

ラットの筋皮弁生着におよぼす鍼刺激 および経皮的神経電気刺激効果の検討

新名 頼子¹ †咲田 雅一²

¹明治鍼灸大学大学院 鍼灸臨床医学 ²明治鍼灸大学 外科学教室

要旨: Sprague-Dawley 系雄性ラット背部に巾 2 cm, 長さ 7 cm の筋皮弁を作成し, 鍼刺激および経皮的神経電気刺激 (TENS) により, 皮弁の生着率を増加させ得るか否かを検討した. 実験群は無刺激コントロール群, 円皮鍼群, 置鍼群, 鍼通電刺激 (EA) 群, TENS 群とし, 筋皮弁作製直後, 1 日目, 2 日目に各種刺激を行い, 筋皮弁の生着面積の計測を 6 日後に行った. その結果, ① TENS 群でのみ有意な皮弁生着率の増加がみられ, ポイント刺激よりプレート電極を用いた広範囲刺激が有効であること, ② TENS の場合, 皮弁基部に高い刺激頻度を加えた方が生着率が良い傾向がみられたこと, ③ 皮弁基部の TENS 刺激で, 主に皮弁末梢部の血流を増加させることが判った.

I 緒 言

鍼通電刺激 (EA: electro-acupuncture) や鍼灸刺激が局所の発赤や熱感をもたらし、皮膚温を上昇させるということは、臨床でよく経験することである。Kaada (1982) は経皮的神経電気刺激 (TENS: transcutaneous electrical nerve stimulation) が、レイノー氏病や糖尿病性多発性神経炎患者において、下腿の血管を拡張させ、血流を改善せしめて、皮膚温を上昇させ、局所阻血からくる痛みを緩和したことを報告している¹⁾。また、Stephen (1980) らは、慢性神経根症、癱瘓神経腫、糖尿病性多発性神経炎、筋・筋膜性疼痛等の慢性痛を持つ患者に TENS を適用し、皮膚温の上昇と局所の疼痛の緩和が認められたことを報告している²⁾。これらの TENS や EA の作用機序として、Kjartansson (1988) や Jansen ら (1989) はこれらの刺激により、知覚神経線維が興奮すると軸索反射を介して知覚神経末端から強力な血管拡張物質である substance P (SP) や、calcitonin-gene

related peptide (CGRP) 等が遊離され、その結果、末梢血管が拡張し組織血流の増加を惹起すると考えている^{3), 4), 5), 6)}。

一方、各種皮弁を用いた皮膚欠損部の修復手術は、一般外科、形成外科、整形外科や耳鼻科等の各種手術で施行されるが、皮弁の生着の良否が手術の結果を左右し、特に有茎皮弁においては、皮弁の血行がその成否に大きく関わっている。そこで、EA や TENS を皮弁の血行保持や血行促進に利用出来ないかと考えて本実験を行った。本実験ではラット背部に筋皮弁を作製し、その筋皮弁に各種刺激を与え、皮弁生着面積を測定することにより、如何なる刺激を、どのような条件で行った時に最も生着面積を増加せしめるか検討し、同時にその時の皮弁の血流動態にも検討を加えた。

II 実験材料および方法

1. 実験動物

8 週齢の Sprague-Dawley 雄性ラット (体重 220

平成 8 年 6 月 7 日受付. 平成 8 年 7 月 24 日受理

Key Words: 筋皮弁 Musculocutaneous Flap 皮弁生着面積 The Surviving Flap Area
経皮的神経電気刺激 Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS)
皮弁血流 Blood Flow In The Flap 軸索反射 Axon Reflex

†連絡先

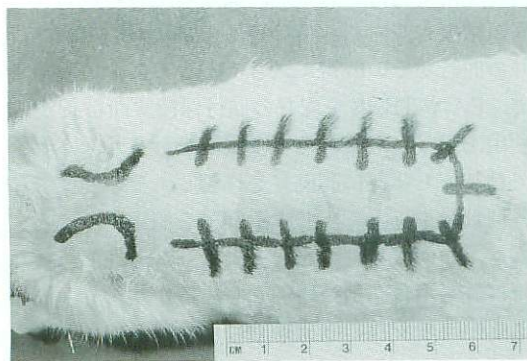
～260g, 日本エスエルシーK.K)を用いた。

2. 実験方法

ラット背部に下記の如き筋皮弁を作製し、この皮弁に対して種々の刺激を加え、皮弁作製後6日目に、皮弁の生着面積を測定し、各刺激群間で比較検討した。

ラットは実験前日に無麻酔下で背部を脱毛クリーム(epilat 脱毛ミルキークリーム, カネボウ)にて脱毛後、洗浄、乾燥させた。皮弁作製当日、イソゾール(チアミラールナトリウム, 吉富製薬)を80mg/kg 腹腔内投与して麻酔した。

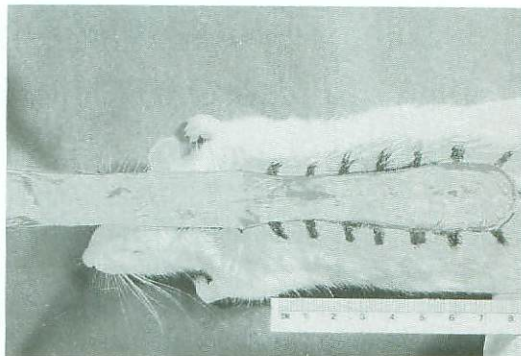
筋皮弁の作製: 皮弁は、McFarlane (1965)⁶⁾, Kjartansson (1987)⁷⁾らの作製法に基づいた。すなわち巾2cm, 長さ7cmで両側肩甲骨の下縁を結ぶ線上を基部とするデザインで作製した。しかし、ラット背部の皮膚及び皮筋に血液を供給する脊柱起立筋穿通枝は、肩甲骨下縁直下から皮弁に向けて穿通しているため、デザインに改良を加え、この穿通枝を温存させるように基部を1cm尾側寄りとした(Fig.1)。



