

# 疼痛に対する物理療法

瀧口 述弘

畿央大学健康科学部理学療法学科

(〒635-0832 奈良県北葛城郡広陵町馬見中4-2-2)

## Physical agents for pain relief.

Nobuhiro TAKIGUCHI

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Kio University

(4-2-2 Umami-naka, Koryo-cho, Kitakatsuragi-gun, Nara 635-0832, Japan)

**要旨** 疼痛に対する物理療法として温熱療法、寒冷療法、電気刺激療法等がある。疼痛は理学療法の臨床場面でよく対象となる機能障害の一つであり、物理療法は理学療法士が使える疼痛を軽減させる治療手段の一つである。本稿では疼痛に対して使用する物理療法について概説する。

Keywords：物理療法、疼痛、鎮痛、電気刺激療法

### 1. はじめに

疼痛は、国際疼痛学会によると「実際の組織損傷もしくは組織損傷が起こりうる状態に付随する、あるいはそれに似た、感覚かつ情動の不快な体験」と定義されている<sup>1)</sup>。疼痛は理学療法の治療対象として介入することが多く、自然治癒で改善する場合もあれば、疼痛が持続する場合もあり、治療に難渋することも多い。疼痛の感じ方は個人差が大きく、受傷の程度はもちろん影響するが、性別、年齢、心理的側面、遺伝子型など、多くの要因が疼痛に影響する<sup>2)</sup>。実際の理学療法臨床場面では、疼痛の原因と、疼痛を増強させている要因を評価し、治療手段を選択し、適切な方法で実施することが必要である。理学療法場面で用いる鎮痛手段には運動療法と物理療法がある。実際の臨床場面では、運動療法と組み合わせて物理療法を実施するが、本稿では、物理療法を中心に概説する。

### 2. 疼痛に対する物理療法

疼痛に対する物理療法は、温熱療法、寒冷療法、レーザー治療、電気刺激療法が挙げられる(図1)。また、近年はバーチャル・リアリティや拡散型ショックウェーブ、経皮的迷走神経刺激等の新しい物理療法の効果も報告されている(表1)。



図1 様々な物理療法機器

表1 疼痛管理に用いる物理療法

温熱療法
寒冷療法
レーザー療法
電気神経療法
バーチャル・リアリティ
拡散型ショックウェーブ
経皮的迷走神経刺激

#### 2.1 温熱療法

温熱療法は、ホットパックやパラフィン浴、マイクロ波、近赤外線療法、ジアテルミー、超音波療法等が使用されている。温熱効果を付与することで、拘縮等

が原因で、柔軟性が低下している軟部組織に対して、一時的に柔軟性を高めることができ、軟部組織の伸張に対する負担が軽減し、疼痛が軽減する。また、超音波療法は、金属インプラントが挿入されていても照射可能であり、更に、深部に温熱効果を付与できるため、臨床場面で使用しやすい温熱療法である。

## 2.2 寒冷療法

寒冷療法は、炎症により生じる疼痛に対してよく実施される物理療法である。炎症が生じると、プロスタグランジンやブラジキニンなど発痛物質が放出され疼痛が増強される。寒冷療法を実施することで、炎症反応を低下させ、疼痛を軽減させると報告されている<sup>3)</sup>。寒冷療法は氷嚢やアイスパックがあれば実施可能なため、臨床場面で実施しやすい物理療法である。

## 2.3 レーザー療法

レーザー療法は、温熱作用と光化学的作用による効果を与える物理療法である。鎮痛メカニズムは明確ではないが、鎮痛目的でも実施されている。

## 2.4 電気刺激療法

鎮痛目的で実施する物理療法として、最も広く実施されており、基礎研究や臨床研究の報告が多い物理療法である。特に、鎮痛目的で実施する電気刺激療法は、経皮的電気刺激（Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: TENS）と呼ばれている。

経皮的電気刺激は、皮膚上に自着性電極を貼付し、経皮的に電気刺激し、末梢神経を興奮させることで、鎮痛作用を引き起こす電気刺激療法である（図2）。

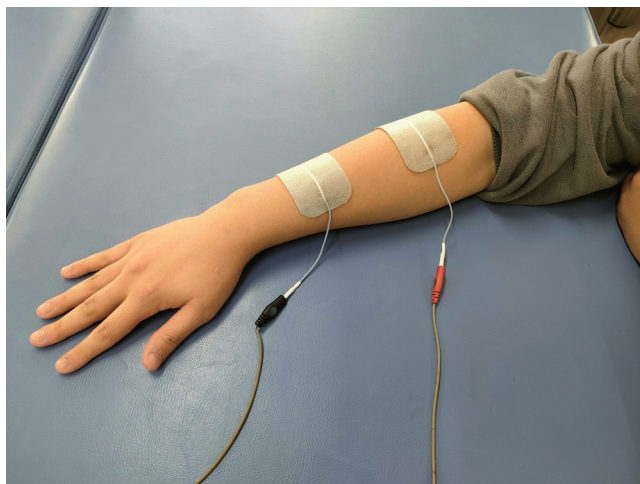


図2 経皮的電気刺激

TENSの鎮痛機序として、ゲートコントロール理論と内因性オピオイド受容体の活動が挙げられる<sup>46)</sup>。侵害刺激が生じると痛覚線維であるA $\delta$ 線維やC線維を伝導し、脊髄後角にある侵害受容神経を興奮させることで痛みを感じる。一方、TENSを実施することで、A

