

## 馬尾伝導検査法

東京女子医科大学医学部神経内科学

タケウチ メグミ オオサワ ミキオ  
竹内 恵・大澤美貴雄

(受理 平成19年12月26日)

## Examination of Cauda Equina Conduction

Megumi TAKEUCHI and Mikio OSAWA

Department of Neurology, Tokyo Women's Medical University, School of Medicine

Examination of cauda equina conduction is a new method evaluating the proximal part of the motor nerve using percutaneous electrical stimulation over the cauda equina. Compound muscle action potentials (CMAPs) are recorded from the anterior tibial muscle by stimulating the inter-vertebral spaces on Th12/L1 and L4/5. Parameters of cauda equina conduction are CMAPs latencies, conduction time in the cauda equina which is the latency difference between Th12/L1 and L4/5, and the conduction velocity of the cauda equina which is calculated by the distance between Th12/L1 and L4/5 and conduction time. While the examination of peripheral nerve conduction is generally evaluated by the distal site of peripheral nerve, combination with cauda equina conduction would make the function of the motor nerve to be evaluated from the proximal through the distal sites.

In inflammatory demyelinating polyneuropathies in which the proximal part of the motor nerve is frequently injured, cauda equina conduction shows significantly lower value compared with healthy people. Cauda equina examination is useful for evaluating the therapeutic efficacy in the polyneuropathies. This examination is also applicable for cases in which F waves are not evoked, indicating, that this new examination may be clinically useful for evaluating cauda equina lesions.

**Key words:** percutaneous electrical stimulation, cauda equina, nerve conduction study, radiculopathy

## はじめに

感覚神経近位部の機能を電気生理学的に評価する方法として体性感覚誘発電位があるが、運動神経近位部の機能を評価する方法は限られている。F波はその方法の一つであるが、運動神経を逆行性に刺激し、脊髄前角細胞を介して活動電位を得るため刺激により必ず記録できるとは限らない。また刺激の度に波形が異なるため複数回刺激して得られた電位を評価する必要がある。1980年にMertonら<sup>1)</sup>が高電圧低インピーダンス刺激装置を用いて頭皮上から大脳皮質を刺激する経皮的電気刺激法(percutaneous electrical stimulation; PES)を開発して以来、それまでは手術中などに直接電気刺激を行うことしかできなかった脊髄などにも応用されるようになった<sup>2)</sup>。われわれはこの方法を馬尾神経に応用し<sup>3)</sup>、馬尾伝導

検査の方法と臨床的な意義について検討してきた。本稿では本検査法とその臨床的有用性について紹介する。

## 馬尾伝導検査の原理と方法

PESによる腰部の電気刺激の場合には脊髄円錐付近と脊髄神経の脊椎管からの出口付近の2カ所が刺激されやすいとされる<sup>4)</sup>。すなわち第4腰椎(L4)神経根により支配される前脛骨筋で複合筋活動電位(compound muscle action potentials; CMAPs)を記録する際には、第12胸椎と第1腰椎の棘突起間(Th12/L1)の刺激により脊髄円錐が刺激され、第4、第5腰椎の棘突起間(L4/5)の刺激ではL4神経根が脊椎管からの出口で刺激されることになる。そこでこの2点で刺激してそれぞれ前脛骨筋の複合筋活動電位(compound muscle action potentials;

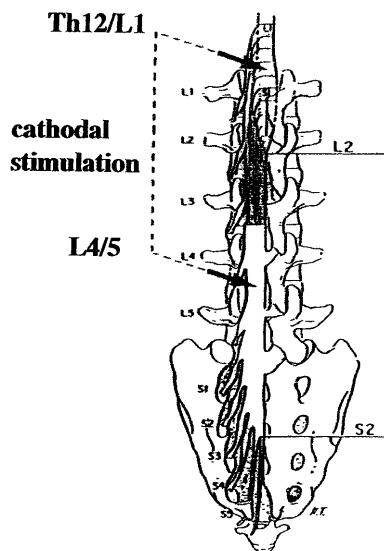


図1 馬尾神経の解剖

Liveson & Spielholz 1979 より一部改変。  
説明本文。

CMAPs)を記録すれば脊椎管内の脊髄円錐から脊椎管の出口までつまり L4 神経の馬尾神経部分の伝導機能を評価できることになる (図1)。

記録は安静、座位にて行う。刺激は陰性電極を Th12/L1 または L4/5 に置き、陽性電極をこれらの陰性電極から記録肢側に 6cm 水平に離れた部位に置き、英国 Digitimer 社製 D180 Isolated Stimulator により時定数 50 または 100 $\mu$ s、電圧 400~800V の電気刺激を行う。Medelec Model MS 20 または Neuropac を用いて再現性のある前脛骨筋の CMAPs を 2 波形記録する。またそれぞれの棘突起間の最短距離を体表面上で計測する。

