

変形性膝関節症に対しスクレロトームをデルマトーム領域に反映させた電極貼付による経皮的電気刺激（TENS）の鎮痛効果

伊黒 浩二^{1,2)}, 庄本 康治³⁾

キーワード：内側型変形性膝関節症, TENS, 電極貼付部位, 疼痛

要旨

経皮的電気刺激（TENS）は侵害刺激が入力される髄節レベルに対して電気刺激を入力することで鎮痛効果を得られることが示唆されており、電極設置部位の検討が重要である。本研究では内側型変形性膝関節症（内側型膝 OA）の侵害刺激がスクレロトームから L3,4 髄節レベルへ入力されると推察し、同一髄節レベルへ電気刺激を入力するために、デルマトーム L3,4 皮膚領域に電極を貼付した TENS（L3,4-TENS）を実施した。コントロールとして S1,2 皮膚領域に電極を設置した TENS（S1,2-TENS）を実施し比較した。内側型膝 OA 患者 9 名を対象とした。TENS を 30 分間実施し、TENS 前、中、後に C 線維の電流知覚閾値、内側関節裂隙の圧痛、荷重時痛を測定した。結果、L3,4-TENS はすべての評価項目で有意な数値の改善が認められた。スクレロトームとデルマトームを考慮した電極設置部位によって有意な鎮痛効果が認められた。

はじめに

変形性関節症（osteoarthritis：以下、OA）は関節炎を呈する一般的な運動器疾患で、滑膜関節における関節軟骨の摩耗、軟骨下骨の変化、関節辺縁部の骨棘形成、関節包の肥厚、軽度の滑膜炎を特徴としている。なかでも変形性膝関節症（以下、膝 OA）は最も一般的で¹⁾、その罹患率は加齢と共に増加し女性では 60 歳代で 30%、70 歳代で 60%、80 歳代で 80% に発症が認められている²⁾。このような点から、今後、高齢社会を迎え患者数はさらに増加することが予測され、医療経済的にも注目すべき重要な疾患であると考えられる。膝 OA 患者の主な症状は疼痛であり、運動時痛や荷重時痛は筋のこわばり、腫脹、変形などを伴い下肢の機能障害を引き起こし、患者の Quality of Life（以下、QOL）を

著しく低下させる。したがって膝 OA 治療の目的は疼痛を取り除き、機能障害を最小限にし、QOL を向上させることである¹⁾。

経皮的電気刺激（Transcutaneous electrical nerve stimulation：以下、TENS）は非侵襲的で副作用の少ない鎮痛手段であり、膝 OA の疼痛管理に推奨されている¹⁾。しかしながら TENS の実施パラメーターについては更なる検討が必要であることが示唆されており³⁾、とりわけ電極の設置部位についてはその研究も散見される程度であり、今後の研究によって電極設置部位を決定する明確な指標を確立することが求められる。

TENS による鎮痛メカニズムは、ゲートコントロール理論や内因性オピオイド放出などによると考えられている。ゲートコントロール理論は、脊髄後根に入力される伝導速度の速い固有受容感覚線維（A β 線維）の活動によって伝導速度の遅い侵害受容神経線維（A δ , C 線維）の伝達を妨げるという、古典的な理論である⁴⁾。こうした上行性の抑制に加え、近年では辺縁系や縫線核、網様体系といった高次脳中枢からの下行性抑制も疼痛に影響を及ぼすことが報告されており、現在では末梢から中枢への上行ニューロンによる影響だけではなく、感情や認知の要素を含む中枢からの下行ニューロンも影響を及ぼすと修正されている⁵⁾。

ゲートコントロール理論を考慮した場合、疼痛などの侵害刺激が入力される髄節レベルに対して電気刺激によ

Analgesic effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) electrode placement site that reflects sclerotome and dermatome for osteoarthritis of the knee

¹⁾ 森ノ宮医療大学 保健医療学部理学療法学科
Koji IGURO, MS: Department of Physical Therapy, Morinomiya University of Medical Sciences

²⁾ 森ノ宮医療学園附属みどりの風クリニック
Koji IGURO, MS: Midorinokaze Clinic in Morinomiya Medical School

³⁾ 畿央大学大学院 健康科学研究科
Koji SHOMOTO, PT, PhD: Graduate School of Health Science, Kio University

(受付日 2012 年 12 月 4 日／受理日 2013 年 3 月 5 日)

る感覚刺激を入力することで効果的に鎮痛が得られると考えられる。人工流産手術後の鎮痛について薬物療法とTENSを比較した先行研究では、子宮を神経支配する髄節レベルの皮膚領域へ電極を貼付することで薬物療法と同等の効果が得られたと報告されている⁶⁾。膝OAに伴う疼痛は関節包や靱帯など関節周囲組織の炎症や軟骨下骨、骨髄の病変などが複雑に関係しており⁷⁾、内側型膝OAの侵害刺激が入力される髄節レベルはスクレトームによって推察することができる。