〈Fig. 1〉 ラット筋皮弁のデザイン

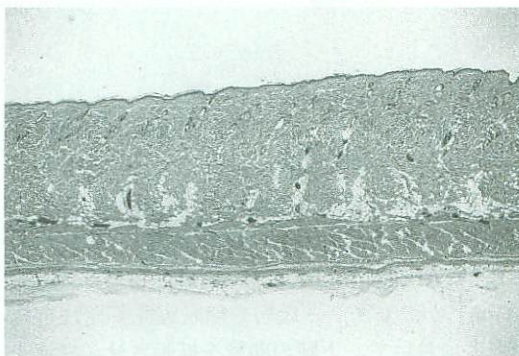
皮弁は、巾2cm, 長さ7cmで、両側肩甲骨の下端を結ぶ線上より、1cm尾側寄りの部位を基部とするデザインで作製した。

皮弁は深部筋膜から剥離し、皮筋及びその筋膜、皮下脂肪、皮下組織と皮膚を含む筋皮弁となるように挙上した(Fig. 2, 3)。その後もとの位置に戻し Fig.1 の如く1cm間隔でシルクブレード4-0



〈Fig. 2〉 筋皮弁の挙上

皮弁は深部筋膜から剥離し、皮筋及びその筋膜、皮下組織と皮膚を含む筋皮弁となるように挙上した。その後もとの位置に戻し1cm間隔で縫合した。



〈Fig. 3〉 ラット筋皮弁の組織像

挙上された皮弁の病理組織標本である。皮膚と筋層の間に血管が観察できる。

で縫合した。便宜上、皮弁の頭側を基部、尾側を末梢部、中央部を中間部とした。

実験群は(1)無刺激コントロール群、(2)円皮鍼群、(3)置鍼群、(4)鍼通電(EA: electro-acupuncture)群、(5)TENS群とし、各群は次の様に刺激を行った。使用した鍼はいずれもセイリン化成製を用いた。

(1) 無刺激コントロール群

この群は、皮弁作製後、全く刺激は行なわなかったが、置鍼群、EA群、TENS群と比較の際には術後1日目、及び2日目に腹腔内へ麻酔剤の投与のみ行なった。

(2) 円皮鍼群

皮弁作製直後に円皮鍼(小)を基部の高さで2ヶ所, 中間部の高さで2ヶ所, あるいは末梢部の高さで2ヶ所貼付し, それぞれ基部刺激群, 中間部刺激群, 末梢部刺激群とし, 術後2日目に抜鍼し術後6日目の生着面積を各群で比較検討した。

(3) 置鍼群

術当日, 術後1日目, 術後2日目に直径0.18mm, 長さ50mmの鍼を用いて基部の高さで2ヶ所, あるいは, 末梢部の高さで2ヶ所, 水平に5mm刺入後1時間置鍼し, それぞれ基部刺激群, 末梢部刺激群とした。

(4) 鍼通電(EA)群

直径0.18mm, 長さ50mmの細い鍼を用いた群(A)と, 直径0.35mm, 長さ50mmの太い鍼を用いた群(B)とし, 以下の条件でそれぞれの部位に水平に5mm刺入して刺激した。EA及び次項(5)で述べるTENSでは電気刺激装置(DIA MEDICAL SYSTEM, DPS-160B), ISOLATOR (DIA MEDICAL SYSTEM, DPS-122D)を用い, 0.2ms durationの矩形波を用いた。刺激電流はOSCILLOSCOPE (KENWOOD(20MHz))でモニターした。なお, 刺激は, 皮弁作製直後, 術後1日目及び2日目に麻酔下に行ない, 刺激時間は1時間とした。

また, EA及びTENSに際して予備的に極性を変えてみたが, 結果には影響しなかったので本実験における極性の影響はないものと考えて実験を行った。

A群は次の各群である。

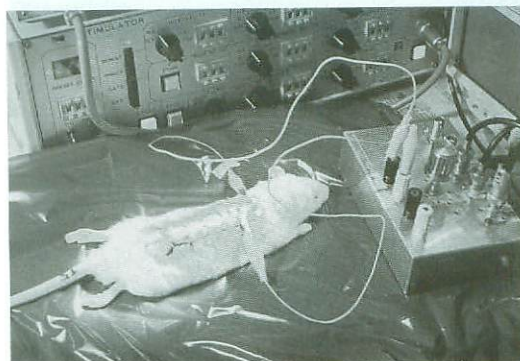
- A-1 20mA, 2Hz 基部刺激,
- A-2 20mA, 2Hz 末梢部刺激

B群は次の各群である。

- B-1 20mA, 2Hz 基部刺激,
- B-2 20mA, 80Hz 基部刺激,
- B-3 10mA, 2Hz 基部刺激,
- B-4 10mA, 80Hz 基部刺激,
- B-5 2mA, 2Hz 基部刺激,
- B-6 2mA, 80Hz 基部刺激