$\beta$ 線維を刺激し、脊髄内で、侵害刺激により興奮した侵害受容神経を抑制させる。この脊髄内で疼痛抑制が生じることをゲートコントロール理論と呼ばれている。この機序の詳細は不明であるが、この機序を生じさせるために、侵害刺激が入力する同じ脊髄レベルにTENSの刺激を入力させる必要がある。よってTENSを疼痛部位に近くに実施するか、同一の皮膚分節レベルに電極を貼付し、実施することで鎮痛効果が高まる。内因性オピオイド受容体が活動する機序として、TENSは周波数を設定して刺激を行うが、1-10Hz程度で刺激をすれば $\beta$ エンドルフィンやエンケファリンが放出され、 $\mu$ オピオイド受容体と結合することにより鎮痛作用が生じる。一方、100Hz程度の周波数で刺激をするとダイノルフィンが放出され、 $\delta$ オピオイド受容体と結合することにより鎮痛作用が生じる。これらの周波数でTENSを実施することが多いが、1-120Hz等、低周波数帯と高周波数帯の周波数を変調させることで、低周波数と高周波数の両方の鎮痛効果が生じると考えられており、近年では周波数を変調可能な機器が多くなっている。また、刺激強度を強く設定することで、活動する末梢神経の数が増えるため、これらの鎮痛機序がより強く働くと考えられており、基礎研究や臨床研究でも刺激強度を強く設定したほうが、鎮痛効果が高かった<sup>7,8)</sup>。

我々は、大腿骨近位部骨折術後症例に対して、TENSの効果を検証した。患側肢へのTENSと、両側肢同時にTENSを実施することで、より鎮痛効果が高まった基礎研究があることから<sup>9)</sup>、両側肢へのTENSの2つの方法で効果を検証した。すると、大腿骨近位部骨折術後患者において、患側肢のみのTENS、両側肢へのTENSの双方で鎮痛効果が生じ、わずかに両側肢へのTENSの方が、鎮痛効果が高かった。また、健康人に対しても両側肢へのTENSの効果を検証して、同様の結果となった。

反対側肢へのTENSも下肢切断患者などで効果を検証されていたが<sup>10)</sup>、その機序の検証は少ない。我々は、電気刺激で下肢に侵害刺激を与え、大腿二頭筋に生じる屈曲反射の筋電図を測定することで得られる侵害屈曲反射を用いて、反対側肢へのTENSの効果を検証した。侵害屈曲反射は、生理学的で客観的な疼痛指標であると報告されている<sup>11)</sup>。その結果、侵害刺激を加える反対側の同一の皮膚分節領域にTENSを実施することで鎮痛効果が生じた<sup>12)</sup>。

また、我々は侵害屈曲反射を0.5秒毎に繰り返して生じさせ、侵害屈曲反射の時間的加重を計測し、TENSが抑制できるかを検証した。これを計測することで、疼痛促進系という痛みを増強してしまう神経機

構の評価ができると考えられている。すると、TENSは単一の侵害屈曲反射は抑制できたが、侵害屈曲反射の時間的荷重は抑制することができなかった。これらの結果から、TENSは鎮痛作用を生じて、疼痛促進系を抑制することはできないことが示唆された<sup>13)</sup>。

今後のTENSの研究課題として、在宅での疼痛管理として使用できるかを明らかにするために、日常生活場面での効果の検証が必要であると考えられる。多くの基礎研究と臨床研究から、TENSは周波数を変調し、疼痛部位の周囲に電極を貼付し、刺激強度を強く設定し、30分以上実施することが、鎮痛効果を高めるために有効なパラメータ設定であると明らかになっている(表2)。これらを搭載した、安価で使用しやすい家庭用機

器が普及すれば、多くの治療効果のデータが得られる。また、TENSの問題点として、効果が生じる患者と、生じにくい患者がいる。線維筋痛症患者に対して、TENSの効果を検証した報告では、約60%の患者が効果を示した報告がある<sup>14)</sup>。これらの要因を明らかにする研究が必要である。我々は、定量的感覚検査を用いた疼痛病態分析を行い、どのような症例に対してTENSは効果的なのかを検証している。脊髄損傷後の神経障害性疼痛が生じていた症例は、定量的感覚検査を実施した所、すべての感覚刺激に対し鈍麻していた。この症例にはTENSを実施しても効果が生じなかった。脳卒中後の肩関節痛を呈した症例に対して、定量的感覚検査を実施したところ、物理的刺激に対する痛

