腹部外科手術後症例に対する 経皮的電気刺激治療の効果

——無作為化比較試験による検討——

*Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation after Abdominal Surgery
—A Randomized Controlled Trial—*

徳田 光紀^{1,2)} 田平 一行²⁾ 増田 崇³⁾
西和田 敬⁴⁾ 庄本 康治²⁾

MITSUNORI TOKUDA, RPT, MSc^{1,2)}, KAZUYUKI TABIRA, RPT, PhD²⁾, TAKASHI MASUDA, RPT, MSc³⁾,
TAKASHI NISHIWADA, MD⁴⁾, KOJI SHOMOTO, RPT, PhD²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Heisei Memorial Hospital: 827 Shijyo-cho, Kashihara-city, Nara 634-0813, Japan.

TEL+81 744-29-3300 E-mail: H1081006@kio.ac.jp

²⁾ Graduate School of Health Science, Kio University

³⁾ Department of Rehabilitation, Nara Prefectural Nara Hospital

⁴⁾ Department of Surgery, Heisei Memorial Hospital

Rigakuryoho Kagaku 28(4): 415-421, 2013. Submitted Nov. 14, 2012. Accepted Jan. 26, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] To evaluate the effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in the treatment of postoperative pain and pulmonary functions (vital capacity: VC; cough peak flow: CPF) of patients who had received abdominal surgery. [Methods] Thirty-five patients were randomly allocated to receive TENS (TENS group) or sham TENS (placebo group) or no TENS (control group) 1 hour a day for 3 days postoperatively. A 0-100 visual analog scale was used to assess pain at pre-, mid-, and post-intervention on the 3rd postoperative day. Pulmonary functions were evaluated by spirometry at preoperation and at pre-, mid-, and post-intervention on the third postoperative day. [Results] The TENS group had significant reductions in postoperative pain compared with the placebo group and control group. There was also improvement in pulmonary functions (VC, CPF) at mid- and post-TENS, but not in the placebo TENS or control groups. [Conclusion] TENS is a valuable strategy for alleviating postoperative pain following abdominal surgery and improves pulmonary functions.

Key words: transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS), abdominal surgery, cough peak flow (CPF)

要旨:〔目的〕腹部外科手術後症例に対する経皮的電気刺激治療（TENS）の疼痛の程度、肺活量（VC）、咳嗽時最大呼気流量（CPF）への影響を検討すること。〔対象〕腹部外科手術後症例 35 名とした。〔方法〕コントロール群、プラセボ群、TENS 群の 3 群に無作為に割り付けられた対象者に、各介入を術後 1 日目から 3 日目まで 1 日 60 分ずつ実施した。術前に VC、CPF、術後 3 日目に介入前、中、後に疼痛の程度と VC、CPF を評価した。〔結果〕TENS 群ではコントロール群やプラセボ群よりも、介入中と介入後で有意な疼痛軽減と VC、CPF の改善を認めた。特に TENS 介入中では、疼痛軽減と VC および CPF の改善の程度が顕著であった。〔結語〕腹部外科手術後症例に対する TENS は、鎮痛および VC と CPF の改善に効果的に作用する。

キーワード: 経皮的電気刺激治療、腹部外科手術後、咳嗽時最大呼気流量

¹⁾ 平成記念病院 リハビリテーション課: 奈良県橿原市四条町 827 (〒 634-0813) TEL 0744-29-3300

²⁾ 畿央大学大学院 健康科学研究科

³⁾ 奈良県立奈良病院 リハビリテーション部

⁴⁾ 平成記念病院 外科

I. はじめに

腹部外科手術後は、効果的な鎮痛や呼吸機能の改善によって術後肺合併症を予防することが重要である。腹部外科手術後症例の肺合併症は5-16%の割合で生じる¹⁻³⁾とされる。腹部外科手術後の鎮痛には薬物療法が中心となるが、これには副作用の問題がある。近年では、モルヒネ系麻薬による硬膜外麻酔よりも副作用が少ないとされるフェンタニル系静脈内投与が薬物療法の主流となりつつあるが、それでもその副作用で最も多い嘔気・嘔吐が20%以上、呼吸抑制に関する副作用も5%程度の割合で生じる⁴⁻⁶⁾。一方で、経皮的電気刺激治療(transcutaneous electrical nerve stimulation: TENS)は主にゲートコントロール理論に基づく作用と内因性オピオイド放出による鎮痛効果があり、非侵襲的で副作用のほとんどない理学療法手段として多く使用されている。海外では、外科手術後症例に対するTENSによって鎮痛や呼吸機能の改善を示した多くの報告がある。例えば、Bjordal JMら⁷⁾は、鎮痛効果に伴う術後鎮痛に使用される薬物量の減少を、Tonellaら⁸⁾は、咳嗽時痛や体位変換時の疼痛の有意な軽減を、Barbara Rら⁹⁾は、VCの増大や歩行スピードや最大歩行距離の有意な増大をそれぞれ報告している。しかし、本邦での報告は少なく、TENSは臨床現場では普及していない。