(5) TENS群

TENS群はTENS用ゲルパッド0.5cm×2cm(伊藤超短波株式会社)を用いて刺激した群(C)と銀-塩化銀電極0.5cm×2cm(自家製)を用いた群(D)の2群に分けた。刺激は, EA群と同様に皮弁作製直後, 術後1日目及び2日目に麻酔下で行ない, 各刺激時間は1時間とした。Fig. 4は銀-塩化銀電極で通電中のラットである。



〈Fig. 4〉 銀-塩化銀電極を用いたTENS方式で通電中のラット

通電は術当日, 術後1日目, 2日目に1時間施行した。

C群は次の各群である。

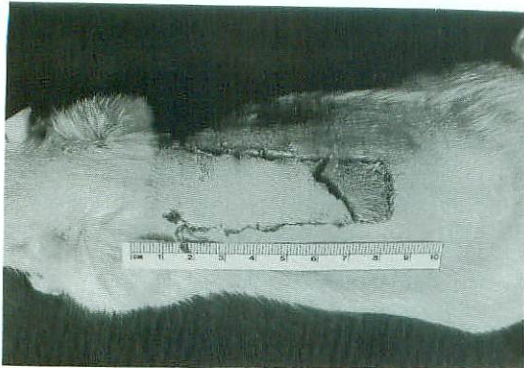
- C-1 5mA, 2Hz 基部刺激,
- C-2 5mA, 80Hz 基部刺激,
- C-3 10mA, 2Hz 基部刺激,
- C-4 10mA, 80Hz 基部刺激

D群は次の各群である。

- D-1 20mA, 2Hz 基部刺激,
- D-2 20mA, 80Hz 基部刺激,
- D-3 10mA, 2Hz 基部刺激,
- D-4 10mA, 80Hz 基部刺激,
- D-5 2mA, 2Hz 基部刺激,
- D-6 2mA, 80Hz 基部刺激

なお, 術後2日目の各刺激前後でレーザードップラー血流計(Advance Co, Ltd MODEL ALF 2100)を用いて, 基部, 中間部, 末梢部でそれぞれ10秒ごとに1分間, 血流の測定を行った。

また, 生着面積は各刺激群ともに術後6日目に



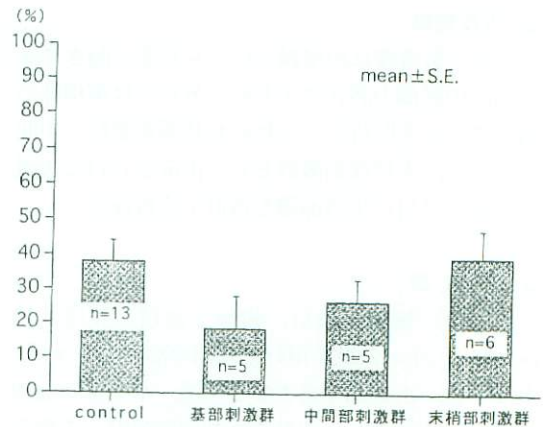
〈Fig. 5〉 術後6日目の筋皮弁生着状況
皮弁左方が生着領域で右方が壊死領域である。

再度麻酔して測定した。ラット背部の皮弁部にそれぞれトレーシングペーパーを置き、生着領域と壊死領域の境界をトレースした後 (Fig.5), 方眼紙を用いて生着面積及び生着面積比率の算出を行った。血流はレーザードップラー血流計で得られた測定値 (ml/min/100g) を刺激前の値を100%としてそれぞれの刺激後の測定値を変化率で表わした。生着面積比率には一元配置の分散分析を行った後、PLSD による多重比較検定を行った。血流増加率には二元配置の分散分析を行った後 Bonferroni の多重検定を行った。統計解析ソフトには Stat view 4.0.2 (ABACUS Inc.) を使用した。

Ⅲ 結 果

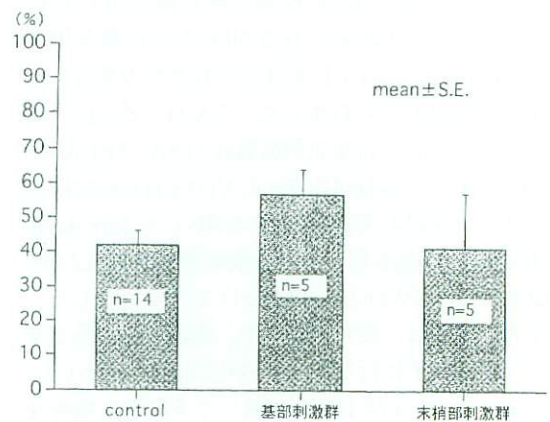
(1) 円皮鍼刺激及び置鍼刺激の皮弁生着に及ぼす効果

円皮鍼基部刺激群 (n=5) では、平均生着面積比率 (以下生着率と略す) (±標準誤差) が $18.4 \pm 21.3\%$ で、無刺激コントロール群 (n=13) の $38.1 \pm 22.0\%$ に比べ、生着率が低かったが有意差はなかった。中間部刺激群 (n=5) では $26.6 \pm 14.0\%$ で、コントロール群に比してやや生着率が低かったが有意差はなかった。末梢部刺激群 (n=6) では $39.4 \pm 29.0\%$ で、コントロール群とほぼ同程度の生着率であった。以上、円皮鍼群は、末梢部、中間部、基部刺激の順で生着率が良かったが、コントロール群に比して、有意に生着率が高くな



