上肢の運動時における正中神経の運動解析

Analysis of the Movement of the Median Nerve during Upper Limb Motion

三浦 雅文¹⁾

MASAFUMI MIURA¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation Gunma University of Health and Welfare: Maebashi Plaza Genki21 6-7F, 2-12-1 Honmachi Maebashi-shi, Gunma 115-0044, Japan. TEL+81 27-210-1294 E-mail: mamiurapt@gmail.com

²⁾ Department of Health Science Kyorin University

Rigakuryoho Kagaku 30(2): 273–277, 2015. Submitted Oct. 31, 2014. Accepted Dec. 10, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate median nerve movement during upper limb motions. [Subjects] The subjects were 12 healthy adults. [Methods] Ultrasound images of the median nerve in the middle forearm were taken during active finger flexion and median nerve neurodynamic testing. The transverse distance, cross-sectional area, perimeter and the ratio of the major axis of the ellipse of best fit to the minor axis were calculated and compared between before and after upper limb motion. [Results] During active finger flexion and median nerve neurodynamic testing, the median nerve was moved in the transverse direction according to movement of the muscles. Movements differed among individuals. No significant changes were found in cross-sectional area, perimeter, and the ratio between the major and minor axes of the ellipse of best fit. [Conclusion] The median nerve was moved transversely according to the tissue around the nerve. These movements were different among subjects and suggest the individuality of median nerve sliding.

Key words: median nerve, neurodynamics, ultrasound image

要旨:〔目的〕本研究は上肢の運動時における正中神経の運動について調査することを目的とした。〔対象〕健康成人13名（年齢の平均±標準偏差は23.4 ± 3.9歳）を対象とした。〔方法〕手指自動屈曲運動と正中神経動力学検査を行い、前腕中央部の正中神経超音波画像を撮像した。次に横断的移動距離、横断面積、外周径、最適楕円長短径比を算出し、運動の前後で比較した。〔結果〕手指屈曲運動および正中神経動力学検査とともに、正中神経は筋の動きに応じて横断方向に移動し、その動き方は被験者ごとに異なっていた。一方横断面積、外周径、最適楕円長短径比は運動の前後で有意な変化はなかった。〔結語〕正中神経は手指屈筋の収縮および正中神経の長軸方向の緊張による影響を受け、正中神経周囲の組織の動きに応じて様々な方向へ横断的に移動した。この運動には被験者ごとに差異がみられ、正中神経滑走の個別性が示唆された。

キーワード: 正中神経、ニューロダイナミクス、超音波画像

¹⁾ 群馬医療福祉大学 リハビリテーション学部:群馬県前橋市本町2-12-1 前橋プラザ元気21 6・7階 (〒371-0023) TEL 027-210-1294

I. はじめに

神経組織の機能は生理的機能と機械的機能に分けられる。生理的機能には神経内血流、インパルス伝導、軸索輸送、炎症、機械感受性などがあり、この機能が障害されると運動麻痺や感覚障害、炎症反応の変化が生じる。それに対して機械的機能とは身体運動時に生じる様々な外力に対して神経組織が物理的に適応することであり、伸張、滑走、圧迫の3つに区別される。Breig¹⁾は、体幹の運動によって脊髄が脊柱管内で伸張や弛緩をすること、および脊髄が重力によって脊柱管内を移動するといった神経系の機械的機能について言及した。

末梢神経の機械的機能は滑走、緊張、圧迫に区別される。また、神経の滑走は長軸方向の滑走と横断方向の滑走がある。長軸方向の滑走は、例えば手指の運動によって上肢の末梢神経が長軸方向に伸張されるとき、神経が長軸方向に移動することで緊張を軽減しようとするために生じる。一方、神経の横断的滑走は、周囲の組織から圧迫を受けた時にその圧迫力を軽減したり、神経が緊張した際に経路を最短距離にしたりする作用があると考えられている。そして、このような神経の機械的機能は、メカニカルインターフェースと呼ばれる筋や靱帯などの神経周囲の組織が神経組織に及ぼす影響が重要である。