また、肺合併症の予防には喀痰排出に必要な咳嗽力の影響が大きいと考えられるが、術後は肺活量(vital capacity: VC)の低下や創部痛の影響で咳嗽力が低下する¹⁰⁾とされる。咳嗽力の指標となる咳嗽時最大呼気流量(cough peak flow: CPF)に対しては、神経筋疾患を対象とした報告は多くみられるが、外科手術後症例を対象としてTENSの効果を評価した報告はない。

先行研究のTENSの実施方法では、刺激周波数、電流強度が様々に設定されている。電極設置部位に関して、術創部と同一の皮膚分節への電極の設置はゲートコントロール理論¹¹⁾に基づく作用により良好な鎮痛効果をもたらす¹²⁻¹⁵⁾。またTENSの周波数に依存して選択的に内因性オピオイドが放出され、低周波(1-4 Hz)では β エンドルフィンやエンケファリン¹⁶⁾、高周波(40-200 Hz)ではダイノルフィン¹⁷⁾、より高周波(200 Hz以上)ではセロトニンやノルアドレナリンが鎮痛に関与する¹⁸⁾が、一定周波数よりも、低周波から高周波領域の組み合わせによるTENSの方が鎮痛効果が高かったと報告されている¹⁹⁾。このような周波数の変調は、膝関節炎モデルのラットに対する鎮痛効果も高い²⁰⁾。また電流の刺激強度に関して、組織への刺激の到達深度に影響を与え、反応する求心性線維の種類が異なることが報告されている^{21,22)}。外科手術後症例に対しては、低強度よりも耐えうる最大の強度のTENSが効果的である¹²⁾ことや強度の変調によって良好な鎮痛効果を認める¹⁵⁾ことが報告

されている。これらの知見を踏まえるとTENSの実施において、機器側での周波数と強度の変調が望ましいと考えられるが、このような設定でTENSの効果を評価した研究例は皆無である。

そこで、本研究の目的は、腹部外科手術後症例をTENS非実施群、プラセボTENS群、TENS実施群に無作為に割り当て、TENSの鎮痛効果ならびに呼吸機能に与える影響を明らかにすることとした。我々は、TENS群がコントロール群やプラセボ群よりも鎮痛効果や呼吸機能の改善が高い結果を示すと仮説を立てた。

II. 対象と方法

1. 対象

2011年4月から2012年3月までの期間中、医療法人平成記念病院にて待機的に開腹術および腹腔鏡補助下開腹術の腹部外科手術を施行した症例35名を対象とした。除外基準は1) 認知症などにより指示理解が困難な症例、2) 重篤な呼吸器疾患を有する症例、3) TENSが禁忌となる症例(ペースメーカーなど)とした。なお、全症例に本研究の十分な説明を行い、同意を得た。本研究は医療法人平成記念病院倫理委員会の承認を得た(11-1)うえで、国立大学附属病院長会議臨床試験登録システムに登録し(UMIN000008044)、実施した。

対象者候補となる最初の15症例のCPFについて $\alpha=0.05$, $\text{power}=0.8$ としたときのサンプルサイズを算出し、必要サンプルサイズが比較する群ごとに11症例であることを確認したうえで全症例数を決定した。

2. 方法

研究デザインとして症例を盲検化した単盲検無作為化並行群間比較試験を採用した。腹部外科手術後症例をコンピュータプログラムによってコントロール群、プラセボ群、TENS群の3群に無作為に割り付けた。コントロール群にはTENS介入なし、プラセボ群にはプラセボ刺激によるTENS介入、TENS群にはTENS介入を実施した。術前の状態を確認するため、呼吸機能測定を手術前日に実施した。術後1日目から3日目まで各介入を1日1回60分ずつ実施し、術後3日目の介入前、介入開始30分後(介入中)、介入終了20分後(介入後)に疼痛の程度および呼吸機能を測定した。コントロール群については、TENS介入を実施しなかったため術後3日目の測定は1回のみとした。

