末梢神経の可動性に関する実験的検討

— 正常神経における観察 —

山口大学医学部整形外科教室

安部 幸雄・土井 一輝
酒井 和裕・深堀 勝之
藤井 裕之・河村 洋行
河合 伸也

Experimental Study of Peripheral Nerve Excursions

— Investigation of the normal peripheral nerve pattern —

by

Yukio Abe, Kazuteru Doi, Kazuhiro Sakai,
Katsuyuki Fukahori, Hiroyuki Fujii, Hiroyuki Kawamura
and Shinya KawaiDepartment of Orthopaedic Surgery,
Yamaguchi University School of Medicine

Peripheral nerve trunks are not rigidly fixed to surrounding tissues along their course. They slide longitudinally in their beds over several millimeters with movements of the extremity. This concept of peripheral nerve excursions helps to explain the pathophysiological events occurring in entrapment neuropathy, chronic nerve irritation and nerve compression. Although this is an important physiological phenomenon, this has not been examined precisely.

We examined excursion of the normal sciatic nerves of 10 adult rabbits. The following were investigated:

- 1) Percentage elongation of the sciatic nerve under normal lower limb motion.
- 2) Excursion between epineurium and gliding floor.
- 3) Excursion between the funiculus.
- 4) Morphological changes of the sciatic nerves under normal lower limb motion.
- 5) Microanatomical features of the peripheral nerves adapting movements of the extremity.

The results were as follows:

- 1) Total percentage elongation of the sciatic nerve was 5.8% in 0° flexion of the knee and 90° flexion of the hip joint. But near the knee joint, the maximum percentage was 9.2%.
- 2) Excursion was found between the epineurium and gliding floor, and between the funiculus.
- 3) It was proven that in the funiculus the nerve fibres have an undulating spiral pattern, which is, after its discoverer, called Fontana's bands. When the nerve was stretched in the course of movement, the undulation straightened out until it disappeared. Microanatomical view represents the wave-like alignment of the nerve fibres.

By these features, peripheral nerves can accommodate limb motion.

Key words : peripheral nerve (末梢神経), excursion (可動性), gliding (滑走), stretching (伸縮)

はじめに

絞扼性末梢神経障害の成因には、圧迫、虚血、牽引、癒着など多くの外的因子の関与があり、これらの因子は相互に複雑に関わり病態の解明をより困難なものにしている。従来より神経に対する圧迫と二次的な血行障害が重要視されてきたが²⁾、可動性の障害も無視できない。末梢神経は滑走と伸縮により四肢の動きに対応しており、圧迫や周囲組織との癒着による神経の可動性の障害は絞扼性神経障害の一因をなすものと考えが、この点に関する実験的報告は少ない。

今回、神経の可動性障害の解明の一環として正常神経の動態について観察をおこなった。

方 法

対象として日本白色家兎、雄 10 羽、2.0～2.5 kg の坐骨神経を用いた。ペントバルビタール静脈麻酔下にて側臥位とし大腿後外側切開にて坐骨神経を坐骨切痕から総腓骨神経の前脛骨筋入口部まで露出した。下肢の肢位変化に伴う神経の動態を観察するため、膝屈曲位で坐骨神経の弛緩状態にて神経上膜上に 4-0 ナイロンでマーキングを行い肢位の変化による可動性を観察した。マーキングの位置は、坐骨切痕遠位、筋枝分岐部中枢、坐骨神経本幹、坐骨神経分岐部遠位、総腓骨神経の前脛骨筋入口遠位の五ヶ所とした。膝伸展、股関節屈曲位で最も坐骨神経が伸長された状態でのマーキング間の距離を測定し部位による伸び率を Lundborg の方法³⁾に準じて計算した。次に手術用顕微鏡視下で神経床と神経上膜間、また神経上膜を剝離し、神経束間の動態と神経束自体の変化について観察した。こののち坐骨神経を採取し 10% 中性ホルマリン固定ののち HE 染色を施し、可動性を可能とする組織構造について検索した。

結 果

1) 可動性：家兎坐骨神経の神経床は下肢弛緩時平均 85.6 ± 1.3 mm、伸展時平均 90.6 ± 2.1 mm であり、下肢の動きに合わせて平均 5.0 mm 変化しており、坐骨神経自体も平均 5.0 mm (5.8%) 延長していた。この間前脛骨筋入口部では総腓骨神経は固定されており、坐骨神経が伸縮によって下肢の動きに対応していることがわかる。各部位における伸長率の差は図 1 のごとくであり、膝関節近くで伸長率は大きくなっていたが