このような機械的機能が障害を受けると疼痛や関節可動域制限などの機能障害を引き起こす。神経の機械的機能障害に対する理学療法として、Butler²⁾は神経系モビライゼーションの手技を紹介した。神経系モビライゼーションは、神経組織が構造的連続性を有することで、末梢の関節運動によって中枢側の神経組織に伸張や滑走といった力学的影響を及ぼすことを応用し、神経組織と神経以外の組織を別々に動かす手技である。

神経の機械的機能に関する基礎研究は、Breig¹⁾が示したような屍体を用いた実験が多い。しかし屍体では、神経組織を露出するために周囲の組織を切除すること、および筋収縮が生じないことから、屍体と生体の反応が必ずしも同じであるとは限らない。よって生体における神経系の機械的機能解析が重要である。

近年、超音波画像解析装置を用いた生体における神経の機械的機能の研究が注目されている。この装置はリアルタイムに動的な評価が可能であり、生体における神経の運動解析に適している。Nakamichiら³⁾は手指屈曲の抵抗運動を行った時の手根管部における正中神経を解析したところ、横断方向に2.1 mm滑走したと報告した。また、Ellisら⁴⁾が神経系モビライゼーションのスランptest施行時の坐骨神経を解析したところ、側方へ最大で10.9 mm、前後に最大で8.3 mm滑走したと報告した。

超音波画像解析装置は、撮像を動画で取り扱うことで神経の動きを質的に解析が可能であるという利点がある

にも関わらず、先行研究ではこのような利点を活かした質的な神経の運動解析を行った報告は見られない。そこで本研究では、上肢を運動させた時の神経と神経周囲の組織が機械的にどのように影響しているかを明らかにすることを目的として、超音波で観察しやすく先行研究でもよく取り上げられる正中神経を対象に、手指自動屈曲運動時の筋収縮や神経モビライゼーション手技の一つである正中神経動力学検査によって正中神経に緊張を加えた際に、正中神経がどのように機械的適応をしているかについて経時的定性的解析と定量的解析を行い、神経の機械的機能に対する理学療法の科学的根拠とすることとした。

II. 対象と方法

1. 対象

若年の健康成人13名の一側上肢13肢（男性9名／女性4名、年齢の平均±標準偏差は23.4±3.9歳）を対象とした。なお、本研究は杏林大学倫理審査委員会にて承認を受けており、被験者には事前に本研究の目的や方法、安全性、個人情報の保護について書面で十分な説明を行い、参加の同意を得た。

2. 方法

超音波画像診断装置はHI VISION Preirus（日立メディコ社製）を使用し、撮像を行った。撮像肢位はベッド上背臥位とし、リニアプローブは表在・浅部組織用（5-18 MHz）を使用し、撮像時には超音波用ゲルを塗付した。撮像位置は尺骨長を測定しその中央部前面とした。撮像条件は第3指自動屈曲運動時（Active Flexion, 以下AF）と正中神経動力学検査施行時（Neurodynamics, 以下ND）とした。先行実験において第3指の自動屈曲運動時に正中神経滑走距離が最大となることを確認している。AFでは被験者の上肢を解剖学的肢位（この時の肢位をBefore Muscle contraction, 以下BMC）とし、プローブをあてたまま第Ⅲ指の指尖が手掌に触れるまで屈曲（この時の肢位をIn Muscle contraction, 以下IMC）した後に、BMCに戻すように指示した。NDはButlerのMedian nerve neurodynamic test（以下MNT）の方法²⁾に従い、この手技に熟練した理学療法士1名が行った。まず他動的に手指伸展位、肩関節外転外旋位、肘関節伸展位とし（この時の肢位をBefore Nerve Tensionとし、以下BNTと略す）、プローブをあてたまま手関節を可及的に背屈（この時の肢位をIn Nerve Tension, 以下INT）させた後に、BNTに戻した。手指の運動中もプローブが動かないように注意深く撮像した。

