原 著

家兔前脛骨筋の血流に及ぼす鍼刺激の影響

鶴 浩幸 松本 勲

明治鍼灸大学大学院・鍼灸臨床医学

**Effect of Acupuncture Stimulation on the Blood Flow
of the Skeletal Muscles in Rabbits.**

Hiroyuki TSURU Tadasu MATSUMOTO

Clinical Medicine of Acupuncture and Moxibustion, Graduate School of
Acupuncture and Moxibustion, Meiji University of Oriental Medicine.**A b s t r a c t**

To clarify the effect of acupuncture on the skeletal muscle blood flow, measurements of muscle blood flow by hydrogen gas clearance method were taken on the left anterior tibial muscles of thirty rabbits (weighing about 2.5 to 3.3 kg) anesthetized with pentobarbital sodium (35mg/kg, i.v.). Arterial blood pressure in the common carotid artery and body temperature were also measured.

Blood flow was measured 6 times every 10 min. In the stimulation group, acupuncture needles were inserted into the center of the anterior tibial muscle before the third measurement and "sparrow pecking" was performed, then the needles were removed. In the denervation group, the sciatic nerve was cut to observe the influence of denervation on the effect of acupuncture.

In the stimulation group (n=12), a significant increase in blood flow to the muscles occurred after acupuncture stimulation, compared with the control group (n=12). The increase in blood flow in the stimulation group was maintained until the final measurement. Arterial blood pressure and body temperature did not change.

The blood flow values in the second and third measurements were 18.1 ± 2.2 , and 17.6 ± 2.4 , respectively, in the control group, and 17.8 ± 1.8 and 25.9 ± 2.2 ml/min/100g (mean $\pm$ S.E.) in the stimulation group. The changes in blood flow values from the second to the third measurement were -0.5 ± 0.3 ml/min/100g in the control group, and $+8.2 \pm 2.0$ ml/min/100g in the stimulation group. An increase in blood flow after acupuncture stimulation also occurred in the denervation group (n=3).

Despite there being no change in arterial blood pressure, blood flow was increased after acupuncture stimulation, and the increment of blood flow after acupuncture stimulus was also observed in the denervation group. Therefore, the increment of blood flow seems to have been caused by vasodilation of the blood vessels induced by axon reflex.

Key words : blood flow, acupuncture, muscle, hydrogen gas clearance method, muscular pain

1. 緒言

鍼治療は消炎・鎮痛や筋痙縮の緩和等を目的に行われることが多く、その治療効果には刺激による血流改善も深く関与しているものと推測されている¹⁻³⁾。鍼灸刺激が皮膚血流⁴⁻⁷⁾や内臓血流、神経血流等⁸⁻¹²⁾の改善作用を有することは報告されてきている。筋の血流動態に及ぼす鍼灸の影響に関しては、ヒトを対象に深部温測定¹³⁾やストレンゲージXチスモグラフィ¹⁴⁾等の測定によって筋血流の変化を推定した報告はあるが、筋血流量を直接定量的に測定し、しかも体温コントロール、経時的血圧測定下で鍼刺激の影響を詳細に検討した研究報告はみられない。体温と血圧は末梢血流と密接な関係があり、血流変動時の体温と血圧の動態が明らかでなければ鍼刺激の影響を明確に論

じることは難しい。そこで本研究では、家兎を用いて体温を一定に保持した血圧連続測定下で前脛骨筋の血流量を電解式組織血流計（電解式水素クリアランス法）を用いて測定し、筋血流に対する鍼刺激の影響について検討した。

2. 方法

1) 実験動物

実験には、明暗周期12；12時間で餌および水は24時間自由摂取、室温 24 ± 1 ℃の環境下で飼育した日本白色家兎30羽（雌、体重 $2.5 \sim 3.3$ Kg）を用い、前脛骨筋を被検筋とした。

