

随意収縮法の応用による正常人各種 骨格筋の誘発筋電図学的研究

金沢大学大学院医学研究科整形外科科学講座(主任 高瀬武平教授)

手 井 喜 久 男

(昭和36年1月20日受付)

本論文の要旨は昭和34年6月5日昭和34年度誘発筋電図協議会、並びに
昭和34年6月7日第12回日本筋電図学会において発表した。

本論文は文部省科学研究費の援助を受けた。記して謝意を表す—— 高瀬

Hoffmann (1918)¹⁹⁾ は人間を対象として、筋支配神経に経皮的に電気刺激を加えて、支配筋の収縮から脊髓反射を検討する方法を記載した。Magladery (1950)³²⁾³³⁾³⁴⁾³⁵⁾ は Hoffmann の研究に基き、一連の基礎的臨床的研究を行い、誘発筋電図の基礎を確立した。本邦では藤森 (1956)⁹⁾、本間 (伊) (1956)¹⁷⁾、山崎 (1956)⁴⁸⁾、島村、川西 (1957)⁴⁴⁾、川西 (1957)²⁸⁾、三輪 (1958)⁴¹⁾、松野 (1958)⁴⁰⁾ 等は誘発筋電図を臨床例に応用した報告を発表している。

従来の誘発筋電図検査法により導出される Magladery の所謂 H 波 (以下単に H 波という) は、人間の腓腹筋には容易に検出されるが、他の筋群には検出し難いか、或いは全く検出されない。従つて前述の内外諸家の誘発筋電図の研究も腓腹筋に限定されている。この事実は脊髓の各横断部位における脊髓反射の研究並びに身体各部における臨床診断学的応用を著しく制限するものである。

我々は腓腹筋以外の身体各部の筋群についても H 波出現を確認する方法について実験を重ねた結果、一定条件下の筋において、我々の所謂随意収縮法を誘発筋電図検査法に応用することにより⁴⁹⁾、比較的容易にしかも著明に H 波を確認し得る事実を発見した。この事実を利用することにより、従来 H 波が確認し難いとされていた各種の筋群についても、H 波を容易に且つ明確に記録し得るに至つた。

検 索 方 法

筋支配神経に経皮的に電気刺激を加え、その結果惹起される被検筋の収縮を筋電図検査法により観察し

た。

〔刺激方法〕 被検筋の支配神経に対する電気刺激は、その支配神経が皮膚に最も近接し、筋収縮に最も効果的な刺激点を選んで、経皮的に行つた。各被検筋の刺激点は第1表に示した。

刺激電極として直径約 1 cm の円形銀板と、8 cm × 4 cm の大きさの不関電極を使用した。刺激装置は日本光電製の Isolated output stimulator を使用し、刺激波形は 1 msec 陰性矩形波を用い、繰返し周波数は 0.5~1.0 c/s とした。

〔誘導方法〕 筋電図の誘導には直径約 1 cm の円形銀板に電極糊を塗布した表面電極 2 個を使用し、これを経皮的に被検筋の筋腹中央に筋の方向と平行して、約 5 cm 間隔で密着させた。更にこの誘導電極と刺激電極との間にアース電極を置き、筋活動電位を Push-Pull にて誘導し、刺激電圧による artefact 混入を極力防止することにした。筋電図装置は三栄測器製筋電計を使用し、刺激装置と同期せしめた。波形の撮影にはブラウン管映像を 35mm Xray 間接撮影用フィルムに記録した。

〔重複撮影法〕 被検者の中に、時には H 波の変動の著しい人があり、このような症例には H 波の識別は只一回の掃引だけでは困難であつたため、シャッターの露光時間を延長し、十回前後の掃引を重複して撮影した。又最大限に筋の随意収縮を命じた時の H 波の記録に際しては、その性質上 H 波振幅の動揺性が相当程度認められること、及び筋の活動電位が H 波類似の波形を示すことがあり得るので、特にこの重複撮影法を採用して検討を加えた。

Evoked EMG Potentials as Modified by Voluntary Contraction. Studies in Normal Subjects.
Kikuo Tei, Department of Orthopaedic Surgery (Director; Prof. B. Takase), School of Medicine, University of Kanazawa.

第1表 各被検筋の支配神経、脊髓髄節、刺戟点、症例数一覧表

被 検 筋	支 配 神 経	脊 髓 髄 節	刺 戟 点	例 数
大 頰 骨 筋	顔 面 神 経	脳 神 経	耳 垂 前 下 部	22
僧 帽 筋	副 神 経 及 び 頸 神 経 叢 筋 枝	脳 神 経 及 C ₁ - C ₄	第 2, 3 頸 椎 外 側 部	5
三 角 筋	腋 窩 神 経	C ₄ - C ₆	肩 部 後 下 部	5
上 腕 二 頭 筋	筋 皮 神 経	C ₅ - C ₆	腋 窩 前 部	13
上 腕 三 頭 筋	橈 骨 神 経	C ₆ - C ₈	腋 窩 後 部	13
橈 側 手 根 伸 筋	橈 骨 神 経	C ₆ - C ₇	上 腕 外 側 部 4 遠 位 端	40
尺 側 手 根 伸 筋		C ₇ - C ₈		2
総 指 伸 筋		C ₆ - C ₈		2
橈 側 手 根 屈 筋	正 中 神 経	C ₆ - C ₈	前 肘 部 肘 窩 中 央	17
尺 側 手 根 屈 筋	尺 骨 神 経	C ₇ - C ₈	肘 部 内 上 髁, 尺 骨 々 頭 間	34
小 指 外 転 筋	//	C ₈ - Th ₁		5
腹 直 筋	第 9 肋 間 神 経	Th ₉	第 9, 10 肋 間 腋 窩 線 上	20
大 臀 筋	下 臀 神 経	L ₅ - S ₂	坐 骨 結 節 の 外 上 方	5
大 腿 直 筋	大 腿 神 経	L ₂ - L ₄	鼠 蹊 韌 帯 下 大 腿 動 脈 膊 動 部 外 側	70
縫 工 筋	//	L ₁ - L ₃	同 上 部 より 更 に 稍 々 外 側	6
大 腿 二 頭 筋	短 頭 腓 骨 神 経 長 頭 脛 骨 神 経	S ₁ - S ₂ L ₅ - S ₂	臀 部 坐 骨 結 節 と 大 転 子 間 中 央	10
前 脛 骨 筋	深 腓 骨 神 経	L ₄ - L ₅	腓 骨 小 頭 部 稍 々 上 内 方	90
長 腓 骨 筋	浅 腓 骨 神 経	L ₅ - S ₁	同 上 部 より 僅 か に 外 側	6
腓 腹 筋	脛 骨 神 経	S ₁ - S ₂	膝 臑 窩 中 央 部	96

〔安静時〕被検者がシールドルーム内の寝台に安静臥床し、被検筋の完全弛緩せる状態を安静時と定義した。

〔最大随意収縮時〕被検者が被検筋に可及的最大の随意収縮を行つた状態を最大随意収縮時と定義した。随意収縮運動は Daniels³⁾ の Muscle Testing の方法に従つた。

高瀬等 (1959)⁴⁾、によれば随意収縮法を応用して H 波を著明に検出しているが、随意収縮の強度により H 波振幅に差を生ずる (第 1 図)。

即ち同図最上段では安静時において H 波が小さく検出されている。第 2 段は軽度の随意収縮時、第 3 段は中等度の随意収縮時、最下段は最大随意収縮時の場合における H 波の振幅増加の実例を示す。H 波の振幅は随意収縮の強さにより著明に増大することが分る。即ち最大随意収縮時では随意収縮のうちでも最も大きい振幅の H 波が得られる。

H 波 確 認 方 法

記録された波形が H 波であるか否かを確認する方法として、第 5 章第 5 節に述べる脊髓反射伝達恢復曲線に見られる不応期を利用した。即ち安静時において、腓腹筋では約 20~80 msec の不応期が存在する³⁵⁾⁴¹⁾。この事実は腓腹筋以外の筋群においても同様な不応期

の存在を推定せしめるものであり、従つて我々は安静時において約 20~80 msec 間隔の二重刺戟により消失する波形を H 波と見做した。一方最大随意収縮時における脊髓反射伝達恢復曲線の不応期は、我々の実験では約 20~40 msec である所から、最大随意収縮時には約 20~40 msec の間隔の二重刺戟により消失する波形を H 波と見做した。

第 2 図は安静時における H 波確認方法を示す。即ち第 2 図上段は最初の前置刺戟による筋活動電位を示し、M 波と H 波が記録されている。しかるに第 2 図下段は試験刺戟による筋活動電位を示し、前置刺戟と試験刺戟の間隔を 50 msec としたために、H 波が不応期に入つて消失し、M 波のみ記録されている。従つて両者を比較すれば容易に H 波を識別し得る。

第 3 図は最大随意収縮時における H 波確認方法を示したものであり、第 3 図上段では最初の前置刺戟で M 波と H 波が記録されている。しかるに同図下段では前置刺戟と試験刺戟との間隔を 30 msec としたため、H 波が不応期に入つて消失し、M 波のみ記録されている。

安静時、最大随意収縮時共に、二重刺戟の刺戟間隔を 100~150 msec とすることにより、H 波は再現する。

検 索 対 象

検索対象は当科外来患者並びに入院患者のうち、神経系、筋系に全く障害が無いと認められる正常成人の他に、教室員、学生、看護婦等の正常健康成人を選んだ。我々はこの正常成人の刺激誘導可能な骨格筋を普く精査し、安静時、並びに最大随意収縮時の誘発筋電図を記録した。

我々が検索した被検筋の症例数、支配神経、脊髄神経節、並びに刺激点を第1表に示した。

検 索 成 績

我々は刺激誘導の可能な全身の各種骨格筋について、随意収縮時には如何にH波が検出されるかを安静時の場合と比較しながら、H波の検出型式、H波の検出率、M波H波の最大振幅比、M波H波の閾値比、潜時、脊髄反射伝達恢復曲線について測定し、次の成績を得た。

1. H波の検出型式並びにH波検出率

前記方法にて筋支配神経に電気刺激を加えて、被検筋から誘発筋電図を導出してみると、M波とH波は夫々の閾値の相互の関係から四型式に分類される。我々はこのH波検出型式をm型、h型、s型、l型と名付け、第4図に各検出型式を模式図で示した。

「m型」刺激電圧を上昇させると、M波のみ検出され、H波は検出されない型式である。従つて厳密な意味からはH波検出型式に含められない。

「h型」H波の閾値がM波の閾値よりも高い場合で、刺激電圧を漸次上昇させて行くと、刺激電圧の低い時にはM波が先ず検出され、更に刺激電圧を高めるとH波が検出され刺激電圧を最大にするとH波は却つて消失し、M波のみ残る型式である。

