を同筋遠位腱上に装着した。感覚神経伝導検査では、活性電極を小指近位指節に、基準電極をその3cm遠位に装着した(小指が短い場合は添付可能な最遠位とした)。電気刺激部位は、遠位では運動神経の活性電極から6cm近位¹⁹⁾で尺骨手根屈筋腱の内側あるいは外側で、近位では肘部尺骨神経溝とした(図2)。

2. 正中神経

運動神経伝導検査では、記録用活性電極を短母指外転筋上に、基準電極を同筋遠位腱上に装着した。感覚神経伝導検査では、活性電極を示指近位指節に、基準電極をその3cm遠位に装着した。電気刺激部位は、遠位では運動神経の活性電極から6cm近位¹⁹⁾(手根部横皮線と長掌筋腱と橈側手根屈筋腱との間の遠位に向かう線の交点で一度曲げて距離を測定)および肘部上腕二頭筋腱尺側とした(図3)。

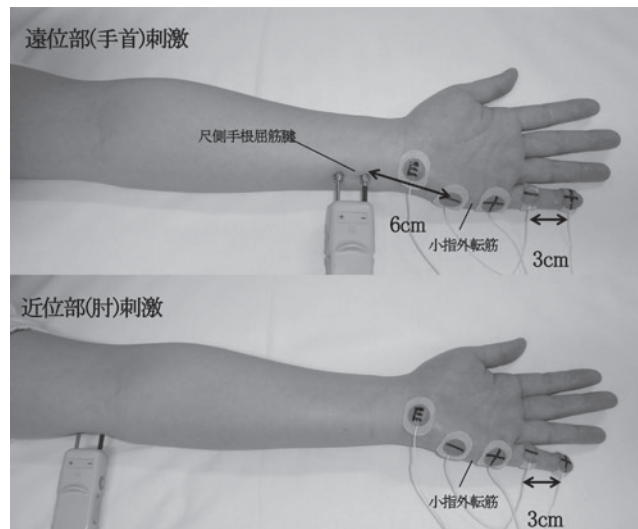


図2 尺骨神経の電極位置

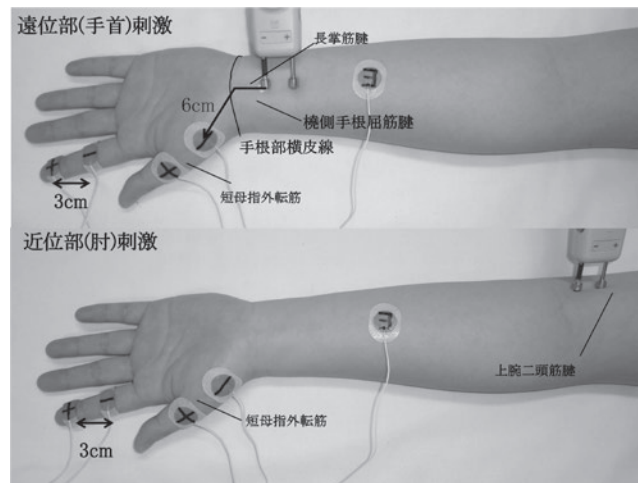


図3 正中神経の電極位置

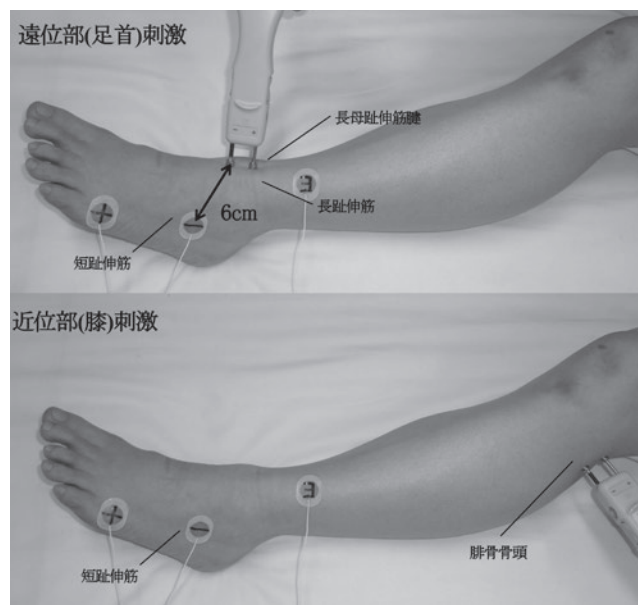


図4 総腓骨神経の電極位置

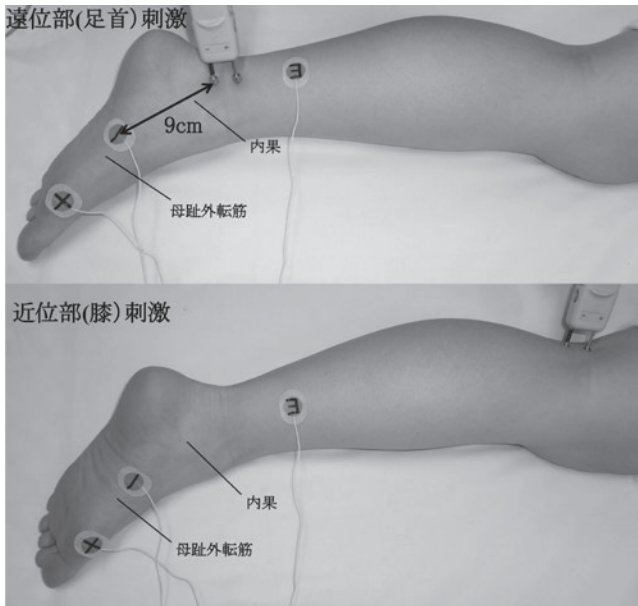


図5 脛骨神経の電極位置

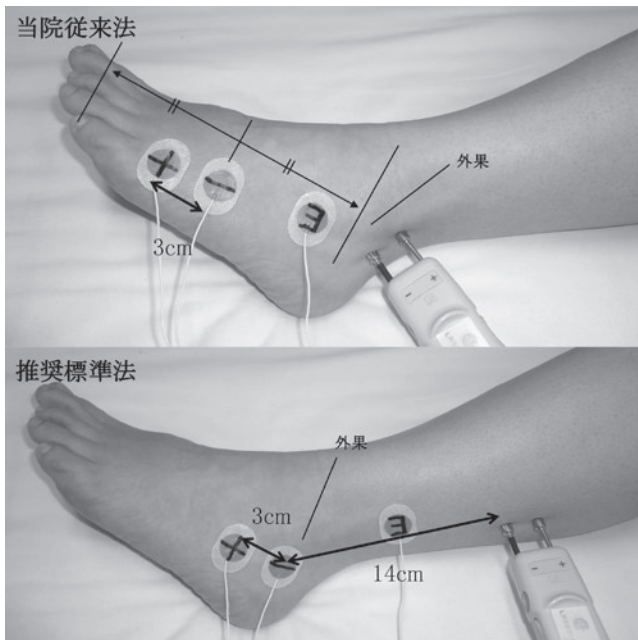


図6 腓腹神経の電極位置

3. 総腓骨神経

記録用活性電極を短趾伸筋上に、基準電極を同筋遠位腱上に装着した。電気刺激部位は、遠位では活性電極より6cm近位¹⁹⁾および腓骨頭上方とした(図4)。

4. 脛骨神経

記録用活性電極を舟状骨粗面の1cm下前方の母趾外転筋上に、基準電極を同筋遠位腱上の母趾基部に装着した。電気刺激部位は、内果上後方の活性電極より9cm近位¹⁹⁾、および膝窩部とした(図5)。

5. 腓腹神経

方法1(当院従来法)記録用活性電極を外果と小趾先端の midpoint に、基準電極を3cm遠位部に装着した。電気刺激部

位は外果とアキレス腱の間とした。

方法2(推奨標準法)記録電極は外果と踵先端の midpoint、基準電極はそこから小趾に向けて3cm遠位に装着した。電気刺激部位は下腿遠位部1/3等分点付近、活性電極より14cm近位とした(図6)。

C. F波の測定方法

正中神経と脛骨運動神経については、F波測定も行った。

1. 正中神経

運動神経伝導検査と同様に、活性電極を短母指外転筋上に、基準電極を同筋遠位腱上に装着した。電気刺激は、活性電極から6cm近位で長掌筋腱と橈側手根屈筋腱との間とした。F波の距離測定は検査時と同様(体幹から腕を少し離れた)の位置で手首、肘、腋下、鎖骨 midpoint、第7頸椎棘突起と結んで測定した。