2) 測定方法

家兎を、バントバルビタール（ 35mg/kg ）によ

図1. 実験方法の模式図

る耳静脈麻酔後、自家製固定台に背臥位で固定した(図1)。直腸温をモニターしながら、体温維持装置(MUROMACHI KIKAI 社製ANIMAL BLANKET SYSTEM MK-900)により体温を一定に保持した($39.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$)。家兎の頸部を切開して気管カニューレおよび薬物投与のための静脈カニューレを挿入し、次いで血圧測定のために、ヘパリンナトリウムと生理食塩水の混合液を入れて圧力トランスジューサー(Statham 社 P-23Db)に接続したカニューレを総頸動脈に挿入した。血圧データは、圧動ひずみアンプ(三栄測器、STRAIN AMPLIFIER 6M62)により増幅し、Mac Lab(バイオリサーチセンター)を介してコンピューター(Apple社 Macintosh 5300CS)に記録した。不関電極は、耳介内面に装着した。

筋血流量は、電解式組織血流計(バイオメディカルサイエンス、RBF-22)を用いて測定し、得られたクリアランスカーブは、血圧とともにMac Labを介してコンピューターに記録した。前脛骨筋の下腿部の上方から約1/2の皮膚と筋膜を約5 mm切開し、血流測定用白金電極(バイオメデ

イカルサイエンス、BE-NS、直径 $200\mu\text{m}$)を約 45° の角度で上方に向けて約3 mm挿入した(図2)。なお、測定電極の周囲の血液凝固と気泡の付着を防ぐためヘパリンを500単位/kg 静注した^{15,16)}。測定条件は、電解電流 $5\mu\text{A}$ 、電圧 0.6V 、電解時間30sec、室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で行った。まず、対照群($n=12$)は、刺激せずに10分間隔で6回測定を行った。鍼刺激群($n=12$)は、無刺激で2回測定後、3回目の測定直前に鍼刺激を行い、その後4回測定をした。

また、鍼刺激の筋血流に対する上位中枢を介する反射の関与をみるため、坐骨神経切断後の家兎で測定を行った。すなわち、坐骨神経を切断してから無刺激で6回測定したものと、2回測定後に鍼刺激を行い、その後4回測定したものを3例ずつで行った。

なお、実験の最後に、15%塩化カリウム液(1ml/kg)を静注し、血圧モニターの波形で死亡を確認した後にクリアランスカーブを描かせて死後の半減期を求めた。実験終了後には電極の位置を確認した。また、実験中は室温を $25 \pm 1^\circ\text{C}$ に保持した。

3) 血流量の算出方法

前脛骨筋から得られたクリアランスカーブの電圧値を10秒毎に片対数方眼紙にプロットし、半減期を求めた。なお今回の実験で用いた組織血流計は電解式のため、局所にのみ水素ガスを発生させる原理上、家兎生存中の半減期には血流のない状態での拡散による値も加味されているので、下記のKoshuの計算式により血流量(F)を算出した¹⁷⁾。

$$F = 69.3 \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_d} \right) (\text{ml/min/100g})$$

{ T_c : 生存中の半減期 T_d : 死後の半減期}

4) 鍼刺激の方法

鍼刺激は、全て直径 0.24mm のステンレス鍼を用い、血流測定用白金電極の上方1 cmの部位に前脛骨筋に対して約 45° の角度で斜め下方に約1 cm挿入し、約5 mmの振幅で10回雀啄した後すぐに抜鍼した。

5) 上位神経切断の方法

殿部に約3 cmの切開を施し、坐骨神経を無傷露

図2. クリアランスカーブおよび血圧の記録例
電解式水素クリアランス法による1例のクリアランスカーブと血圧の記録を示す。

表1. 対照群および鍼刺激群の家兔前脛骨筋血流量の推移

Order of measurement (Time : min.)		First (0)	Second (10)	Third (20)	Fourth (30)	Fifth (40)	Sixth (50)
Blood flow ml/min/100g (Mean±S.E.)	Control (n=12)	20.2 ±2.3	18.1 ±2.2	17.6 ±2.4	16.8 ±2.3	16.8 ±2.4	17.0 ±2.2
	acupuncture (n=12)	before acupuncture		after acupuncture			
		18.1 ±1.6	17.8 ±1.8	25.9 ±2.2	26.9 ±1.9	24.5 ±2.4	22.7 ±2.7