TENSには電気刺激治療器(Chattanooga社製、Intelect ADVANCE COMBO)を使用した。TENS群における電気刺激は、対称性二相性パルス波、100 μ sのパルス持続時間、1-250 Hzで変調させた周波数、運動閾値からその40%を下限とした範囲で変調させた強度(最大強度12-18 mA)に設定した。電極には自着性電極(Axelgaard

社製, PALS, 5×9 cm) を4枚使用し, 電極1は術創部から平行に3 cm離して, 電極2は電極1と反対側に術創部から平行に3 cm離して貼付した. プラセボ群ではTENS群と同条件で最初の1分間のみ電気刺激を加え, 強度を0 mAへと漸減させた後, 残りの59分間に電極を貼付したままのプラセボ刺激(0 mA)を加えるものとして実施した. コントロール群は全群に共通に実施される薬物療法および呼吸理学療法のみとした. 標準的な薬物療法として術後2日目までは, 持続的静脈注射(フェンタニル $20 \mu\text{g/h}$)に加えて, 疼痛の強い症例には自己調節鎮痛法(フェンタニル $20 \mu\text{g/回}$)が実施された. 呼吸理学療法は深呼吸や咳嗽練習, 日常生活動作練習を中心に, それぞれの症例を担当する理学療法士が行った.

評価は次のような方法によって行った. Visual Analog Scale (VAS) を使用し, 安静時, 咳嗽時および起居動作時の痛みを疼痛の程度として測定した. VASは, その左端を「まったく痛くない」, 右端を「耐えられないくらい痛い」とする100 mmの直線上における, 左端からの距離(mm)により計測した. なお, それぞれの測定時期において介入前や介入中の測定済データは表示しないものとした. 呼吸機能は電子スパイロメーター(日本光電社製, HI-201)を使用し, VCおよびCPFを端座位にて測定した. 端座位がとれない場合は可能な範囲でのベッドアップ座位とした. ノーズクリップおよびマウスピースを使用し, 対象者に可能な限り深吸気をさせた後, VCではゆっくりと最後まで呼出するように, CPFでは強い咳嗽をするように指示した. 双方の測定は3回ずつ実施し, その最高値を記録した.

統計解析は, 術前の状態を表す水準(術前ベースライン)の呼吸機能と, 術後3日目の介入前の状態を表す水準(介入前ベースライン)の呼吸機能および疼痛の程度が3群間で差異があるかどうかを一元配置分散分析によって解析した. 介入による治療効果を検討するため, コントロール群と, プラセボ群およびTENS群の各測定時期(介入中, 介入後)の比較にはMann-WhitneyのU検定を用いた. また, プラセボ刺激とTENSによる治療効果を検討するため, 介入方法(プラセボ群, TENS群)と測定時期(介入前, 介入中, 介入後)を2要因とする二元配置分散分析およびBonferroni法による多重比較を行い, 95%信頼区間における介入の主効果の効果量も算出した. すべての統計処理には, 統計解析ソフト(SPSS社製, SPSS 14.0 J for Windows)を使用し, 両側信頼区間を用いて有意水準は1%未満とした.

III. 結果

本研究において腹部外科手術後症例45名が参加し, 6名が除外された. 残りの39名を無作為に割り付けた結果, コントロール群13名, プラセボ群12名, TENS群14名

となった. コントロール群2名, プラセボ群1名, TENS群1名が各介入を完了できず, 最終的にコントロール群11名, プラセボ群11名, TENS群13名となった. CONSORT声明に基づいた本研究のフローチャートを図1に示した. また各群の対象者の特徴を表1に示した.

術前ベースラインでの呼吸機能は3群間に有意差は認めなかった. また, 介入前ベースラインにおいても呼吸機能, 疼痛の程度ともに3群間に有意差は認めなかった(表2). 各群の全測定項目の結果および分析結果を表3に示す.