スクレトーム（図1、左）は発生学的に中胚葉から分化する骨、軟骨、結合組織、靱帯、腱などの組織を支配する神経の髄節領域を示したもので、皮膚分節領域（以下、デルマトーム）や筋節領域（以下、マイオトーム）と同一の原則を持ち、1944年にInmanら⁸⁾が骨の髄節領域を報告している。McCredieら⁹⁾はサリドマイド障害症例の378肢中、279肢（73.5%）で関連痛領域と肢異常のスクレトームが一致したとことを報告し、スクレトームが正確に髄節レベルを反映することを示唆している。また、Freyschmidtら¹⁰⁾は、メロレオストロシス（限局性骨緻密症）症例は骨病変に一致するスクレトームで知覚障害が起こることを報告し、Sizerら¹¹⁾は足部の骨病変に一致するスクレトームで荷重痛を認めたと報告している。内側型膝OAについて考えた場合、

侵害刺激の入力される髄節レベルはスクレトームによってL3,4髄節レベルと推察することができる。したがって、電極はデルマトームのL3,4皮膚領域に設置することで効果的に鎮痛が得られると考えられる（図1）。徳田ら¹²⁾は内側型膝OA、1症例に対してスクレトームとデルマトームを反映したL3,4領域へのTENSを実施し、疼痛が減少したことを報告している。しかしながら1症例の実践報告であるため、そのエビデンスは明確とは言えない。

そこで本研究は、内側型膝OA症例に対して、スクレトームをデルマトーム領域に反映させた電極貼付によるTENSを実施し、その鎮痛効果を検討した。

対象と方法

1. 対象

対象は医師により内側型膝OAの診断を受け、独歩にて通院加療中の患者9名（平均年齢71.9歳（±13.3）、女性9名）で、研究実施前に対象者自身の自由意思による文書同意が得られたものとした。

2. 参加基準

X線所見Kellgren-Lawrence分類（以下、K-L分類）

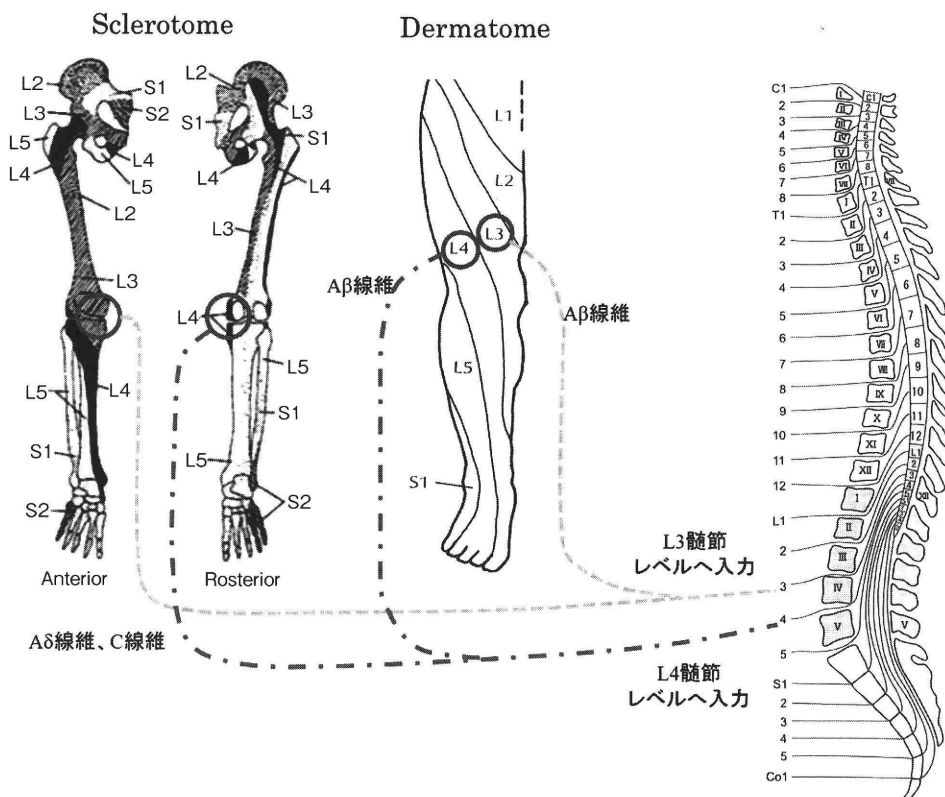


図1 内側型膝OAのスクレトーム（左）とデルマトーム（中）の関係（文献32, 33より引用し一部改変）

内側型膝OAの侵害刺激が入力される髄節レベルはスクレトームによってL3,4髄節レベルと推察することができるので、電気刺激による感覚は電極をデルマトームのL3,4皮膚領域に貼付することで同一髄節レベルに入力されると考えられる。

