

物理療法系専門領域研究部会

物理療法の研究手法：特に介入条件と効果判定について
—経皮的末梢神経電気刺激*—

濱出茂治**

はじめに

1965年, Melzack, Wall¹⁾ が門制御理論を提唱して以来, 電気刺激による除痛方法が研究されてきた。1967年, Shealy²⁾ は後根電気刺激法を考案し, 臨床応用している。1973年, Longら³⁾ は埋め込み型の経皮的末梢神経電気刺激法を開発した。また, 1973年, 細渕ら⁴⁾ は深部脳電気刺激による除痛効果について報告している。これらの電気刺激方法は生体を侵襲しなければならないため, 感染や断線の問題が存在した。一方, 1976年, Ignelzi⁵⁾ は非侵襲型の経皮的末梢神経電気刺激 (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: TENS) の鎮痛効果を報告した。その後, 現在に至るまで非侵襲型の経皮的末梢神経電気刺激法はリハビリテーション医学領域で, 広く臨床応用されている⁶⁾。

TENSの鎮痛メカニズム

TENSの鎮痛機序に関してこれまでの諸家の報告では, 高頻度 TENS は一次ニューロンレベルで A- δ 線維を選択的に抑制できるとし⁷⁻¹¹⁾, 低頻度 TENS は内因性除痛物質 (エンドルフィン, エンケファリンなど) の産生を促して除痛効果を生じるという見解が多い¹⁷⁻¹⁹⁾。

加納⁷⁾ は成犬28頭を対象に脛骨神経に100 Hzの両方向性矩形波を加え, 脊髄誘発電位を導出したところ, P1成分の抑制は軽度であったが, N1, P2成分は著明に抑制され, 脊髄後角でインパルス遮断が生じていると報告している。Wall⁸⁾ は100 Hzの高頻度 TENS が末梢神経経路でインパルスの伝導遮断を生じさせることができると報告している。Garrison⁹⁻¹¹⁾ は成熟猫で脊髄後角細胞の興奮を TENS で54%抑制したと報告している。Jiangら¹²⁾ はラットで実験的に作製した炎症性疼痛に高頻度 TENS が有意に効果を示したとしている。

ヒトを対象とした研究では, Levinら¹³⁾ は正中神経から導出した A- δ 線維の伝導を高頻度 TENS で抑制できたとしている。Urasakiら¹⁴⁾ は高頻度 TENS が短潜時体性感覚誘発電位における早期成分の抑制を生じさせたとしている。同様に Akyuzら¹⁵⁾ は体性感覚誘発電位と感覚神経誘発電位が TENS によって抑制されたと報告している。

神経に電気刺激を行うと, +と-の電極下では神経興奮性の低下が生じる。この現象は両電極下に電気緊張が起きるためである。この一時的な神経興奮の伝導遮断は分極性ブロックと呼ばれ, TENS における疼痛の神経性抑制機序としては最も単純な考え方ではあるが¹⁶⁾, この考え方に基づいて高頻度 TENS を行うと治療効果はかなり高くなる。ただし, 疼痛抑制効果はほぼ刺激中に限定され, 刺激後の持続性には乏しい。

内因性疼痛抑制機序としては TENS を行うと脳脊髄液中のオピオイド物質が増加し, 疼痛伝達経路に抑制的に働くという報告が多い¹⁷⁻¹⁹⁾。特に低頻度 TENS の方が高頻度 TENS に比べて内因性除痛物質の産生が高いとされる。

TENSにおけるエビデンス研究

Carrolら²⁰⁾ は慢性疼痛症状に対する TENS のエビデンスに関して過去に報告された107の研究報告の中で, 無作為比較研究が行われた19論文を対象にメタ分析を行っている。その結果, TENS は短時間の疼痛軽減効果はあるが, 持続性に欠けるとしている。また, TENS 方法は刺激条件が確立されているとはいいがたく, 強度, 刺激時間等の治療量は一定の見解が得られていない。特に刺激部位に関しては, 多くの治療者が経穴を選択しているが, これらの刺激方法について今後, さらに検討する必要がある (表2)。

Osiriら²¹⁾ は1975年から1999年までに変形性膝関節症における疼痛症状を対象とした TENS の効果について報告された210論文の内, 無作為比較研究は9論文であったが, メタ分析を行った結果, 研究の質的評価は低く, エビデンスとして確立されているとはいえないと述べている。

表1 TENSの種類と刺激条件

TENS 方法	強度	持続時間	刺激頻度
高頻度 TENS	閾値 or 最大上	60 - 80 μ sec	70 - 80 Hz
低頻度 TENS	閾値 or 最大上	200 - 250 μ sec	1 - 20 Hz

* Research Method of Physical Modality: The Condition of Intervention and Decision of Effect—Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation—