疼痛の程度の全項目(安静時痛, 咳嗽時痛, 起居動作時痛)において, コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後と比較して, TENS群の介入中と介入後では有意に低値を示した(表3). コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後での比較では有意差は認めなかった. 二元配置分散分析の結果, プラセボ群とTENS群で交互作用と測定時期の主効果を認めた($p < 0.01$). 多重比較の結果, TENS群の介入前よりも介入中, 介入後で有意に低値となった($p < 0.01$). 安静時痛でのみ, 治療の主効果を認め, TENS群の介入中と介入後でも有意差を認めた($p < 0.01$). また, 介入の主効果における効果量は, 安静時痛で0.81, 咳嗽時痛で0.32, 起居動作時痛で0.34となった.

呼吸機能(VC, CPF)において, コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後と比較して, TENS群の介入中と介入後では有意に高値を示した(表3). コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後には有意差は認めなかった. 二元配置分散分析の結果, プラセボ群とTENS

図1 研究フローチャート

カッコ内は該当する対象者数.

表1 コントロール群, プラセボ群, TENS群の各群における対象者の特徴

項目	コントロール群	プラセボ群	TENS群
対象者(人)	11	11	13
男性	7	7	10
女性	4	4	3
年齢(歳)			
平均±標準偏差	67.8 ± 15.8	71.18 ± 11.2	71.54 ± 13.4
範囲	37-86	46-85	42-88
手術部位(人)			
上腹部	10	8	10
下腹部	1	3	3
術式(人)			
開腹術	7	7	9
腹腔鏡補助下開腹術	4	4	4

上腹部：胃，肝臓，胆嚢，胆管.

下腹部：小腸，大腸，S状結腸.

表2 術前ベースライン(呼吸機能)と介入前ベースライン(呼吸機能, 疼痛の程度)におけるコントロール群, プラセボ群, TENS群の3群間での比較

	コントロール群	プラセボ群	TENS群
術前ベースライン			
術前呼吸機能			
VC (L)	3.13 ± 0.95	3.02 ± 0.82	2.95 ± 0.65
CPF (L / min)	311.8 ± 137.5	356.7 ± 159.2	375.8 ± 87.3
介入前ベースライン			
呼吸機能			
VC (L)	1.84 ± 0.70	1.62 ± 0.44	1.72 ± 0.44
CPF (L / min)	175.2 ± 68.2	195.7 ± 93.4	215.8 ± 53.1
疼痛の程度 (VAS : mm)			
安静時痛	27.3 ± 16.3	26.0 ± 6.6	16.6 ± 10.0
咳嗽時痛	84.6 ± 8.3	79.7 ± 6.1	79.5 ± 8.8
起居動作時痛	72.1 ± 7.9	69.4 ± 8.0	70.5 ± 7.0

平均±標準偏差.

術前ベースライン，介入前ベースラインともに3群間で有意差なし.

群で交互作用と測定時期の主効果を認めた ($p<0.01$). 多重比較の結果, TENS群の介入前よりも介入中, 介入後で有意に高値となった ($p<0.01$). また, 介入の主効果における効果量は, VCで0.51, CPFで0.73となった.

IV. 考 察

本研究は腹部外科手術後症例に対するTENSの効果をコントロール群, プラセボ群, TENS群の3群間での無作為化比較試験にて検討した. TENS群では術後3日目での疼痛の軽減や呼吸機能の改善を認め, 腹部外科手術後症例に対するTENSが有用であることが示された.

疼痛の程度(安静時, 咳嗽時, 起居動作時)は3群間に

介入前ベースラインに差を認めなかった. この条件下において, コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後と比較して, TENS群の介入中および介入後では有意に疼痛の程度が低値を示したことで, TENSによる鎮痛効果があったと言える. 特に, TENSの介入中には疼痛の程度の全項目で最も低値を示したが, これはTENSの電気刺激によってゲートコントロール理論が効果的に反映されたためであると考えられる. また, 推測に過ぎないものの, 内因性オピオイドの作用やシナプスの可塑性変化による影響も寄与した可能性もある. TENSに関連する内因性オピオイドの効果について, ニューロンの神経終末からのサブスタンスPの放出をシナプス前抑制することで疼痛伝導路を遮断すること²³⁾や, 脊髄で痛覚伝