「s型」h型とl型の移行型で、H波とM波の閾値が殆んど同一で、H波とM波が同一刺激電圧で検出され、刺激電圧を最大にすると、H波は消失し、M波のみ検出される型式である。

「l型」H波の閾値がM波の閾値よりも低い場合で、刺激電圧を漸次上昇させると、刺激電圧の低い所ではH波が先ず検出され、更に刺激電圧を上昇させるとM波が検出され、刺激電圧を最大にするとH波は消失して、M波のみ検出される型式である。

次に刺激誘導の可能な全身の各種骨格筋について、H波検索結果を記載する。

刺激誘導が極めて容易で、最大随意収縮時にH波が良く検出される被検筋、即ち腓腹筋、前脛骨筋、大腿直筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋の

第2表 腓腹筋のH波検出型式
並びにH波検出率

		安 静 時	最大随意収縮時
m 型		0 例 (0%)	0 例 (0%)
h 型	H 波 検 出	4 例 (4%)	0 例 (0%)
s 型		7 例 (7.5%)	4 例 (4%)
l 型		85例 (88.5%)	92例 (96%)
H波検出率		96例 (100%)	96例 (100%)

六被検筋については、特に症例数を増加して安静時と最大随意収縮時におけるH波検出型式、H波検出率を求めた。

(1) 腓腹筋。(第2表)

腓腹筋は安静時でも最大随意収縮時と同じくH波の検出率100%であり、随意収縮の効果はH波検出率では判定し難い。H波検出型式では安静時l型が88.5%であつたものが、最大随意収縮時では96%と増加を示した。即ち正常腓腹筋では安静時、最大随意収縮時を通じてH波は全例検出され、大多数にl型のH波が検出されるといふ得る。

腓腹筋のH波検出例の1例を、安静時第5図、最大随意収縮時第6図に示した。両図共にl型のH波が検出されているが、最大随意収縮時ではH波の振幅が、安静時の場合よりも著明に増大していることを認め得る。

(2) 前脛骨筋。(第3表)

前脛骨筋では安静時においてH波検出率が22%であつたものが、最大随意収縮時では99%と著明に増加した。H波検出型式では安静時m型が78%、h型が22%であつたものが、最大随意収縮時ではl型が83.5%を示した。

前脛骨筋のH波検索例の1例を、安静時第7図、最大随意収縮時第8図に示した。安静時ではH波が検出されていないが、最大随意収縮時では著明にH波が検出されている。

第3表 前脛骨筋のH波検出型式
並びにH波検出率

		安 静 時	最大随意収縮時
m 型		70例 (78%)	1 例 (1%)
h 型	H波 検出	20例 (22%)	10例 (11%)
s 型		0 例 (0%)	4 例 (4.5%)
l 型		0 例 (0%)	75例 (83.5%)
H波検出率		20例 (22%)	89例 (99%)

(3) 長腓骨筋.

6例の検索ではあるが、安静時5例がm型、1例がh型のH波検出型式を示したが、最大随意収縮時では6例共1型のH波検出型式を示した。

(4) 大腿直筋. (第4表)

大腿直筋ではH波検出率は安静時77%であつたが、最大随意収縮時では99%に検出された。H波検出型式は安静時ではm型、h型、s型、l型の各型式を示したが、最大随意収縮時では1型が89%を示した。

第4表 大腿直筋のH波検出型式
並びにH波検出率

	安 静 時	最大随意収縮時
m 型	16例 (23%)	1例 (1%)
h 型	13例 (19%)	3例 (4%)
s 型	8例 (11%)	4例 (6%)
l 型	33例 (47%)	62例 (89%)
H波検出率	54例 (77%)	69例 (99%)

大腿直筋のH波検出例の1例を第9図に安静時、第10図に最大随意収縮時の場合を示した。両図共に1型H波検出例であるが、最大随意収縮時ではH波の振幅が安静時よりも増大している。

(5) 縫工筋.

大腿直筋と同様に大腿神経支配である所から、詳細な追求は大腿直筋で代表した。6例の検索では、安静時3例にh型検出型式を示したが、最大随意収縮時では、全例に1型のH波検出型式を示した。

(6) 大腿二頭筋.

大腿二頭筋は10例についてH波検索を試みたが、支配神経である坐骨神経の分枝脛骨神経並びに腓骨神経が大なる皮下脂肪層、筋層の深層を走行しているために、適確な刺激効果を与え難く、H波検出困難な筋群であつた。しかし比較的痩身に皮下脂肪層の薄い被検者において、1例H波の検出に成功した。

大腿二頭筋のH波検出例を安静時第11図、最大随意収縮時第12図に示す。これはH波確認方法として前述した如く、安静時 50 msec 間隔、最大随意収縮時 20~40 msec 間隔の二重刺激法により消失すること、潜時の位置からみて、明らかにH波であると確認する。

(7) 大臀筋.

筋層、皮下脂肪層が厚く、更に支配神経の下臀神経はその深層を走り、適確な刺激を与えられず、H波は全く検出し得なかつた。

(8) 腹直筋.

腹直筋20例にH波検索を試みた結果、刺激点は第

9、10肋間の前腋窩線上で、第9肋間神経を刺激した場合に、最も効果的な筋収縮を得たが、H波は検出困難であつた。全例中1例において最大随意収縮時にH波の検出に成功した。第13図に腹直筋におけるH波検出成功例を示す。即ち安静時M波のみ検出されているが、最大随意収縮時にはM波と共に潜時 15 msec の所にH波が検出されている。30 msec 間隔の二重刺激でこの波形が消失すること、刺激電圧の最大時には減少消失してM波のみとなること、潜時の位置等から、H波であると確認した。

(9) 橈側手根伸筋. (第5表)

橈側手根伸筋の安静時では、H波検出率は22%であつたが、最大随意収縮時では100%のH波検出率を示した。H波検出型式は安静時では78%がm型で、17%がh型を示したが、最大随意収縮時では1型が70%、h型が10%、s型が20%を示した。

第5表 橈側手根伸筋のH波検出型式
並びにH波検出率

	安 静 時	最大随意収縮時
m 型	31例 (78%)	0例 (0%)
h 型	7例 (17%)	4例 (10%)
s 型	1例 (2.5%)	8例 (20%)
l 型	1例 (2.5%)	28例 (70%)
H波検出率	9例 (22%)	40例 (100%)

橈側手根伸筋のH波検出例の1例を安静時第14図、最大随意収縮時第15図に示した。即ち安静時にはM波のみ検出されているが、最大随意収縮時にはs型のH波が検出されている。

(10) 尺側手根伸筋. 総指伸筋.

これらの筋は橈側手根伸筋と共に橈骨神経支配であり、橈骨神経を第1表の刺激点で刺激すると三者同時に収縮するので、三者を区別して刺激誘導することは困難である。刺激点は共通だが、誘導を夫々の筋の筋腹上に施行することによりH波検索を行つた。各2例のH波検索結果は安静時にはM波のみ検出されたが、最大随意収縮時には1型のH波を検出し得た。

(11) 橈側手根屈筋. (第6表)

橈側手根屈筋の安静時では、H波検出率は41%であつたが、最大随意収縮時には100%となつた。H波検出型式は安静時にはm型が59%で、h型が29%、s型が12%を示したが、最大随意収縮時には1型が65%でs型が29%、h型が6%を示した。

橈側手根屈筋のH波検出例の1例を、安静時第16図、最大随意収縮時第17図に示す。即ち安静時にはh

第6表 橈側手根屈筋のH波検出型式
並びにH波検出率

		安 静 時		最大随意収縮時	
m 型		10例	(59%)	0 例	(0%)
h 型	H 波 検 出	5 例	(29%)	1 例	(6%)
s 型		2 例	(12%)	5 例	(29%)
l 型		0 例	(0%)	11例	(65%)
H波検出率		7 例	(41%)	17例	(100%)

型のH波が検出され、最大随意収縮時ではs型のH波が検出されている。

(12) 尺側手根屈筋 (第7表)

尺側手根屈筋の安静時では、H波検出率は36%であつたが、最大随意収縮時では94%と増加した。H波検出形式では安静時では64% m型で、h型が36%を示したが、最大随意収縮時ではh型が47%、s型が18%、l型が29%の各種検出型式を示した。

第7表 尺側手根屈筋のH波検出型式
並びにH波検出率

		安 静 時		最大随意収縮時	
m 型		22例	(64%)	2 例	(6%)
h 型	H 波 検 出	12例	(36%)	16例	(47%)
s 型		0 例	(0%)	6 例	(18%)
l 型		0 例	(0%)	10例	(29%)
H波検出率		12例	(36%)	32例	(94%)

尺側手根屈筋のH波検出例の1例を安静時第18図に、最大随意収縮時第19図に示した。即ち安静時ではH波は検出されていないが、最大随意収縮時ではH波が検出されている。

(13) 小指外転筋

尺側手根屈筋と同じく尺骨神経支配であり、尺骨神経支配下の筋は尺側手根屈筋で代表させることとしたため、小指外転筋の症例数は少ないが、5例のH波検出結果では、安静時では2例にh型のH波が検出され、最大随意収縮時では5例共にH波が検出され、l型4例、h型1例であつた。

(14) 上腕三頭筋

支配神経である橈骨神経を腋窩後部に刺戟すると最も効果的な筋収縮を得たが、刺戟位置が少しでもずれると、隣接の他の神経が同時に刺戟され易いため、及びM波、H波の潜時が接近するため、H波の識別困難な筋群であつた。13例の検索中1例において、最大随意収縮時にM波に引続きH波を識別し得た。

上腕三頭筋のH波識別成功例の安静時を第20図に、最大随意収縮時を第21図に示す。即ち安静時にはM波のみしか検出されていないが、最大随意収縮時にはM波と一部重なりながら、潜時11.5 msecの位置にH波が検出されている。検出された波形が11.5 msecの潜時であること、刺戟電圧を上昇させると、この波形は消失すること、30 msec 間隔の二重刺戟により消失することによりH波であると確認し得る。

(15) 上腕三頭筋

13例について検索を試みたが、H波は確認し得なかつた。前記上腕三頭筋と同様にH波の検出並びに識別困難な筋であり、今後H波検出方法に一層の検討を要するものである。

上腕二頭筋のH波検出例の1例を第22図に示す。安静時、最大随意収縮時共にM波のみ検出されている。

(16) 三角筋

三角筋は刺戟点の選定が極めて困難であつた。安静時に適切な刺戟点を見出し得ても、随意収縮時には関係位置がずれるために、適切な刺戟効果を与えられない欠点がある。安静時、最大随意収縮時を通じて適切な刺戟効果を与え得た例は5例であるが、M波のみ検出されて、H波は検出され得なかつた。三角筋は脊髓に近接する筋であり、H波の潜時がM波の潜時と接近するために、H波の識別困難を招来するものと考えられる。

