

原 著

低周波鍼通電刺激が腓腹筋部深部温度に及ぼす影響

— 筋収縮の大きさの違いによる検討 —

徳竹忠司、溝淵基嘉、各務友也、岸成人、鈴木芳弘
橘寛子、長谷部一成、原田美由貴、宮田敏広
筑波大学理療科教員養成施設

要旨

【目的】骨格筋に対する低周波鍼通電刺激が筋内循環に及ぼす影響は、交感神経機能の関与がわずかにみられるが、一定のリズムで筋が収縮・弛緩をすることで深部温度が上昇をする、すなわち筋収縮によるポンプ作用が中心であると言われている。しかし先行研究では、筋収縮に用いられる周波数についての検討はなされているが、刺激量や筋収縮の大きさの違いと深部温度との関係についての検討はなされていない。そこで、低周波鍼通電刺激による筋収縮の大きさの違いが深部温度の変化にどのような影響を及ぼすかを観察することを目的として実験を行った。【方法】実験の説明に同意が得られた健常成人10名に対し、一側腓腹筋に1Hz・25分間の鍼通電刺激を行った。実験はクロスオーバー法にて介入は大収縮および小収縮とし、腓腹筋深部温度の変化を中心に観察した。【結果】小収縮実験の介入側は介入前 $35.33 \pm 0.49^\circ\text{C}$ 、介入後 $35.29 \pm 0.61^\circ\text{C}$ と約 0.04°C の下降がみられ、前後差に有意な違いは認められなかった。大収縮実験の介入側は介入前 $35.51 \pm 0.40^\circ\text{C}$ 、介入後 $36.16 \pm 0.44^\circ\text{C}$ と約 0.65°C の上昇がみられ、5%の危険率で前後差に有意な違いが認められた。【考察及び結論】以上のことから今回の実験では、大収縮の方が小収縮よりも深部温度を上昇させることが分かった。この結果の違いは、筋ポンプ作用が大収縮において十分に発揮されたためと考える。

キーワード 低周波鍼通電刺激 筋ポンプ 深部温 腓腹筋 末梢循環

I. 緒言

低周波鍼通電刺激が生体に及ぼす影響に関する研究は、鎮痛効果の検証から始まり、臨床応用が行われるなかで、鎮痛以外の効果が確認されてきている¹⁾。

我々は、ヒト腓腹筋を対象に1Hzの鍼通電を行い、局所循環に及ぼす影響について深部温度を指標に観察を行った。その結果、腓腹筋部深部温度は通電筋において有意な上昇

を確認した。この温度上昇の機序には末梢循環の促進が関与しており、筋収縮に伴う筋ポンプ作用によるものであると考えている²⁾。

篠原ら³⁾は、刺激方法の違いが深部温に及ぼす影響について、深部温度測定部位を肩井穴と肩外兪穴とのほぼ中間とし、装着した深部温度センサの周囲に、1Hzのリズムで雀啄・鍼通電・SSPを行った。その結果、雀啄による深部温度の上昇はみられなかったのに対し、鍼通電およびSSPでは有意な上昇

がみられたと報告している。そして、深部温度上昇の機序として筋収縮による代謝熱の産生および筋血流の増加が深部温度に反映したものと考察している。

菊池⁴⁾らは鍼通電刺激が僧帽筋血流に及ぼす影響を、^{99m}TcO₄-クリアランス法を用いて検討している。通電開始直後から僧帽筋に注射した^{99m}TcO₄-が減少を始めたことから、筋内循環の促進には筋ポンプが関与しているとしている。

また、西⁵⁾は筋収縮時の筋血流に対する自律神経の関与について、筋血流の変化には、わずかながら自律神経性の血流調節機序が関与すると考察している。すなわち収縮時の筋血流は筋ポンプ作用による静脈還流の結果もしくは筋収縮後充血が中心であることになる。

これらの報告から、1 Hzの鍼通電刺激が筋を収縮・弛緩させることにより深部温度の上昇をもたらすことが示唆される。

しかし、我々の実験では、対象グループとの間に違いがあるかを検討することが目的であったため、刺激量に関しては検討をしていない。これは篠原、菊池らも研究目的には含まれないことから刺激量に関する検討は行っていない。