** 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科保健学専攻 理学・作業療法学講座 理学療法学分野
(〒852-8520 長崎県長崎市坂本町1-7-1)
Shigeharu Hamade, RPT: Division of Physical Therapy, Department of Physical Therapy and Occupational Therapy, Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University Course of Health Sciences
キーワード: 経皮的末梢神経電気刺激法, 介入条件, 効果判定

表2 TENSにおけるエビデンス研究の比較

	TENS	方法	対象	刺激部位	効果
Smith 1983	32-50Hz	閾値強度, 4 週	膝 OA (32 例)	経穴	あり
Abelson 1983	HF (70 Hz)	閾値強度, 15 分, 3 回	多発性関節リウマチ (32 例)	疼痛部位	あり
Grimmer1992	HF (80 Hz) LF (3 Hz)	閾値強度, 30 分, 1 回	膝 OA (60 例)	経穴	なし
Hsueh 1997	HF (60 Hz) LF (10 Hz)	閾値強度, 20 分, 1 回	筋膜痛 (60 例)	疼痛部位	あり
Jensen 1991	HF (80 Hz) LF (2 Hz)	閾値強度, 30 分, 5 回	膝 OA (20 例)	経穴	なし
Kumar 1997	LF (2 Hz)	閾値強度, 30 分, 4 週	糖尿病性ニューロパチー (31 例)	経穴	あり
Lewis 1994	HF (70 Hz)	限界強度, 30-60 分, 3 回・日, 3 週	膝 OA (28 例)	経穴	なし
Moore 1997	HF (100 Hz)	強度不明, 5 時間, 2 回	慢性腰痛 (24 例)	不明	なし
Cheing 1999	HF (80 Hz)	2 × 閾値強度, 60 分, 1 回	腰痛症 (30 例)	仙骨部	あり

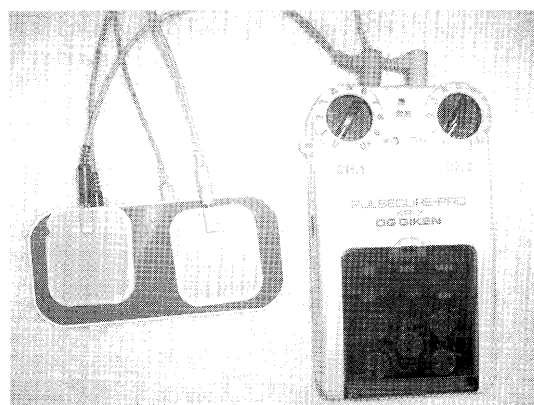


図1 TENS装置 (OG技研製)

TENSの臨床適用

筆者が実際に臨床で行っている TENS 治療について紹介する。

TENS 用刺激装置として市販されている物は多数あるが、筆者は OG 技研製のパルスキュープロ (図1) や伊藤超短波製の TENS MODEL 120Z などが使い勝手の点で優れているため良く使用している。

TENS には高頻度、低頻度刺激の2種類の方法がある。それぞれの刺激条件は表1のごとくで、疼痛の種類や期待する効果を考慮して使い分けることが多い。筆者は高頻度 TENS を臨床では多用しているが、その理由は実際にこれまで使用してきた経験から、高頻度 TENS の方が他の方法に比べて即時的な効果が高いからである。TENS の刺激部位としては疼痛症状や知覚異常部位を支配する末梢神経を選択する。上肢の場合、頸肩部では腕神経叢の刺激点としてエルブス点、正中及び尺骨神経では肘部と手関節部で刺激を行う。下肢では脛骨、腓骨神経を下腿部で刺激することが多い。また、関節痛では、関節包の痛覚線維のインパルスを抑制する目的で、関節劣隙を刺激するようにしている。

症例1は左肩関節炎が著明に進行した例である。本症例に対しては左肩に TENS と ROM エクササイズの同時治療を行った。TENS は左肩関節列線に電極を貼付し、高頻度で15分間、



図2 肩関節周囲炎に対する TENS (症例1)

持続刺激を行った (図2)。刺激を行いながら、肩関節の ROM エクササイズを行うことで、患者は肩の痛みをあまり意識することなく動かせる状態になる。ただし、注意しなければならないのは ROM エクササイズを強くやりすぎると治療後に肩関節痛が増強しやすいので、運動はできるだけ愛護的に行うことが重要である。

症例2は54歳の男性で、反射性交感神経ジストロフィと診断され、左正中神経を手関節部で TENS を行いながら (図3)、ROM エクササイズを開始したところ、2週後には RSD の症状は改善し、左上肢の疼痛、手部の浮腫は共に軽減した (図4)。さらに6週後では、左肩関節の屈曲可動域は 125° にまで改善した。