〈Fig. 6〉 円皮鍼群の生着面積比率

末梢部、中間部、基部刺激の順で、生着率が良かったが、コントロール群に比して生着率が高くなった群はなかった。



〈Fig. 7〉 置鍼群の生着面積比率

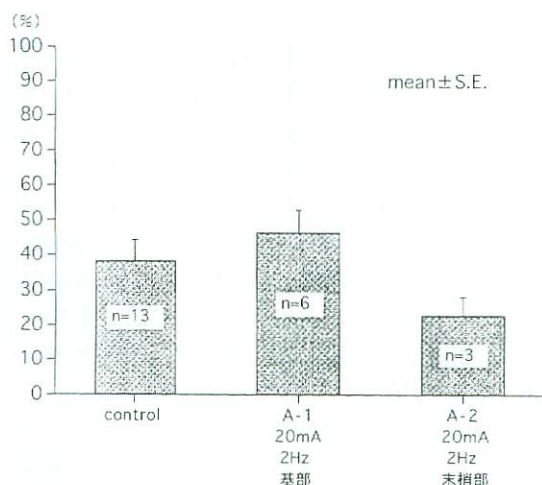
基部刺激群は、コントロール群、末梢部刺激群より生着率が高く、56.9%であったが、コントロール群の42.2%と比べて有意差はなかった。

た群はなかった (Fig.6).

置鍼基部刺激群 (n=5) では、平均生着率が $56.9 \pm 16.4\%$ で、コントロール群 (n=14) の $42.2 \pm 20.2\%$ に比して生着率が高かったが有意な差はなかった。末梢部刺激群 (n=5) は $41.4 \pm 35.7\%$ で、コントロール群とほぼ同等であった (Fig.7).

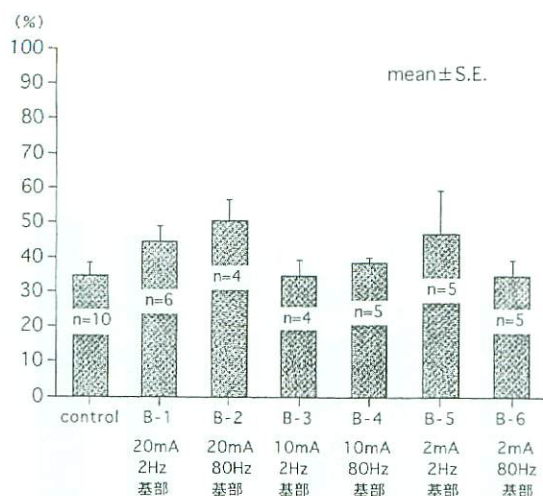
(2) 鍼通電刺激 (EA) の皮弁生着に及ぼす効果

A-1 群 (n=6) では、平均生着率が 46.2 ± 16.2



〈Fig. 8〉 鍼通電(A)群の生着面積比率

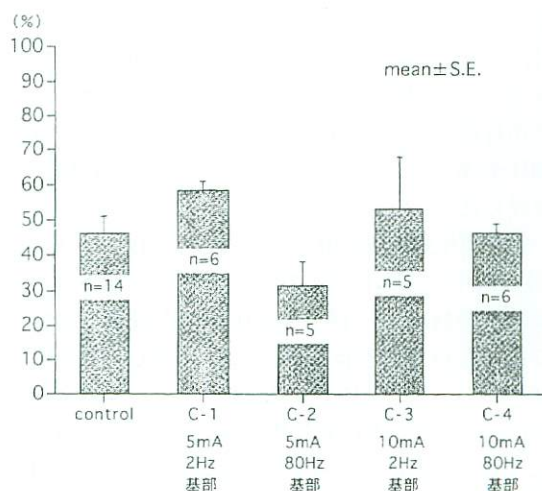
A-1 群(20mA, 2Hz基部刺激)とA-2 群(20mA, 2Hz, 末梢部刺激)を比較すると, 同じ刺激強度, 頻度ではA-2 群の末梢部刺激よりもA-1 群の基部刺激の方が生着率が良好だった。



〈Fig. 9〉 鍼通電(B)群の生着面積比率

太い鍼を用いたB 群では, コントロール群34.4%と比べB-1, B-2, B-5 群で生着率がやや増加している傾向があるが, 有意な差ではなかった。

%で, コントロール群(n=13)の38.1±22.0%と比べ, 生着率はやや高いが有意差は認められなかった。A-2 群(n=3)は22.5±9.4%で, コントロール群に比して生着率は低い, 有意な差はなかった。



〈Fig. 10〉 ゲルパッドTENS群の生着面積比率

C-1, C-3 群で生着率がやや増加している傾向があるが, 有意な差ではなかった。

た。A-1 群と A-2 群を比較すると, 同じ刺激強度, 同じ刺激頻度では A-2 群の末梢部刺激よりも A-1 群の基部刺激の方が生着率が良好だった。強度と頻度が同じ場合, 基部刺激の方が末梢部刺激よりも生着率がよかったことから, これ以降の刺激群は, 全て基部刺激とした (Fig.8)。

B-1 群(n=6)では, 平均生着率は44.4±19.7%, B-2 群(n=4)は, 50.4±12.6%で, コントロール群(n=10)の34.4±11.9%に比して, 両群ともにやや高かったが有意差はなかった。B-3 群(n=4)は, 34.5±8.9 %, B-4 群(n=5)は, 38.4±3.5 %で, 両群ともにコントロール群とほぼ同等の生着率であった。B-5 群(n=5)は, 46.7±27.5%, B-6 群(n=5)は, 34.7±9.4 %で, B-5 群がコントロール群と比べてやや良好であったが, 有意差はなかった (Fig.9)。