2. 脛骨神経

運動神経伝導検査と同様に記録用活性電極を舟状骨粗面の1cm下前方の母趾外転筋上に、基準電極を同筋遠位腱上の母趾基部に装着した。電気刺激部位は、内果上後方とした。

M波が最大振幅に達する最大刺激強度より更に強い刺激を16回連続して行い、振幅50 μ V以上の遅延電位をF波と判定した。正中神経F波伝導速度の計算のため、刺激部位から脊髄前角細胞までの距離を、上述の通り測定した。下肢については、距離測定は誤差が大きいため行わなかった。

F波では、最小潜時・最大潜時と最小潜時の差である chronodispersion・振幅(出現した全てのF波振幅の平均)・持続時間(F波の立ち上がりから終息するまでの時間;出現した全てのF波の平均)・F率(後述)・伝導速度・出現率(16回刺激中のF波出現割合)を測定した。最小潜時に関しては、身長で補正した値(補正值=検査値*身長cm/160)²³⁾も示した。

F波潜時FdからM波潜時Mdを差し引いた時間である中極側潜時Fd-Mdで刺激部位から脊髄までの伝導評価が可能であるが、この時間から脊髄前角細胞での反転時間1msを差し引いた時間を半分にすることで、刺激点から近位部の神経伝導時間((Fd-Md-1)/2)を算出でき、この時間で遠位刺激部位から脊髄前角細胞までの距離(正中神経では刺激部位から第7頸椎棘突起まで)を割ればF波伝導速度(F-wave conduction velocity; FCV)が求められる(FCV=2Dd/(Fd-Md-1))。

またこの近位部神経伝導時間とそれより末梢の遠位潜時であるM波潜時の比((Fd-Md-1)/2Md)により、近位部と遠位部の伝導速度の直接比較が可能となり、この比がF率(F-ratio)である(図1)。

D. 基準範囲の設定方法, 統計学的検討方法

過去の健常者の報告においても²⁴⁾、今回の検討において

も、健常者では伝導速度と潜時はそれぞれ正規分布をしており、平均値±2（標準偏差）を基準範囲とした。振幅値が正規分布をとらないため、測定された最低値を基準範囲下限とする成書²⁵⁾もあるが、対象者の下限5%（今回の検討では3名）の値を基準範囲下限と規定し、これ以上を基準範囲とした²⁴⁾。また振幅値については、感覚神経、運動神経ともにbaseline to peakで計測した値を採用した。M波の持続時間は立ち上がりからpeakまでの時間を測定した。正中神経では、遠位点刺激より近位点刺激での振幅が大きく、Martin-Gruber吻合の存在が示唆された1例（1.9%：通常出現頻度15～30%）を除外した。同様に総腓骨神経でも、副深腓骨神経が存在した10例（19.6%：通常出現頻度20～28%）を除外した。

年齢・身長と神経伝導検査結果の相関に関しては、Spearman順位相関係数を求めた。年齢・身長により3群（40歳未満14名・40歳～49歳22名・50歳以上15名；160cm未満14名・160cm以上170cm未満20名・170cm以上17名）に分け、3群間で多重比較検定（Tukeyの補正）を行った。各指標の性別による差異に関しては、正規性・男女間での等分散性を、各指標においてskewness/kurtosis test及びF検定で評価し、正規性があり男女間での等分散の場合はunpaired t-testで、正規性があり等分散でない場合はWelch's t-testを行い、正規性がない場合はMann-Whitney検定を行った。F波潜時に関しては身長の影響を強く受けるため、上述のように身長補正値を用いて検定した。統計解析にはStata/SE version12.1（Stata Corp LP, 2012, Texas,

USA）を使用した。

Ⅲ. 結果

A. 神経伝導検査、F波の結果

運動及び感覚神経伝導検査の結果及びF波の結果（推奨する基準範囲）を表1に示す。尺骨（感覚）神経及び脛骨（運動）神経振幅に関しては年齢毎の基準値を示し、F波最小潜時については身長による補正値も提示した。

なお被験者中3名で、脛骨神経でF波の前にA波（図1）の出現を認め、その内1名ではF波の後にもA波出現を認めた。A波は、F波記録の際に通常M波とF波の間に潜時が一定な小電位として記録される。A波を同一波形で潜時もほぼ同一（1.5～4.0ms以内）、かつ20回刺激して4～8回以上出現することと定義している文献が多い²⁶⁾。今回も同様の基準でA波を判定したが、16回刺激で4回以上をA波とした。A波の出現率はこの3名で各々56%、F波前100%；後25%、25%であった。

B. 年齢と神経伝導検査、F波の関連

年齢との有意な相関を認めた指標は、正相関：尺骨（感覚）神経近位持続時間；負相関：腓骨（運動）神経伝導速度、脛骨（運動）神経での振幅、尺骨（感覚）神経Wrist（遠位）振幅、腓腹（感覚）神経振幅（方法1及び方法2）、脛骨神経F波出現率であった。また年齢による3群間（～39歳；40～59歳；60歳～）で有意な変化は、脛骨（運動）神経での振幅及び腓腹（感覚）神経振幅（方法2）で認められた（表2）。

表1 神経伝導検査・F波の結果（推奨する基準範囲）

運動神経伝導検査		終末潜時(ms)	振幅基準下限値(mV)	伝導速度(m/s)(平均±2SD)	範囲	持続時間(ms)(近位)	持続時間(ms)(遠位)		
尺骨神経		<2.9	>5.5	59.2±7.2	52.0～66.4	3.7±0.6	3.5±0.7		
正中神経		<3.7	>4.9	58.8±5.6	53.2～64.4	3.2±0.6	2.9±0.7		
腓骨神経		<4.7	>1.9	49.8±6.4	43.4～56.2	3.6±0.7	3.3±0.6		
脛骨神経		<5.1	>10.1	48.4±5.8	42.6～54.2	4.0±0.6	3.8±0.7		
年齢別振幅基準下限値(mV)	15.8(～39歳)	11.1(40～59歳)	10.7(60歳～)		：脛骨神経				
n=51(正中神経 n=50、腓骨神経 n=41)									
感覚神経伝導検査		終末潜時(ms)	振幅基準下限値(μV)	伝導速度(m/s)(平均±2SD)	範囲	持続時間(ms)			
尺骨神経(Wrist)		<2.6	>29.0	56.1±8.0	48.1～64.1	0.6±0.1			
年齢別振幅基準下限値(μV)	38.4(～39歳)		35.6(40～59歳)	31.1(60歳～)		：尺骨神経			
尺骨神経(Wrist-Elbow)				64.5±8.4	56.1～72.9	0.9±0.1			
正中神経(Wrist)		<2.9	>29.4	58.5±8.2	50.3～66.7	0.6±0.1			
正中神経(Wrist-Elbow)				65.4±5.8	59.6～71.2	0.9±0.1			
腓腹神経(方法1)		<2.9	>3.3	46.9±8.4	38.5～55.3	0.7±0.1			
腓腹神経(方法2)		<3.1	>7.2	52.6±7.2	45.4～59.8	0.6±0.1			
n=51									
F波	最小潜時(ms)	Chronodispersion(ms)	持続時間(ms)	振幅(μV)	F率平均	F率最大	F率最小	伝導速度(m/s)	出現率(%)
正中神経	25.5±3.6 *24.9±2.8	3.0±1.5	11.7±1.9	>150.9	3.5±0.5	3.8±0.7	3.3±0.5	69.1±7.6	56.5±4.4
脛骨神経	44.7±6.0 *46.1±5.0	4.2±1.5	17.2±2.8	>136.3	5.8±1.0	6.1±1.0	5.6±0.9		99.2±4.6
*補正値 (本文参照)									n=51