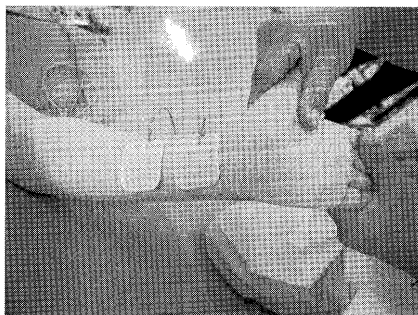


図3 反射性交感神経ジストロフィに対するTENS（症例2）

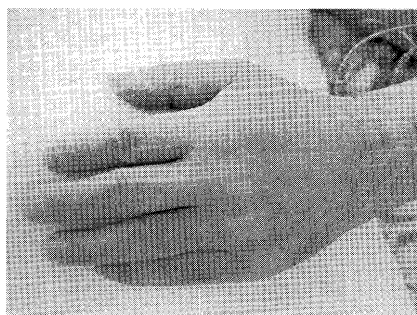


図4 反射性交感神経ジストロフィにおける手部腫脹の変化（症例2）

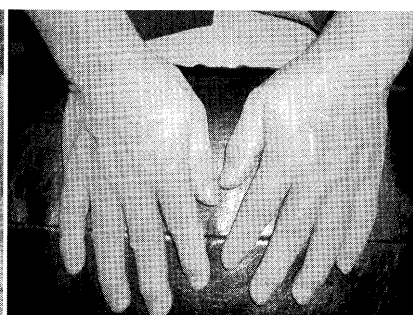


図5 肩手症候群におけるTENS（症例3）

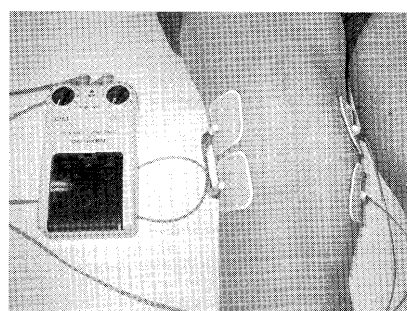


図6 膝関節に対するTENS（症例4）

症例3は79歳、男性で、脳梗塞発症後、左肩手症候群を呈した症例である。左肩関節及び左正中神経にTENSを行いながら、同時にROMエクササイズを施行したが、2ヶ月の治療で疼痛症状は軽減した（図5）。

症例4は78歳、女性で、両側人工膝関節置換術後3ヶ月を経過した症例である。両膝関節部全体に軽度の腫脹が見られ、膝関節の他動的屈曲角度は105°であった。図6のごとく、内側及び外側膝関節裂隙に2対の電極を装着し、高頻度TENSを行いながら、ROMエクササイズを行った。TENS中では、膝関節の他動的屈曲は125°まで可能となった（図7）。

症例5は84歳、女性で、高度の第1、2腰椎圧迫骨折を呈した症例である。ベッド上起き上がりや立ち上がり動作時に強い背部痛を訴えた。図8のごとく、傍脊柱部に2対の電極を装着し、高頻度TENSを行いながら、基本動作練習、歩行練習を試みた。結果として、TENS中は背部痛が軽減しているため、症例の動作速度は改善した。

TENSにおける今後の課題

これまで述べてきたようにTENSは刺激条件と刺激部位を適切に選択して用いれば、その効果は高いといえる。筆者がこれまで紹介した治験例では、TENSと運動療法の併用によって治療期間の短縮が可能であった。特に刺激部位については疼痛の発生原因が関節性か神経性かによって異なるので、適切に除痛反応を確認して選択する必要がある。従来のTENS研究における多くの報告は刺激部位が一定していないため、エビデ

ンとして確立できていないが、筆者は自身の治験例からいっても、TENSは有効な疼痛治療手段であると確信している。

筆者の強調したいことは、患者の疼痛症状をよく把握することが大切であり、特に疼痛症状がどのような原因で起きているのか、また、その疼痛症状をどの場所で抑制することが可能かなどを十分検討していくことが肝要である。