(3) TENS 刺激の皮弁生着に及ぼす効果

TENS 用ゲルパッド電極を用いたC群では, C-1 群(n=6)は, 平均生着率が58.3±8.8%, C-2 群(n=5)は, 31.5±15.1%で, C-1 群はコントロール群(n=14)の46.1±18.4%より生着率が良好で, また C-2 群は, コントロール群より不良であった。

が、いずれも有意差はなかった。C-3 群 (n=5) は、 $52.8 \pm 33.8\%$ 、C-4 群 (n=6) は、 $46.0 \pm 6.8\%$ で、C-3 群がコントロール群よりやや良好であったが有意差は認められなかった。これらの群では 80Hz 刺激より 2 Hz 刺激の方が生着率が高い傾向が見られた (Fig.10)。

銀-塩化銀電極を用いた D 群では、D-1 群 (n=4) は、平均生着率が $51.7 \pm 15.8\%$ で、コントロール群 (n=14) $46.1 \pm 18.4\%$ よりやや生着率が良好であったが有意差はなかった。しかし、D-2 群 (n=4) は、 $73.6 \pm 10.6\%$ で、コントロール群より有意に筋皮弁の生着率が高かった。D-3 群 (n=12) は、 $62.1 \pm 13.7\%$ 、D-4 群 (n=12) は、 $71.8 \pm 13.4\%$ で、この両群は共にコントロール群より有意に生着率が高かった。また、D-5 群 (n=6) は、 $68.7 \pm 22.0\%$ 、D-6 群 (n=6) は、 $73.0 \pm 19.3\%$ で、この両群も、コントロール群に比して有意に皮弁の生着率が高かった。また、20mA、10mA、2mA 刺激群全てにおいて、80Hz 刺激が 2 Hz 刺激より生着率を増加させる傾向があった。

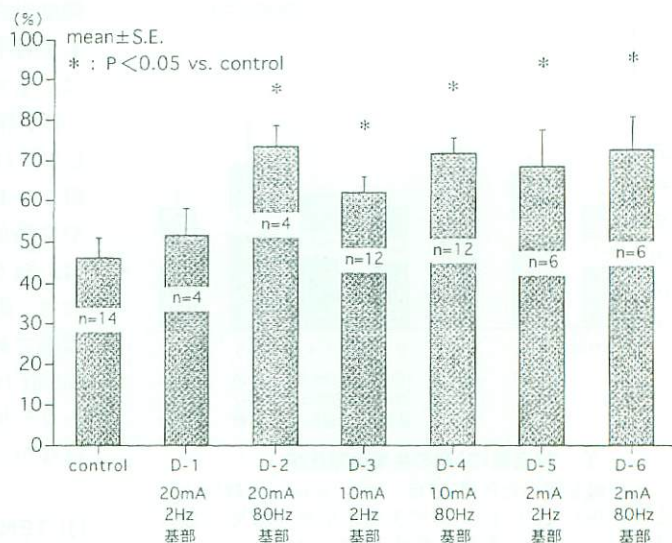
また、今回の実験では刺激強度による生着率の差は、判然としなかった (Fig.11)。

(4) TENS 刺激の皮弁血流に及ぼす影響の検討

ここで、有意に皮弁の生着率を増加させた TENS 群 (D 群) において各刺激による血流の変動に検討を加えた。術後 2 日目の基部、中間部、末梢部それぞれの通電前の値を 100% とし、通電後の値を変化率として表わした (Table.1, Fig.12)。

D-1 群では、通電後の血流は、平均変化率 $\pm$ (標準誤差) が基部で $91.4 \pm 15.5\%$ 、中間部で $137.6 \pm 18.4\%$ 、末梢部で $127.3 \pm 19.0\%$ で通電前よりも中間部及び末梢部で増加傾向を示した。D-2 群では、基部で $131.3 \pm 24.1\%$ 、中間部で $142.9 \pm 62.2\%$ 、末梢部で $100.0 \pm 10.2\%$ で D-1 群と異なり基部及び中間部で増加傾向が認められた。D-3 群では、基部で $105.9 \pm 7.6\%$ 、中間部で $112.9 \pm 11.6\%$ 、末梢部で $141.8 \pm 20.1\%$ 、D-4 群では、基部で $105.7 \pm 9.4\%$ 、中間部で $104.8 \pm 11.8\%$ 、末梢部で $155.2 \pm 34.1\%$ 、D-5 群では基部が $114.8 \pm 8.9\%$ 、中間部が $104.6 \pm 16.6\%$ 、末梢部が $135.9 \pm 22.7\%$ 、D-6 群では、基部が $126.8 \pm 18.3\%$ 、中間部が $124.9 \pm 33.1\%$ 、末梢部が $186.9 \pm 49.8\%$ であった。この 4 群 (D-3, 4, 5, 6) では、基部、中間部に比して明らかに末梢部で血流の増加傾向が認められた。

また、Table.1, Fig.12 より明らかな如く末梢部、中間部、基部の順で血流増加率が高く、基部の増加率に比して末梢部では統計的に有意な増加を示した (Bonferroni 法)。末梢部では、D-1, D-2 群以外ではどの刺激強度においても 2 Hz 刺激よりも 80Hz 刺激の方が明らかに血流を増加させた。また、刺激強度が弱くなるほど血流増加率が高くなる傾向にあった。