のグレード1（裂隙の狭小化と骨辺縁の骨増殖の疑い）以上の関節で、内側関節裂隙部周辺に疼痛または炎症症状を認める患者を対象とした。両側が膝OAの場合は疼痛の強い側を対象とした。その他の治療については研究実施日に理学療法を受けていないことを条件とした。関節内への薬物注射を実施している被験者については、通常通り1～2週に1回の実施を認めたが、研究への影響を最小限にするため、研究実施後に行うこととした。また、内服薬の使用に関しては継続的に服用してもよいが、用量を維持することを条件とした。NSAIDsなど鎮痛薬の使用は研究実施当日の服用および塗布、貼付を禁止した。

3. 除外基準

以下の基準に該当する患者は除外した。

①中枢神経疾患および神経疾患を呈するもの、②認知症を有するもの、③リウマチ性疾患を合併するもの、④人工関節置換術を受けた関節、⑤急性外傷による疼痛を有するもの、⑤ TENS 治療の禁忌となるもの、⑥ TENS 治療を拒否するもの。

4. 研究デザイン

すべての被験者に対してデルマトーム L3, 4 領域に電極を貼付した TENS（以下、L3, 4-TENS）と、コントロールとして S1, 2 領域に電極を貼付した TENS（以下、S1, 2-TENS）（図2）をそれぞれ実施した。L3, 4-TENS と S1, 2-TENS の実施間隔は2日以上とし、実施順序はランダムに決定した。TENS の効果に関する評価は TENS 実施前に事前評価、TENS 中に中間評価、TENS 終了後に事後評価を実施した。中間評価は TENS 開始5分後から実施し、事後評価は TENS 終了の5分後から実施した。

5. TENS の実施方法

被験者はベッド上に背臥位として、膝関節軽度屈曲位（約30°）で安楽な肢位とした。TENS の実施パラメーターは、筋収縮にともなう血流改善による鎮痛効果を排除するためにセンソリーレベル TENS とした。パルス持続時間 60 μ s、強度は筋収縮が起こらず、痛みの生じない範囲で最大とした。周波数は複数のオピオイド放出を目的として1～250 Hz まで変調した。治療時間は30分とした。電極は2チャンネル4極を使用し、L3, 4-TENS では大腿前面 L3 領域に2極、L4 領域に2極をそれぞれ貼付した。各電極は遠位側が陽極となるようにし、電極1個分の間隔を空けて貼付した。遠位側の電極は膝蓋骨上縁から電極1個分上位とした。S1, 2-TENS は大腿後面 S1 領域に2極、S2 領域に2極を貼付し、L3, 4-TENS の電極と同高位とした（図2）。デル

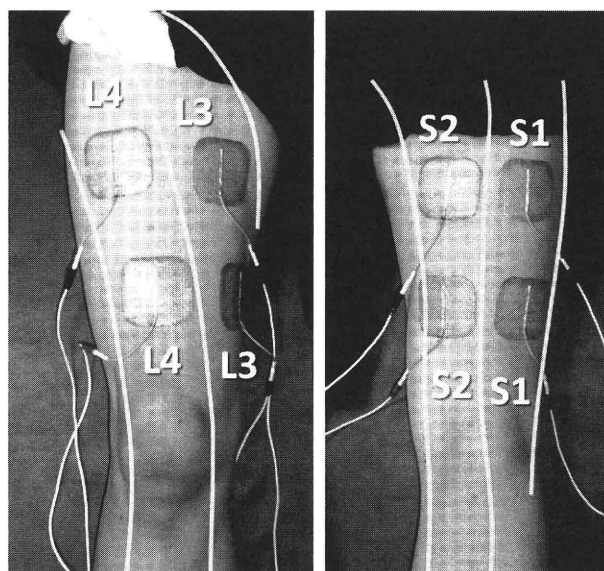


図2 電極貼付部位

左：L3,4-TENS（大腿前面） 右：S1,2-TENS（大腿後面）

マトームは Keegan¹³⁾ によるものを用いた。TENS 機器は Intellect ADVANCE COMBO（Chattanooga 社製）、電極は PALS Platinum Blue Gel Electrodes for TENS Units and EMS（5 cm × 5 cm）（Axelgaard 社製）を使用した。

6. 評価項目と方法

評価は、①C線維の電流知覚閾値（Current Perception Threshold, 以下CPT）、②内側関節裂隙部の圧痛（Pressure Pain Threshold, 以下PPT）、③荷重時痛の Visual Analog Scale（以下VAS）を計測した。