そこで今回我々は、低周波鍼通電による筋収縮の大きさの違いが深部温度の変化の違いを生じさせるか否かを観察することを目的として実験を行うこととした。

II. 方法

1. 対象

健康成人男性10名 21~32歳 (24.6±4.1歳)。

ヘルシンキ宣言に基づき研究内容の説明を行い、同意を得られたもので、実験当日に体調の不良を訴えなかったもの。

2. 実験環境

筑波大学理療科教員養成施設 恒温恒湿

室、環境設定：室温26℃ 湿度50%

3. 実施期間：4月~5月

4. 観察項目

各指標のセンサは実験中装着したままとした。

1) 体温変動

(1) 腓腹筋部深部温度：左右腓腹筋最大膨隆部後面中央よりやや内側。

(2) 前額部深部温度：前額部中央で眉毛と前髪際の間。

腓腹筋深部温度は腓腹筋内の循環動態の指標とし、前額部深部温度は中核温変動の指標とすることを目的とした。

2) 全身循環動態

(1) 瞬時心拍数：胸部CM5誘導、仰臥位、R-R間隔100個分の平均を用いた。

(2) 血圧：右上腕、仰臥位。

心拍数ならびに血圧の測定は、血圧依存性の末梢循環の変動を確認するための指標とした。瞬時心拍数は血圧測定の影響を受けやすいため、測定は瞬時心拍数記録を先行させた。

5. 使用器具

1) 鍼：セイリン製ステンレス鍼 50mm 20号鍼

2) 通電装置：鈴木医療器製 PULSE GENERATOR PG-304

3) 深部温度：テルモ株式会社製 深部温モニター コアテンプ CT-205 (腓腹筋部)、株式会社テルモセラミックス製 CORETEMP (前額部)

4) 血圧計：立石電機株式会社製 オムロン デジタル自動血圧計 HEM-90HM

5) 瞬時心拍数測定機器：日本電気三栄製 心電図R-R間隔分析装置 TM-50

6. 低周波鍼通電刺激

1) 鍼刺入部位：腓腹筋の内側頭・外側頭の筋腹で、膝関節内側・外側裂隙より下方約2横指

2) 刺入深度：約30mm

3) 通電刺激条件：周波数 1Hz

低周波通電刺激開始後は、腓腹筋の収縮、アキレス腱の動き、足関節の底屈を確認し、次のいずれかの筋収縮の大きさを設定した。

(1) 大収縮：研究協力者が痛み・不快感を訴えない範囲内で最大と思われる筋収縮。

(2) 小収縮：研究協力者が痛み・不快感を訴えない範囲内で、通電刺激開始後に実験者の触察により最小と思われる筋収縮。

7. 実験手順

1) 実験方法はクロスオーバー法とした。

2) 研究協力者10名全員に対し大収縮実験、小収縮実験を行った。

3) 実験の順序の決定は、1回目の実験の際にくじ引きで介入を大収縮または小収縮、通電刺激側を左または右を決め、2回目は1回目と異なる実験とし、通電刺激側は初回と同側とした。

介入2種と通電刺激側2種のどちらかが先に5例に達した場合は、介入・通電側のいずれかのくじ引きは取りやめとした。

4) 研究協力者の服装は短パン、Tシャツとし、実験肢位は仰臥位とし、膝窩の大腿よりに巻いたタオルを挿入して膝関節が軽度屈曲位となるようにした。

5) 測定器具を装着した後、体幹・下肢をタオルで覆い室内空気との接触を避けた。

6) 安静時の腓腹筋深部温度の変動が3分間で $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内に安定した後、介入前値取得のための15分間の安静を開始した。

7) 安静時データ取得後、腓腹筋に刺鍼から鍼通電刺激準備を一気に行い、大収縮または小収縮を25分間行った。

8. データの取得

深部温度、心拍数、血圧は通電開始前と通電終了後に行った。

9. 統計処理

各測定値の介入の前後差をStudent t 検定を用いて行い、有意水準を5%未満とした。

Ⅲ. 結果 (Table 1)