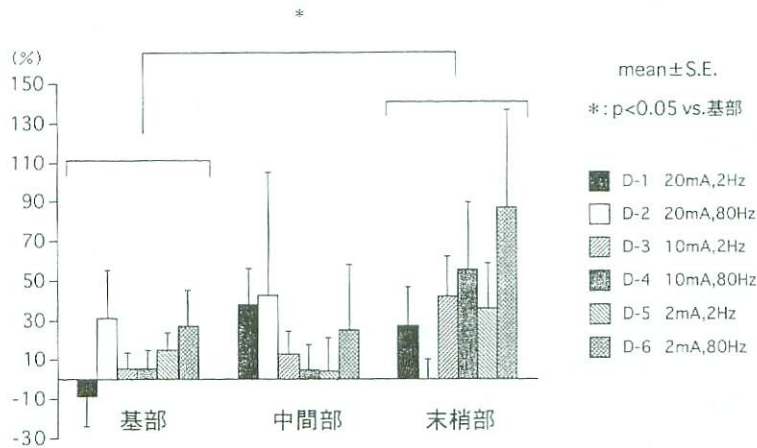
〈Fig.11〉 銀-塩化銀TENS群の生着面積比率

D-1 群を除く全ての群においてコントロール群より有意に生着率が高かった。コントロール群の46%に対し、それぞれD-2, 74%, D-3, 62%, D-4, 72%, D-5, 69%, D-6, 73%であった。また、20, 10, 2mA 刺激群の全てで80Hz刺激が2Hz 刺激より生着率を増加させる傾向があったが、統計学的には有意差は認められなかった。

〈Table.1〉 銀-塩化銀 TENS 群筋皮弁血流の各刺激後の刺激前に対する変化率 (%)

銀-塩化銀 TENS 群で術後 2 日目の各刺激後の刺激前に対する血流変化率をみたものである。皮弁のそれぞれの部位での各刺激前の血流を100%として通電後の血流の変化率(%)を平均±S.E.で表示した。通電後、血流はほとんどの刺激で増加している。

	D1 (20mA, 2Hz) n=4	D2 (20mA, 80Hz) n=4	D3 (10mA, 2Hz) n=12	D4 (10mA, 80Hz) n=12	D5 (2mA, 2Hz) n=6	D6 (2mA, 80Hz) n=6
基部	91±16 (%)	131±24	106±8	106±9	115±9	127±18
中間部	138±18 (%)	143±62	113±12	105±12	105±17	125±33
末梢部	127±19 (%)	100±10	142±20	155±34	136±23	187±50



〈Fig.12〉 銀-塩化銀TENS群 筋皮弁血流の増加率

筋皮弁の血流の増加率を図示するとFig.12の如くである。増加率は、末梢部、中間部、基部の順で高く、特に末梢部では基部に比べて有意な上昇を示した。また、末梢部では刺激強度20mA以外の群で2Hzより80Hzの方が高い増加率となった。また、刺激強度が弱くなるほど増加率が高くなる傾向があった。

IV 考 察

外科及び形成外科で多く用いられる有茎皮弁は、残された茎 (pedicle) を通して血液の供給をはかるものである。ラット背部の筋皮弁の生着に必要な血管を残すためには、筋膜を共に挙上しなければならず血行の不安定な random pattern flap は筋肉からの穿通枝を温存することで血行を維持できる^{9), 10)}。ラット背部の皮膚及び皮筋は、脊柱

起立筋穿通枝から血液が供給されている。そこで、穿通枝を温存した状態で筋皮弁を作成し、鍼刺激および経皮的神経電気刺激がその生着率を増加させ得るか否かを検討した。

この筋皮弁に対して血液を供給する脊柱起立筋穿通枝は、丁度両側肩甲骨下縁を結ぶ高さあたりで脊柱起立筋より皮弁方面に立ち上がり、皮弁の中央部で皮筋下部に接して末梢側に走行している。

このようなラットの筋皮弁を実験モデルとしてデザインしたのは McFarlane ら(1965)⁷⁾で、以来、この筋皮弁は皮弁生着に関する種々の研究に多く用いられている^{3), 4), 5), 6), 8), 11)}。前述の脊柱起立筋穿通枝は、多くの著者により central vessel と呼ばれ、皮弁の生着はこの血管の血流に依存するものと考えられている。よって、これ以下の考察では、この実験系の筋皮弁の生着は主に筋皮弁の血流が関与しているものとして論述した。

円皮鍼群、置鍼群、EA群、ゲルパッドを用いた TENS 群が筋皮弁の生着率を増加させなかったのに対し、銀-塩化銀電極を用いた TENS 群においてその生着率を増加させた。これは TENS 群と他群の刺激群とで刺激の性質が異なることによるものと思われる。即ち、TENS 群は鍼の刺入を伴わない電気刺激であるが、他群はそれぞれ鍼を刺入するため侵害刺激を伴う。軸索反射は侵害刺激、電気刺激のいずれでも起こると考えられている^{12), 13)}が、鍼の刺入を伴う通電刺激よりも、伴わない通電刺激の方が生着率を増加させたのは興味深い。また、銀-塩化銀 TENS 群においては刺激頻度や強度に関係なく生着率が増加した。

TENS は面刺激であり、鍼刺激は point 刺激である。皮弁の生着率は刺激された面積、即ち、刺激された知覚神経の数に依存している可能性も考えられる。一方、今回と同様の筋皮弁モデルで Karolinska Institute の Lundeberg らは各種刺激の効果を検討しているが^{3), 4), 5), 6)}、その 1 つに EA の高強度刺激で最大 92% の生着率が得られ、頻度には左右されなかったとしている。しかし、本実験では EA では皮弁の生着率を増加させることは出来なかったが、その理由は判らない。