表2 年齢と神経伝導検査指標の関連

運動神経		~39歳 ^a	40~59歳 ^b	60歳~ ^c	多重比較検定	年齢との相関	相関係数	p値
尺骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	60.4±3.4	59.1±3.4	58.2±4.1	N.S		-0.21	0.14
	振幅(遠位)(平均)(mV)	9.7±2.4	9.0±2.4	9.9±2.3	N.S		-0.04	0.8
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	6.6	3.5	6.2				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.5±0.2	2.5±0.2	2.6±0.2	N.S.		0.00	0.97
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	3	3	2.9				
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.7±0.5	3.5±0.7	3.4±0.7	N.S.		-0.08	0.68
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.9±0.5	3.6±0.7	3.7±0.7	N.S		-0.06	0.83
正中神経	伝導速度(平均)(m/s)	59.3±2.1	59.0±2.7	57.8±3.5	N.S		-0.03	0.83
	振幅(遠位)(平均)(mV)	10.2±1.4	8.5±2.4	9.3±2.6	N.S		-0.19	0.18
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	8.2	3.7	3.7				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.1±0.3	3.1±0.4	3.2±0.4	N.S		0.15	0.28
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	3.7	4	3.7				
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.1±0.8	2.9±0.6	2.8±0.4	N.S.		0.02	0.91
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.2±0.9	3.2±0.6	3.1±0.4	N.S.		0.09	0.51
腓骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	51.1±2.3	49.5±3.3	48.9±3.6	N.S.		-0.36	0.02 *
	振幅(遠位)(平均)(mV)	4.7±1.2	3.8±1.5	3.6±1.7	N.S.		-0.30	0.06
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	2.6	1.3	1.2				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.5±0.8	3.4±0.4	3.7±0.8	N.S.		0.18	0.25
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	5.3	4	6				
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.4±0.7	3.5±0.6	3.6±0.7	N.S		-0.04	0.78
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.8±0.9	15.3±3.8	13.6±3.0	N.S		-0.13	0.43
脛骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	48.3±3.4	48.7±2.7	48.1±3.0	N.S		-0.09	0.54
	振幅(遠位)(平均)(mV)	18.8±3.6	15.3±3.8	13.6±3.0	^a と ^b (<0.05); ^a と ^c (<0.01)		-0.51	0.00 **
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	15.3	7.4	10.1				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.5±0.4	3.7±0.7	3.8±0.9	N.S.		0.14	0.34
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	4.7	5.2	6				
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	4.0±0.4	3.8±0.7	3.6±0.7	N.S		-0.26	0.07
	持続時間(近位)(平均)(ms)	4.2±0.5	4.0±0.7	3.7±0.6	N.S		-0.28	0.05 *
* <0.05 ** <0.01								
感覚神経		~39歳 ^a	40~59歳 ^b	60歳~ ^c	多重比較検定	年齢との相関	相関係数	p値
尺骨神経	伝導速度(Wrist)(m/s)	56.5±4.1	56.6±4.0	54.9±3.9	N.S		-0.13	0.36
	伝導速度(Wrist-elbow)(m/s)	65.5±3.6	64.3±3.8	64.0±5.5	N.S		-0.19	0.19
	振幅(Wrist)(平均)(μV)	53.1±14.4	51.4±20.3	41.6±12.5	N.S.		-0.46	0.00 **
	振幅(Wrist)(最小値)(μV)	29	27.2	26.5				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	0.6±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1	N.S		0.21	0.14
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	0.8	0.8	0.9				
	持続時間(Wrist)(ms)	0.6±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1	N.S		0.14	0.34
正中神経	持続時間(Wrist-elbow)(ms)	0.8±0.2	0.9±0.2	0.9±0.2	N.S		0.28	0.04 *
	伝導速度(Wrist)(m/s)	59.3±4.6	58.3±3.7	58.1±4.4	N.S		-0.12	0.41
	伝導速度(Wrist-elbow)(m/s)	66.3±2.2	65.1±3.0	64.9±3.2			-0.09	0.54
	振幅(Wrist)(平均)(μV)	53.2±12.5	54.2±15.8	45.9±11.1	N.S		-0.26	0.06
	振幅(Wrist)(最小値)(μV)	32.3	28.2	29.3				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.5±0.2	2.5±0.2	2.5±0.3	N.S.		0.00	0.97
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	3.7	4.0	3.7				
腓腹神経(方法1)	持続時間(Wrist)(ms)	0.7±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	N.S.		-0.10	0.50
	持続時間(Wrist-elbow)(ms)	0.9±0.1	0.9±0.1	0.8±0.1	N.S.		-0.04	0.78
	伝導速度(平均)(m/s)	46.8±4.7	47.2±3.9	46.6±4.6	N.S.		-0.06	0.70
	振幅(平均)(μV)	9.4±5.8	10.7±16.8	6.4±2.7	N.S.		-0.32	0.02 *
	振幅(最小値)(μV)	3.3	3.0	3.3				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.3±0.4	2.3±0.3	2.3±0.3	N.S.		0.08	0.59
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	2.8	2.9	3.1				
腓腹神経(方法2)	持続時間(遠位)(平均)(ms)	0.7±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1	N.S.		-0.13	0.35
	伝導速度(平均)(m/s)	52.2±3.6	52.5±3.2	53.0±4.8	N.S.		0.01	0.97
	振幅(平均)(μV)	17.9±11.4	13.8±4.2	11.6±3.8	^a と ^c (<0.05)		-0.36	0.01 **
	振幅(最小値)(μV)	6.7	7.5	4.3				
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.7±0.2	2.7±0.2	2.7±0.2	N.S.		0.02	0.90
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	2.9	3.1	3				
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	0.6±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	N.S.		-0.01	0.95
* <0.05 ** <0.01								

表2のつづき

F波	～39歳	40～59歳	60歳～	多重比較検定	年齢との相関	相関係数	p値	
正中神経	終末潜時平均(ms)	25.4±2.1	25.3±1.6	25.8±1.9	N.S.	0.17	0.22	
	終末潜時最大(ms)	26.9±2.1	27.2±2.6	27.3±2.2	N.S.	0.17	0.24	
	終末潜時最小(ms)	24.2±1.8	23.9±1.4	24.6±2.1	N.S.	0.17	0.22	
	Chronodispersion(ms)	2.7±0.8	3.3±1.8	2.7±1.3	N.S.	0.07	0.63	
	持続時間(ms)	12.1±2.3	11.7±1.9	11.2±1.6	N.S.	-0.13	0.36	
	振幅(平均)(μV)	306.5±130.8	270.1±93.5	311.0±126.8	N.S.	0.10	0.48	
	F/M振幅比(平均)	2.4±1.0	2.7±1.1	3.2±2.1	N.S.	0.24	0.09	
	F率平均	3.5±0.4	3.5±0.6	3.5±0.5	N.S.	0.03	0.84	
	F率最大	3.7±0.4	3.8±0.8	3.7±0.6	N.S.	0.03	0.84	
	F率最小	3.3±0.4	3.3±0.6	3.3±0.5	N.S.	0.04	0.77	
	伝導速度(m/s)	65.4±4.7	65.1±2.6	64.5±2.2	N.S.	-0.14	0.33	
	出現率(%)	62.2±17.2	56.1±23.7	51.7±24.3	N.S.	-0.17	0.25	
	脛骨神経	終末潜時平均(ms)	46.6±2.6	46.5±3.2	46.7±3.5	N.S.	-0.05	0.73
		終末潜時最大(ms)	48.5±2.7	49.0±3.8	49.2±3.7	N.S.	0.05	0.71
終末潜時最小(ms)		45.0±2.8	44.4±2.8	45.0±3.6	N.S.	-0.01	0.94	
Chronodispersion(ms)		3.5±1.1	4.6±1.8	4.2±1.2	N.S.	0.27	0.06	
持続時間(ms)		18.4±3.0	16.2±1.6	17.7±3.5	N.S.	-0.1	0.48	
振幅(平均)(μV)		283.8±54.5	235.1±69.9	236.4±91.7	N.S.	-0.27	0.05	
F/M振幅比(平均)		1.3±0.2	1.7±0.9	1.7±0.9	N.S.	0.22	0.12	
F率平均		6.1±0.8	5.9±1.0	5.6±1.0	N.S.	-0.15	0.28	
F率最大		6.3±0.9	6.2±1.1	5.9±1.0	N.S.	-0.10	0.47	
F率最小		5.8±0.8	5.6±1.0	5.4±0.9	N.S.	-0.15	0.28	
出現率(%)		100.0±0.0	99.4±2.1	98.1±3.2	N.S.	-0.34	0.01	