1. 心拍数

小収縮実験では介入前 $61.0 \pm 11.9\text{bpm}$ 、介入後 $59.8 \pm 9.5\text{bpm}$ 。大収縮実験は介入前 $60.2 \pm 10.3\text{bpm}$ 、介入後 $59.9 \pm 9.9\text{bpm}$ と両実験とも、前後差に有意な違いは認められなかった。

2. 血圧

1) 収縮期血圧 (SBP)

小収縮実験では介入前 $124.0 \pm 8.9\text{mmHg}$ 、介入後 $124.4 \pm 10.4\text{mmHg}$ 。大収縮実験は介入前 $127.1 \pm 8.0\text{mmHg}$ 、介入後 $127.2 \pm 8.8\text{mmHg}$ と両実験とも、前後差に有意な違いは認められなかった。

2) 拡張期血圧 (DBP)

小収縮実験では介入前 $71.5 \pm 10.9\text{mmHg}$ 、介入後 $69.8 \pm 9.5\text{mmHg}$ 。大収縮実験は介入前 $69.6 \pm 9.4\text{mmHg}$ 、介入後 $71.0 \pm 8.6\text{mmHg}$ と両実験とも、前後差に有意な違いは認められなかった。

3. 深部体温 (Figure 1)

1) 前額部

小収縮実験では、介入前 $36.26 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 、介入後 $36.17 \pm 0.19^{\circ}\text{C}$ 。大収縮実験は介入前 $36.23 \pm 0.28^{\circ}\text{C}$ 、介入後 $36.18 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ と両実験とも、前後差に有意な違いは認められなかった。

2) 腓腹筋部

(1) 小収縮実験

非介入側は介入前 $35.41 \pm 0.57^{\circ}\text{C}$ 、介入後 $35.33 \pm 0.59^{\circ}\text{C}$ と約 0.08°C の下降がみられた。

介入側は介入前 $35.33 \pm 0.49^{\circ}\text{C}$ 、介入後 $35.29 \pm 0.61^{\circ}\text{C}$ と約 0.04°C の下降がみられた。

介入側、非介入側ともに前後差に有意な違いは認められなかった。

(2) 大収縮実験

非介入側は介入前 $35.48 \pm 0.61^{\circ}\text{C}$ 、介

Table 1 Change of each index mean \pm SD (n=10)

			Before (A)	After (B)	Δ (B-A)	Significant difference
H-R bpm	Small-C		61.0 \pm 11.9	59.8 \pm 9.5	-1.2 \pm 4.1	—
	Big-C		60.2 \pm 10.3	59.9 \pm 9.9	-0.3 \pm 3.8	—
BP mmHg	SBP	Small-C	124.0 \pm 8.9	124.4 \pm 10.4	0.4 \pm 5.8	—
		Big-C	127.1 \pm 8.0	127.2 \pm 8.8	0.1 \pm 3.3	—
	DBP	Small-C	71.5 \pm 10.9	69.8 \pm 9.5	-1.7 \pm 2.9	—
		Big-C	69.6 \pm 9.4	71.0 \pm 8.6	1.4 \pm 4.8	—
DBT °C	Fore Head	Small-C	36.26 \pm 0.25	36.17 \pm 0.19	-0.09 \pm 0.08	—
		Big-C	36.23 \pm 0.28	36.18 \pm 0.25	-0.05 \pm 0.12	—
	Non-Stimulation side of Calf	Small-C	35.41 \pm 0.57	35.33 \pm 0.59	-0.08 \pm 0.29	—
		Big-C	35.48 \pm 0.61	35.38 \pm 0.65	-0.10 \pm 0.38	—
	Stimulation side of Calf	Small-C	35.33 \pm 0.49	35.29 \pm 0.61	-0.04 \pm 0.43	—
		Big-C	35.51 \pm 0.40	36.16 \pm 0.44	0.65 \pm 0.41	p<0.05

H-R: heart rate 心拍数. BP: blood pressure 血圧.

SBP: systolic blood pressure 収縮期血圧. DBP: diastolic blood pressure 拡張期血圧.

DBT: deep body temperature 深部体温. Fore Head: 前額部. Calf: 腓腹部.

Small-C: small muscular contraction 小収縮. Big-C: big muscular contraction 大収縮.