①CPT

測定肢位はベッド上で背臥位にて膝軽度屈曲位とした。測定部位は内側関節裂隙上で最も圧痛を訴える部位とした。測定部位の皮膚表面をスキンプレップジェルにて研磨して皮膚抵抗を減少させた後、CPT 電極にジェルを塗布してテープにて貼付した。測定部位に貼付した電極を通じ、5 Hz の正弦波による定電流 [0～9.99 mA（最大）] の刺激を皮膚に与え、被験者自身の刺激に対する知覚応答により CPT 値（1CPT = 10 μ A）を決定した。Neurometer NS3000（Neurotron 社製）を使用した。

②PPT

測定には Commander Algometer（JTECH Medical 社製）を使用し、プローブは PPT 検査で一般的に用いられることの多い、表面が平坦で円形（1 cm²）タイプのもので使用した。検査肢位は背臥位にて膝関節を軽度屈曲位（約30°）として、内側関節裂隙の測定部位は関節裂隙上で最も圧痛を訴える位置とした。圧迫速度は先行研究によって様々であるが、内省報告から約5 N/s とした。測定部位の皮膚に対してプローブをあて、力を

加え、被験者に痛みを感じた時点で「痛い」と合図をしてもらい、その時の数値を測定し、3回の平均値をPPT値(N:ニュートン)とした。

③荷重時痛

椅子からの立ち上がり動作を2回行い、その際の痛みを100 mmVASにて評価した。立ち上がり動作はJones¹⁴⁾らが報告した30-s chair-stand test (以下、CS-30)の方法を一部改変して行った。座面の高さは中谷ら¹⁵⁾の方法に従い40 cmとし、すべて同一のパイプ椅子を用いた。測定時の姿勢は両脚を肩幅程度に広げて座り、胸の前で腕を組み、膝関節を100°-110°屈曲、足関節は約10°背屈させた状態で背中をできるだけ伸ばすようにした。立ち上がりは可能な範囲で両下肢に対して均等に荷重した状態で直立姿勢となるようにした。立ち上がりの際、被験者が痛みなどによる不安定性を訴える場合は、転倒などの危険が及ばないように最小限の範囲で介助した。

7. 解析方法

各評価項目、CPT (C線維)、PPT (内側関節裂隙部)、VAS (荷重時痛)それぞれについて電極貼付部位 (L3,4-TENS, S1,2-TENS) とデータ測定時期 (TENS前, 中, 後) の2要因を独立変数とする反復測定二元配置分散分析 (repeated measure Two-way analysis of variance, 以下 RMANOVA) および Bonferroni 法による多重比較検定 (以下, post hoc test) にて比較した。有意水準は5%とした。

8. 説明と同意

被験者へのインフォームドコンセントを実施するため、研究倫理委員会より研究許可を受け (承認番号 2011-031), 研究計画の概要に関する書類と同意書を作成した。これらの書類を用いて各被験者に説明し、同意および同意書への直筆署名を得た。これらを確認した後

に研究を実施した。

結果

1. C線維のCPT

C線維のCPT値 (平均値±標準偏差CPT) は、L3,4-TENS が TENS 前 11.3 ± 7.2 CPT, TENS 中 21.9 ± 10.5 CPT, TENS 後 17.8 ± 8.1 CPT であった。一方 S1,2-TENS は TENS 前 12.9 ± 7.8 CPT, TENS 中 16.8 ± 8.3 CPT, TENS 後 16.4 ± 7.2 CPT であった。RMANOVAの結果、治療時間要因による主効果を認めた ($p < 0.01$)。Post-hoc testの結果、L3,4-TENSのTENS前-TENS中 ($p < 0.01$)、TENS前-TENS後 ($p < 0.01$)、TENS中-TENS後 ($p < 0.05$) において有意差を認めた (図3)。

2. 内側関節裂隙部のPPT

内側関節裂隙部のPPT値 (平均値±標準偏差N) は、L3,4-TENS が、TENS 前 15.0 ± 4.6 N, TENS 中 19.4 ± 4.2 N, TENS 後 17.3 ± 3.1 N であった。一方 S1,2-TENS は TENS 前 16.7 ± 4.7 N, TENS 中 17.7 ± 4.9 N, TENS 後 17.8 ± 5.8 N であった。RMANOVAの結果、治療時間要因による主効果を認めた ($p < 0.01$)。Post-hoc testの結果、L3,4-TENSのTENS前-TENS中 ($p < 0.01$)、TENS前-TENS後 ($p < 0.05$)、TENS中-TENS後 ($p < 0.05$) において有意差を認めた (図4)。