* <0.05

C. 身長と神経伝導検査, F波の関連

身長と有意な相関を認めた指標は、正相関：尺骨（運動）神経終末潜時、尺骨（運動）神経近位及び遠位持続時間、腓骨及び脛骨（運動）神経振幅、尺骨（感覚）終末潜時、正中（感覚）神経遠位持続時間、腓腹（感覚）神経終末潜時（方法1及び方法2）、正中神経F波平均・最小・最大潜時、正中神経F波F率平均・最小値・最大値、脛骨神経F波平均・最小・最大潜時；負相関：尺骨（感覚）神経振幅、正中（感覚）神経Wrist-Elbow（近位）伝導速度、正中（感覚）神経遠位持続時間、腓腹（感覚）神経伝導速度（方法1及び方法2）、腓腹（感覚）神経振幅（方法1）、正中神経F波伝導速度であった。特にF波潜時では強い相関を認めた（図7）。また身長による3群間（～159cm；160～169cm；170cm～）で有意な変化は、尺骨（運動）神経終末潜時、腓骨（運動）神経振幅、尺骨（感覚）神経（遠位）振幅、腓腹（感覚）神経振幅（方法1）、腓腹（感覚）神経終末潜時（方法1）、正中神経F波平均・最小・最大潜時、正中神経F波持続時間、正中神経F波伝導速度、脛骨神経F波平均・最小・最大潜時、脛骨神経F波振幅、脛骨神経F波持続時間で認められた（表3）。

D. 性別と神経伝導検査, F波の関連

表4に示した指標で、男女間で有意差を認めた。

IV. 考察

神経伝導検査の測定結果に影響を与える因子として、皮膚温と被検者の年齢・身長・性別・指周囲径がある。

今回は肥満指数（body mass index；BMI）・指周囲径に関する検討を行っていない。過去の報告で、BMIは一部の指標で神経伝導検査に影響するとする報告^{1), 14), 27)}がある。また指周囲径に関しては感覚神経活動電位（Sensory Nerve Action Potential；SNAP）振幅と負の相関を示すとされ^{7), 28), 29)}、今後の検討課題である。

低温では伝導速度が低下^{30), 31)}し、遠位潜時が延長し振幅が増大する。過去の報告でも皮膚温と神経伝導検査指標

との相関が指摘されている^{9), 32), 33), 34)}。特に四肢末端や皮神経の測定では偽陽性所見を避けるため組織温のモニターが重要で、皮膚温の下限は30-32℃に設定される³⁵⁾。今回の検討及び現在の当院での神経伝導検査では、遠赤外線性体温測定器により皮膚温測定後に検査を行っている。

加齢の影響に関しては特に海外で数多くの年齢と神経伝導検査指標に関する過去の報告がある。22,420例を用いた調査で年齢は伝導速度や潜時よりも振幅と強く相関し⁵⁾、若年者19-43歳を対象とした調査⁶⁾では今回の報告と同様に、年齢に伴うSNAP振幅低下が明瞭に示されている。

伝導速度に関しては成人後1年につき0.1-2m/sec程度の低下を示す報告が多く⁹⁾、前向き研究でも同様の結果が示されている⁴⁾。今回の調査でも正中・尺骨運動と感覚神経及び腓骨運動神経で同様の低下を示した。ただし年齢と伝導検査指標には線形関係はなく、二次式で表示できる関係により強く近似できるとの報告¹⁰⁾もある。今回相関が得られた指標について散布図を描いて評価した（データ示さず）が、線形関係にあるものやないもの等様々であった。3歳から5歳位で末梢神経髄鞘化が進み、神経伝導速度は成人同様の上肢50-70m/sec、下肢40-60m/secに達する¹¹⁾。40歳以降は徐々に伝導速度が低下するが、60-80歳でも伝導速度の低下は10m/sec程度に止まる¹²⁾。今回の検討では60歳以下の健常者を対象としているが、年齢と伝導速度に関して腓骨運動神経（この神経は日本人では正座等の影響で障害を受けやすく、神経障害の評価に適さないとする報告がある³⁶⁾）以外では有意な相関を認めず、年齢群による検定でも同様であった。

潜時に関しては年齢に応じた変化を認めないとする報告³²⁾と弱い相関を認めるとする報告⁸⁾があり、今回の調査では相関はみられなかった。

持続時間に関しては過去の報告が少ないが年齢（及び性別・身長）との相関を認めないとする報告^{41), 42)}と本邦で年齢との正相関を認めるとする報告¹⁴⁾がある。今回の調査では尺骨感覚神経のみで年齢との正相関が認められた。

振幅に関しては本邦で行われた調査では、SNAP振幅が

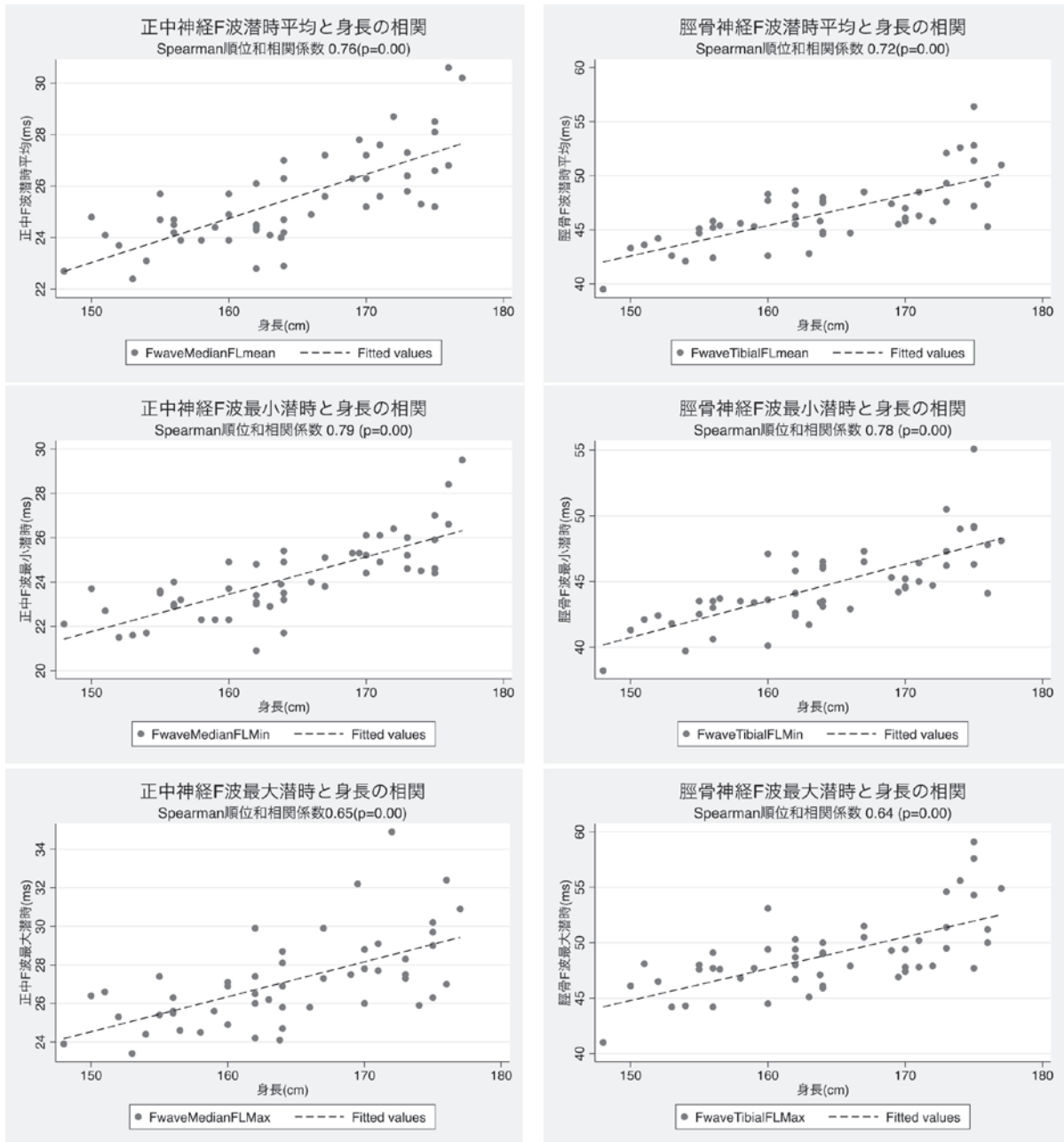


図7 F波平均・最小・最大潜時と身長との相関

年齢と最も強く相関し¹³⁾。20-90歳まで均等に68-119名の被検者を選んだ研究¹⁵⁾でもSNAPは年齢に応じた低下を認め、特に50-60歳以降で低下速度が増し、振幅ほどではないが年齢に応じた伝導速度の低下を認めていた。今回の検討でも前述のごとく、年齢は上下肢ともに振幅と相関し、脛骨(運動)神経での振幅、尺骨(感覚)神経(遠位)振幅、及び腓腹(感覚)神経(方法2)振幅では年齢群と有意な関係が認められた。今回の検討の対象は当院職員が殆どのため、60歳以上の被検者はいないが、他の本邦の研究で20-29歳の群と80-89歳の群のように大きく年齢に差があると、運動神経伝導速度・潜時・振幅で加齢による差が認められた¹⁶⁾。加齢に伴うSNAP振幅、複合筋活動電位(Compound Muscle Action Potential: CMAP)振幅の低下が見られ²⁾、CMAP振幅の低下は運動単位の加齢に応じた発火率の低下³⁷⁾や運動単位数自体の減少³⁸⁾を反映す