表3 コントロール群, プラセボ群, TENS群の各群における疼痛の程度および呼吸機能

	コントロール群 (n=11)	プラセボ群 (n=11)			TENS群 (n=13)		
		介入前	介入中	介入後	介入前	介入中	介入後
疼痛の程度 (VAS: mm)							
安静時痛	27.3 ± 16.3	26.0 ± 6.6	25.4 ± 6.4	25.8 ± 7.0	16.6 ± 10.0	5.4 ± 7.0 *†‡	7.8 ± 7.5 ***†‡
咳嗽時痛	84.6 ± 8.3	79.7 ± 6.1	79.1 ± 7.1	77.6 ± 5.5	79.5 ± 8.8	66.6 ± 12.9 *†‡	68.7 ± 16.6 ***†‡
起居動作時痛	72.1 ± 7.9	69.4 ± 8.0	67.5 ± 7.4	66.0 ± 7.4	70.5 ± 7.0	56.8 ± 13.6 *†‡	61.0 ± 10.4 ***†‡
呼吸機能							
VC (L)	1.84 ± 0.70	1.62 ± 0.44	1.67 ± 0.4	1.68 ± 0.42	1.72 ± 0.44	2.12 ± 0.49 *†‡	1.98 ± 0.54 ***†‡
CPF (L/min)	175.2 ± 68.2	195.7 ± 93.4	195.1 ± 90.0	198.9 ± 92.2	215.8 ± 53.1	247.8 ± 54.1 *†‡	237.4 ± 54.9 ***†‡

平均±標準偏差.

* 介入前と介入中との間に有意差あり ($p<0.01$), ** 介入前と介入後との間に有意差あり ($p<0.01$), *** 介入後と介入前および介入中との間に有意差あり ($p<0.01$).

† コントロール群との間に有意差あり ($p<0.01$).

‡ プラセボ群の全測定時期(介入前, 介入中, 介入後)との間に有意差あり ($p<0.01$).

達を増強する作用をもつγアミノ酪酸の放出が抑制される²⁴⁾ことが報告されている. また, TENSによるシナプス伝達の長期にわたる増強あるいは抑制作用²⁵⁾も寄与したと考えられる. また, 疼痛の程度の全項目でTENSの介入前と比較して, 介入中だけでなく, 介入後にも有意に低値を示し, 持ち越し効果が認められた. この持ち越し効果には, 内因性オピオイドの半減期が約4.5時間であること²³⁾やシナプスの可塑性変化(疼痛経路の長期抑制)による影響があったと考えられる. さらに, TENSの強度について低強度と高強度では作用する鎮痛メカニズムが異なる^{26,27)}とされており, 本研究で用いた強度の変調も効果的に作用した可能性もある. また, Fiorelli Aら²⁶⁾による, 胸部外科手術後症例に対するTENSで術後炎症を示す血中サイトカインが減少した報告を考慮すると, 本研究でも同様の反応が起り, これが疼痛の軽減に繋がった可能性もある.

呼吸機能(VC, CPF)は, 術前ベースライン, 介入前ベースラインともに3群間に有意差を認めなかった. この条件下において, コントロール群とプラセボ群の介入中, 介入後と比較して, TENS群の介入中および介入後では有意な呼吸機能の改善を認めたことで, TENSが呼吸機能に対しても有用に作用したと言える. 特にTENS群の介入中ではVC, CPFともに最も高値となった. VCやCPFの改善には十分な吸気量の確保や胸腔内圧の上昇, 腹筋群の収縮が必要であるため, 腹部の創部痛が影響して低下することが予測できるが, TENSによって効果的に鎮痛された結果, VCやCPFの改善に寄与したと考えられる. また, Cipriano Gら²⁸⁾が胸部外科手術後症例に対するTENSは局所的な筋活動を向上させて呼吸機能を改善すると報告しているのとおり, 本研究にも同様の効果があったと考えられる.

術前ベースラインのCPFは 175.2 ± 68.2 – 215.8 ± 53.1

L/minの範囲であったが, TENS群の介入中は 247.8 ± 54.1 L/minまで改善した. 米国胸部学会ではCPFが160 L/min以下で日常的に去痰不全となり, 270 L/min以下で感染時に去痰不全のリスクがあり肺合併症を起こしやすい²⁹⁾とされているが, 腹部外科手術後症例では, 術後8日目までCPFが270 L/minまで改善しないとの報告もある¹⁰⁾. 本研究では術後3日目のCPFは270 L/minにわずかに届かなかったが, TENSの介入により咳嗽力を向上させ, 肺合併症リスクの軽減に貢献し得ることが示されたと言える.