3. 荷重時痛のVAS

荷重時痛のVAS値 (平均値±標準偏差mm) は、L3,4-TENS が、TENS 前 31.4 ± 18.6 mm, TENS 中 17.7 ± 16.3 mm, TENS 後 21.0 ± 16.4 mm であった。一方 S1,2-TENS は TENS 前 25.4 ± 13.7 mm, TENS 中 19.9 ± 13.1 mm, TENS 後 19.8 ± 13.5 mm であった。RMANOVAの結果、治療時間要因による主効果を認

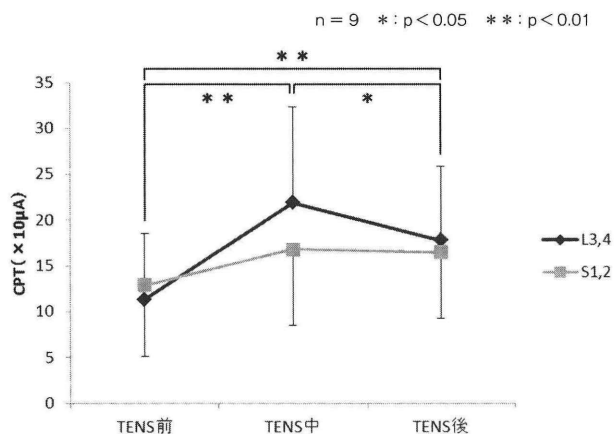


図3 C線維 (CPT: 平均値±標準偏差 CPT)

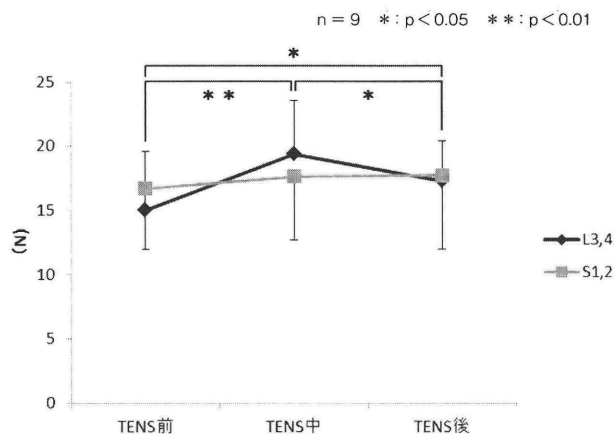


図4 内側関節裂隙部 (PPT: 平均値±標準偏差 N)

めた ($p<0.01$)。Post-hoc test の結果, L3, 4-TENS の TENS 前-TENS 中 ($p<0.05$), および TENS 前-TENS 後 ($p<0.05$) において有意差を認めた (図 5)。

考 察

本研究は内側型膝 OA 症例に対する, スクレロトームをデルマトーム領域に反映させた電極貼付による TENS の鎮痛効果について検討することを目的に臨床研究を実施し, 電極設置部位別に CPT, PPT, VAS によって評価を行った。

CPT は電流の知覚によって各感覚神経線維別に客観的に感覚閾値を評価する検査法であり, その再現性と有用性についてはすでに報告されている^{16, 17)}。CPT 検査は 3 種の線維径の異なる神経線維 ($A\beta$, $A\delta$, C) の脱分極が刺激電流の周波数に依存することを利用した検査であるが, TENS による鎮痛効果を CPT 検査によって捉えた研究はこれまでほとんどない。CPT 値の変化は感覚閾値の変化を示していると考えられ, $A\delta$ 線維, C 線維での数値の上昇は感覚閾値の上昇, つまり鎮痛を示している。 $A\delta$ 線維, C 線維の評価はそれぞれ 1 次痛と 2 次痛の程度を反映していると考えられるが, 本研究では急性期の被験者を除外したので C 線維のみ評価した。本研究結果では L3, 4-TENS において TENS 前に比べ TENS 中, TENS 後で数値が有意に上昇しており, 鎮痛効果が得られたと考えられた。

PPT は疼痛を主観的に評価する方法で臨床や研究の現場で広く活用されている。数値の上昇は疼痛閾値の上昇, つまり鎮痛を示している。本研究結果では L3, 4-TENS において TENS 前に比べて TENS 中, TENS 後で有意な数値の上昇傾向を示し, S1, 2-TENS ではわずかな変化に留まり一定の傾向を示さなかった。このことは L3, 4-TENS の鎮痛効果を示唆していると考えられた。

VAS は疼痛を主観的に評価する方法で臨床や研究の現場で広く活用されている。数値の上昇は疼痛の増強を示し, 低下は減弱を示している。本研究結果では VAS 値が TENS 前に比べて TENS 中, TENS 後で有意に低下し, S1, 2-TENS では有意な変化を認めなかった。このことは L3, 4-TENS の鎮痛効果を示唆していると考えられた。