る。SNAP振幅低下の機序に関しては剖検例の病理学的検討で、60歳以上(神経栄養血管vasa nervorumの閉塞が目立つ時期)で腓腹神経大径有髄神経数の減少が指摘されている³⁹⁾。正中神経の肘部正中神経幹内に微小電極を刺入して得られる複合神経活動電位振幅が50歳以上で加齢に伴う低下が加速すると報告されている⁴⁰⁾。

過去の報告をまとめると加齢に応じて振幅は低下し、伝導速度が低下、潜時が延長するとの報告が散見されるが、神経伝導速度・潜時では後述の身長に比べて年齢の影響は少ない。本邦での56例の健常者を対象とした報告でも、年齢は神経伝導検査指標に著しい影響を与えているという結果は得られていない¹⁴⁾。振幅に関しては相関係数0.4以上の尺骨(感覚)神経、脛骨(運動)神経に関して年齢別基準下限値も示した。

表3 身長と神経伝導検査指標の関連

運動神経	160cm未満	160cm以上170cm未満	170cm以上	多重比較検定	身長との相関	相関係数	p値
尺骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	59.4±3.8	60.1±3.6	58.0±3.7	N.S	-0.17	0.25
	振幅(遠位)(平均)(mV)	10.3±2.7	9.0±2.4	9.4±2.0	N.S	-0.21	0.15
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	6.2	4.9	3.5			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.4±0.2	2.5±0.2	2.6±0.2	*と<(0.05)	0.35	0.01
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	3.0	2.9	3.0			
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.4±0.5	3.4±0.8	3.7±0.6	N.S	0.43	0.00
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.5±0.5	3.6±0.8	4.0±0.5	N.S	0.52	0.00
正中神経	伝導速度(平均)(m/s)	58.6±1.9	59.3±2.6	58.2±3.7	N.S	-0.00	0.97
	振幅(遠位)(平均)(mV)	8.9±1.7	9.2±2.5	9.5±2.5	N.S	0.13	0.37
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	5.6	3.7	3.7			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.3±0.4	3.0±0.4	3.1±0.3	N.S	-0.03	0.84
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	4.0	3.6	3.7			
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	2.8±0.7	2.9±0.4	3.1±0.8	N.S	0.15	0.28
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.1±0.6	3.0±0.4	3.4±0.8	N.S	0.17	0.23
腓骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	50.8±4.5	49.5±2.4	49.4±3.0	N.S	-0.24	0.13
	振幅(遠位)(平均)(mV)	3.6±1.5	3.3±1.3	5.1±1.2	*と<(0.05); bと<(0.01)	0.40	0.01
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	3.2	1.3	1.2			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.5±1.0	3.7±0.6	3.3±0.4	N.S	0.04	0.81
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	6.0	5.3	3.8			
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.2±0.6	3.3±0.8	3.2±0.5	N.S	0.18	0.26
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.5±0.8	3.7±0.8	3.6±0.5	N.S	0.19	0.23
脛骨神経	伝導速度(平均)(m/s)	49.5±2.8	47.8±2.7	48.2±3.2	N.S	-0.23	0.11
	振幅(遠位)(平均)(mV)	14.4±3.1	15.8±4.9	17.0±3.3	N.S	0.32	0.02
	振幅(遠位)(最小値)(mV)	10.5	7.4	9.3			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	3.6±0.5	3.6±0.5	3.9±0.9	N.S	0.22	0.12
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	5.2	5.0	6.0			
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	3.5±0.5	3.9±0.5	3.8±0.8	N.S	0.22	0.13
	持続時間(近位)(平均)(ms)	3.9±0.5	4.0±0.6	4.0±0.8	N.S	0.18	0.22

* <0.05
**<0.01

感覚神経	160cm未満 ^a	160cm以上170cm未満 ^b	170cm以上 ^c	多重比較検定	身長との相関	相関係数	p値
尺骨神経	伝導速度(Wrist)(m/s)	56.0±4.4	55.9±4.3	56.3±3.6	N.S	-0.11	0.45
	伝導速度(Wrist-elbow)(m/s)	65.4±4.4	65.0±4.3	63.3±4.1	N.S	-0.21	0.14
	振幅(Wrist)(平均)(μV)	56.7±19.8	50.7±17.4	40.6±10.6	*と<(0.05)	-0.42	0.00
	振幅(Wrist)(最小値)(μV)	37.6	32.9	26.5			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.2±0.2	2.2±0.2	2.3±0.1	N.S	0.48	0.00
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	2.6	2.6	2.6			
	持続時間(Wrist)(ms)	0.6±0.1	0.6±0.1	0.7±0.1	N.S	0.09	0.52
正中神経	持続時間(Wrist-elbow)(ms)	0.9±0.1	0.8±0.1	0.9±0.2	N.S	0.12	0.39
	伝導速度(Wrist)(m/s)	57.8±5.6	58.9±3.7	58.6±3.2	N.S	0.01	0.92
	伝導速度(Wrist-elbow)(m/s)	65.5±2.6	66.3±2.5	64.2±3.2	N.S	-0.28	0.04
	振幅(Wrist)(平均)(μV)	57.5±16.5	49.6±13.7	48.8±10.8	N.S	0.21	0.15
	振幅(Wrist)(最小値)(μV)	37.2	28.2	28.3			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.4±0.3	2.5±0.2	2.5±0.1	N.S	0.35	0.37
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	2.9	3.1	2.8			
腓腹神経(方法1)	持続時間(Wrist)(ms)	0.7±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	N.S	0.05	0.01
	持続時間(Wrist-elbow)(ms)	0.9±0.1	0.8±0.1	0.9±0.1	N.S	0.20	0.17
	伝導速度(Wrist)(m/s)	48.0±3.5	47.2±4.6	45.7±4.3	N.S	-0.219	0.04
	振幅(平均)(μV)	10.9±6.1	6.7±2.2	6.3±2.2	*と<(0.01); *と<(0.01)	-0.39	0.01
	振幅(最小値)(μV)	3.7	3.0	3.3			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.1±0.3	2.3±0.2	2.5±0.3	*と<(0.01); bと<(0.05)	0.60	0.00
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	2.6	2.6	3.1			
腓腹神経(方法2)	持続時間(遠位)(平均)(ms)	0.6±0.1	0.7±0.1	0.7±0.1	N.S	0.11	0.45
	伝導速度(平均)(m/s)	54.0±3.6	52.5±3.7	51.5±3.5	N.S	-0.35	0.01
	振幅(平均)(μV)	17.5±11.0	13.1±4.5	13.0±4.9	N.S	-0.13	0.37
	振幅(最小値)(μV)	4.3	7.5	6.7			
	終末(遠位)潜時(平均)(ms)	2.6±0.2	2.7±0.2	2.7±0.2	N.S	0.31	0.03
	終末(遠位)潜時(最大値)(ms)	3.0	3.1	3.0			
	持続時間(遠位)(平均)(ms)	0.6±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1	N.S	0.18	0.20