MNTは健康者でも伸張痛やしびれといった自覚症状や可動域制限が生じる⁵⁾。本研究では危険を回避するために、被験者が強い自覚症状を訴えた場合と、セラピス

トが運動中の抵抗感が可動域の限界に達したと判断した場合には手技を終了した。

撮像した画像は画像解析ソフトウェア Image J (米国国立衛生研究所, NIH)⁵⁾ を使用して, 定性的解析と定量的解析を行った。定性的解析は AF と ND それぞれの動画を 10 枚の連続静止画に変換して観察し, 正中神経の運動方向, 運動軌跡, 変形の程度を観察した。定量的解析は ImageJ の「Measure ツール」で正中神経横断面の中心座標, 横断面積, 横断面の外周径, 横断面の最適楕円長短径を算出した。また, 正中神経横断面の中心座標を用いて, AF では BMC-IMC 間の移動量を, ND では BNT-INT 間の正中神経の移動量をそれぞれ算出し, 横断的移動距離とした。最適楕円長短径は短径を長径で除し, 形状の目安とした。

統計学的解析は SPSS version18 を用いた。面積, 外周径, 最適楕円長短径比は, AF においては BMC-IMC 間, ND においては BNT-INT 間で, それぞれ対応のある 2 群間の差の検定を行った。また, 横断的移動距離は AF-ND 間で対応のある 2 群の差の検定を行った。いずれも有意水準は 5 % とした。

III. 結 果

被験者 13 名のうち 4 名は画像が不鮮明となり, 正確な解析ができなかったために対象から除外し, 9 名 (男性 5 名/女性 4 名, 年齢の平均 $\pm$ 標準偏差は 23.0 ± 4.6 歳) を対象として解析した。

正中神経の超音波画像の一例を図 1, 2 に示す。正中神経の横断的移動距離は AF において BMC-IMC 間で 2.00 ± 0.85 mm, ND において BNT-INT 間で 1.99 ± 0.78 mm であり, これらを AF と ND で比較したところ有意差は見られなかった。

観察では正中神経と周囲の組織の運動がはっきり確認できた。AF では, IMC において浅指屈筋, 深指屈筋ともに筋収縮により筋厚が増加し, それに応じて正中神経が橈側に向かって押し出され長母指屈筋に接触した。ND では INT において手関節の背屈に伴って浅指屈筋, 深指屈筋ともに伸張され筋厚が減少し, 正中神経は深指屈筋に押し出されて浅指屈筋の筋腹にめり込んでいくようであった。

各条件における正中神経の移動方向, 移動軌跡, 変形の程度を表 1 に, 面積, 外周径, 最適楕円長短径比を表 2 に示す。移動方向は AF では多様であり, ND では橈側または下方が多い傾向であった。移動軌跡は AF, ND ともにほとんどが直線であったが, AF では 2 名が曲線をたどった。形状は面積, 外周径は変化がなく, 最適楕円長短径比は橈尺方向が長径で, 短径は長径の約 50 % となる楕円を呈していた。形状は「変形が顕著」はなし, 「変形を視覚的に確認できるが中等度」は, AF では 3 名,

それ以外は「変形が極僅かかほとんどなし」であった。このように正中神経の横断的な運動のパターンは個人差が顕著であった。

IV. 考 察

超音波画像解析装置を用いた解析は近年散見されるが, 経時的な解析をした報告は見られない。本研究では, これまでにはない神経の経時的質的解析の成果が得られた。

AF では手指屈筋群の筋収縮によって対象者ごとに様々な方向から正中神経が押され, それに応じて横断的に移動する過程が確認できた。この時の移動距離は Nakamichi ら³⁾ や Greening ら⁶⁾ の報告とほぼ同程度であった。ND でも手関節の運動に伴い, 正中神経が横断的に移動していた。これは正中神経に長軸方向の張力が加わった際に, 神経組織が過剰に緊張すること避けるように, 神経の経路を最短距離に留める役割を果たしていると考えられる。

AF では正中神経への圧迫力が, 一方 ND では正中神経への長軸方向への張力が加わっており正中神経への外力はそれぞれで異なっていたが, どちらも正中神経の横断的滑走が同程度で生じることが明らかとなった。