三角筋のH波検出例の1例を第23図に示す。安静時、最大随意収縮時共にM波のみ検出されて、H波は検出されていない。

(17) 僧帽筋

僧帽筋は刺戟点の選定が極めて困難であつた。第1表の刺戟点で刺戟することにより、僧帽筋の筋収縮を得たが、検出された波形はM波のみであつた。僧帽筋は脊髓に極めて近接する筋であることから潜時的にはH波検出困難なるものと考えられる。

僧帽筋のH波検出例の1例を第24図に示す。安静時、最大随意収縮時共にM波のみ検出されて、H波は検出されていない。

(18) 顔面筋群 (大頬骨筋、眼輪筋、前頭筋等)

顔面神経支配下の顔面筋群は耳垂前下部で刺戟を加えることにより、同時に個々の筋の筋収縮を得るが、個々の筋より誘導してH波検出を試みたが、H波は識別し得なかつた。

大頬骨筋のH波検出例の1例を第25図に示す。安静時、最大随意収縮時共にM波のみ検出されているが、H波は検出されていない。

以上我々は全身の刺戟誘導の可能な各種骨格筋の誘

第8表 各被検筋のH波検出型式の総括一覧表

筋 種 名	安 静 時	最大随意収縮時
腓腹筋	H波は全例検出される。 l型か、稀にs型。	H波は全例検出される。 l型。
大腿直筋及び縫工筋等の協同筋	H波は良く検出される。 各種型を呈する。	H波は殆んど全例検出される。 l型か、稀にs型、h型。
前脛骨筋、橈側手根伸筋、 橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、 及びこれらの協同筋	H波は検出し難いが、稀に 検出される。 m型か、稀にh型、s型。	H波は殆んど全例検出される。 l型、稀にs型、h型。
大腿二頭筋、上腕三頭筋、 腹直筋	H波は検出し難いが、極く 稀に識別し得る。	H波は検出し難いが、稀に 識別し得る。
大臀筋、上腕二頭筋、三角筋、 僧帽筋、顔面筋等	H波は検出されない。	H波は検出されない。

第9表 代表的被検筋のH波検出率

筋 種 名	安 静 時	最大随意収縮時
腓 腹 筋	100%	100%
前 脛 骨 筋	22%	99%
大 腿 直 筋	77%	99%
橈側手根伸筋	22%	100%
橈側手根屈筋	41%	100%
尺側手根屈筋	36%	94%

発筋電図について、最大随意収縮時では安静時よりもH波は比較的良好に検出されることを確認した。第8表には各種骨格筋のH波検出型式の総括表を、第9表に代表的被検筋のH波検出率を表示した。

2. M波、H波の最大振幅比

我々はH波検出状態を数量的に表現する目的でM波、H波の最大振幅を測定した。検索対象には刺激誘導が容易で、最大随意収縮時には確実にH波が検出される被検筋、即ち腓腹筋、大腿直筋、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋の六筋を代表的被検筋として選定した。

M波、H波は夫々最大振幅を示す時期がある。M波は刺激電圧を漸次上昇させると次第に振幅を増し、或る最大値に達すれば、それ以上は如何に刺激電圧を上昇させても値が変わらない。一方H波は或る最大値に達した後は、M波の増大とは逆に次第に振幅が減少し、遂には消失する。この事実は既に第一節に記載した。このM波並びにH波の夫々の単独の最大振幅の絶対値は個人差著しく、個々の絶対値からH波の振幅増加程度を比較することは出来ないが、M波の最大振幅に対するH波の最大振幅の比を求めることにより、H波の振幅増加程度を数量的に表現するものと考え、安静時並びに最大随意収縮時のM波、H波の最大振幅比を夫

第10表 腓腹筋のH/M最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0 ~ 0.09	3例	0例
0.10 ~ 0.19	35例	15例
0.20 ~ 0.29	14例	16例
0.30 ~ 0.39	0例	17例
0.40 ~ 0.49	0例	4例
平 均 値	0.153	0.303

第11表 大腿直筋のH/M最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0	6例	0例
0.01 ~ 0.09	7例	0例
0.10 ~ 0.19	19例	4例
0.20 ~ 0.29	6例	16例
0.30 ~ 0.39	0例	15例
0.40 ~ 0.49	0例	3例
平 均 値	0.109	0.266

第12表 前脛骨筋のH/M最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0	59例	1例
0.01 ~ 0.09	18例	6例
0.10 ~ 0.19	0例	25例
0.20 ~ 0.29	0例	29例
0.30 ~ 0.39	0例	16例
平 均 値	0.021	0.224

々測定した。以下第10表から第15表まで、H/M最大振幅比の各被検筋の測定値を安静時、最大随意収縮時に分けて表示した。

第13表 橈側手根伸筋の H/M 最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0	28例	0例
0.01 ~ 0.09	6例	3例
0.10 ~ 0.19	1例	11例
0.20 ~ 0.29	0例	16例
0.30 ~ 0.39	0例	5例
平 均 値	0.028	0.224

第14表 橈側手根屈筋の H/M 最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0	10例	0例
0.01 ~ 0.09	5例	1例
0.10 ~ 0.19	2例	5例
0.20 ~ 0.29	0例	8例
0.30 ~ 0.39	0例	3例
平 均 値	0.034	0.206

第15表 尺側手根屈筋の H/M 最大振幅比

H/M最大振幅比	安 静 時	最大随意収縮時
0	19例	1例
0.01 ~ 0.09	9例	4例
0.10 ~ 0.19	0例	12例
0.20 ~ 0.29	0例	6例
0.30 ~ 0.39	0例	5例
平 均 値	0.021	0.181

第16表 各被検筋の H/M 最大振幅比総括表

	安 静 時		最大随意収縮時	
	正常範囲	平均値	正常範囲	平均値
腓 腹 筋	0~0.30	0.153	0.10~0.50	0.303
大 腿 直 筋	0~0.30	0.109	0.10~0.50	0.266
前 脛 骨 筋	0~0.10	0.021	0 ~0.40	0.224
橈側手根伸筋	0~0.20	0.028	0 ~0.40	0.224
橈側手根屈筋	0~0.20	0.038	0 ~0.40	0.206
尺側手根屈筋	0~0.10	0.021	0 ~0.40	0.181

各被検筋のこれらの測定値を図表化すれば、第26図より第31図を得る。即ち各例共安静時に比して最大随意収縮時ではH波の最大振幅が増大している事実を認める。

正常各被検筋の最大振幅比を第16表に総括表示した。

3. M波、H波の閾値比、興奮比

次に最大随意収縮時と安静時におけるH波の閾値の変化を考究する目的で、M波とH波の閾値を測定した。

M波とH波は夫々単独の絶対値では個人差があり、単に絶対値のみでH波の閾値の高低を表現し得ない。それ故M波の閾値に対するH波の閾値の比を求めることにより、H波の閾値の変化を数量的に表現し得るものと考え、安静時と最大随意収縮時について、H/M閾値比を測定した。

更に生理学的に閾値の逆数は興奮性を表わすので、H/M閾値比と共に、その逆数 M/H 興奮比を計算した。

検索対象は腓腹筋、大腿直筋、前脛骨筋を選んだ。

各症例の H/M 閾値比、M/H 興奮比（第32図より第34図）を見るに、最大随意収縮時では安静時よりもH/M閾値比が低比を示し、M/H興奮比が高比を示した。即ち最大随意収縮時では安静時よりもH波の閾値が低下し、H波の興奮性が上昇することをうかがい知ることが出来る。

4. M波、H波の潜時

我々は既にH波の検出された各種骨格筋のM波、H波の潜時を測定し、その平均値を算出し、第17表の成績を得た。なお安静時と最大収縮時におけるM波、H波の潜時の変化は認められなかつた。

第17表 各被検筋のM波、H波の潜時（平均値）

	M波の 潜 時 msec	H波の 潜 時 msec	例 数
腓 腹 筋	4.6	30.7	30
前 脛 骨 筋	4.3	29.7	22
大 腿 直 筋	4.2	22.2	14
大 腿 二 頭 筋	4.0	21.5	1
腹 直 筋	4.0	15.0	1
橈側手根伸筋	4.0	20.7	13
橈側手根屈筋	3.6	18.9	8
尺側手根屈筋	3.5	20.0	12
小 指 外 転 筋	7.5	22.6	4
上 腕 三 頭 筋	3.5	11.5	1

第17表によれば、M波の潜時は小指外転筋の 7.5 msec を除けば、各被検筋を通じて 3.5 msec 乃至 4.6 msec の値を示している。これはM波の潜時が被検筋の刺戟点と誘導部位までの距離に關係する故、各被検筋の刺戟点と誘導部位までの距離に差異が少ないことを意味する。小指外転筋は他の被検筋に比して刺戟点と誘導部位が隔っている關係上 7.5 msec を示したも

のと思われる。一方H波の潜時はH波が脊髄反射性の波形であることから、刺戟点と脊髄までの距離が関係する訳であり、脊髄により遠い腓腹筋、前脛骨筋では30.7 msec, 29.7 msec を、脊髄により近い上脛三頭筋では11.5 msec の値を示したものと考える。

5. 脊髄反射伝達恢復曲線

脊髄反射伝達恢復曲線について、Magladery (1955)³⁵⁾、三輪 (1958)⁴¹⁾、等は安静時の腓腹筋について研究している。我々は随意収縮法の応用により、腓腹筋以外の筋群にもH波を検出することが出来たので、随意収縮時の脊髄反射恢復過程を見る目的で該曲線を作図した。

検索方法は二重刺戟法で前置刺戟による脊髄シナプス興奮後の興奮性の恢復過程を、試験刺戟に応答したH波の振幅を指標として求めた。刺戟強度は直達性のM波が検出されない状態で、即ちα運動線維の逆行性神経衝撃を生じない状態で、十分大きいH波の検出されている時の刺戟閾値を用いた。前置刺戟と試験刺戟の刺戟強度は同じくした。刺戟の繰返し周波数は0.5c/sとした。両刺戟間隔を1 msec から1000 msec まで充分細かく刻み、試験刺戟によつて得られたH波の振幅を、前置刺戟によつて得られたH波の振幅に対する百分率として計算し、該曲線を作図した(第35図)。

安静時の該恢復曲線は1型のH波が出現する腓腹筋17例、大腿直筋2例について測定したが、両筋の値には特に大差なく一括して図示した。

他方最大随意収縮時の該恢復曲線は1型のH波が出現する被検筋9例に試みたが、筋の種類による差異はなく、一括して第36図に図示した。

安静時の該恢復曲線(第35図)では、20~80 msec の不応期が存在し、恢復期は120~150 msec であつた。他方最大随意収縮時の該恢復曲線では、第36図の如く、安静時に比して不応期が20~40 msec に短縮し、恢復期も80~100 msec に短縮した。