* <0.05
**<0.01

F波	160cm未満 ^a	160cm以上170cm未満 ^b	170cm以上 ^c	多重比較検定	身長との相関	相関係数	p値	
正中神経	終末潜時(平均)(ms)	24.1±0.9	25.1±1.4	27.1±1.6	*と<(0.01); bと<(0.01)	0.76	0.00	
	終末潜時(最大)(ms)	25.3±1.1	27.0±2.0	28.8±2.4	*と<(0.05); *と<(0.01); bと<(0.05)	0.65	0.00	
	終末潜時(最小)(ms)	22.7±0.8	23.8±1.3	25.9±1.4	*と<(0.05); *と<(0.01); bと<(0.01)	0.79	0.00	
	Chronodispersion(ms)	2.6±0.9	3.3±1.5	2.9±1.8	N.S	0.00	0.99	
	持続時間(ms)	11.3±2.1	11.1±1.7	12.7±1.8	bと<(0.05)	0.27	0.05	
	振幅(平均)(μV)	248.4±81.2	308.5±141.2	308.9±96.2	N.S	0.15	0.28	
	F/M振幅比(平均)	2.8±1.2	2.6±0.9	2.9±2.1	N.S	0.21	0.14	
	F率平均	3.1±0.3	3.6±0.6	3.7±0.4	*と<(0.01); *と<(0.01)	0.51	0.00	
	F率最大	3.3±0.4	4.0±0.8	4.0±0.5	*と<(0.01); *と<(0.01)	0.54	0.00	
	F率最小	2.8±0.3	3.4±0.5	3.5±0.3	*と<(0.01); *と<(0.01)	0.43	0.00	
	伝導速度(m/s)	66.4±2.2	65.2±2.9	63.6±3.7	*と<(0.05)	-0.42	0.00	
	出現率(%)	59.9±17.5	51.8±17.7	59.1±29.6	N.S	-0.12	0.42	
	脛骨神経	終末潜時(平均)(ms)	43.9±1.8	44.5±2.0	49.1±3.2	*と<(0.05); *と<(0.01); bと<(0.01)	0.72	0.00
		終末潜時(最大)(ms)	46.4±2.2	48.4±2.2	51.6±3.7	*と<(0.01); bと<(0.01)	0.64	0.00
		終末潜時(最小)(ms)	42.1±1.6	46.4±1.9	47.2±2.8	*と<(0.01); *と<(0.01); bと<(0.01)	0.78	0.00
		Chronodispersion(ms)	4.3±1.0	4.0±1.6	4.3±1.7	N.S	-0.03	0.83
		持続時間(ms)	16.9±1.8	16.2±2.5	18.8±3.2	bと<(0.05)	0.21	0.15
振幅(平均)(μV)		239.4±79.6	225.2±65.2	284.4±73.1	bと<(0.05)	0.20	0.16	
F/M振幅比(平均)		1.8±0.9	1.3±0.4	1.7±1.0	N.S	-0.20	0.16	
F率平均		5.6±0.7	6.0±0.9	5.8±1.2	N.S	0.08	0.56	
F率最大		6.0±0.7	6.3±0.9	6.2±1.3	N.S	0.09	0.54	
F率最小		5.4±0.7	5.7±0.8	5.6±1.2	N.S	0.07	0.64	
出現率(%)	99.0±2.5	99.0±2.6	99.6±1.7	N.S	0.04	0.77		

表4 性別と神経伝導検査指標の関連 (有意差ある指標のみ)

男性>女性(平均値)				
運動神経		男性(平均±SD)	女性(平均±SD)	統計手法
尺骨神経	終末潜時(ms)	2.6±0.5	2.4±0.0	1 #
	持続時間(遠位)(ms)	3.8±0.6	3.3±0.6	3 ‡
	持続時間(近位)(ms)	4.1±0.5	3.4±0.6	1 #
腓骨神経	振幅(mV)	4.8±0.3	3.5±1.4	2 #
	F波正中	潜時平均(ms) *	29.0±2.2	24.3±1.7
F波正中	終末潜時(最小値)(ms) *	27.5±2.0	23.1±1.7	1 ‡
	終末潜時(最大値)(ms) *	30.8±2.9	25.9±2.1	2 ‡
	F率平均	3.7±0.5	3.3±0.5	3 ‡
	F率(最小値)	3.5±0.4	3.1±0.5	3 ‡
	F率(最大値)	4.0±0.7	3.6±0.6	3 #
	持続時間(ms)	12.3±0.4	11.2±0.3	1 #
	F波脛骨	潜時平均(ms) *	48.4±3.3	45.3±2.2
F波脛骨	終末潜時(最小値)(ms) *	46.7±3.0	43.4±2.2	3 ‡
	終末潜時(最大値)(ms) *	50.9±3.8	47.5±2.4	2 ‡
	振幅(最大値)(μV)	510.5±39.0	430.0±26.3	2 #
感覚神経				
尺骨神経	終末潜時(ms)	2.3±0.0	2.2±0.0	1 #
正中神経	終末潜時(ms)	2.6±0.2	2.4±0.2	1 #
腓腹神経	潜時(方法1)(ms)	2.5±0.3	2.2±0.3	3 ‡
女性>男性(平均値)				
運動神経				
F波正中	伝導速度(最大値)(m/s)	67.7±0.79	70.0±80.2	1 #
感覚神経				
尺骨神経	振幅(μV)	39.4±9.4	55.7±18.3	2 ‡
腓腹神経	振幅(方法1)(μV)	6.2±2.0	8.8±4.8	2 #

*補正值による (本文参照) 1.Unpaired t test, 2. Welch's t test, 3 Mann-Whitney検定, # p<0.05, ‡ p<0.01

身長に関しては、伝導速度と負の相関を、潜時と正の強い相関を認めるとする報告が多く^{(10), (18), (19)}、今回の結果と一致する。一方で、振幅との負の相関も報告されている(SNAP^{(1), (5), (7)}、CMAP^{(1), (43)})。振幅の低下は軸索障害、つまり軸索数の減少を反映するので、年齢との負の相関は得られやすい。身長との負の相関に関する詳細な機序は不明である。本検討ではCMAP振幅は身長と正の相関を認めており、その理由は明らかでない。

またF波に関しては過去の報告^{(3), (41), (44)}と一致して、身長は平均・最小・最大潜時と強い有意な相関を認めた。今回の調査では前述の通り振幅(特に下肢運動神経)との負の相関、及び身長群間での有意な関係が認められた。F波最小潜時は身長との強い相関を認めるため、身長によりF波最小潜時の基準範囲(例えば脛骨で150cmは44msec, 170cmは53msec, 190cmは62msec)を定めている施設もある⁽⁴⁵⁾。今回の調査では身長群の広がり小さく身長群間での有意な関係は認めなかったが、身長160cmに換算する方法(補正值=検査値*身長/160)を用いる施設もあり⁽²³⁾、今回のF波最小潜時の基準範囲にも適用した。F率に関しては正中神経で身長と正の相関を認

めたが、これは高身長では近位側の伝導時間が短縮するか、遠位側の伝導時間が遅延することを意味する。後者が想定されるが、脛骨神経で相関が認めなかった原因も含めその生理的意義の詳細は不明である。

性別に関しても数多くの報告がある^{(1), (3), (6), (8), (46)}が、関連なしとする結果も多い^{(7), (43), (47)}。何れにしても身長・年齢ほど強い影響は与えないとする報告が多い。今回の調査では性別間で身長に大きな差(男性171.9±3.7cm, 女性159.0±5.3cm(平均±標準偏差))があり、神経伝導速度と潜時(特にF波)に関しては身長の影響が強いと考えられる。振幅に関しては、男性でCMAPが高くSNAPが低かった。過去の報告でも女性ではCMAPが男性と比較して低くSNAPが高いとされる⁽⁴⁸⁾。CMAPは目的筋内の機能的筋原線維密度を反映し、SNAPは神経幹内の大径有髄線維密度を反映するとされ、SNAPは先述の通り指周囲径と負の相関を示す⁽²⁸⁾。男性は筋骨格系が発達し、女性では男性より指が細く指周囲径が小さいことがその理由と考えられる。またもう一つの原因として男性での潜在的肘部尺骨神経障害の多発が影響している可能性や⁽⁴⁹⁾、男性で腓骨CMAPが女性より大きくなった理由として、本邦女性での

正座習慣が関与している可能性がある。持続時間は男性が女性より長かったが、これは筋の大きさの性差を反映していると考えられる。筋が大きいと、速く収縮する筋線維と遅く収縮する筋線維と時間差を生じ、さらに身長が高い＝伝導距離が長い＝線維毎の到達時間の時間的分散が大きくなるという要因も想定される。

今回、新たに振幅、終末潜時、持続時間、F波各種指標について基準範囲を設定した。

末梢神経疾患は大きく分けて軸索変性型と脱髄型があり、日常的に遭遇するほとんどの全身性ニューロパチーは前者である⁵⁰⁾。その評価には振幅が重要である。そのため感覚神経伝導検査では記録電極の陰極と陽極間距離を3cmとした。感覚神経伝導検査では神経線維間の伝導速度差のため、遠位刺激に比べて近位刺激では位相相殺のため振幅が減衰する²⁵⁾。