馬尾神経の伝導パラメータは Th12/L1 刺激と、L4/5 刺激により得られたそれぞれの CMAPs の起始部潜時、表皮上で計測した Th12/L1 と L4/5 の距離を、その潜時の差より算出した Th12/L1 と L4/5 の間の伝導時間で割った値から伝導速度を算出し、馬尾伝導速度とする (図2, 表1)。

#### 健常対照例での馬尾伝導検査

表2は健常対照12例(男性、年齢平均34.7歳、身長平均170.2cm)に施行された馬尾伝導検査における各パラメータの正常値である。CMAPsの振幅は健常対照においてもばらつきがあり、また多くの例で Th12/L1 刺激 CMAPs 振幅は L4/5 刺激 CMAPs 振幅に比べて小さいことが多い。そのため振幅を評価に用いるのは慎重であるべきと考えられる。なお、同一例での左右の比較や経時的変化の評価には有用

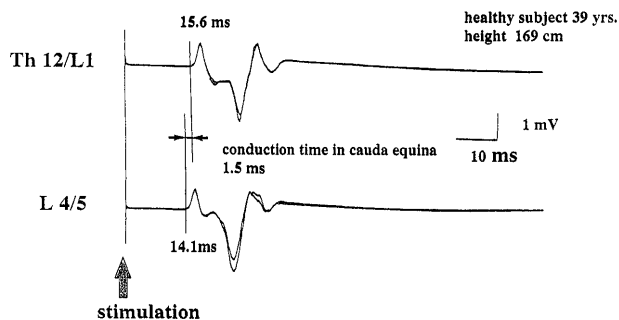


図2 健常対照例での記録

上段は Th12/L1 棘突起間刺激、下段は L4/5 棘突起間刺激による前脛骨筋の複合筋活動電位 (CMAPs) を示す。計測した Th12/L1 棘突起間と L4/5 棘突起間の距離は 11.5cm であり、Th12/L1 刺激および L4/5 刺激で導出された CMAPs の潜時の差 (馬尾伝導時間) が 1.5ms であったことから馬尾伝導速度は 77m/s と算定できる。

と考えられる。

#### 神経疾患での評価

##### 1. 炎症性脱髄性ニューロパチーにおける評価

###### 1) 炎症性脱髄性ニューロパチー

Guillain-Barré 症候群 (GBS) や慢性炎症性脱髄性多発根神経炎 (chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy ; CIDP) などの炎症性脱髄性ニューロパチーにおいては、末梢神経遠位部だけでなく近位部の脊髄神経根にも病変があるとされる。これらの炎症性脱髄性ニューロパチーにおける馬尾伝導検査では健常対照群に比し有意に馬尾伝導速度や CMAPs 潜時の遅延がみられ、神経根部病変の伝導性の評価が可能である<sup>5)</sup>(図3, 図4a, b)。

###### 2) F 波導出困難例

F 波は末梢運動神経近位部の検査法として一般に用いられている。F 波では運動神経を最大上刺激を用いて逆行性に刺激し、脊髄前角細胞を介して再び運動神経をインパルスが戻り CMAPs が導出される。このため運動神経の軽微な変化を検出しやすい利点があるが、逆に少しの変化でも導出困難となる欠点がある。また F 波の波形は刺激の度に異なるため 20~50 回という複数回刺激して記録しなければならず<sup>6)</sup>、症例により痛みのため検査自体が困難なこともある。F 波の導出が困難であった GBS や CIDP においても馬尾伝導検査により運動神経近位部の機能を評価することが可能である<sup>7)</sup>。

###### 3) 治療の効果判定

炎症性脱髄性ニューロパチーの治療前後における馬尾伝導検査の検討では、GBS と CIDP の治療前と

表1 馬尾伝導検査の算出式

馬尾伝導速度 (m/s) =	$\frac{\text{Th12/L1 棘突起間と L4/5 棘突起間の距離 (mm)}}{\text{馬尾伝導時間 (ms)}}$
馬尾伝導時間: Th12/L1 刺激 L4/5 刺激で導出された CMAPs の潜時の差	

表2 馬尾伝導検査の正常値

	CMAPs 潜時		馬尾伝導時間 (ms)	馬尾伝導速度 (m/s)
	Th12/L1 (ms)	L4/5 (ms)		
平均±2SD	15.29±1.48	13.38±1.6	1.91±0.98	62.4±24.5

CMAPs: compound muscle action potentials.