考 按

人間を対象として筋支配神経に経皮的に電気刺戟を加えて、その支配筋の収縮の活動電位を記録し、これから脊髄反射を検討する方法は、Hoffmann (1918)¹⁰⁾ が最初に記載した。

Magladery³²⁾³³⁾³⁴⁾ は1950年以来 Hoffmann の研究を基礎として、一連の基礎的臨床的研究を行い、1955年に綜説³⁵⁾を発表した。即ち Magladery は人間の腓腹筋におけるM波並びにH波の諸性質を次の如く解明している。即ち脛骨神経に経皮的に電気刺戟を加えた

場合、求心性線維の Group I A fiber は遠心性線維のα運動線維よりも太いから、α運動線維よりも刺戟閾値が低く、従つて低い刺戟電圧ではこの Group I A fiber のみが興奮し、この神経衝撃は脊髄を monosynaptic に迂回し、α運動線維を経て筋に達し、潜時の比較的長いH波を生じる。刺戟電圧を更に上昇させて行くと、Group I A fiber より細いα運動線維も興奮して、筋直達性の潜時の比較的短いM波が現われる。

しかしこのα運動線維の興奮は遠心性に筋に伝えられてM波を起すと共に、逆行性に脊髄方向にも伝えられて、H波を起すべき神経衝撃を前柱細胞或いはそれより末梢側で遮断する結果、M波が大きくなるにつれてH波は逆に減少し、遂には消失すると述べている。藤森 (1956)³⁹⁾ は猫の腓腹筋について、脊髄前柱細胞の興奮性を変える薬物を投与すると、H波の閾値は変化し、特に興奮性を低下させる薬物を投与すると、H波の振幅が減少或いは消失すると報告した。そしてH波は腱反射よりも遙かに鋭敏な前柱細胞の興奮性の指標となり得るとした。ここにおいて誘発筋電図の臨床的応用を目的とする研究が多く発表されるに至り、本間(伊) (1956)¹⁶⁾ は脊髄前角炎、脊髄梅毒、脊髄腫瘍患者について、腓腹筋のH波を観察し、患側肢ではH波の消失、並びに著しい波形の乱れがあると報告した。川西 (1957)²⁷⁾ は人間と猫の腓腹筋についてH波を指標として脊髄通電効果を検討した。島村、川西 (1957)⁴⁴⁾ は猫の腓腹筋について ether, barbiturate 麻酔、並びに myanesyn, strychnin の投与の場合のH波及び Monosynaptic reflex の閾値の時間的経過を観察した。松野 (1958)⁴⁰⁾ は腰椎々間板ヘルニア症においては、腓腹筋のH波の閾値が上昇すると報告した。又 Magladery³⁴⁾³⁵⁾ は脛骨神経に前置刺戟と試験刺戟の二重刺戟を加え、前置刺戟に対する前柱細胞の放電後の興奮性恢復過程を、適当な間隔を置いて与える試験刺戟によつて観察するという方法で、脊髄反射伝達恢復曲線を描き、腱反射亢進症状を示す中枢性運動障害患者の場合、H波が正常人の場合よりも速やかな恢復過程を示すと報告した。三輪 (1958)⁴¹⁾ は同様な脊髄反射伝達恢復曲線を正常人並びに種々の脊髄性疾患について記録した。

上述の内外諸家の業績を見るに、H波の検索対象は全く腓腹筋のみに限定されていることが注目される。Magladery (1955)³⁵⁾ は正常人においては腓腹筋以外に hamstring muscle、大腿内転筋群、大腿四頭筋からもH波を記録することが出来るが、その他の筋群例えば下腿の anterolateral muscle、前腕の伸筋、手足の小筋からはH波を記録することが出来ないと述べて

いる。我々のH波検索結果は第5章に詳述した如く、正常人安静時において、腓腹筋が100%のH波検出率を示し、大腿直筋は77%のH波検出率を示した。しかし前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋及びこれらの筋の協同筋ではH波の検出率は低率であつた。その他の筋群ではH波は全く検出し得なかつた。即ち従来の内外諸家のH波検索対象が腓腹筋のみであるのは腓腹筋以外の筋群はH波が検出し難いか、或いは全く検出し得ないことによるものと考えられる。H波が腓腹筋にのみ確実に検出されるが、他の筋群では検出し難いか、検出し得ないことは、広範囲にわたる脊髓反射を検討することが出来ない点で、誘発筋電図の臨床診断への応用を著しく制限するものであつた。我々はこの点に着眼して、全身の各種骨格筋についてH波の検索を試みていた所、被検筋を随意収縮させることによつて、安静時では検出されなかつた筋群にもH波が著明に検出可能となり、従つて腓腹筋以外にも大腿直筋、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋及びこれらの筋の協同筋は随意収縮法の応用によつて殆んど確実にH波が検出され、大腿二頭筋、上腕三頭筋、腹直筋においてすらH波の検出成功例を見るに至つた。(第5章第1節)。又極めて小さい振幅のh型、s型のH波も、随意収縮法により著明に振幅を増し、我々の規定した1型のH波となるのを発見した(第5章第1節)。更に随意収縮の程度を強くすればする程、H波の振幅は増大し(第1図)、随意収縮時には安静時よりもM波の閾値に対するH波の閾値が低下することを発見した(第5章第3節)。以上の所見より従来腓腹筋に限定されていた誘発筋電図の研究は随意収縮法の応用により新局面の展開が予想され、全身の比較的広範囲の筋に応用することが可能となつたものと信ぜられる。

Hoffmann (1918)¹⁰⁾ は既に随意運動と反射との関係を、筋の活動電流を指標として研究し、筋の完全なる弛緩の状態においては、深部反射に伴つて現われる特有な活動電流が減少又は消失し、他方筋の随意収縮時には、収縮が強ければ強い程、深部反射に附随する活動電流が増加すると主張した。Bernhard, Bohn & Petersen (1952)¹¹⁾ 等は猿の Precentral motor area に電気刺激を加えると、spinal motor neurones の monosynaptic reflex が亢進することを実験的に確かめた。このことから人間において大脳皮質の運動領野から発せられた随意収縮の神経衝撃が、脊髓の前柱細胞に対し促進的に作用し、脊髓反射が亢進するものと考えられる。我々は最大随意収縮時には安静時に比してH波の閾値が低下することを実証した(第2章第

3節)。又脊髓反射伝達恢復曲線において、最大随意収縮時には安静時に比して著しく不応期が短縮し、恢復時間が短縮することを実証した(第5章第5節)。故にこの事実から我々は、大脳皮質の運動領野から発せられた随意収縮の神経衝撃が、脊髓前柱細胞の興奮性を亢進させ、脊髓反射に対し促進的に作用するものと考えられる。即ち大脳皮質の運動領野から発せられた随意収縮の神経衝撃は、前柱細胞を興奮させて、 α 運動線維に衝撃を送るが、その際或る前柱細胞は既に興奮が終つて不応期にあり、或る前柱細胞は興奮が閾値下の状態(Sherrington (1930)⁴⁰⁾ の subliminal fringe) で終らんとしている。この時期に同時に筋支配神経刺激による衝撃が Group I A fiber を通じて monosynaptic に前柱細胞に送られると、閾値下の状態であつた前柱細胞は synapse discharge に達するので、随意収縮時には安静時に比して、脊髓シナプスにおける Group I A fiber からの神経衝撃の通過性が良くなり、H波が出現し易くなるものと考えたい。

本間(三)(1959)¹⁸⁾ は我々の行つた随意収縮法を追試し、H波の検出し易くなる事実を認め、これに対し次のような見解を述べている。即ち腓腹筋以外の筋群で安静時にH波が導出し得ないのは、これらは大部分が相性筋であり、Group I A fiber と α 運動線維との太さの差が少いと考えられ、両方の線維が殆んど同時に刺激されるために、H波を起すべき Group I A fiber の神経衝撃が、M波を起すべき α 運動線維の逆行性神経衝撃により遮断される。従つて腓腹筋以外の筋群よりH波を導入するためには、 α 運動線維に生じた逆行性神経衝撃を打ち消し、Group I A fiber からの神経衝撃を通過せしめればよいことになる。この点から随意収縮時には、随意収縮の神経衝撃が α 運動線維を通過している間に、逆行性神経衝撃を遮断するので、H波を起すべき神経衝撃が通過するのだと述べている。しかし我々は各被検筋のH波検索成績により、最大随意収縮時にはH波が大多数に1型を示すのを観察した(第5章第1節)即ち刺激電圧の低い所では、M波は検出されなくてH波のみを記録することが出来る。いいかえればM波を起すべき α 運動線維が興奮する以前に、H波を起すべき Group I A fiber を選択的に興奮させることが出来る。この状態は逆行性神経衝撃が未だ生じていないものと考えられ、本間(三)のいう逆行性神経衝撃が遮断された事実だけでは説明されない。我々は随意収縮時にH波が著明に検出される事実を、随意収縮の神経衝撃が α 運動線維の逆行性神経衝撃を遮断するためであると説明すると共に、上位中枢神経から抑制作用を受けている前柱細胞に対し、

随意収時には随意収縮の神経衝撃が促進作用を示すことによるものと説明したい。

脊髄の Monosynaptic reflex の上位中枢神経からの影響については未だ不明な点が多い。Rhines & Magoun (1946)⁴²⁾, Magoun & Rhines (1946)³³⁾, Lindsley, Schreiner & Magoun (1949)³⁰⁾, Schreiner, Lindsley & Magoun (1949)⁴⁵⁾ 等は脳幹網様体に脊髄反射の促進系中枢と抑制系中枢があり、この部の電気刺激によつて、脊髄反射の抑制或いは促進を起すを観察している。而して脊髄前柱細胞には絶えずこのような上位中枢神経からの促進的並びに抑制的支配が働いていて、正常安静状態ではこれらの促進作用並びに抑制作用が相互に作用し、平衡状態を保つていとされている。随意収縮時にH波が著明に検出される事実に対しては、上記の他になお随意収縮時には上位中枢神経支配の平衡関係が不安定となり、安静時に存在していた抑制が緩解されるか、或いは促進が附加されるという機序も考慮すべきものとする。このような錐体路以外の上位中枢神経の影響については今後の研究にまたねばならない。