図3. 対照群および鍼刺激群の前脛骨筋血流量の推移

血流量は平均±標準誤差で表した。対照群 (n=12) は徐々に減少する経過を示したが、鍼刺激群 (n=12) は刺激後に血流の増加を示した。2 群の経時的変化のパターンに有意な差が認められた (Huynh Feldt 補正後の二元配置分散分析法: $p < 0.00004$)。また、対照群と鍼刺激群の間で第3回目以降に有意差が認められた (補正Tukey法による多重比較法: 第3～5回目 $p < 0.01$ 、第6回目 $p < 0.05$)。

出した後、損傷電流による筋収縮が起こらないようにパラフィンを敷き、2%キシロカインを切断部に塗布した後に坐骨神経を切断した。周囲の乾燥を防ぐため閉創し、生理食塩水で湿らせた綿花を置いた。

6) 結果の表示及び統計処理方法

求めた対照群、鍼刺激群の血流量を平均±標準誤差で表した。効果判定の有意差の検定には二元配置分散分析法、多重比較法を用い (スリースカンパニー社製 Macintosh 用統計解析ソフト Statistica

表2. 経時の分散分析表

効果	効果df	効果ms	誤差df	誤差ms	F値	P値	Huynh-Feldt ϵ	補正P値
Group	1	858.0017	22	279.2859	3.0721	0.0936	—	—
Time	5	55.5507	110	15.9678	3.4793	0.0059	0.5434	0.00004
G.*T.	5	146.9854	110	15.9678	9.2051	0.0000	0.5434	0.00004

図4. 第2回目に対する第3回目測定時の前脛骨筋血流の変化量
血流量は平均±標準誤差で表した。

4.1J)、 $p < 0.05$ のものを有意差ありとした。

3. 結果

1) 対照群および鍼刺激群の血流変化

図2に1例のクリアランスカーブと血圧の記録を示した。血圧はいずれの実験においても著明な変動を示さなかった。対照群 ($n = 12$) と鍼刺激群 ($n = 12$) の筋血流量の変動を表1と図3に示した。2群の各時点の値の分散は等分散であった (バーレット χ^2 値 = 4.6193、自由度 = 11、 $p < 0.94482$)。

対照群の血流量は、第1回目の測定で 20.2 ± 2.3 ml/min/100g (mean $\pm$ S.E., 単位は以下mlで表

わす。)であったが、2回目以降は18.1ml、17.6ml、16.8ml、16.8mlとやや減少傾向を示し、最終の6回目測定時には17.0mlとなった。一方、鍼刺激群の血流量は、第1回目測定時に 18.1 ± 1.6 mlであり、2回目には17.8mlにやや減少したが、3回目には25.9ml、4回目には26.9mlと増加し、その後は、24.5ml、22.7mlと減少傾向を示したものの、最終測定時にも対照群よりも高値を保持していた。

なお、血圧は6回の測定中ほぼ一定であった。また、直腸温は $39.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ と安定しており、鍼刺激による変化はみられなかった。

対照群と鍼刺激群の血流量の経時的变化について、Huynh Feldt の補正下で二元配置分散分析法

により検定を行った結果、表2のように経時的変化のパターンに有意な差が認められた ($p < 0.00004$)。また、補正 Tukey 法による多重比較の結果では、対照群と鍼刺激群の第3回目測定以降(鍼刺激後)に有意差が認められた(3回目、4回目および5回目: $p < 0.01$ 、6回目: $p < 0.05$)。

なお、2回目に対する3回目測定時の変化量は、対照群が $-0.5 \pm 0.3 \text{ ml}$ であるのに対し、鍼刺激群は $+8.2 \pm 2.0 \text{ ml}$ であった(図4)。また、鍼刺激群で2回目または3回目測定時に5 ml以上の増加を示したのは、12例中8例(67%)であった。

2) 坐骨神経切断群の血流変化

図5に、坐骨神経を切断して無刺激で6回の血流量測定のみした群(坐骨神経切断・無刺激群、 $n=3$)と鍼刺激を行った群(坐骨神経切断・鍼刺激群、 $n=3$)の平均血流量の推移を示した。無刺激群では経時的な変動はみられなかったが、鍼刺激群では鍼刺激以降(3回目測定時以降)に

血流増加が示された。個体別にみると、無刺激群では血流は3例ともほぼ一定で変動を示さなかったが、鍼刺激群では3例ともに刺激以降の3回目(2例)あるいは4回目測定時(1例)から血流増加が起こった。