本研究の結果, L3, 4-TENS は TENS 中に CPT, PPT, 荷重時痛の各項目において最も鎮痛効果が得られた。TENS の鎮痛機序の一つであるゲートコントロール理論を考慮した場合, 疼痛などの侵害刺激が入力される髄節レベルに対して電気刺激による感覚刺激を入力することで効果的に鎮痛効果が得られると考えられる。本研究では内側型膝 OA の侵害刺激が入力される髄節レベルをスクレロトームによって L3, 4 レベルと推測し, 電

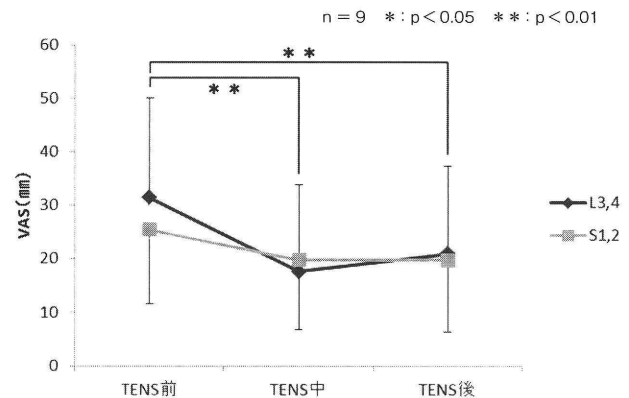


図 5 荷重時痛 (VAS: 平均値±標準偏差 mm)

極をデルマトーム L3, 4 領域に貼付した。結果的に上行ニューロンによるゲートコントロール理論が効果的に反映され, L3, 4-TENS で鎮痛効果が得られたと考えられる。この結果は前述した人工流産手術後の鎮痛について薬物療法と TENS を比較した先行研究と一致し⁶⁾、また、基礎研究では動物モデルを用いて, TENS が脊髓視床路ニューロンの興奮性を抑制する程度を電極設置部位別に評価した研究において, 最も抑制されたのは, その脊髓視床路ニューロンに電気刺激が感覚入力されると考えられる皮膚の受容野内に電極を設置した群であった結果とも一致している¹⁸⁾。今回, 鎮痛効果が得られたメカニズムの詳細は明らかではないが, スクレロトームとデルマトームを反映した電極貼付によって, 脊髓視床路細胞の興奮性が効果的に抑制され鎮痛効果が得られたと考えられた。

一方, L3, 4-TENS では TENS 後においても有意な鎮痛効果を認めており, これは TENS による鎮痛の持ち越し効果があったことを示唆している。本研究では, 従来の TENS よりも効果的な鎮痛を得るため, 先行研究^{19~21)}を反映させて多種の内因性オピオイド放出を目的に設定周波数を 1 ~ 250 Hz の間で断続的に変調して実施した。内因性オピオイドについて Han ら²¹⁾は TENS 後に脳脊髄液内のエンドルフィン濃度が増加したと報告している。また, 放出される内因性オピオイドの種類については周波数に依存して異なることを報告しており, 低周波 (1 ~ 4 Hz) では β エンドルフィンやエンケファリン, 高周波 (40 ~ 200 Hz) ではダイノルフィンが放出され²²⁾、より高周波 (200 Hz 以上) の刺激ではセロトニンやノルアドレナリンといった主要な神経伝達物質が鎮痛に関与すると報告している²³⁾。さらに, 2 Hz と 100 Hz の周波数で同時に刺激を与えるよりも, 周波数を変調させながら刺激を与えた方が, 内因性オピオイドを効果的に放出することも報告されている^{24, 25)}。さらに Kalra²⁶⁾らは μ オピオイド受容体ブロッカーであるナロキソンの投与によって, 低周波 (4 Hz)

で発生するエンケファリンによる鎮痛効果は消失するが、高周波(100 Hz)で発生するダイノルフィンによる鎮痛効果は消失しなかったことを示し、オピオイド受容体ブロッカーの投与によって特定の周波数で発生するTENSの鎮痛効果が消失すると報告している。したがって、本研究においても各々の内因性オピオイドが放出され、鎮痛効果が得られたと考えられた。また、Sjolund BH 等²⁷⁾は、TENSによって作用する内因性オピオイドの半減期は約4.5時間であると報告しており、本研究によるTENS終了後の持ち越し効果も内因性オピオイドによってもたらされることが考えられた。