安静時ではH波の検出率が各被検筋において種々な差異が見られる。例えば我々の検索成績では腓腹筋が100%、大腿直筋が77%のH波検出率を示しているが、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋等は低率のH波検出率を示している(第5章第1節)。又H/M最大振幅比においても腓腹筋、大腿直筋では高比を示しているが、他の筋群では0.1以下の低値を示している(第5章第2節)。Liddle & Sherrington (1924)²⁰⁾, Denny-Brown (1929)⁴⁵⁾, Sherrington (1930)⁴⁰⁾ 等は一般に伸張反射は抗重力伸筋に最も強く起る反射であるとし、起立や歩行に際し重力に抗して正しい姿勢を維持するために、身体の不意の瞬間的崩壊に対し、直ちに拮抗するものであると述べている。又 Denny-Brown (1929)⁴⁵⁾, Fulton (1951)¹²⁾¹³⁾ は筋線維には赤筋と白筋とがあり、赤筋は sarcoplasm 多く、牽縮の経過緩慢で牽縮持続時間が長く、白筋は sarcolemma 少なく、牽縮は早いが牽縮持続時間が短くとし、人間の筋はこの2種類の筋によつて構成され、各筋によつてその混合比が異なると述べている。Hay (1910)¹⁰⁾ は赤筋、白筋の遠心性神経線維の太さに稍々差があつて、赤筋の遠心性神経線維が白筋のそれよりも幾分細いと報告している。即ち微細巧妙な速い運動を必要とする筋には白筋が多く、姿勢の保持に関与する筋には赤筋が多く、その支配運動神経線維が白筋では太く、赤筋では細いという事実をあげている。本間(三)¹⁸⁾ も筋を緊張筋と相性筋に分けて、緊

張筋ではその支配 α 運動線維が Group I A fiber に比して細いが、相性筋では Group I A fiber に比して差異が少ないと述べている。即ち腓腹筋や大腿直筋は緊張筋が大部分であつて赤筋が多く、その支配 α 運動線維が Group I A fiber より細いので、支配神経に電気刺激を加えた場合、Group I A fiber が α 運動線維よりも低閾値で興奮し、H波を検出し易い。その他の筋群では相性筋が大部分であつて白筋が多く、その支配 α 運動線維と Group I A fiber との線維の太さに差異が少ないので、Group I A fiber と α 運動線維が殆んど同時に刺激興奮し、H波が検出し難いものと考えられる。

我々は随意収縮法の応用により全身の多数の筋群からH波を検出し得た。しかしこの方法によつてもなおH波の検出が非常に困難な筋群もあつた。我々は随意収縮法を応用してもなおH波検出困難な筋群に対し、次の3点が考慮される。第一は支配神経の位置の問題である。或る種の筋、例えば大腿二頭筋、腎筋群はその支配神経が大なる皮下組織、筋層の深層を走行しているために、経皮的に適切な刺激効果を与えられない。且つ又随意収縮時には皮膚や筋の緊張或いは盛り上りによつて、刺激電極と支配神経の関係位置が移動し、刺激効果を減弱させる。又上腕二頭筋、上腕三頭筋等では支配神経刺激に際して、隣接の他の拮抗筋の支配神経が比較的近接していて、併せ刺激されることから、拮抗作用を受けることが考えられる。

H波検出困難な第二の理由は、H波の潜時によるものと考えられる。我々の検索例では大腿直筋と腓腹筋のH波の潜時は22.2 msec と30.7 msecであつた。更に上腕二頭筋のH波の潜時は11.5 msecであり、一部M波と重なりながらも識別し得た。即ちH波の潜時は被検筋又は刺激点から脊髓迄の距離が夫々近い程短縮する。M波の潜時は我々の検索成績では各被検筋に大体共通して3.5~4.6 msecを示した。我々は未知被検筋のH波の潜時を推定することとH波識別可能の限界を知る目的で、我々が既に検索した被検筋のM波とH波の潜時の差に対するその被検筋の刺激点と脊髓迄の推定距離との関係図第37図を作製した。例えば僧帽筋では刺激点と脊髓迄の距離が約10cmと思われるが、その際M波とH波の潜時の差は約5 msecであることが図から推定される。即ち僧帽筋にH波が検出され得たと仮定すれば、M波の立上りに引続き約5 msecの潜時でH波が検出され得るものと推定せられる。しかし一般にM波には持続時間があり、我々の検索成績では各被検筋に大体共通して10~15 msecであつた。これがためH波とM波が重なり合つて識別困

難を招くものと推察される。M波、H波識別可能の限界はM波の持続時間を10~15 msecとすれば、刺戟点と脊髄までの距離が大体20 cmであると考えられる。あたかもこの距離にあると思われる上腕三頭筋に稀にH波検出が可能である事実よりみれば、刺戟点と脊髄までの距離が20 cmであればM波とH波の識別は、現在の我々の方法では困難であると考えられる。

H波検出困難な筋群についての第三の理由は、本間(三)¹⁸⁾の説の如く、随意収縮によってもH波の得られない筋では支配 α 運動線維は、同筋のGroup I A fiberに比して、その太さに大差なく、M波を生ずべき α 運動線維の逆行性神経衝撃によつて、H波を生ずべきGroup I A fiberの神経衝撃が遮断され易く、又上位中枢神経から前柱細胞への抑制作用が強く働き、随意収縮によつて促進作用が加わつてもなおGroup I A fiberからの神経衝撃が通過し難いためであると推論せられる。

我々は随意収縮法の応用により、全身の各種骨格筋にH波の検索を試み、前記(第5章第1節)の如く、多数の筋群をH波を検出した。この結果、脊髄の広範囲にわたる反射の研究並びに臨床診断応用に画期的な貢献を与えるものと信ずる。臨床診断応用には刺戟誘導が容易で、H波が確実に検出される筋が望ましい。この点腓腹筋、大腿直筋、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋は刺戟誘導が容易で、随意収縮法により確実にH波が検出されるので、検索対象として好適であると考えられる。

従来腱反射の程度を判定する臨床診断法として腱叩打法が広く採用されている。腱叩打法は腱の叩打によつて筋に伸張が加わるることによつて生じた筋紡錘の放電がGroup I A fiber、脊髄シナプス、 α 運動線維を介して筋収縮を起させるものとされている¹¹⁾¹²⁾。他方H反射は筋支配神経に電気刺戟を加えてGroup I A fiberに生じた神経衝撃が脊髄シナプス、 α 運動線維を介して筋に達し、H波を生ずるものとされている³⁵⁾。前者は筋紡錘から神経衝撃を生じ、後者はGroup I A fiberの直接刺戟によつて神経衝撃を生ずるものと考えられ、両者の神経衝撃の発生機転が異なる他は、反射経路が共通しているものと考えられる。従つてH反射と腱反射とは比例関係が成立するものと考えられ、数量的測定の容易なH波は腱反射の高低の有力な指標となるといえよう。我々の測定したH波検出型式、H波検出率、H/M最大振幅比、M/H興奮比、潜時、脊髄反射伝達恢復曲線等の測定値はそのまま各被検筋のH波の正常値として、病的像との対照に利用し得るものと信ぜられる。即ちこの正常値以上を示す

時は腱反射の病的異常亢進状態であり、正常値以下を示す時は腱反射の病的異常低下状態であるとい得る。

総括並びに結語

1. 従来、誘発筋電図に導出されるH波は、腓腹筋以外の筋群では導出し難いので、H波による脊髄反射の研究並びに臨床診断学的应用を著しく制限するものであつた。我々は腓腹筋以外の筋群にもH波が検出される方法について実験を重ねた結果、筋の随意収縮時にはH波が著明に検出されることを知つた。

2. 全身の各種骨格筋について、最大随意収縮時の誘発筋電図を記録し、次の成績を得た。H波検出率は腓腹筋、大腿直筋、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋、及びこれらの筋と類似の協同筋では、100%か又は殆んど100%に近い値を示した。大腿二頭筋、上腕三頭筋、腹直筋においても一部H波の検出に成功した。H波検出型式ではM波とH波の閾値的關係から、m型、h型、s型、l型に区分したが、最大随意収縮時では、代表的被検筋(腓腹筋、大腿直筋、前脛骨筋、橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、尺側手根屈筋)においてl型のH波検出率が増加した。又各被検筋を通じて最大随意収縮時には安静時に比して、H/M最大振幅比は上昇し、M/H興奮比は上昇した。脊髄反射伝達恢復曲線は随意収縮時には不応期、恢復期共に短縮した。潜時はいずれも不変であつた。

3. 随意収縮時に腓腹筋以外の筋群にH波が検出されること、安静時にH波が検出される例においても随意収縮によりH波の振幅が増大すること、H波の閾値が低下することについて、我々は次の如く考察する。

大脳皮質の運動領野から発した随意収縮の神経衝撃は前柱細胞の興奮性を増大せしめ、 α 運動線維に神経衝撃を送るが、この際筋支配神経の電気刺戟により興奮したGroup I A fiberの神経衝撃が前柱細胞に達すると、予めsubliminal fringeにある前柱細胞において促進を受け、安静時に比して低閾値で通過し得るので、H波が検出されるものと考えた。更に随意収縮の神経衝撃が α 運動線維の逆行性神経衝撃を遮断している間に、H波を起すべきGroup I A fiberの神経衝撃が α 運動線維を通過し得るのでH波が検出されるものとも考慮した。

4. 顔面筋、僧帽筋、三角筋、大臀筋等では、随意収縮法によつてもH波を検出し得なかつた。このことは(1)支配神経の解剖学的位置により、刺戟誘導が技術的に困難なること。(2)刺戟点が脊髄に近接せる筋群ではM波とH波が潜時的に接近し識別困難を招

くこと。(3) 本来機能的, 組織学的に筋及び支配神経に差異があつて, 筋伸張反射にも強弱の差異が存在することから, これらの筋群は生理学的に上位中枢神経からの抑制が強く, 伸張反射も弱い筋群であると推論した。

5. 誘発筋電図の臨床診断応用には, 我々の随意収縮法を利用することにより, 全身の広い範囲にわたり各種骨格筋からH波を導出することが出来, 今後の進展が期待される。我々は刺激誘導が容易で, 而も殆んど全例にH波が検出される腓腹筋, 大腿直筋, 前脛骨筋, 橈側手根伸筋, 橈側手根屈筋, 尺側手根屈筋を代表的被検筋に選り, H波検出型式, H/M 最大振幅比, M/H 興奮比等を測定したが, 身体の広い範囲にわたる腱反射を数量的に表現するものとして, 今後の臨床診断学的応用に極めて有用なる資料となることを確信する。