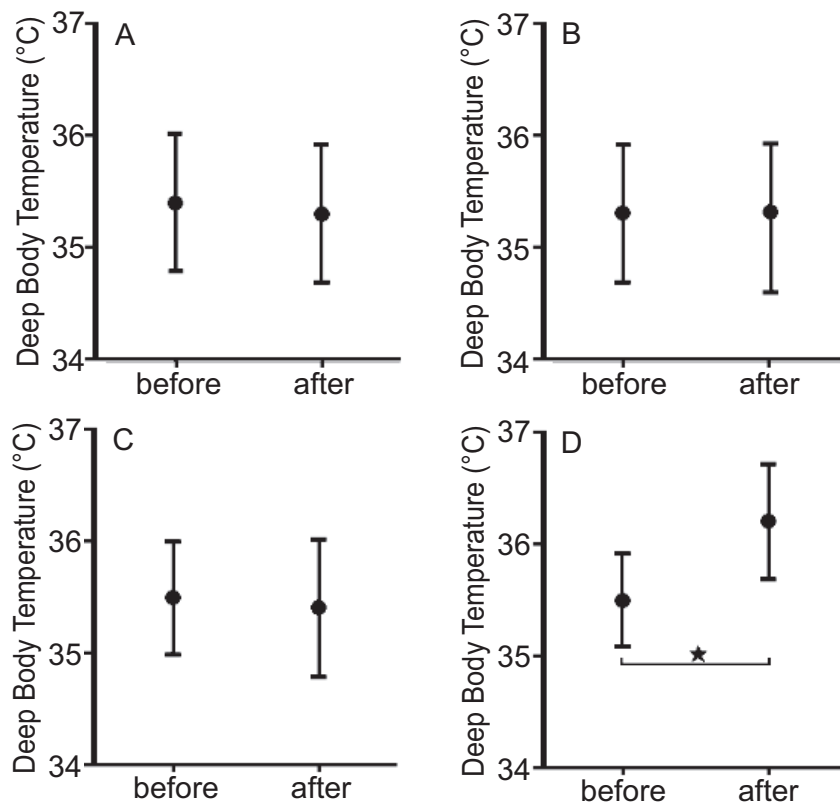


Figure 1 Change of the gastrocnemial part deep body temperature (n=10)

A : small contraction + non stimulation side.

B : small contraction + stimulation side.

C : Big contraction + non stimulation side.

D : Big contraction + stimulation side.

★ : p<0.05.

入後 $35.38 \pm 0.65^{\circ}\text{C}$ と約 0.10°C の下降がみられた。

介入側は介入前 $35.51 \pm 0.40^{\circ}\text{C}$ 、介入後 $36.16 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$ と約 0.65°C の上昇がみられた。

大収縮実験の介入側のみに5%の危険率で前後差に有意な違いが認められた。

IV. 考察

我々は、低周波鍼通電刺激による筋収縮の程度の違いが深部温度の変化にどのような影響を及ぼすかを観察する目的で、本研究を行った。

血圧依存性の末梢循環の変動の有無を確認するための指標とした心拍数ならびに血圧を観察した。SBPの上昇は圧力依存性に末梢循環を促進し、DBPの低下は末梢血管抵抗の減少を意味し、血管拡張が起こったことを推測させる。

また、心拍数については、SBPは分時拍出量に依存し、分時拍出量は一回拍出量と毎分の心拍数との積であらわされるため心拍数変動も循環動態の変化の指標となる。

これらHRとBPは介入前後において顕著な変動は観察されておらず、末梢の局所循環への影響は無かったものと考ええる。

中核温変動の指標とした前額部深部温度は、大収縮実験で約 0.06°C 、小収縮実験で約 0.09°C と実験時間内に低下を示した。このことは安静臥床によって身体活動量が減少したための結果であり、恒温恒湿室を使用したことで環境温度がほぼ一定に保たれていたことも影響をしていると考える。中核温が若干ではあるが低下したことから、介入による局所の温度上昇は、全身反応の一部ではなく、局所性に起こった現象であると言えることとなった。