表2 効果的なTENSの実施方法

刺激部位	疼痛部位と同一皮膚分節
周波数	2Hz, 100Hz, 変調周波数
刺激強度	快適な範囲での最大強度, 実施中も強度を調整
治療時間	30分以上

覚過敏が認められていた。TENSは周波数により鎮痛機序が異なるが、高周波数TENSだと物理的刺激に対して効果が生じ、低周波数TENSだと温熱痛過敏に対して効果があった基礎研究が報告されている<sup>15)</sup>。この症例に低周波数TENSと高周波数TENSを実施した所、高周波数TENSのみに鎮痛効果が生じた。このように、疼痛の病態によりTENSの効果や効果的な設定が異なる可能性がある。

### 3. 新しい物理療法

経皮的迷走神経刺激<sup>16)</sup>、バーチャル・リアリティ<sup>17)</sup>、拡散型ショックウェーブ等<sup>18)</sup>、疼痛に対して使用されている新しい物理療法である。経皮的迷走神経刺激は迷走神経を経皮的に刺激する物理療法である。疼痛に対しても検証されており、鎮痛効果を示した報告もあるが、その機序は明らかになっていない。バーチャル・リアリティは錯覚効果や、注意の分散を促すことで、疼痛を軽減させた報告がある<sup>17)</sup>。拡散型ショックウェーブは、痛覚受容器である自由神経終末を破壊することで鎮痛作用が生じると報告されており、足底腱膜炎などの整形外科疾患に対して実施されている。これらの新しい物理療法は臨床場面で広く普及しているとは言えず、今後の発展が待たれる。

### 4. おわりに

本稿では、疼痛に対する物理療法について概説した。新しい物理療法機器も開発されつつあり、臨床場面での効果を明らかにする研究が必要である。

### 5. 引用文献

- 1) Raja SN, Carr DB, Cohen M, et al.: The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain*:161 (9) :1976-1982, 2020.
- 2) Marchand S: Mechanisms Challenges of the Pain Phenomenon. *Front Pain Res (Lausanne)* :1:574370, 2020.
- 3) Wang Y, Li S, Zhang Y, et al.: Heat and cold therapy reduce pain in patients with delayed onset muscle soreness: A systematic review and meta-analysis of 32 randomized controlled trials. *Phys Ther Sport*:48:177-187, 2021.
- 4) Melzack R, Wall PD: Pain mechanisms: a new theory. *Science*:150 (3699) :971-979, 1965.
- 5) Han JS, Chen XH, Sun SL, et al.: Effect of low- and high-frequency TENS on Met-enkephalin-Arg-Phe and dynorphin A immunoreactivity in human lumbar CSF. *Pain*:47 (3) :295-298, 1991.
- 6) Kalra A, Urban MO, Sluka KA: Blockade of

- opioid receptors in rostral ventral medulla prevents antihyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *J Pharmacol Exp Ther*:298 (1):257-263, 2001.
- 7) Moran F, Leonard T, Hawthorne S, et al.: Hypoalgesia in response to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) depends on stimulation intensity. *J Pain*:12 (8) :929-935, 2011.
- 8) Dailey DL, Vance CGT, Rakel BA, et al.: Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Reduces Movement-Evoked Pain and Fatigue: A Randomized, Controlled Trial. *Arthritis Rheumatol*:72 (5) :824-836, 2020.
- 9) 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 (4) :231-237, 2002.
- 10) Katz J, France C, Melzack R: An association between phantom limb sensations and stump skin conductance during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) applied to the contralateral leg: a case study. *Pain*:36 (3) :367-377, 1989.
- 11) Skljarevski V, Ramadan NM: The nociceptive flexion reflex in humans -- review article. *Pain*:96 (1-2) :3-8, 2002.
- 12) Takiguchi N, Shomoto K: Contralateral segmental transcutaneous electrical nerve stimulation inhibits nociceptive flexion reflex in healthy participants. *Eur J Pain*:23 (6):1098-1107, 2019.
- 13) Takiguchi N, Tokuda M, Shomoto K: High intensity-transcutaneous electrical nerve stimulation does not inhibit temporal summation of the nociceptive flexion reflex. *Neurosci Lett*:806:137228, 2023.
- 14) Vance CGT, Zimmerman MB, Dailey DL, et al.: Reduction in movement-evoked pain and fatigue during initial 30-minute transcutaneous electrical nerve stimulation treatment predicts transcutaneous electrical nerve stimulation responders in women with fibromyalgia. *Pain*:162 (5) :1545-1555, 2021.
- 15) Somers DL, Clemente FR: Transcutaneous electrical nerve stimulation for the management of neuropathic pain: the effects of frequency and electrode position on prevention of allodynia in a rat model of complex regional pain syndrome type II. *Phys Ther*:86 (5) :698-709, 2006.
- 16) Aranow C, Atish-Fregoso Y, Lesser M, et al.: Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation reduces pain and fatigue in patients with systemic lupus erythematosus: a randomised, double-blind, sham-controlled pilot trial. *Ann Rheum Dis*:80 (2) :203-208, 2021.
- 17) Goudman L, Jansen J, Billot M, et al.: Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games*:10 (2) :e34402, 2022.
- 18) Speed CA: Extracorporeal shock-wave therapy in the management of chronic soft-tissue conditions. *J Bone Joint Surg Br*:86 (2) :165-171, 2004.