また AF, ND の両運動において, 手指屈筋と正中神経は相互に影響し合っており, 正中神経が浅指屈筋の隙間に入り込むように移動したり, 筋の周囲を回り込んだりする運動を生じていた。これは筋の動きに応じて正中神経が円滑に移動し, 神経組織への圧迫力を軽減するように機能していると考えられる。もし筋の弾性が低下したら, 神経の円滑な移動が阻害され疼痛や可動域制限が引き起こされる。したがって, 神経の機械的機能障害への評価や治療では, 神経のみならず筋などのメカニカルインターフェースへの介入が重要であることが明らかとなった。

さらに, 超音波画像から正中神経の滑走方向や滑走の軌跡, 形状の変化を観察したところ, 尺側, 橈側, 上方, 下方と多様な方向に滑走していた。これは筋組織の大きさや弾性は, 被験者ひとり一人異なるために正中神経の動き方も異なるものと考えられ, 神経に機械的機能はヒトそれぞれが異なる特性を持つことを示唆している。

AF, ND のどちらも横断面積, 外周径, 最適楕円長短径比は変化しなかった。正中神経横断面の観察では視覚的に神経の形状変化が明確に確認できたのは 3 例であった。神経の形状変化は結合組織からなる神経外膜によるものである。この神経外膜は「Nerve Pad」と呼ばれ緩衝材として機能し, メカニカルインターフェースによって受ける圧迫から軸索を保護している²⁾。本研究の結果からもこのような「Nerve Pad」の機能の重要性が確認された。

図1 前腕中央部における手指自動屈曲運動中の正中神経の横断方向の移動

青：正中神経の横断面，赤：浅指屈筋，緑：深指屈筋，黄：長母指屈筋

Image1：手指自動屈曲運動直前の静止状態。(BMC)

Image2：手指の屈曲運動を開始すると，浅指屈筋が膨隆し始め，それに伴って正中神経の形がやや歪み始めた。

Image3～4：手指屈曲運動に従って，正中神経は橈側に移動し，形の歪みも大きくなった。

Image5：正中神経が長母指屈筋に隣接する位置まで移動した。

Image6：手指が手掌に着くことで屈曲運動が完了し，伸展運動に切り替わった。このとき正中神経は最も橈側に移動した。(IMC)

Image7：手指の伸展運動に従って，正中神経はImage2～5の段階の逆の動きをして戻り始めた。

Image8～9：手指の伸展運動がさらに進むと，正中神経は長母指伸筋から離れていき，BMCの位置に向かって戻った。

Image10：手指の伸展運動が完了し，正中神経はほぼBMCと同様の状態となった。

図2 前腕中央部における正中神経動力学検査施行中の正中神経の横断方向の移動

青：正中神経の横断面，赤：浅指屈筋，緑：深指屈筋，黄：長母指屈筋

Image1：正中神経動力学検査手技を進め，最後の操作である手関節背屈施行直前の静止状態。(BNT)

Image2：手関節背屈を開始すると，浅指屈筋が伸張され厚みが減少していった。正中神経は浅指屈筋に滑り込むような状態となった。

Image3～5：筋の伸張が深指屈筋にも明らかに及び始め，正中神経はさらに浅層（写真の上方）に向かってゆっくりと移動した。

Image6：手関節最大背屈位で，正中神経の浅層への移動は最大となった。(INT)

Image7：手関節背屈を緩めて中間位へ戻し始めると，それに従って正中神経もBNTの位置に向かって戻り始めた。

Image8～9：手関節が中間位近づくに従って浅指屈筋，深指屈筋の厚みが増大し始めた。

Image10：手関節が中間位となり，正中神経はBNTの位置へ戻った。

表 1 AF および ND における各運動中の正中神経の運動方向, 軌跡, 変形の程度

被験者 ID	AF			ND		
	方向※ ¹⁾	軌跡※ ²⁾	変形の程度※ ³⁾	方向※ ¹⁾	軌跡※ ²⁾	変形の程度※ ³⁾
1	U → I	直線	0	R	直線	0
2	U	曲線	1	R	直線	0
3	I	直線	0	R	直線	0
4	I	直線	0	S	直線	0
5	I → U	直線	0	I	直線	0
6	I → R	直線	0	なし	なし	0
7	U → I	直線	0	S	直線	0
8	R	曲線	1	S	直線	0
9	I → R	直線	1	S	直線	0