膝OA痛をPPTやVASによって評価した先行研究は数多いが、Vance²⁸⁾は膝関節直近にTENSを適用した研究においてPPT値がTENS前 315.7 ± 27.0 kPaからTENS中には 65.81 ± 17.05 kPa上昇(変化率=20.8%)したことを報告している。また、VanceはTENS実施中の運動痛をVASで評価しており、TENSを実施した状態でTimed "Up & Go" Testを行い、その際の疼痛をVASで評価した結果、TENS中には 9.44 ± 2.56 mm改善したことも報告している。本研究のL3, 4-TENSでは、内側関節裂隙部のPPT値がTENS前 15.0 ± 4.6 NからTENS中には 4.4 ± 2.4 N上昇(変化率=29.3%)し、荷重時痛のVAS値はTENS実施中に 13.8 ± 10.8 mm改善している。単位の違いなど研究実施方法に違いがあり、単純に比較することはできないが、L3, 4-TENSは臨床現場で一般的に膝OAに対して実施される膝関節直近に電極を設置するTENSと同等、もしくはそれ以上の鎮痛効果があると考えられた。また、膝OA痛に対するNSAIDsの効果について23論文をまとめたメタアナリシス²⁹⁾では、NSAIDsの投与によって2~13週後のVASがプラセボに比べて平均10.1 mm改善すると報告されている。介入期間の違いなど単純に比較できないが、この結果はL3, 4-TENSによって得られる即時的な鎮痛効果と同等であると考えられ、NSAIDsの副作用^{30, 31)}を考慮するならば、むしろ副作用の少ないTENSの使用を推奨するべきと考えられた。

本研究によって内側型膝OA症例に対するデルマトームL3, 4領域に電極を貼付することで、TENS実施中および実施後の鎮痛効果が示唆された。この結果は、膝OAに対する理学療法の一つとしてTENSが効果的であることを示し、電極貼付部位を決定する上での一指標を提言できたと言える。

研究の限界点として、今回の症例は疼痛が比較的軽度であったことに加えて、症例数が少なくプラセボ群を設定できなかった。また、持ち越し効果についてはTENS終了5分後までしか調査できなかった。今後は症状の強い被験者で症例を増やし、長期間での持ち越し効果についても検証する必要があると考えられる。また、同様の

観点で他部位においても研究を実施し、電極貼付部位の明確な指標を示していくことが必要であると考えられる。

結 語

本研究は内側型膝OA症例に対して、スクレトロームをデルマトーム領域に反映させた電極貼付によるTENSを実施し、その鎮痛効果について明らかにすることを目的に実施した。結果、TENS中に最も鎮痛効果が得られ、TENS後にも鎮痛効果を認めた。内側型膝OAに対するTENSは電極をデルマトームL3, 4領域に貼付することで高い鎮痛効果が得られ、スクレトロームをデルマトーム領域に反映させた電極貼付部位の有効性が示唆された。

謝辞: 本研究の計画、実施に当たりご指導を賜りました森ノ宮医療学園附属みどりの風クリニック院長、宮崎義雄先生に深謝いたします。

文 献

- 1) Zhang W, Moskowitz RW, Nuki G, et al.: OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, Part II. OARSI evidence-based, expert consensus guidelines. *Osteoarthritis Cartilage*, 16: 137-162, 2008.
- 2) 大森 豪, 古賀良生, 遠藤和夫・他: 大規模集団検診の縦断的調査による変形性膝関節症の発生要因と危険因子. *The Bone*, 23: 27-30, 2009.
- 3) Rutjes AW, Nüesch E, Sterchi R, et al.: Transcutaneous electrostimulation for osteoarthritis of the knee (Review): The Cochrane Library 2010, Issue 1.
- 4) Melzack R, Wall P: Pain Mechanisms: A New Theory. *Science*, 150: 971-979, 1965.
- 5) Melzack R: From the gate to the neuromatrix. *Pain*, 82, (Supplement 1): 121-126, 1999.
- 6) Platon B: High-frequency, high-intensity transcutaneous electrical nerve stimulation as treatment of pain after surgical abortion. *Pain*, 148: 114-119, 2010.
- 7) Bruce L: Osteoarthritis and joint pain. *Pain*, 123: 6-9, 2006.
- 8) Inman VT, Saunders JB: Referred pain from skeletal structures. *J Nerv Ment Dis*, 99: 660-672, 1944.
- 9) McCredie J, Willert HG: Longitudinal limb