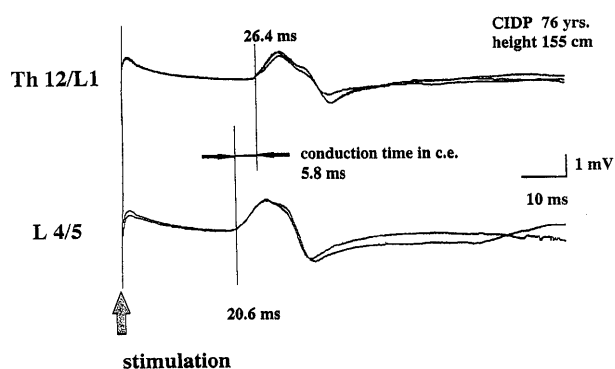


図3 慢性炎症性脱髄性ニューロパチーでの馬尾伝導検査

図2の健常対照例に比し CMAPs の潜時が遅延し、馬尾伝導時間も延長していることがわかる。

治療(GBS では免疫吸着療法, CIDP では免疫グロブリン静注療法あるいは経口ステロイド療法)の4週間後に馬尾伝導検査が施行された。治療後に CMAPs 潜時と馬尾伝導速度の有意な改善がみられた。他方、治療前後に施行した総腓骨神経の末梢神経伝導検査では有意な変化がみられなかった<sup>8)</sup>。以上から馬尾伝導検査は炎症性脱髄性ニューロパチーの治療効果の判定に有用と考えられる。

## 2. その他の疾患での適応と今後の展望

運動ニューロン疾患、腰椎椎間板ヘルニア、腰部根神経障害、脊髄炎、馬尾症候群、脊髄くも膜炎、神経梅毒など下肢の筋力低下や筋萎縮などを呈する疾患で馬尾神経の障害が疑われる例は本検査法の対象となる。末梢神経伝導検査や針筋電図などと併用することにより鑑別診断、治療効果の判定、病態の解明や病変の部位診断に役立つ。

馬尾伝導検査法の端緒となった中枢神経刺激に

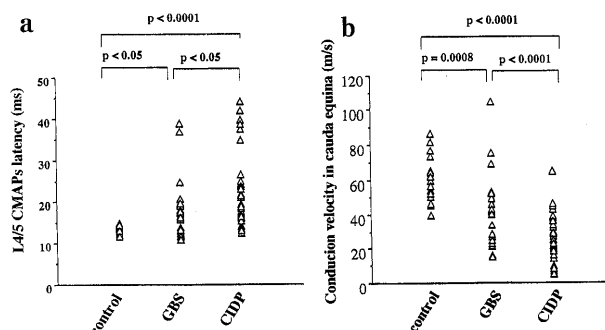


図4

a) 炎症性脱髄性ニューロパチーの L4/5 刺激 CMAPs 潜時

△は各々の1記録を表す。

Y 軸 latency: L4/5 刺激 CMAPs 潜時, X 軸 control: 健常対照群, GBS: Guillain-Barré 症候群, CIDP: 慢性炎症性脱髄性ニューロパチー (chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy)。

b) 炎症性脱髄性ニューロパチーの馬尾伝導速度

△は各々の1記録を表す。

Y 軸 CV: 馬尾伝導速度, X 軸は a と同じ。

は、痛みが少ないことから磁気刺激法が PES にとってかわり広く用いられるようになった。しかし磁気刺激装置では脊椎管内の馬尾を刺激することは困難であるとされる。

## まとめ

馬尾伝導検査は、これまで検査法が限られていた運動神経近位部の機能を評価する新しい方法として有用である。特に炎症性脱髄性ニューロパチーにおいては病変の広がり、重症度、F 波導出不能例などにおいても評価が可能であり診断のみならず治療の評価にも用いることができる臨床的に有用な検査法の一つである。

## 文 献

- 1) **Merton PA, Morton HB**: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* **285**: 227, 1980
- 2) **Snooks SJ, Swash M**: Motor conduction velocity in the human spinal cord: slowed conduction in multiple sclerosis and radiation myelopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* **48**: 1135-1139, 1985
- 3) **大澤美貴雄, 竹宮敏子, 丸山勝一**: 経皮的電気刺激法 (PES) による馬尾神経伝導性の検討 (会). *脳波と筋電図* **22** (臨増): 151, 1992
- 4) **Martens de Noordhooft A, Rothwell JC, Thompson PD et al**: Percutaneous electrical stimulation of lumbosacral roots in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* **51**: 174-181, 1988
- 5) **竹内 恵, 大澤美貴雄, 岩田 誠**: 炎症性脱髄性ニューロパチーにおける馬尾伝導検査の有用性 (会). *臨神生* **30** (2): 178, 2001
- 6) **小森哲夫**: F波 神経筋電気診断の実際 (園生雅弘, 馬場正之編), pp33-40, 星和書店 東京 (2004)
- 7) **Takeuchi M, Osawa M, Iwata M**: Clinical efficacy of percutaneous electrical stimulation over cauda equina in inflammatory demyelinating polyneuropathy. *Clin Neurophysiol* **112**: 1123, 2001
- 8) **竹内 恵, 大澤美貴雄, 岩田 誠**: 炎症性脱髄性ニューロパチーにおける馬尾伝導検査の経時的変化 (会). *神経治療* **19**: 274, 2002