※¹⁾ U: 尺側方向, R: 橈側方向, S: 上方向, I: 下方向 (矢印で示したものは運動方向が途中で変わった場合を示す。) ※²⁾ 運動の軌跡が弧を描いていた場合を曲線とした。相対的に位置が動いていないように見えた場合を「なし」と記した。 ※³⁾ 0 ~ 2 の順序尺度で記した。0: 変化が極僅か, またはない, 1: 変形を視覚的に確認できるが中等度, 2: 変形が顕著 とした。

表 2 正中神経の横断面積, 外周径, 最適楕円長短径比

		第 3 指自動屈曲運動時		正中神経動力学検査施行時	
		筋収縮前	筋収縮時	神経緊張前	神経緊張後
面積	(mm ²)	7.53 ± 2.29	7.50 ± 1.56	7.33 ± 1.83	7.35 ± 1.36
外周径	(mm)	13.15 ± 2.89	13.16 ± 1.84	12.80 ± 1.89	12.21 ± 2.18
最適楕円長短径比	(%)	0.56	0.51	0.59	0.61

全ての項目が筋収縮前後間, 神経緊張前後間において有意差なし。

ND において横断面積は変化しなかった。材料工学ではある素材が伸張されると一定の比率 (ポアソン比) で横断面積が減少する⁷⁾とされている。ポアソン比は素材ごとに係数がわかっており, 「生体組織」のポアソン比は約 0.5 とされている。本研究の結果において正中神経が伸張するように身体を操作しても, 正中神経の横断面積が変化しなかったことは, 正中神経の長さも増大していなかったことを示唆している。Shacklock⁸⁾によると, 神経は身体運動時に滑走することによって伸張時に生じる過剰な緊張を軽減させている。つまり, 滑走機能が限界に達すると神経の緊張が高まり痛みやしびれが生じ, 運動の抵抗感も強くなる。正中神経の横断面積が変化しなかったのは, 本実験では伸張痛やしびれ, および運動の強い抵抗感が生じたところで MNT を終了としており, 正中神経が滑走から伸張に転じる前に手技を終了させていたためと考えられる。

引用文献

- 1) David B: 伊藤直榮訳: バトラー・神経系モビライゼーション—触診と治療手技—。伊藤直榮 (訳), 三秀舎, 東京, 2000, pp125-157.
- 2) Breig A: Adverse mechanical tension on the central nervous system. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1995, 14-108.
- 3) Nakamichi K, Tachibana S: Transverse sliding of the median nerve beneath the flexor retinaculum. J Hand Surg Br, 1992, 17(2): 213-216.
- 4) Ellis R, Hing W, Dilley A, McNair P, et al.: Reliability of measuring sciatic and tibial nerve movement with diagnostic ultrasound during a neural mobilisation technique. Ultrasound in Medicine and Biology, 2008, 34(8): 1209-1216.
- 5) 前岡 浩, 福本貴彦, 坂口 顕・他: 画像解析ソフト ImageJ 信頼性の検証, 立ち上がり動作を利用して。理学療法科学, 2008, 23(4): 529-533.
- 6) Greening J, Smart S, Leary R, et al.: Reduced movement of median nerve in carpal tunnel during wrist flexion in patients with non-specific arm pain. The Lancet, 1999, 354: 217-218.
- 7) 荒木 力: エラストグラフィ徹底解説—生体の硬さを画像化する—。学研メディカル秀潤社, 東京, 2011, pp21-23.
- 8) Michael Shacklock 著, 斎藤昭彦訳: クリニカルニューロダイナミクス。エンタープライズ出版部, 東京, 2008, pp2-7.