二元配置分散分析における効果量について, 介入の主効果では全項目において効果量が大きな値 (Large, $\eta^2 \geq 0.14$)^{30,31)}を示した. Ong CKら³²⁾による外科術後症例に対する薬物療法の鎮痛の効果量, 硬膜外麻酔で0.38, 局所麻酔で0.29, NSAIDで0.39の値と比較するとTENSは薬物療法に匹敵する効果を持つと言える. また, VCおよびCPFについても非常に大きな効果量を示しており, TENSの治療効果は鎮痛および呼吸機能の改善に有効だったと言える.

本研究の限界として, まず, 手術部位や術式を細分化していないことが挙げられる. 上腹部と下腹部では術後の呼吸機能への影響に差異があると考えられる. 同様に, 開腹術と腹腔鏡補助下開腹術との侵襲範囲の差は, 疼痛や呼吸機能に影響するはずである. 本研究では, 術前ベースラインおよび介入前ベースラインに各群間の有意差が認められなかったことと, 表1より手術部位と術式に明らかなバイアスが認めなかったことから, 腹部外科手術後の包括的なTENSの効果を示すことができた. しかし, これらの取り込み基準を厳格化することで, より詳細なTENSの効果や適応を明らかにできる可能性がある. 次に, 評価時期が術後3日目のみであったことが挙げられる. TENSの効果を詳細に捉えるためには, 術直後のより疼

痛が強く、呼吸機能の低下する超急性期での評価や術後3日目以降のフォローアップを含めた長期的な評価を実施することが重要である。また、多くの先行研究ではTENSの効果によって薬物使用量が軽減すると報告されているが、本研究では測定していないため不明である。本研究でも、TENSによる鎮痛効果に伴い、薬物使用量が軽減されていた可能性があるが、TENSが術後鎮痛における対費用効果の高い治療方法であるのかどうかを判断するうえで、これを明確にする必要がある。最後に、本研究は皮膚分節領域を考慮した電極設置や周波数の変調、強度の変調を取り入れ、TENSの鎮痛理論を最大限に反映できると考えられる方法により、良好な治療結果を得たものである。しかし、この方法が最も適切であるかどうかはまだ明らかではなく、固定周波数と変調周波数の比較といったTENSのパラメーター設定や電極設置部位、治療時間や回数などについても、今後のさらなる研究が必要である。