- deficiencies and the sclerotomes. An analysis of 378 dysmelic malformations induced by thalidomide. *J Bone Joint Surg Br*, 81: 9-23, 1999.
- 10) Freyschmidt J: Melorheostosis: a review of 23 cases. *Eur Radiol*, 11 (3): 474-479, 2001.
- 11) Sizer P, Phelps V, Dedrick G, et al.: Diagnosis and management of the painful ankle/foot. Part 2: Examination, interpretation, and management. *Pain Prac*, 3 (4): 343-374, 2003.
- 12) 徳田光則, 庄本康治, 富田恭治・他: 変形性膝関節症1症例に対する TENS の即時効果～新しい実践方法による試み～. *日本物理療法学会会誌*, 17: 65-70, 2010.
- 13) Keegan JJ: Neurosurgical interpretation of dermatome hypalgesia with herniation of the lumbar intervertebral disc. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 26 (2): 238-248, 1944.
- 14) Jones CJ, Rikli RE, Beam WC: A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport*, 70 (2): 113-119, 1999.
- 15) 中谷敏昭, 瀧本雅一, 三村寛一・他: 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する 30 秒椅子立ち上がりテストの妥当性. *体育学研究*, 47 (5): 451-461, 2002.
- 16) Fukuuchi A: Current perception threshold. *Pain Clinic*, 24 (3): 354-360, 2003.
- 17) Laitinen LV, Eriksson AT: Electrical stimulation in the measurement of cutaneous sensibility. *Pain*, 22 (2): 139-150, 1985.
- 18) Lee KH, Chung JM, Willis WD Jr: Inhibition of primate spinothalamic tract cells by TENS. *J Neurosurg*; 1985.
- 19) Hughes GS Jr, Lichstein PR, Whitlock D, et al.: Response of plasma beta-endorphins to transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther*, 64 (7): 1062-1066, 1984.
- 20) Salar G, Job I, Trabucchi M, et al.: Effect of transcutaneous electrotherapy on CSF beta-endorphin content in patients without pain problems. *Pain*, 10 (2): 169-172, 1981.
- 21) 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: 295-298, 1991.
- 22) Han JS, Terenius L: Neurochemical basis of acupuncture analgesia. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*, 22: 193-220, 1982.
- 23) Han JS, Wang Q: Mobilization of specific neuropeptides by peripheral stimulation of identified frequencies. *News Physiol Sci*, 7: 176-180, 1992.
- 24) Han JS: Acupuncture and endorphins. *Neurosci Lett*, 6: 361 (1-3): 258-261, 2004.
- 25) Han JS: Acupuncture: neuropeptide release produced by electrical stimulation of different frequencies. *Trends Neurosci*, 26: 17-22, 2003.
- 26) 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.
- 27) Sjolund BH, Terenius L, Eriksson M: Increased cerebrospinal fluid levels of endorphins after electroacupuncture. *Acta Physiol Scand*, 100: 382-384, 1977.
- 28) Vance CG, Rakel BA, Blodgett NP, et al.: Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain, pain sensitivity, and function in people with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Phys Ther*, 92 (7): 898-910, 2012.
- 29) Bjordal JM, Ljunggren AE, Klovning A, et al.: Non-steroidal anti-inflammatory drugs, including cyclooxygenase-2 inhibitors, in osteoarthritic knee pain: meta-analysis of randomised placebo controlled trials. *BMJ*, 329: 1317, 2004.
- 30) Simon LS: Risk factors and current NSAID use. *J Rheumatol*, 26: 1429-1431, 1999.
- 31) 塩川優一: 非ステロイド性抗炎症剤による上部消化管傷害に関する疫学調査. *リウマチ* 31: 96-111, 1991.
- 32) Hertling D: Management of Common Musculoskeletal Disorders, 4th ed.: Williams & Wilkins, Pennsylvania, 2006, pp27-59.
- 33) 佐藤優子, 佐藤昭夫: 生理学, 第2版. 医歯薬出版, 2004, pp174.

Analgesic effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) electrode placement site that reflects sclerotome and dermatome for osteoarthritis of the knee

Koji IGURO^{1,2}, MS, Koji SHOMOTO³, PT, PhD

¹Department of Physical Therapy, Morinomiya University of Medical Sciences

²Midorinokaze Clinic in Morinomiya Medical School

³Graduate School of Health Science Kio University

ABSTRACT

Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) is used clinically by a variety of health care professionals for the reduction of pain. Placement of electrodes varies considerably between studies such that some studies place electrodes at the site of injury, some within the dermatome, and others proximal to the site of injury. The aim of this study was to investigate the analgesic effect TENS electrode placement site that reflects sclerotome and dermatome for osteoarthritis of the knee. 9 participants with knee osteoarthritis were assessed. All participants were received TENS that electrodes were installed in the area of Dermatome L3, 4 (L3, 4 TENS) and S1, 2 (S1, 2 TENS). The following measures were assessed before, during and after a TENS treatment: Current Perception Threshold (CPT), Pressure Pain Threshold (PPT), and pain intensity of during the joint loading (Visual Analog Scale: VAS). CPT and PPT were significantly increased by L3, 4TENS. Pain intensity of during the joint loading (VAS) was significantly reduced by L3, 4TENS. These results suggest that it is important to TENS electrode placement site to get the maximal analgesic effect, and reflects sclerotome and dermatome electrode placement site is effective for osteoarthritis of the knee.