図 1 各部位における延長率

×150 HE

図 2 神経束間の疎な結合組織

×150 HE

図 3 神経繊維の波状構造

全て 10% 以下であった。神経床と坐骨神経本幹との間には平均 2.0 mm (2.3%) 程度の滑走がみられ、神経束間には平均 1.0 mm (1.2%) 程度の動きが存在した。神経束間には疎な結合組織が存在し、これにより神経束間での動きが可能となっているものと考えた(図 2)。

2) Fontana band の観察：裸眼および手術用顕微鏡にて神経周膜上に透見でき、神経の伸展にて消失

する縞模様がある。これは発見者である Felice Fontana にちなんで Fontana band と呼ばれている¹⁾。神経周膜を開窓しても Fontana band は確認できる。これは神経繊維の波状構造(図3)によるものであり、この波状構造こそが神経の伸縮を可能としているものである。

考 察

末梢神経の粘弾性的な物理的特性に関する報告は古くは18世紀より組織学的に¹⁾、また近年では急性延長実験による stress-strain curve により実証されている⁴⁾。一方末梢神経は生体内において四肢の動きに同調し神経床上で長軸方向に滑走するとされており Wilgis は新鮮屍体での観察で手根管中枢で正中神経は最大14.5 mm、尺骨神経は14.8 mm 滑走すると述べている⁸⁾。このような神経の滑走を可能とする構造について Millesi は神経上膜と神経床間及び神経束間の loose な組織構造を指摘している⁵⁾。圧迫や癒着によるこのような末梢神経の可動性の障害は絞扼性神経障害の一因をなすものと考えられるが、その機序はいまだ明確とは言えない。

今回の結果より正常末梢神経の可動性の主体は神経神経繊維の波状構造に由来する弾性に基づく伸縮であり、神経床との伸縮率の違い、また各神経束の伸縮率の違いにより、神経床での滑走と神経束間での動きが生じるものと推察した。家兎坐骨神経の伸長率は下肢関節の正常運動範囲内では10%以下であった。これは急性伸長にて神経への血行が障害される12~15%⁶⁾⁷⁾を下回るものである。

Dellon は手根管症候群の際、圧迫された正中神経には Fontana band が見られず internal neurolysis で band を再現することで神経の弾性が回復できるとして神経の弾性の重要性と internal neurolysis の有効性と指標について報告している⁹⁾。

以上より可動性低下による神経障害の発生機序を考えると、圧迫や神経周囲の癒着により intraneural fi

brosisが生じ、局所的に神経繊維の弾性が失われ伸縮性が低下し、神経束間あるいは神経床での滑走が障害され、健常組織に過度の牽引力が加わり二次的に変性していくものと推察した。

結 語

- 1) 日本白色家兎10羽の坐骨神経を用いて、正常神経の可動性について検討した。
- 2) 末梢神経の可動性は神経繊維の波状構造に由来する弾性に基づく伸縮と、神経床と神経上膜間及び神経束間の滑走であり、両者のうち、特に神経繊維の伸縮が重要であると推察した。

参 考 文 献

- 1) Clarke, E., Bearn, J. G. : The spiral nerve bands of Fontana. *Brain*, 95 : 1-120, 1972.
- 2) 堀内行雄 : 末梢神経障害に関する実験的研究 - 圧迫神経障害について -. *日整会誌*, 57 : 789-803, 1983.
- 3) Lundborg, G., Rydevik, B. : Effects of stretching the tibial nerve of the rabbit. A preliminary study of the intraneural circulation and the barrier function of the perineurium. *J. Bone Joint Surg.*, 55-B : 390-401, 1988.
- 4) Lundborg, G. : *Nerve Injury and Repair*, pp. 91-96. New York, Churchill Livingstone, 1988.
- 5) Millesi, H., Zoch, G., Rath, T. : The gliding apparatus of peripheral nerve and its clinical significance. *Ann. Hand Surg.*, 9 : 87-97, 1990.
- 6) Ogata, K., Naito, M. : Blood flow of peripheral nerve effects of dissection, stretching and compression. *J. Hand Surg.*, 11-B : 10-14, 1992.
- 7) Wall, E. J., et al. : Experimental stretch neuropathy. Changes in nerve conduction under tension. *J. Bone Joint Surg.*, 74-B : 126-129, 1992.
- 8) Wilgis, E. F. S., Murphy, R. : The significance of longitudinal excursion in peripheral nerves. *Hand Clinics*, 2(4) : 761-766, 1986.
- 9) Zachary, L. S et al. : The structural basis of Felice Fontana's spiral bands and their relationship to nerve injury. *J. Reconstr. Microsurg.*, 9(2) : 131-138, 1993.