一方、運動神経伝導検査では、終末潜時の基準範囲を設定したことにより手根管症候群、Gyon管症候群、足根管症候群などの絞扼性神経障害の評価にも大きく貢献できると考える。ただし複合筋活動電位の基準範囲については他指標と比較して再現性が小さいことが指摘されており¹⁷⁾、これまでと同様、個体内で左右差を比べるなどの対応が必要な場合があると考えられる。

持続時間の延長は波形の時間的分散によって生じる。今回の基準範囲設定により脱髄疾患（軸索変性病変での二次性脱髄を含む）診断への寄与が考えられる。

F波は検査件数が多い糖尿病患者の神経障害において特に有用で、中でも最小潜時が再現性・感度が最も良い指標とされる^{51),52)}。M波が数百個の運動単位を有する筋の全ての活動電位の総和であるのに対し、F波は逆行したインパルスによる脊髄前角運動ニューロンの再興奮であり、同一ニューロンでは10-100回に1回程度の再興奮しか起きずF波記録では1回の刺激で精々数個の運動単位の再興奮が得られるのみである。しかし10回程度刺激すればその内少なくとも1回は最速の運動神経線維が逆行性刺激によって興奮を生じるためF波最小潜時の再現性は極めて良い。

今回の基準範囲を設けたF率により、末梢優位に障害される代謝性（糖尿病、尿毒症）ニューロパチー⁵³⁾で異常の検出が容易になると想定される。

F波測定時にA波の出現が見られている。この小電位は末梢神経障害の時に軸索再生と関連して見られることが多いとされるが、健常者でも特に脛骨神経では稀に認められ、糖尿病患者では下肢刺激で高率に出現が認められる⁵⁴⁾。今回の調査でも、脛骨神経で3例にA波出現を認めた。A波の発生機序として以下のものが想定されている²⁶⁾。(1) 軸索分岐によるもの（神経再生による側副発芽による骨格筋の神経再支配）：末梢神経軸索に分岐が見られるときに見られ厳密な反射ではないが慣用上軸索反射と言われる(2) 脱髄等による接触伝導：隣り合う神経線維間で電気的な短絡があり隣接する神経が興奮し出現(3)

indirect double discharge：一本の神経線維に脱髄等により易興奮性のある場所がありそこが再発火して出現（異所性放電）(4) **Slow conduction**：神経線維内に伝導性が極めて遅い線維があり潜時のばらつきのため生じる。(1) ではF波の後に、(2)-(3) ではF波の前か後に出現するとされる^{54),55)}。今回の3例は全てF波の前でその内1例はF波の後にもA波を認めていた。

今回の検討で、年齢・身長と神経伝導検査各指標の中で特に振幅との相関が確認された。軸索変性型ニューロパチー（特に糖尿病神経障害等）の評価のために用いられる振幅基準範囲を設定し、今後の診療への活用が期待される。しかし加齢、更に身長の影響が他指標より強く、また性差も認めるため結果の評価において考慮が必要である。F波潜時に関しては特に身長との相関が強く（図6参照）、補正值についても新たに設定した。更に潜時、持続時間等の基準範囲設定により、同様の考慮は必要だが、脱髄性病変のより正確な診断に繋がると考える。今後、当院での神経伝導検査報告の基礎資料として、本研究データを活用する予定である。

利益相反の開示

著者全員は本論文の研究内容について、報告すべき利益相反を有しません。

謝辞

本研究の被験者となって頂いた自治医科大学附属病院臨床検査部臨床検査技師、薬剤部薬剤師、臨床栄養部管理栄養士、内分泌代謝科看護師、臨床検査医学講座及び内科学講座内分泌代謝学・神経内科学部門医師、自治医科大学学生の皆様に深謝致します。

文献

- 1) Cinar N, Sahin S, Sahin M. et al. Effects of anthropometric factors on nerve conduction : an electro-physiological study on feet. *J Am Podiatr Med Assoc* 2013 ; **103** : 43-49.
- 2) Leis AA, Schenk MP. Overview of nerve conduction studies, Effect of aging. Leis AA, Schenk MP. *Atlas of Nerve Conduction Studies and Electromyography*, New York, USA, Oxford University Press, 2013, p6.
- 3) Huang CR, Chang W-N, Chang H-S. et al. Effects of age, gender, height, and weight on late responses and nerve conduction study parameters. *Acta Neurol Taiwan* 2009 ; **18** : 242-249.
- 4) Tong HC, Werner RA, Franzblau A. Effect of aging on sensory nerve conduction study parameters. *Muscle Nerve* 2004 ; **29** : 716-720.
- 5) Rivner MH, Swift TR, Malik K. Influence of age and height on nerve conduction. *Muscle Nerve* 2001 ; **24** : 1134-1141.
- 6) Hennesey WJ, Falco FJE, Braddom RL. Median and ulnar nerve conduction studies : normative data for

- young adults. *Arch Phys Med Rehabil* 1994 ; **75** : 259-264.
- 7) Stetson DS, Albers JW, Silverstein BA, Wolfe RA. Effects of age, sex, and anthropometric factors on nerveconduction measures. *Muscle Nerve* 1992 ; **15** : 1095-1104.
 - 8) Falco FJE, Hennessey WJ, Braddom RL, et al. Standardized Nerve conduction studies in the Upper Limb of the healthy elderly. *Am J Phys Med Rehabil* 1992 ; **71** : 263-271.
 - 9) Trojaborg WT, Moon A, Andersen BB, et al. Sural nerve conduction parameters in normal subjects related to age, gender, temperature, and height : reappraisal. *Muscle Nerve* 1992 ; **15** : 666-671.
 - 10) Taylor PK. Non-linear effects of age on nerve conduction in adults. *J Neurol Sci* 1984;66 : 223-234.
 - 11) Gamstorp I. Normal conduction velocity of ulnar, median, and peroneal nerves in infancy, childhood, and adolescence. *Acta Paediatr Suppl* 1963 ; **146** : 68-76.
 - 12) Mayer RF. Nerve conduction studies in man. *Neurology* 1963 ; **13** : 1021-1030.
 - 13) Fujimaki Y, Kuwabara S, Sato Y, et al. The effect of age, gender, body mass index on amplitude of sensory nerve action potentials : Multivariate analysis. *Clin Neurophysiol* 2009 ; **120** : 1683-1686.
 - 14) 湯浅潤子, 岸 玲子, 原 潤 泉, 他. 末梢神経伝導速度への年齢及び皮膚温の影響 - 職業性暴露作業者の神経機能評価のための基礎研究 -. *産衛誌* 1996 ; **38** : 158-164.
 - 15) 永木讓治. 神経伝導検査の正常値. *脳波と筋電図* 1984 ; **12** : 144-152.
 - 16) Konishi H. Motor nerve conduction studies in the median and ulnar nerves in old adults over 80 years of age. *日本整形外科学会雑誌* 1982 ; **56** : 305-320.
 - 17) 紀田康雄, 深田智子, 片岡浩子, 他. 生理検査部の技術評価 (第一報) 神経伝導速度の日差変動及び技師間の変動について. *京都医学会雑誌* 1998 ; **45** : 101-104.
 - 18) 園生雅弘, 桑原 聡, 川上真吾, 他. 感覚神経伝導検査の方法の施設間差 : アンケートによる検討. *臨床神経生理学* 2008 ; **36** : 624-632.
 - 19) 岡 知珠, 高田和夫, 前川 清, 他. 末梢神経伝導検査 : 近畿大学医学部附属病院における参考基準値の設定と病態診断への貢献. *近畿大医誌* 2010 ; **35** : 117-124.
 - 20) 三澤園子, 馬場正之. 神経伝導検査 : 原理と基本 日本臨床神経生理学会 筋末梢神経電気診断技術向上委員会認定委員会編. *モノグラフ 神経筋電気診断を基礎から学ぶ人のために*, 東京, 一般財団法人学会誌刊行センター, 2013 : 7-12.
 - 21) 堀 浩. 末梢神経伝導速度の測定. 堀浩著. *筋電図の手引き* 東京, 南山堂, 1981, 91~102.
 - 22) 片山雅史. 誘発筋電図各論 (F波など後期応答). 松浦雅人編. *臨床神経生理検査の実際*, 東京, 新興医学出版社, 2007, 251-257.
 - 23) 長谷川 修, 松本竣介, 権藤学司, 他. 簡素化した改訂多発神経障害指数 (PNI-R) *脳神経* 2001 ; **53** : 259-263.
 - 24) 木村 淳, 幸原伸夫. 神経伝導検査の実際. 木村 淳, 幸原伸夫著 *神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために* 第2版, 東京, 医学書院, 2010, 108.
 - 25) 馬場正之. 上肢の伝導検査. 園生雅弘, 馬場正之編. *神経筋電気診断の実際*, 東京, 星和書店, 2004, 9-16.
 - 26) 黒野明日嗣, 有村公良, 有村由美子, 他. A waveとは何か. 園生雅弘, 馬場正之編. *神経筋電気診断の実際*, 東京, 星和書店, 2004, 47-51.
 - 27) Buschbacher RM. Body mass index effect on common nerve conduction study measurements. *Muscle Nerve* 1998 ; **21** : 1398-1404.
 - 28) Bolton CF, Carter KM. Human sensory nerve compound action potential amplitude : variation with sex and finger circumference. *J Neurol Neurosurg Psych* 1980 ; **43** : 925-928.
 - 29) 長谷川 修, 奈良優貴子, 松本俊介, 他. リング電極から記録した感覚神経活動電位と指周囲径との関係. *脳波と筋電図* 1996 ; **24** : 11-15.
 - 30) 橋本修治, 幸原伸夫. 臨床における電位記録 - 活動電位と脳電位 5. 皮膚温による複合活動神経活動電位の波形変化. 橋本修治, 幸原伸夫 *臨床電気神経生理学の基本*, 東京, 診断と治療社, 2013, 156-158.
 - 31) Louis AA, Hotson JR. Regional cooling of human nerve and slowed Na⁺ inactivation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986 ; **63** : 371-375.
 - 32) Rivner MH, Swift TR, Crout BO, et al. Toward more rational nerve conduction interpretations : the effect of height. *Muscle Nerve* 1990 ; **13** : 232-239.
 - 33) Ludin HP, Bayeler F. Temperature dependence of normal sensory nerve action potentials. *J Neurol* 1977 ; **216** : 173-180.
 - 34) Halar EM, DeLisa JA, Soine TL. Nerve conduction studies in upper extremities : skin temperature corrections. *Arch Phys Med Rehabil* 1983 ; **64** : 412-416.
 - 35) 桑原 聡. 末梢神経伝導検査総論 : 理論と実際. 松浦雅人編 *臨床神経生理検査の実際*, 東京, 新興医学出版社, 2007, 246-250.
 - 36) 馬場正之, 金春玉, 沈正男. 本邦健康成人にみられる腓骨神経A波について. *臨床脳波* 2007 ; 49 : 369-372.
 - 37) Roos MR, Rice CL, Vandervoort AA. Age-related changes in motor unit function. *Muscle Nerve* 1997 ; **20** : 679-690.
 - 38) Campbell MJ, McComas AJ, Petito F. Physiological changes in aging muscles. *J Neurol Neurosurg Psych* 1973 ; **36** : 174-182.
 - 39) Tohgi H, Tsukagoshi H, Toyokura Y. Quantitative changes in normal sural nerves. *Acta Neuropath* 1977 ;