4. 考察

1) 血流量の測定方法について

組織血流測定法には加熱熱電対法^{18,19)}、プレチスモグラフィ²⁰⁾、レーザードップラー法^{10,21)}、さらにガスをを用いた局所でのクリアランスにより求める方法などがある。しかし、加熱熱電対法では筋血流の変化を定量的に直接とらえることができず、プレチスモグラフィでは選択的に筋組織の血流のみを測定することができない。これらの方法に比べて水素クリアランス法は、直接筋血流量を測定することができる。

水素ガスクリアランス曲線から組織局所血流量を求める方法には、1964年 Auckland らにより提唱

図5. 坐骨神経切断群の前脛骨筋血流量の推移

血流量は平均±標準誤差で表した。無刺激 ($n=3$) は3例ともに変動を示さなかったが、鍼刺激群 ($n=3$) は3例ともに血流の増加を示した(3回目測定時以降: 2例、4回目測定時以降: 1例)。

された吸入法²²⁾と、1974年 Stosseck らにより提唱された電気分解法²³⁾の2通りの方法がある。いずれも水素ガスが洗い流される時に発生する微小電流を、局所に挿入された電極により感知し、その電流の減衰曲線から計算して血流量を求めるものであるが、水素ガスの吸入は生体への影響が少なくない。本実験では吸入法に比べて危険性が少なく、比較的短時間で反復測定でき、生体への影響が少ないという利点をもつ電解法を用いたので、吸入法による水素ガスの影響は排除できたものとする。

2) 対照群の筋血流量について

家兎前脛骨筋血流量は、吸入式水素クリアランス法を用いたものでは、Mishra²⁴⁾は 8.2 ± 1.7 ml、竹宮²⁵⁾は 21.3 ± 1.8 mlを報告し、電解式水素クリアランス法では宮森¹⁵⁾は 33.9 ± 13.9 mlを報告している。本実験で得た対照群と刺激群の測定値(20.2 ± 2.3 ml、 18.1 ± 1.6 ml)は、これらの測定値から大きく逸脱するものではなく、中間的な値であるので、前脛骨筋の血流量としてはほぼ妥当な値であると考えられる。

また、対照群の血流量は時間の経過とともにやや減少傾向を示したが、これは麻酔の覚醒にともなう交感神経の緊張によって生じた血管緊張の回復による血流減少や、筋内に測定電極を刺入することによって生じた軸索反射等による一時的な血管拡張後の回復過程での血流減少の表われである可能性が考えられる。坐骨神経切除後では血流変化がみられなかったことも、対照群の血流減少が麻酔の覚醒にともなう交感神経の緊張回復と関連していることを示唆している。

3) 鍼刺激による筋血流の変動について

今回の実験において鍼刺激群の血流量が増加を示した。これは、鍼刺激によって筋の血管拡張が起こったことを表わしており、筋肉痛や肩こり、五十肩等の運動器系疾患に筋血流改善の目的で鍼を行うことの妥当性を示唆するものであると考えられる。そして、鍼刺激による総頸動脈圧の変化がほとんどみられなかったことから全身性に血管拡張が生じるのではなく、刺激を行った筋の局所の血

管拡張が起こったものと考えられる。さらに、坐骨神経を切断しても鍼刺激後に筋血流の増加がみられたことから、刺激後の血流増加は、中枢を介する反射性の自律神経による血管拡張の関与は少なく、感覚神経内での軸索反射による血管拡張の可能性が高いと考えられる。木下²⁶⁾は、モルモットの腓腹筋において強縮刺激後の疲労筋への施鍼によって短縮高の回復の促進がみとめられ、しかもこの現象は支配神経を切除しただけでは影響を受けなかったため、これは鍼刺激で筋血流の増加が起こったことが原因であり、血流増加は、軸索反射による血管拡張が関与していると推測している。桑澤²⁷⁾も強縮刺激後の疲労筋への施鍼によって短縮高の回復促進がみられたが、CGRPを注入しても施針と同様の効果が出現し、この現象はアトロピンで遮断されたことから、感覚神経における軸索反射とコリン作働性交感神経の関与による血管拡張が起こり、血流が改善されたと推測している。本研究では自律神経遮断薬によるデータがないため、コリン作働性交感神経の関与については言及できないので、今後検討する必要があると考える。