ゲルパッドを用いた TENS 群ではゲルそのものでは通電が困難であったため、ゲルの中央に鍼を刺入して刺激した。それ故、純粋に TENS であったとは言い難く、また、ゲルパッドの中をどのように電流が流れたかも不詳であり、ゲルパッドが生着率を増加させなかったのはそのためかもしれない。

また、円皮鍼群において筋皮弁の生着率を低下

させたのは基部刺激群であり、EA 群で増加させたのも基部刺激群であった。刺激部位は生着率を左右する重要な因子であり、本実験では、皮弁の基部に central vessel が流入しており、筋皮弁生着に、基部刺激が大きな影響を持っていると考えられる。基部における刺激条件をいかに選択するかによって生着率に大きな違いを生ずられると思われる。

本実験において生着率を有意に増加させた銀-塩化銀電極 TENS 群で皮弁の各部位の血流を詳しく見てみると、基部における血流の増加率よりも、阻血状態に陥りやすい末梢部の増加率の方が有意に高かった。TENS 刺激が刺激された基部よりも、末梢部で効果を発揮したのは重要な事実で、また非常に興味深い。Sprague-dawley rat において背部の central vessel は、一定した解剖学的構造物であり、知覚神経線維は真皮の血管周囲、毛包に自由神経終末として存在し、中心血管の周囲に局在していると言われている¹⁰⁾。今回の実験では、基部を刺激することにより中心静脈や脊柱起立筋穿通枝が拡張され、その結果、刺激していない末梢部での血流増加率が高くなったと思われる。

銀-塩化銀電極 TENS 群 10mA、2 mA の刺激強度では、末梢部において 80Hz 刺激の方が 2 Hz 刺激よりも通電後の血流の増加率が高かった。また、生着率も 80Hz 刺激の方が 2 Hz 刺激よりも高くなった。つまり、末梢部での血流増加効果のあった高頻度刺激で皮弁の生着率も増加する傾向があった。また、末梢部において、刺激強度が弱くなるほど血流増加率が高くなる傾向がみられた。本実験では刺激強度は、生着率に影響を与えなかった。しかし、Kjartansson, Lundeberg 等は、刺激頻度よりも刺激強度により生着率が支配されると報告している⁵⁾。この点に関しては、もう少し実験を繰り返して検討する必要があるかも知れない。

これまでに筋皮弁生着とこれに関与する神経ペプチドに関する研究は数多くなされている^{4), 6), 8)}。

Kjartansson ら (1987) はカプサイシン処置が一次知覚神経線維の末梢枝に含まれる Substance P

(SP)や Calcitonin gene-related peptide (CGRP)等の神経ペプチドを枯渇させるため、カプサイシン処置したラットでは筋皮弁の生着面積比率は低下すること、また、一方、ノルアドレナリン拮抗薬であるレセルピンの前処置によって筋皮弁の生着面積比率は上昇することを報告している¹⁵⁾。それ故、筋皮弁の生着は、血管拡張をもたらす2つの因子に左右される可能性があると考えられてきた。即ち、1つは知覚神経線維の軸索反射を介した神経ペプチドの遊離、もう1つは交感神経系の血管収縮線維の抑制である。しかし、今回と同様の筋皮弁モデルの実験でTENSあるいはCGRPのcentral vesselへの直接投与が、レセルピン処置よりも著しい循環改善を示したことから、TENSによる血流改善は交感神経抑制よりも知覚神経線維から遊離される神経ペプチドの関与が大きいことが示唆されている¹⁶⁾。本実験における銀-塩化銀電極を用いたTENS群の効果の機序も上述の様にTENSによる刺激で神経終末より神経ペプチドが放出された結果と考えられる。2mA~20mAという弱い刺激でC線維が興奮するかどうか不詳であるが、川喜田らは弱い通電刺激を与えた時に、直接的な刺激の結果としてではなく、筋収縮の結果、2次的に神経線維が興奮することを報告している¹⁶⁾。本実験においても、TENS中に皮筋の収縮が観察されており、この報告と同様の現象が起こった可能性も考えられる。

これまで、筋皮弁に鍼灸刺激やTENSを施行した際の血流の増加は示唆されてきたが、皮弁各部位で血流増加率に違いがあること、及び皮弁末梢部での血流増加率の高い高頻度刺激において、皮弁の生着率も増加する傾向にあること等は本研究で初めて明らかにされたことである。これらの結果は、今後、臨床における筋皮弁の生着率を高めるための一つの方法として利用され得ると考える。

V 結 語

ラット背部に筋皮弁を作製し鍼刺激および経皮的神経電気刺激が筋皮弁の生着率及び血流動態に

及ぼす影響について検討した。その結果、銀-塩化銀電極を用いたTENS方式の刺激により有意に高い生着率が得られたが、円皮鍼、置鍼、EAでは明らかな効果はなく、円皮鍼等ではむしろ生着を阻害する傾向も認められた。以上の結果から、① 刺激はポイント刺激よりプレート電極を用いた広範囲刺激が有効であること、② 皮弁基部での刺激が必要であること、③ TENSの場合、刺激頻度が高い方が生着率が良い傾向がみられたこと、④ 皮弁基部でのTENS刺激は皮弁の血流を増加させるが、主に皮弁末梢部の血流を増加させることが判った。以上より、TENS刺激は皮弁の生着率を高めるための刺激法の一つとして有効であることが示唆された。