- 38 : 213-220.
- 40) 長谷川 修, 小宮山 純, 栗田竜子, 他. 正中神経活動電位の加齢変化—*intranural neurography*による検討—. *臨床神経* 1993 ; **33** : 1055-1058
- 41) Peioglou-Harmoussi S, Fawcett PRW, Howell D, et al. F-responses : a study of frequency, shape and amplitude characteristics in healthy control subjects. *J Neurol Neurosurg Psyc* 1985 ; **48** : 1152-1158.
- 42) Buschbacher RM. Median nerve motor conduction to the abductor brevis. *Am J Phys Med Rehabil* 1999 ; **78** : S1-8.
- 43) Letz R, Gerr F. Covariates of human peripheral nerve function : I. Nerve conduction velocity and amplitude. *Neurotoxicol Teratol* 1994 ; **16** : 95-104.
- 44) Zappia M, Valentino P, Marchello LP, et al. F-wave normative studies in different nerves of healthy subjects. *Electromyog Clin Neurophysiol*, 1993 ; **89** : 67-72.
- 45) Leis AA, Schenk MP. Tibial Nerve, Tibial F-wave, F-wave measurements and normal values. Leis AA, Schenk MP. *Atlas of Nerve Conduction Studies and Electromyography*, New York, USA, Oxford University Press 2013, 190.
- 46) Hennesey WJ, Frank JE, Goldberg G, et al. Gender and arm length : influence on nerve conduction parameters in the upper limb. *Arch PhysMed Rehabil*, 1994 ; **75** : 265-269.
- 47) Puksa I, Stålberg E, Falck B. Reference values of F wave parameters in healthy subjects. *Clin Neurophysiol* 2003 ; **114** : 1079-1090.
- 48) 長谷川 修, 河崎さつき, 川崎菜子, 他. 神経伝導検査で得られる活動電位振幅の男女差. *臨床脳波* 2008 ; **50** : 745-748.
- 49) 長谷川 修, 権藤学司, 和田修美, 他. 正中神経および尺骨神経活動電位振幅の男女差—健常者と糖尿病患者での比較—. *神経内科* 2002 ; **56** : 441-445.
- 50) 馬場正之. 軸索変性型ニューロパチーの神経伝導検査. 園生雅弘, 馬場正之編. *神経筋電気診断の実際*, 東京, 星和書店, 2004, 41-46.
- 51) Andersen H, Stålberg E, Falck B. F-wave latency, the most sensitive nerve conduction parameter in patient with diabetes mellitus. *Muscle Nerve* 1997 ; **20** : 1296-1302.
- 52) Kohara N, Kimura J, Kaji R, et al. F-wave latency serves as the most reproducible measure in nerve conduction studies of diabetic polyneuropathy : multicenter analysis in healthy subjects and patients with diabetic polyneuropathy. *Diabetologia* 2000 ; **43** : 915-921
- 53) Fierro B, Modica A, D'Arpa, et al. Analysis of F-wave in metabolic neuropathies : a comparative study in uremic and diabetic patients. *Acta Neurol Scand* 1987 ; **75** : 179-85
- 54) 木村 淳, 幸原伸夫. 遅発電位とその臨床的意義 — F波, H波, A波について. 木村 淳, 幸原伸夫著. *神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために第2版*, 東京, 医学書院, 2010, 90-107.
- 55) 柏森良二. 後期応答. 柏森良二著. *神経伝導検査テキスト*, 東京, 医歯薬出版株式会社, 2012, 43-47.

Determination of reference ranges for nerve conduction studies : Influence of age, height and gender

Yanagida H¹, Ando A², Kenta O², Nagasaka S^{2,3}, Ishibashi S², Kotani K^{1,4,5}, Hasegawa O⁶, Taniguchi N^{1,4}

¹Clinical Laboratory Department, Jichi Medical University Hospital, Tochigi, Japan

²Division of Endocrinology and Metabolism, Department of Internal Medicine, Jichi Medical University, Tochigi, Japan

³Division of Diabetes, Metabolism and Endocrinology, Department of Internal Medicine, Showa University Fujigaoka Hospital, Kanagawa, Japan

⁴Department of Laboratory Medicine, Jichi Medical University, Tochigi, Japan

⁵Centre for Community Medicine, Division of Community and Family Medicine, Tochigi, Japan

⁶Department of General Medicine, Yokohama City University Medical Center, Kanagawa, Japan

Abstract

It is recommended that each institute determine a reference range for variables of nerve conduction electrophysiological tests, because they can vary from one institute to another. We performed nerve conduction studies in 51 healthy volunteers and obtained normative results for the latency, amplitude, duration and nerve conduction velocity of M waves, and several F-wave parameters. As age, height and gender can influence the test results, their effects on various parameters were examined. Age negatively correlated with the amplitude of the response from both the upper and lower limbs. Height negatively correlated with the amplitude of the response from sensory nerves, and positively correlated with the amplitude and latency of the response from motor nerves. Height also positively correlated with F-wave minimum latency (correlation coefficient : median nerve : 0.79, tibial nerve : 0.78), F-wave mean latency (correlation coefficient : median nerve : 0.76, tibial nerve : 0.72), F-wave maximum latency (correlation coefficient : median nerve : 0.66, tibial nerve : 0.64), and with the F-ratio of the median nerve. Gender had effects on several nerve conduction parameters due to the height and anatomical differences between men and women. In conclusion, the current results, showing reference ranges for the amplitude, latency and duration of nerve conduction responses in the body, will enable us to precisely evaluate impairments in axonal function and demyelination-related changes, although it is important to consider the influence of age, height and gender on these test values.

(Key words : aging, height, F-wave, gender, nerve conduction studies)