引用文献

- 1) Mackay MR, Ellis E, Johnston C: Randomised clinical trial of physiotherapy after open abdominal surgery in high risk patients. *Aust J Physiother*, 2005, 51(3): 151-159.
- 2) Richardson J, Sabanathan S: Prevention of respiratory complications after abdominal surgery. *Thorax*, 1997, 52(3): 35-40.
- 3) Lawrence VA, Dhanda R, Hilsenbeck SG, et al.: Risk of pulmonary complications after elective abdominal surgery. *Chest*, 1996, 110(3): 744-750.
- 4) 久利通興, 谷上博信, 神原紀子・他: 硬膜外術後鎮痛におけるモルヒネとフェンタニルの比較, およびドロペリドール併用による副作用抑制効果の検討. *日臨麻会誌*, 2007, 27(3): 246-252.
- 5) 酒井一介, 澄川耕二: 手術後患者における持続硬膜外モルヒネ鎮痛の副作用. *日本ペインクリニック学会誌*, 2012, 19(1): 9-13.
- 6) 神立延久, 柴田康之, 廣川 満・他: フェンタニル静脈内投与による術中・術後疼痛管理の合併症・副作用とその予防対策. *日臨麻会誌*, 2004, 24(10): 655-664.
- 7) Bjordal JM, Johnson MI, Ljunggreen AE: Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *Eur J Pain*, 2003, 7(2): 181-188.
- 8) Tonella RM, Araujo S, Silva AM: Transcutaneous electrical nerve stimulation in the relief of pain related to physical therapy after abdominal surgery. *Rec Bras Anesthesiol*, 2006, 56(6): 360-642.
- 9) Rakel B, Frantz R: Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain with movement. *J Pain*, 2003, 4(8): 455-464.
- 10) 増田 崇, 田平一行, 北村 亨・他: 開腹手術前後の咳嗽時最大呼気流速の変化. *理学療法科学*, 2008, 35 (7): 308-312.
- 11) Melzack R: From the gate to the neuromatrix. *Pain*, 1999, 6: 121-126.
- 12) Wang B, Tang J, White PF, et al.: Effect of the intensity of transcutaneous acupoint electrical stimulation on the postoperative analgesic requirement. *Anesth Analg*, 1997, 85(2): 406-413.
- 13) Ali J, Yaffe CS, Serrette C: The effect of transcutaneous electric nerve stimulation on postoperative pain and pulmonary function. *Surgery*, 1981, 89: 507-512.
- 14) Benedetti F, Amanzio M, Casadio C, et al.: Control of postoperative pain by transcutaneous electrical stimulation after thoracic operations. *Ann Thorac Surg*, 1997, 63(3): 773-776.
- 15) 徳田光紀, 庄本康治, 富田恭治: 肩関節術後症例に対する経皮的電気刺激治療の効果. *理学療法科学*, 2012, 27(5): 565-570.
- 16) 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*, 1991, 47(3): 295-298.
- 17) Han JS, Terenius L: Neurochemical basis of acupuncture analgesia. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*, 1982, 22: 193-220.
- 18) Pert CB, Snyder SH: Opiate receptor: demonstration in nervous tissue. *Science*, 1973, 179(4077): 1011-1014.
- 19) Mohamed AH, White PF, Hesham EA, et al.: Effect of the frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on the postoperative opioid analgesic requirement and recovery profile. *Anesthesiology*, 1999, 91(5): 1232-1238.
- 20) Desantana JM, Santana-Filho VJ, Sluka KA: Modulation between high- and low-frequency transcutaneous electric nerve stimulation delays the development of analgesic tolerance in arthritic rats. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89(4): 754-760.
- 21) Levin MF, Hui-Chan CW: Conventional and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation excite similar afferent fibers. *Arch Phys Med Rehabil*, 1993, 74(1): 54-60.
- 22) Radhakrishnan R, Sluka KA: Deep tissue afferents, but not cutaneous afferents, mediate transcutaneous electrical nerve stimulation-induced antihyperalgesia. *J Pain*, 2005, 6(10): 673-680.
- 23) Sjolund BH, Terenius L, Eriksson M: Increased cerebrospinal fluid levels of endorphins after electroacupuncture. *Acta Physiol Scand*. 1977; 100(3): 382-384.
- 24) Hao JX, Xu XJ, Yu YX, et al.: Baclofen reverses the hypersensitivity of dorsal horn wide dynamic range neurons to mechanical stimulation after transient spinal cord ischemia: implications for a tonic GABAergic inhibitory control of myelinated fiber input. *J Neurophysiol*, 1992, 68(2): 392-396.
- 25) Malenka RC, Bear MF: LTP and LTD: an embarrassment of riches. *Neuron*, 1992, 30(9): 5-21.
- 26) Fiorelli A, Morgillo F, Milione R, et al.: Control of post-thoracotomy pain by transcutaneous electrical nerve stimulation: effect on serum cytokine levels, visual analog scale, pulmonary function and medication. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 41(4): 861-868.
- 27) Stubbing JF, Jellicoe JA: Transcutaneous electrical nerve stimulation after thoracotomy. Pain relief and peak expiratory

-
- flow rate—a trial of transcutaneous electrical nerve stimulation. *Anaesthesia*, 1988, 43(4): 296-298.
- 28) Cipriano G Jr, de Camargo Carvalho AC, Bernardelli GF, et al.: Short-term transcutaneous electrical nerve stimulation after cardiac surgery: effect on pain, pulmonary function and electrical muscle activity. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2008, 7(4): 539-543.
- 29) Finder JD, Birnkrant D, Carl J, et al.: Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy: ATS consensus statement. *Am J Respir Crit Care Med*, 2004, 170(4): 456-465.
- 30) Field A: *Discovering statistics using SPSS* 2nd ed. Sage Publications. London, 2005, pp384, 452.
- 31) Tabachnick BG, Fidell LS: *Using multivariate statistics*. 5th international ed. Pearson/Allyn & Bacon, Boston, 2006, pp54-55.
- 32) Ong CK, Lirk P, Seymour RA, et al.: The efficacy of preemptive analgesia for acute postoperative pain management: a meta-analysis. *Anesth Analg*, 2005, 100(3): 757-773.