5. まとめ

筋血流に対する鍼刺激の影響を検討するために、体温コントロール、血圧連続測定下で、麻酔下家兎の前脛骨筋血流量を電解式組織血流計を用いて測定し、以下の結果を得た。

- 1) 対照群においては、筋血流量は測定ごとにやや減少傾向を示した。
- 2) 鍼刺激群においては、刺激後に血流量の増加がみられた。
- 3) 坐骨神経を切断した後に鍼刺激を行っても筋血流の増加がみられたことから、筋血流の増加には、脊髄以上の上位中枢を介する反射性の血管拡張の関与は少なく、主に軸索反射による血管拡張が関与しているものと考えられた。
- 4) 運動器疾患に対する鍼刺激の効果には、筋血流の改善が関与していることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、多大なるご助言を頂いた

明治鍼灸大学第三生理学教室・川喜田健司教授および岡田薫助手，ならびに種々ご協力頂いた東洋医学教室・高橋則人助手に深謝いたします。

参考文献

- 1) 木下晴都：局所疼痛に対する針作用の実験的研究 1：皮膚温、筋肉温、脈波から検した局所疼痛に対する針灸の作用機序，昭医誌，41(2)；147～156,1981.
- 2) 石丸圭荘，松本 勲，矢野 忠ほか：アレック・ライトテスト時の指尖容積脈波に及ぼす斜角筋刺鍼の効果，全日本鍼灸学会雑誌，41(4)；366～369,1991.
- 3) 伊藤 譲，松本 勲：家兎前脛骨筋の筋張力に対する置鍼の影響，全日本鍼灸学会雑誌，46(4)；326～333,1996.
- 4) 松本 勲：東洋系物理療法のサーモグラフィによる研究．一(1) 鍼灸治療で取り扱った下肢疼痛症例のサーモグラフィ所見，東洋医学とペインクリニック，8(2)；1～8,1978.
- 5) 松本 勲：東洋系物理療法のサーモグラフィによる研究．一(2) 鍼灸治療で取り扱った下肢冷え症例のサーモグラフィ所見，東洋医学とペインクリニック，8(4)；9～14,1978.
- 6) 松本 勲：頸肩部鍼刺激の上肢血液循環に及ぼす影響，東洋医学とペインクリニック，10(3)；121～125,1980.
- 7) 篠原昭二，松本 勲，西牧紀子ほか：雀啄，鍼通電およびSSP刺激の肩甲上部皮膚・筋血流に及ぼす影響，全日本鍼灸学会雑誌，32(2)；17～23,1982.
- 8) 松本 勲，池内隆治：家兎胃壁血流に対する鍼刺激の効果，明治鍼灸医学，12；7～12,1993.
- 9) 松本 勲，池内隆治：家兎胃壁血流に対する灸刺激の効果，全日本鍼灸学会雑誌，44(2)；170～175,1994.
- 10) 石崎直人，山村義治ほか：胃粘膜血流に及ぼす鍼刺激の効果，明治鍼灸医学，11；1～9,1993.
- 11) 松本 勲，兵藤正義：Acupuncture（ハリ）と血流，循環制御，6(4)；469～480,1985.
- 12) 山口大輔，松本 勲：家兎腰部鍼刺激が坐骨神経幹の血流に及ぼす影響，全日本鍼灸学会雑誌，47(3)；165～172,1997.
- 13) 松本 勲，森本安夫，川井正久ほか：鍼刺激の下肢深部温および皮膚温に及ぼす影響，自律神経雑誌，26(3・4)；97～101,1980.
- 14) 松本 勲，篠原昭二，池内隆治ほか：鍼刺激によるヒト下腿筋血流の改善，明治鍼灸医学，6；83～87,1990.
- 15) 宮森邦夫：家兎下腿圧迫下における筋膜区画内圧，筋血流量および末梢血流量の関係，金沢大学十全医学会雑誌，97(4)；883～897,1988.
- 16) 篠田耕三：電気分解式水素クリアランス法による骨髓内局所血流量の測定：金沢大学十全医学会雑誌，94(4)；678～688,1985.
- 17) Kenji Koshu, M.D., Kazuyo Kamiyama, M.D., Nobuo Oka, M.D., et al：Measurement of Regional Blood Flow using Hydrogen Gas Generated by Electrolysis, Stroke, 13(4)；483～487,1982.
- 18) MICHIO ARAI AND HIROYUKI ENDOH：Blood Flow through Human Skeletal Muscle during and after Contraction, Tohoku J. exp. Med., 114；379～384,1974.
- 19) A MCPHERSON, JOHN SCALES and L.H. gordon：A METHOD OF ESTIMATING QUALITATIVE CHANGES OF BLOOD FLOW IN BONE, THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY, 43B；791～799,1961.
- 20) 土光荘六，勝村達喜：Mercury Strain Gauge法による血流測定について，脈管学，21；327～330,1981.
- 21) 小山富康，三品博達，朝倉利光：レーザー・ドップラー血流計，臨床科学，13；1197～1202,1977.
- 22) Aukland K, Bower B.F., Berliner R.W.：Measurement of Local Blood Flow with Hydrogen Gas, Circ. Res., 14；164～187,1964.
- 23) Klaus Stossek, Dietrich W. Lubbers, and Norbert Cottin：Determination of local Blood Flow(Microflow) by Electrochemically