文 献

- 1) Melzack R, Wall PD, *et al.*: Pain mechanisms: A New theory. *Science* 150: 971-979, 1965.
- 2) Shealy CN, Mortimer JT, *et al.*: Electrical inhibition of pain by stimulation of the dorsal column: preliminary clinical reports. *Anesth Analg* 46: 489-491, 1967.
- 3) Long DM: Electrical stimulation for relief of pain from chronic nerve injury. *J Neurosurg* 39: 718-722, 1973.
- 4) Hosobuchi Y, Adams JE, *et al.*: Chronic thalamic stimulation for the control of facial anesthesia dolorosa. *Arch Neurol* 29: 158-161, 1973.
- 5) Ignelzi RJ, Nyquist JK: Direct effect of electrical stimulation on peripheral nerve evoked activity: implication in pain relief. *J Neurosurg* 45: 159-165, 1976.
- 6) Long DM, Erickson D, *et al.*: Electrical stimulation of the spinal cord and peripheral nerves for pain control. A 10-year experience. *Appl Neurophysiol* 44: 207-217, 1981.
- 7) Kano T: Local electroanalgesia: 1. Percutaneous current application to the human forearm to produce local analgesia. *Analgesia* 27: 495-500, 1978.
- 8) Wall PD, Gutnick M: Properties of afferent nerve impulses originating from a neuroma. *Nature* 248: 740-743, 1974.
- 9) Garrison DW, Foreman RD: Decreased activity of spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cells during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Pain* 58: 309-315, 1994.
- 10) Garrison DW, Foreman RD: Effects of prolonged transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and variation of stimulation variables on dorsal horn cell activity in cats. *Eur J Phys Med Rehabil* 7: 87-94, 1994.

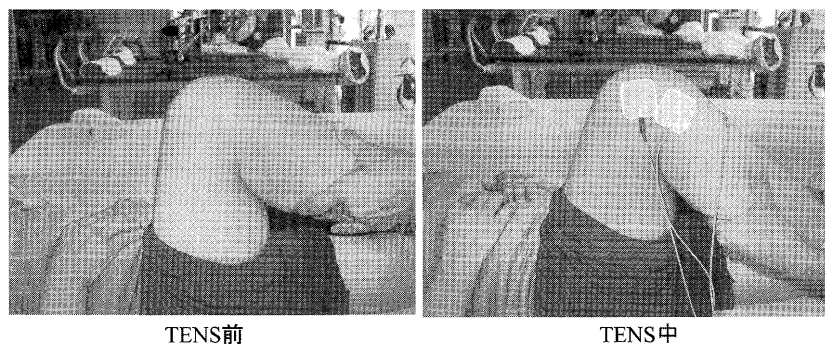


図7 TENSとROM訓練の併用（症例4）

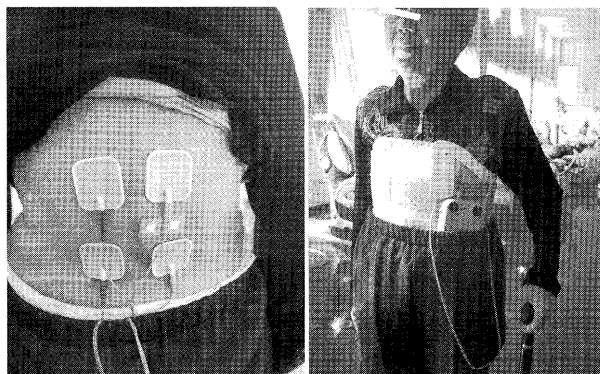


図8 腰椎圧迫骨折に対するTENS（症例5）

- 11) Garrison DW, Foreman RD: Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) electrode placement on spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cell activity in the cat. *Neuromodulation* 5: 231-237, 2002.
- 12) Jiang YX, Wang Y, *et al.*: Comparison between therapeutic effects of transcutaneous electrical nerve stimulation with the frequency of 2Hz and 100Hz on chronic inflammatory pain in rats. *Zhongguo Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi* 21: 923-925, 2001.

- 13) Levin MF, Christian W, *et al.*: Conventional and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation excite similar afferent fibers. *Arch Phys Med Rehabil* 74: 54-60, 1993.
- 14) Urasaki E, Wada S, *et al.*: Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on central nervous system amplification of somatosensory input. *J Neurol* 245: 143-148, 1998.
- 15) Akuyuz G, Guven Z, *et al.*: The effect of conventional transcutaneous electrical nerve stimulation on somatosensory evoked potentials. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 35: 371-376, 1995.
- 16) 演出茂治：経皮的末梢神経電気刺激の一次ニューロンに及ぼす影響. *理・作・療法* 22: 259-262, 1988.
- 17) Sjolund BH, Eriksson MB, *et al.*: The influence of naloxone on analgesia produced by peripheral conditioning stimulation. *Brain Res* 173: 295-301, 1979.
- 18) Abram SE, Reynolds AC, *et al.*: Failure of naroxone to reverse analgesia from transcutaneous electrical stimulation in patients with chronic pain. *Anesth and Analg* 60: 81-84, 1981.
- 19) Lee KH, Chung JM, *et al.*: Transcutaneous nerve stimulation inhibits spinothalamic tract cells. *Advances in Pain Research and Therapy* 9: eous-209, 1985.
- 20) Carroll D, Moore RA, *et al.*: Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain (Review). *The Cochrane library* 2005 Issue 4.
- 21) Osiri M, Brosseau L, *et al.*: Transcutaneous electrical nerve stimulation for knee osteoarthritis (Review). *The Cochrane library* 2005 Issue 4.