VI 謝 辞

本研究に際し御助言ならびに御協力を賜りました明治鍼灸大学第三生理学教室の川喜田健司教授、同大学物理学教室の森本安夫教授、同大学解剖学教室の熊本賢三助教授、基礎鍼灸学教室の篠原鼎講師、病理学教室の広瀬真理助手、第一東洋医学臨床教室の石崎直人助手、第三東洋医学臨床教室の岩昌宏助手、同教室の池田和久氏に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) Kaada B: Vasodilation induced by transcutaneous nerve stimulation in peripheral ischemia (Raynaud's phenomenon and diabetic polyneuropathy). *European Heart Journal*, 3: 303-314, 1982.
- 2) Stephen E A, Caridad B A, Alan C R: Increased Skin Temperature during Transcutaneous Electrical Stimulation. *Anesthesia and Analgesia* 59: 22-25, 1980.
- 3) Jansen G, Lundeborg T, Samuelson U E, et al: Increased survival of ischaemic musculocutaneous flaps in rats after acupuncture. *Acta Physiol Scand*, 135: 555-558, 1989.
- 4) Jansen G, Lundeborg T, Kjartansson J, et al: Acupuncture and sensory neuropeptides increase cutaneous blood flow in rats. *Neu-*

- roscience Letters, **97** : 305-309, 1989.
- 5) Kjartansson J, Lundeberg T, Samuelson U E, et al : Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increases survival of ischaemic musculocutaneous flaps Acta Physiol Scand, **134** : 95-99, 1988.
 - 6) Kjartansson J, Lundeberg T, Samuelson U E, et al : Calcitonin gene-related peptide (CGRP) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increase blood flow in a musculocutaneous flap in the rat. Acta Physiol Scand, **134** : 89-94, 1988.
 - 7) Mcfarlane R M, Deyoung G, Henry R A : The design of a pedicle flap in the rat to study necrosis and its prevention. Plastic And Reconstructive Surgery, **35** : 77-182, 1965.
 - 8) Kjartansson J, Dalsgaard C J : Calcitonin gene-related peptide increases survival of a musculocutaneous critical flap in the rat. European Journal of Pharmacology, **142** : 355-358, 1987.
 - 9) 中嶋英雄 : 皮弁—その理論と進歩, 医学のあゆみ, **129** : 1172, 1984.
 - 10) Stephen J M, Foad N : Clinical applications for muscle and musculocutaneous flaps. the first edition, The C.V. Mosby Company, ST. Louis • TORONTO • LONDON, pp95-98, 1982.
 - 11) Thomas J K, Gregory P, Stephen H M : The Effects of Reserpine on Microcirculatory Flow in Rat Flaps. Plastic & Reconstructive Surgery, **63** : 102-110, 1979.
 - 12) Kenins P : Identification of the unmyelinated sensory nerves which evoke plasma extravasation in response to antidromic stimulation. Neuroscience Letters, **25** : 137-141, 1981.
 - 13) Holzer P : Local effector functions of capsaicin-sensitive sensory nerve endings : involvement of tachykinins, calcitonin gene-related peptide and other neuropeptides. Neuroscience, **24** : 739-768, 1988.
 - 14) Kjartansson J, Dalsgaard C J : The anatomy and histology of the cranially based dorsal musculocutaneous flap of the rat. Scand J Plast Reconstr Surg, **22** : 223-227, 1988.
 - 15) Kjartansson J, Dalsgaard C J, Jonsson C E : Decreased survival of experimental critical flaps in rats after sensory denervation with capsaicin. Plastic and Reconstructive Surgery, **79** : 218-221, 1987.
 - 16) Kawakita K, Funakoshi M : Role of the subsequently activated receptors in electroacupuncture of the rat. American Journal of Chinese Medicine, **9** : 164-170, 1981.

Effects of Acupuncture and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on the Survival of Musculocutaneous Flap in Rats.

NIINA Yoriko¹, *SAKITA Masakazu²

*1 Department of Surgery, Graduate School of Acupuncture and Moxibustion,
Meiji University of Oriental Medicine*

2 Department of Surgery, Meiji University of Oriental Medicine

Summary: In the present study, the effects of acupuncture and TENS on musculocutaneous flap was investigated in a rat model by measuring the surviving area and increases in blood flow in the flap.

In all experiments, male albino rats (Sprague-Dawley, body weight 220 ~260g) were used. On the day of surgery, animals were anesthetized intraperitoneally with Thiamylal Sodium and a cranially based 2×7 cm musculocutaneous flap was raised from the deep fascia of muscles. The percentage of surviving flap area was estimated after 6 days. The rats were divided into the control group and groups treated by overall cranial subcutaneous needle acupuncture, in situ needle acupuncture, EA (electro-acupuncture) and TENS.

In the group treated by overall cranial subcutaneous needle acupuncture, the group treated by in situ needle acupuncture, and the EA group, there was no significant difference in area of surviving flaps compared to with that in the control group. In the TENS group, stimulation using gel pad electrodes had little effect, but stimulation using Ag-AgCl electrodes significantly increased the surviving area compared with that in the control group.

In conclusion, ① wide area stimulation using plate electrodes might be more efficient than spot stimulation using needles, ② it is more efficient to stimulate a site at the base of the flap than at the periphery for musculocutaneous flap survival. ③ in TENS treatment, high-frequency stimulation tended to increase flap survival, and ④ TENS treatment increased blood flow in the flap, mainly at the periphery. The mechanism for this action is not known, but TENS may activate sensory nerve fibers and induce vasodilation.

Received on June 7, 1996; Accepted on July 24, 1996

† To Whome correspondenc should be addressd.