執筆するに当り, 終始懇篤なる指導と校閲を賜りたる高瀬武平教授, 並びに清水信之先生に対し深甚の謝意を表する。

主 要 文 献

- 1) Bernhard, C. G., Bohm, E. & Petersen, I. : *Acta Physiol. Scand.*, 29, 79 (1952).
- 2) Bradley, K. & Eccles, J. C. : *J. Physiol.*, 122, 462 (1953).
- 3) Daniels, L., Williams, M. & Worthingham, C. : *Muscle testing*, Philadelphia, W. B. Saunders Company, 1946.
- 4) Denny-Brown, D. : *Proc. Roy. Soc., London, Biol. Sc.*, 104, 252 (1929).
- 5) Denny-Brown, D. : *Proc. Roy. Soc., London, Biol. Sc.*, 104, 371 (1929).
- 6) Eccles, J. C., Eccles, R. M. Lund & Berg, A. : *J. Physiol.*, 136, 527 (1957).
- 7) Eccles, J. C. & Sherrington, C. S. : *Proc. Roy. Soc., London, Biol. Soc.*, 106, 326 (1930).
- 8) Eccles, E., Granit, R. & Merton, P. A. : *J. Physiol.*, 122, 489 (1953).
- 9) 藤森聞一 : 日医事新報, 1700, 10 (1956).
- 10) 藤森聞一 : 脳と神, 10, 823 (1958).
- 11) Fulton, J. F. : *Physiology of the nervous system*, New York, Oxford Univ. Press, (1951).
- 12) Fulton, J. F. : *Text-book of physiology*, Philadelphia, W. B. Saunders Company, (1955).
- 13) Granit, R. : *J. Neurophysiol.*, 13, 351 (1950).
- 14) Granit, R., Hénatsch, H. D. & Steg, G. : *Acta Physiol. Scand.*, 37, 114 (1956).
- 15) Granit, R. & Kaada, B. R. : *Acta Physiol. Scand.*, 27, 130 (1952).
- 16) Hay, J. : (1901). cit by 7) 11) 12).
- 17) 本間伊佐子 : 医療, 20, 459 (1956).
- 18) 本間三郎 : 日本の医学1959年, 5, 398 (1959).
- 19) Hoffmann, P. : *Zschr. Biol.*, 63, 351 (1918).
- 20) Hoffmann, P. : *Zschr. Biol.*, 70, 515 (1920).
- 21) Hoffmann, P. : *Zschr. Biol.*, 81, 37 (1924).
- 22) Hoffmann, P. : *Erg. Physiol.*, 36, 15 (1934).
- 23) Hunt, C. C. & Kuffler, S. W. : *J. Physiol.*, 113, 283 (1951).
- 24) Hunt, C. C. & Kuffler, S. W. : *J. Physiol.*, 113, 298 (1951).
- 25) Hunt, C. C. : 日臨, 15, 374 (1957).
- 26) Hunt, C. C. : *J. gen. Physiol.*, 38, 117 (1954).
- 27) Kuffler, S. W., Hunt, C. C. & Quilliam, J. P. : *J. Neurophysiol.*, 14, 29 (1951).
- 28) 川西義男 : 脳と神, 9, 379 (1957).
- 29) Liddle, E. G. T. & Sherrington, C. S. : *Proc. Roy. Soc., London, Biol. Sc.*, 96, 212 (1924).
- 30) Lindsley, D. B., Schreiner, L. H. & Magoun, H. W. : *J. Neurophysiol.*, 12, 197 (1949).
- 31) Lloyd, D. P. C. & Chang, H. T. : *J. Neurophysiol.*, 11, 199 (1948).
- 32) Magladery, J. W. & McDougall, D. B., Jr. : *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, 86, 265 (1950).
- 33) Magladery, J. W., Porter, W. E., Park, A. M. & Teasdal, R. D. : *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, 88, 499 (1951).
- 34) Magladery, J. W., Teasdal, R. D., Park, A. M., & Languth, H. W. : *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, 91, 219 (1952).
- 35) Magladery, J. W. : *Pflügers. Arch. Physiol.*, 261, 302 (1955).
- 36) Magoun, H. W. & Rhines, R. : *J. Neurophysiol.*, 9, 165 (1946).
- 37) Matthews, B. H. C. : *J. Physiol.*, 78, 1 (1933).
- 38) Matthews, P. B. C. : *J. Physiol.*, 140, 408 (1958).
- 39) Matthews, P. B. C. & Rushworth, G. : *J. Physiol.*, 140, 421 (1958).
- 40) 松野高幸 : 日整外会誌, 32, 611 (1958).
- 41) 三輪清三 : 内科, 1, 934 (1958).
- 42) Rhines, R. & Magoun, H. W. : *J. Neurophysiol.*, 9, 219 (1946).
- 43) Sherrington, C. S. : *Proc. Roy. Soc., London, Biol. Sc.*, 105, 332 (1930).
- 44) 島村宗夫・川西義男 : 脳と神, 9, 243 (1957).
- 45) Schreiner, L. H., Lindsley, D. B. & Magoun, H. W. : *J. Neu-*

- rophysiol., 12, 207 (1949). 46) 高瀬武平・ 図学, 174頁, 大阪, 永井書店, (1956). 49)
 清水信之・手井喜久男・山谷登志 : 低周波医学, . Wartenberg, R. : The examination of reflexes.
 3, 11 (1959). 47) Tergast, P. : (1873). Chicago, Year Book Publishers, (1945).
 cit by 11) 12). 48) 山崎 要 : 最新の筋電

Abstract

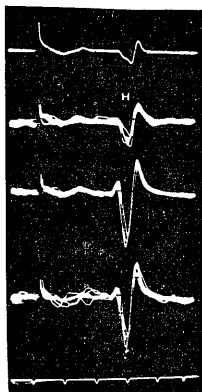
Evoked EMG potentials were studied of skeletal muscles in normal man, modifying by method of voluntary contraction. The results obtained were as follows:

So called H. wave was detected in m. gastro cnemius, m. rectus femoris, m. tibialis anterior, m. extensor carpi radialis; m. flexor carpi radialis, m. flexor carpi ulnaris and these cooperated muscles at voluntary contraction easily and clearly. Furthermore it was detected in m. biceps femoris, m. rectus abdominis and m. triceps brachii, though it was difficult.

H/M maximum amplitude ratio highly increased its value at voluntary contraction. H/M threshold ratio was lowered, and then M/H excitability ratio was increased. Refractory periode of recurvaly curve of spinal reflex was shortend.

From these results it was confirmed that easy detection of H wave at voluntary contraction was caused by facilitation in ventral horn cells, and interception of antidromic impulsus of α motor fibers.

M. Gastrocnemius



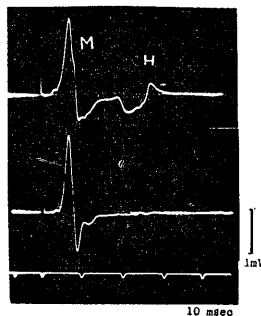
第1図 随意収縮の強さによりH波の振幅増大することを示す。

上段は安静時、第二段は弱度の随意収縮時、第三段は中等度の随意収縮時、最下段は最大随意収縮時のH波を示す。

即ち随意収縮の強さが強くなる程、H波の振幅が増大する。

なお刺激電圧は何れも一定である。

M. Flexor Carpi Ulnalis

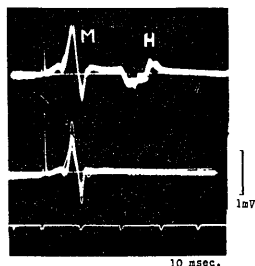


第2図 安静時のH波確認方法

尺側手根屈筋の安静時を例にとつて、H波確認方法を示した。即ち上段では前置刺激によつてM波とH波が同時に記録されている。

しかるに下段では前置刺激と試験刺激の間隔を 50 msec にしたため、H波が不応期にあつて消失し、M波のみが記録されている。

M. Flexor Carpi Ulnalis



第3図 最大随意収縮時のH波確認方法

尺側手根屈筋の最大随意収縮時を例にとつて、H波確認方法を示した。即ち上段では前置刺激によつてM波とH波が同時記録されている。しかるに下段では前置刺激と試験刺激の間隔を 30 msec にしたため、H波が不応期にあつて消失し、M波のみが記録されている。

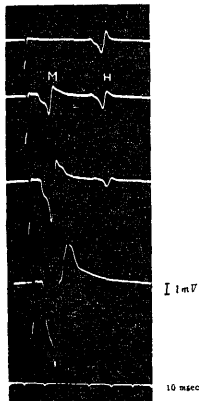
m	h	s	l

第4図 H波検出型式模式図

- 「m型」 刺激電圧を上昇させると、M波のみ検出され、H波は検出されない。
- 「h型」 H波の閾値がM波の閾値よりも高い場合で、刺激電圧を漸次上昇させると、刺激電圧の低い時にはM波が先ず検出され、更に刺激電圧を高めるとH波が検出され、刺激電圧を最大にするとH波は却つて消失し、M波のみ残る型式である。
- 「s型」 H波とM波の閾値が殆んど同一で、H波とM波が同一刺激電圧で検出され、刺激電圧を最大にするとH波は消失してM波のみ検出される。
- 「l型」 H波の閾値がM波の閾値よりも低い場合で、刺激電圧を漸次上昇させると、刺激電圧の低い時にはH波が先ず検出され、更に刺激電圧を上昇させるとM波が検出され、刺激電圧を最大にするとH波は消失してM波のみ検出される。

(註上段より下段へ行く程、刺激電圧は上昇させている)

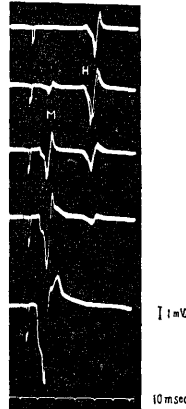
M. Gastrocnemius



第5図 腓腹筋・安静時

1型のH波が検出されている。即ち最上段は弱刺激で先ずH波が検出され、刺激電圧が上昇すると第二段の如くM波も検出され、更に刺激電圧を上昇させると第三段の如くM波は増大するが、H波は却つて小さくなり、刺激が最大になると、H波は消失してM波のみとなる。

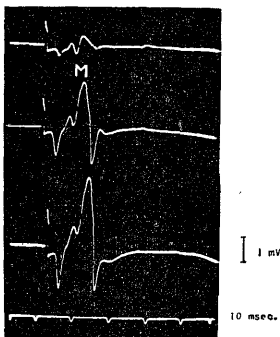
M. Gastrocnemius



第6図 腓腹筋・最大随意収縮時

第5図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。即ち安静時(第5図)と同じく1型のH波が検出されている。安静時(第5図)に比して著明にH波は振幅が増大している。

M. Tibialis Anterior



第7図 前脛骨筋・安静時

H波は検出されていなく、M波のみ検出されている。

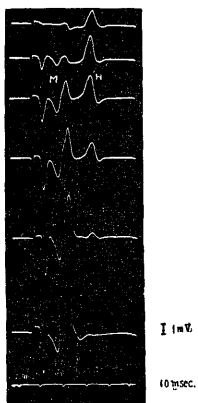
M. Tibialis Anterior



第8図 前脛骨筋・最大随意収縮時

第7図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。1型のH波が検出されている。即ち最上段の弱度刺激で先ずH波のみ検出され、第二段の中等度刺激電圧でM波も検出され、第三段、最下段と刺激電圧を上昇させるとH波は減少し遂には消失しM波のみとなる。