- Generated Hydrogen, Pflugers Arch., 348 ; 225 ~ 238, 1974.
- 24) Mishura S.K., and Haining J.L. : MEASUREMENT OF LOCAL SKELETAL MUBCLE BLOOD FLOW IN ANIMALS BY THE HYDROGEN ELECTRODE TECHNIQUE, MUSCLE and NERVE, 3 ; 285 ~ 288, 1980.
- 25) 竹宮 隆, 橋羽裕規男, 橋爪和夫ほか : 水素ガスクリアランス法による家兎後肢骨格筋とその腱の組織血流について, 体力科学, 31, 41 ~ 50, 1982.
- 26) 木下晴都 : 局所疼痛に対する針作用の実験的研究 2 : 強縮後の短縮高回復過程に及ぼす置鍼の作用, 昭医誌, 41(4) ; 393 ~ 403, 1981.
- 27) 桑澤二郎, 佐藤三千雄, 武重千冬 : 局所疼痛に対する針作用の実験的研究 昭医誌, 47(1) ; 81 ~ 88, 1987.
- 25) 竹宮 隆, 橋羽裕規男, 橋爪和夫ほか : 水素ガスクリアランス法による家兎後肢骨格筋と

要 旨

骨格筋血流に対する鍼刺激の効果を明らかにするため、ペントバルビタールで麻酔した家兎30羽（体重約2.5～3.3kg）の前脛骨筋の血液を、水素クリアランス法によって測定した。総頸動脈の動脈圧と体温も同時に測定した。

血流は10分おきに6回測定した。鍼刺激群においては、第3回目の測定の前に、鍼を前脛骨筋の約中央に刺入し、雀啄術を行ってから抜鍼した。さらに、除神経群では、鍼の効果に対する除神経の影響を観察するために坐骨神経を切断した。

刺激群（n=12）においては、鍼刺激後に対照群（n=12）に比して血流の有意な増加が起こった。刺激群の血流増加は最終の測定時まで持続した。動脈圧と体温は変化しなかった。

第2回目と第3回目の測定時の血流値は、対照群ではそれぞれ 18.1 ± 2.2 , 17.6 ± 2.4 ml/min/100g（平均±標準誤差）、刺激群ではそれぞれ 17.8 ± 1.8 , 25.9 ± 2.2 ml/min/100gであった。第2回目に対する第3回目の測定の血流の変化量は、対照群は -0.5 ± 0.3 ml/min/100g、刺激群は $+8.2 \pm 2.0$ ml/min/100gであった。鍼刺激後の血流増加は、除神経群においても起こった（n=3）。

動脈圧は変化を示さなかったにも拘らず、血流は鍼刺激後に増加し、また、鍼刺激後の血流増加は除神経群においても起こったことから、鍼刺激後の血流増加は軸索反射によって引き起こされた筋の血管拡張によって生じたものと思われた。