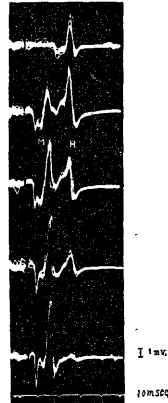
M. Rectus Femoris



第9図 大腿直筋・安静時

1型のH波が検出されている。即ち刺激電圧の低い時には(最上段)先ずH波が検出され、刺激電圧の上昇に伴つて(以下下段へ行く程電圧上昇する)M波も検出され、更に刺激電圧を上昇させるとM波は増大するが、H波は減少し遂には消失する。

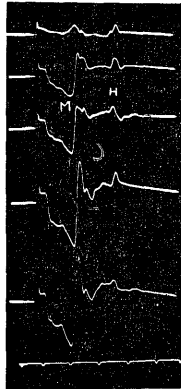
M. Rectus Femoris



第10図 大腿直筋・最大随意収縮時

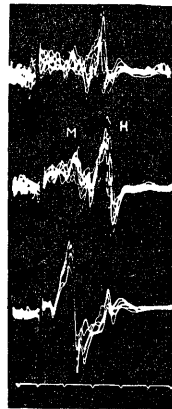
第9図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。安静時(第9図)と同じく1型のH波が検出されている。即ち、刺激電圧の低い時(第一段)にはH波のみ検出され、刺激電圧が上昇すると(第二段)M波も検出され、刺激電圧を漸次上昇させて行くと(第三段、第四段、第五段)M波は次第に増大するが、H波は却つて減少し、遂には消失する。

M. Biceps Femoris

第11図 大腿二頭筋・
安静時

大腿二頭筋のH波検出成功例を示す。
s 型のH波が検出されている。即ちM波とH波が同時に検出され、刺激電圧の上昇に伴ってM波は増大して行くが、H波は多少減少しているが、多くの他の症例の如く刺激電圧の最大時でもH波が消失していない(最下段)。これは支配神経に対する刺激効果が最大でなかったことが考えられるH波であると確認した理由は50m sec 間隔の二重刺激により消失したことによる。

M. Biceps Femoris

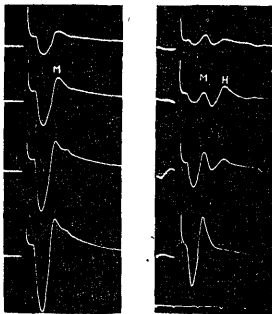
第12図 大腿二頭筋・
最大随意収縮時

第11図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。

1 型のH波が検出されている。即ち刺激電圧の低い時(上段)にはH波のみ検出され、刺激電圧を上昇させると(中段)、M波も検出され更に刺激電圧を上昇させるとM波は増大するがH波は減少し消失する。

H波であると確認した理由は20~40m sec 間隔の二重刺激法により消失したことによる。

M. Rectus Abdominis

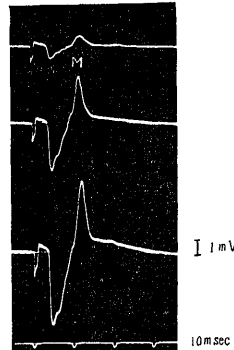
第13図 腹直筋・安静時並び
に最大随意収縮時

左：安静時

右：最大随意収縮時

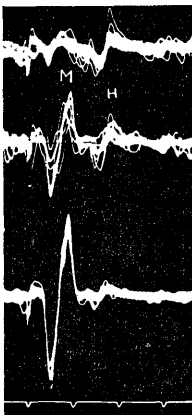
安静時にはM波のみであるが、最大随意収縮時に潜時 15m sec の位置にH波の検出に成功した。刺激電圧を上昇させ最大にすると(最下段)、この波形は消失してM波のみとなること、30m sec 間隔の二重刺激により消失すること、並びに潜時の位置からH波であると確認する。

M. Extensor Carpi Radialis

第14図
橈側手根伸筋・
安静時

M波のみ検出されていて、H波は検出されていない。

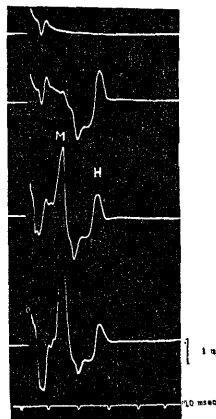
M. Extensor Carpi Radialis

第15図 橈側手根伸筋・
最大随意収縮時

第14図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。

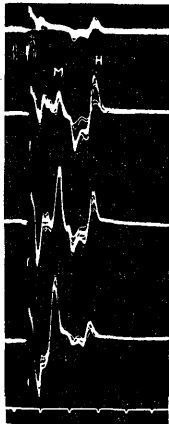
s 型のH波が検出されている。即ち上段の弱い刺激電圧ではM波とH波が同時に検出され、中段の中等度の刺激電圧ではM波が増大し下段の最大刺激電圧ではM波は著しく増大しているが、H波は却って減少し消失せんとしている。

M. Flexor Carpi Radialis

第16図 橈側手根屈筋・
安静時

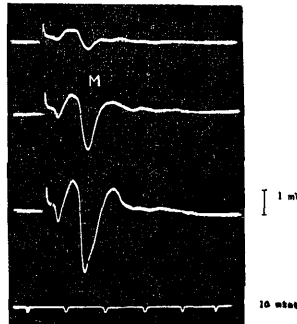
h 型のH波が検出されている。即ち刺激電圧の低い最上段ではまずM波のみ検出され、刺激電圧を上昇させると(第二段)M波とH波が検出され、更に刺激電圧を上昇させると(第三段、最下段)M波は増大するがH波は減少する。

M. Flexor Carpi Radialis

第17図 橈側手根屈筋・
最大随意収縮時

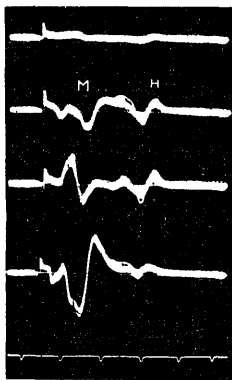
s 型の H 波が検出されている。即ち刺激電圧の低い最上段では M 波と H 波が同時に検出され、刺激電圧を上昇させると（第二段、第三段、最下段）M 波は増大するが、H 波は減少する。

M. Flexor Carpi Ulnalis

第18図 尺側手根屈筋・
安静時

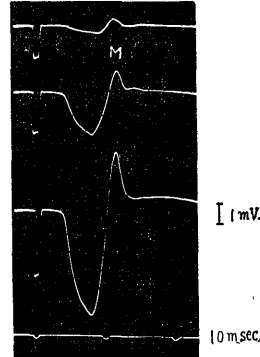
M 波のみ検出されていて、H 波は検出されていない。

M. Flexor Carpi Ulnalis

第19図 尺側手根屈筋・
最大随意収縮時

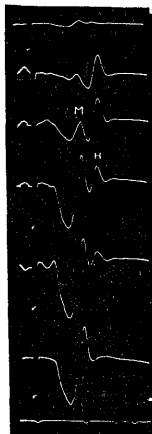
第18図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。s 型の H 波が検出されている。即ち M 波、H 波は同時に検出されて、刺激電圧の上昇に伴って、M 波は増大するが、H 波は減少している。安静時（第18図）に検出されなかった H 波が最大随意収縮時に検出されていることが分る。

M. Triceps Brachii

第20図 上腕三頭筋・
安静時

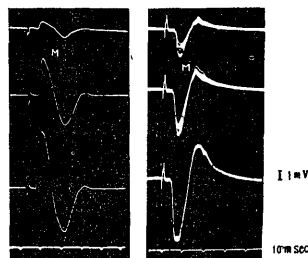
M 波のみ検出されていて、H 波は検出されていない。

M. Triceps Brachii

第21図 上腕三頭筋・
最大随意収縮時

第20図の症例の最大随意収縮時の場合を示す。上腕三頭筋で H 波検出に成功した症例である。潜伏時 11.5 msec の位置に M 波と非常に接近して H 波が検出されている。刺激電圧を漸次上昇させて行くと（第一段より順次最下段へ）M 波は漸次増大して行くのに反し、H 波は一旦最大値に達した後は（第三段）次第に減少し消失する。

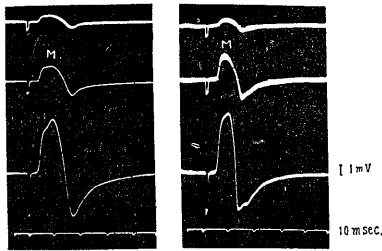
M. Biceps Brachii

第22図 上腕二頭筋・
安静時並びに最大
随意収縮時

左：安静時

右：最大随意収縮時
安静時、最大随意収縮時を通じて M 波のみ検出され、H 波は検出されなかった。

M. Deltoideus

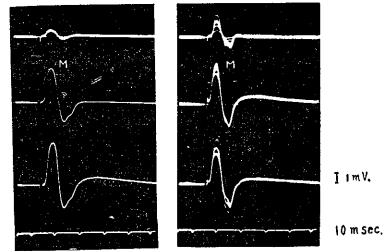


第23図 三角筋・安静時並びに最大随意収縮時

左：安静時

右：最大随意収縮時安静時，
最大随意収縮時を通じてM波のみ検出され，
H波は検出されなかった。

M. Trapezius

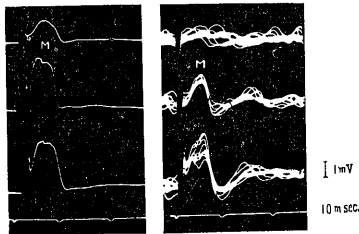


第24図 僧帽筋・安静時並びに最大随意収縮時

左：安静時

右：最大随意収縮時
安静時，最大随意収縮時を通じてM波のみ検出
され，H波は検出されなかった。

M. Zygomaticus Major



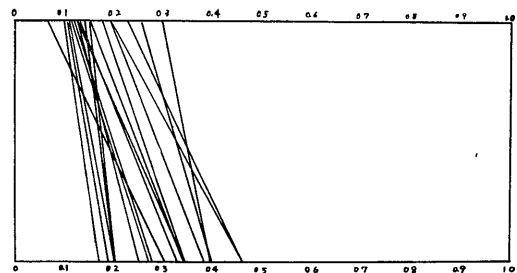
第25図 大頬骨筋・安静時並びに最大随意収縮時

左：安静時

右：最大随意収縮時
安静時，最大随意収縮時を通じてM波のみ検出
され，H波は検出されなかった。

腓 腹 筋

安静時のH波の最大振幅/M波の最大振幅



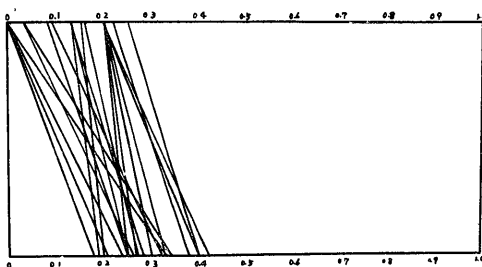
最大随意収縮時のH波の最大振幅/M波の最大振幅

第26図 腓腹筋のH/M最大振幅比

各例共最大随意収縮時には，安静時よりもH/M最大振
幅比が高比を示している。又この図から腓腹筋のH/M
最大振幅比の正常値は安静時0～0.3，最大随意収縮時
0.1～0.5を示す。

大 腿 直 筋

安静時のH波の最大振幅/M波の最大振幅

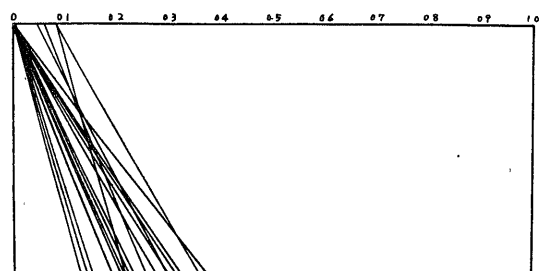


最大随意収縮時のH波の最大振幅/M波の最大振幅

第27図 大腿直筋のH/M最大振幅比
各例共最大随意収縮時には，安静時よりもH/M
最大振幅比が高比を示している。又この図から大
腿直筋のH/M最大振幅比の正常値は，安静時0～
0.3，最大随意収縮時0.1～0.5を示す。

前 脛 骨 筋

安静時のH波の最大振幅/M波の最大振幅



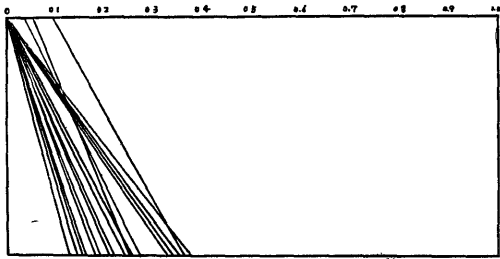
最大随意収縮時のH波の最大振幅/M波の最大振幅

第28図 前脛骨筋のH/M最大振幅比

各例共最大随意収縮時には，安静時よりもH/M最大
振幅比が高比を示している。又この図から前脛骨筋
のH/M最大振幅比の正常値は安静時0～0.1の値を示
し，最大随意収縮時では0.1～0.4を示す。

橈側手根伸筋

安静時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅

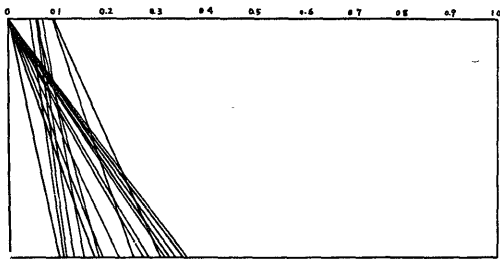


最大随意収縮時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅

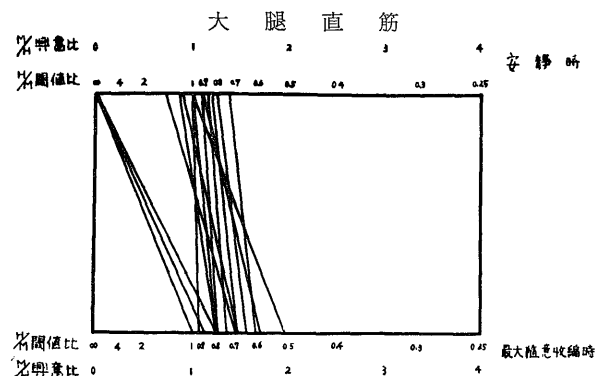
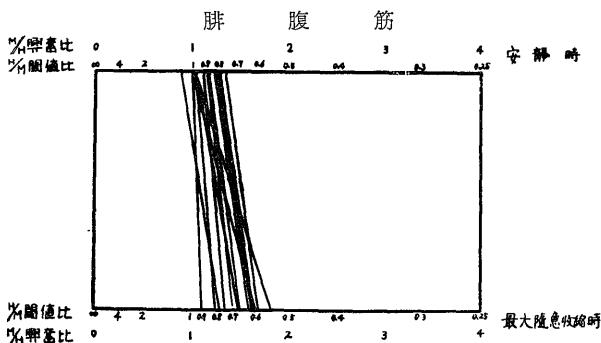
第29図 橈側手根伸筋のH/M最大振幅比
各例共最大随意収縮時には、安静時よりも H/M 最大振幅比が高比を示している。又この図から橈側手根伸筋のH/M最大振幅比の正常値は、安静時 0~0.1 の値を示し、最大随意収縮時には0.1~0.4を示す。

尺側手根屈筋

安静時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅

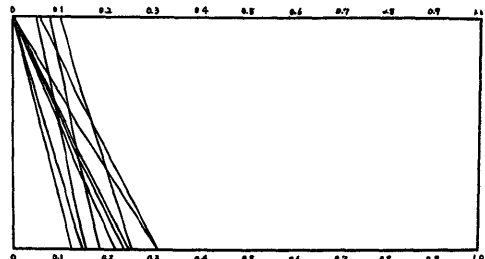


最大随意収縮時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅



橈側手根屈筋

安静時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅



最大随意収縮時のH波の最大振幅 / M波の最大振幅

第30図 橈側手根屈筋のH/M最大振幅比
各例共に、最大随意収縮時には、安静時よりも H/M 最大振幅比が高比を示している。又この図から橈側手根屈筋のH/M最大振幅比の正常値は、安静時 0~0.1 の値を示し、最大随意収縮時には0.1~0.4を示す。

尺側手根屈筋の H/M 最大振幅比

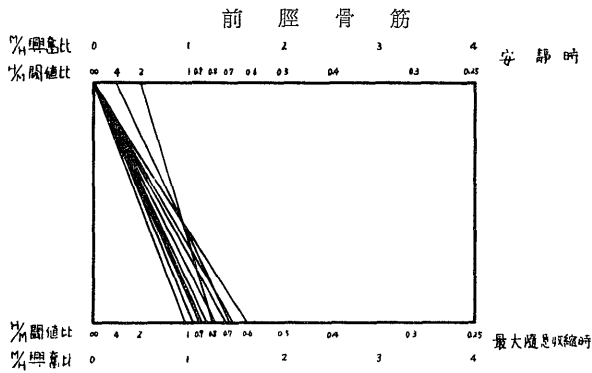
各例共に、最大随意収縮時には、安静時よりも H/M 最大振幅比が高比を示している。又この図から尺側手根屈筋の H/M 最大振幅比の正常値は、安静時0~0.1の値を示し、最大随意収縮時には0.1~0.4を示す。

第32図 腓腹筋のH/M閾値比, M/H興奮比

上段は安静時, 下段は最大随意収縮時の値を示す。最大随意収縮時には安静時よりも H/M 閾値比は低下し, M/H 興奮比が上昇する。

第33図 大腿直筋のH/M閾値比, M/H興奮比

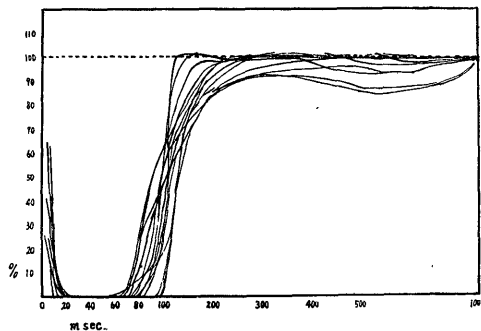
上段は安静時, 下段は最大随意収縮時の値を示す。最大随意収縮時には安静時よりも H/M 閾値比は低下し, M/H 興奮比が上昇する。



第34図 前脛骨筋のH/M閾値比, M/H興奮比

上段は安静時, 下段は最大随意収縮時の値を示す。最大随意収縮時には安静時よりもH/M 閾値比は低下し, M/H興奮比が上昇する。

安静時の脊髓反射伝達恢復曲線

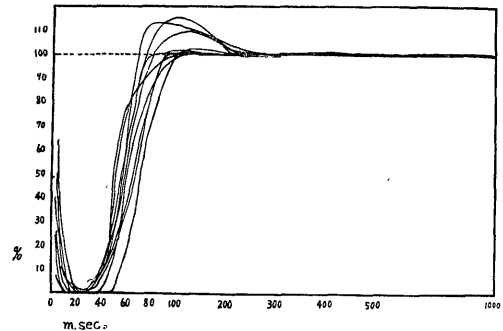


第35図 安静時の脊髓反射伝達恢復曲線

安静時 1 型の H 波の検出された腓腹筋 17 例, 大腿直筋 2 例について測定した。

二重刺激の間隔 1m sec から 1000m sec まで充分細かく刻み, 前置刺激によつて得られた H 波の振幅に対する試験刺激によつて得られた H 波の振幅の百分率を計算し, 作図した。20~80m sec の不応期, 120~150 m sec の恢復期が存在した。

最大随意収縮時の脊髓反射伝達恢復曲線

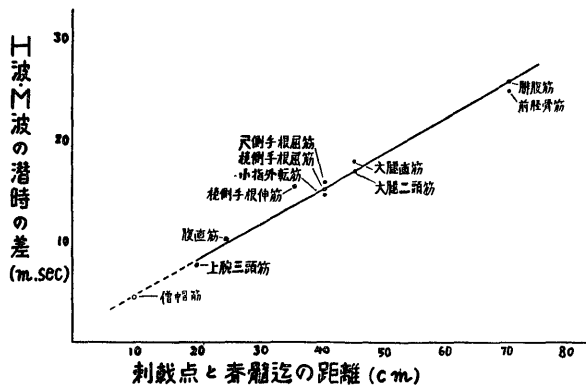


第36図 最大随意収縮時の脊髓反射伝達恢復曲線

第36図の方法と同様に作図した。

被検筋は最大随意収縮時 1 型の H 波が検出された 9 例にて測定した。

不応期は 20~40m sec, 恢復期は 80~100m sec と安静時に比して短縮した。



第37図 H波とM波の潜時の差と刺激点から脊髄までの距離との関係

H 波, M 波の潜時の差は各被検筋の実測値から作図した。

刺激点と脊髄までの距離は推定距離である。

H 波, M 波の潜時の差と刺激点と脊髄間距離は一定の比例関係が存在し, 刺激点と脊髄までの距離が近接すればする程, H 波と M 波の潜時の差も短縮し, H 波と M 波の識別困難を招くことが予想される。例えば僧帽筋では刺激点と脊髄までの距離が約 10cm と推定され, その際 H 波, M 波の潜時の差は 5m sec となり, M 波の持続時間が 10~15m sec であるから, 従つて M 波と H 波の識別困難を招くことが考えられる。