腓腹筋部深部温度においては、大収縮実験の介入側のみで温度上昇がみられた。

骨格筋血流量は、安静時では比較的低い値

に維持されている。それは筋に分布する血管の緊張が安静時に高いことによる。

これは、筋血管を構成している平滑筋自体の性質にもよるが、骨格筋に分布するノルアドレナリン作動性血管収縮神経が安静時においても常時緊張性に活動し、血管を常時ある程度収縮した状態に維持していることが知られている。

健康成人の骨格筋収縮における筋交感神経活動の機能的役割を明確にすることを目的として行われた間野ら⁶⁾の研究によると、立位での抗重力筋の血管を支配する筋交感神経活動は、支配筋および遠隔筋の持続的収縮時に増加したが、支配筋の随意的あるいは不随意的な律動性収縮時には、逆に減少したことを報告している。このことから、骨格筋の持続性収縮時には、筋内血流の保持と静脈環流の促進のため、筋交感神経活動は増加するが、律動性収縮時には、筋ポンプの働きがこの役割を代償するため筋交感神経の活動性は低下するものと考察している。

本研究の小収縮実験では、深部温の変化はほとんど認められなかった。その理由として、最小収縮刺激は、筋ポンプ作用を起こすほどの筋内圧上昇に必要な筋収縮にならず、その結果、筋交感神経活動を抑制させるには至らなかったものと考ええる。

我々は下腿深部温の変化については、大刺激実験での介入側における腓腹筋部深部温度の有意な上昇は、筋内循環の促進が起こった結果と考え、その機序の一つとして、筋収縮により筋血流量を増加させる筋ポンプ作用の効果が有力であると考えている。

また、西保ら⁷⁾は、下肢における血液貯留量を種々に変化させた場合に、種々の強度で下腿筋の等尺性収縮を行い、筋収縮力と血液貯留量が下肢筋ポンプ作用に及ぼす影響についての研究を行っている。考察として、筋収縮強度が強いほど、また、貯留血液が多いほど、多くの血液が押し出され、従って筋ポン

プの効果が増大すると報告している。

本研究の大収縮実験では、深部温の上昇を認めた。その理由として、筋ポンプ作用により局所循環の促進が起きたためではないかと考える。

また、鍼刺激の結果、体性感覚神経が刺激されて反射性に神経末端からCGRPなどの神経ペプチドや血管内皮細胞由来の血管調節ペプチドが分泌され、これが原因で筋肉を含めた末梢血管が拡張するという説も否定できない。

今回の実験では筋収縮に伴う代謝に関係した情報が確認できてはいない、しかし、随意運動のような強縮とは異なり、攣縮により使

用されるエネルギーは少ないことから深部温度の上昇には関与していたとしてもわずかなものではないかと考える。

V. 結語

低周波鍼通電による大収縮、小収縮という程度の違う筋収縮が腓腹筋部深部温度の変化にどのような影響を及ぼすかを観察するため、健常男性10名を対象に腓腹筋に1 Hz、25分間の鍼通電刺激を行い、腓腹筋部深部温度の測定を行った結果、以下のとおりになった。

- ・大収縮実験介入側のみで腓腹筋部深部温度の有意な上昇がみられた。

VI. 文献

- 1) 吉川恵士：鍼麻酔から低周波鍼通電療法まで。日温気物医誌, 57(2)；151-166, 1994.
- 2) 徳竹忠司ほか：低周波ハリ通電刺激が末梢循環に及ぼす影響。生体電気刺激研究会誌, 11；43-48, 1997.
- 3) 篠原昭二ほか：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(1) 皮膚温・深部組織温を指標として。全日本鍼灸学会雑誌, 32(2)；17-23, 1982.
- 4) 菊池友和ほか：鍼通電刺激が僧帽筋血流量に及ぼす影響— $^{99m}\text{TcO}_4^-$ クリアランス法による検討—。日東医誌, 61(6)；834-839, 2010.
- 5) 西登美雄：筋収縮時の筋血流に及ぼす自律神経の影響。日整会誌, 61；511-519, 1987.
- 6) 間野忠明：ヒトの骨格筋収縮と交感神経活動との関連。文部省特定研究 神経難病の発症機構 昭和60年度研究業績集(Ⅱ)；181-185, 1986.
- 7) 西保岳：筋ポンプに関する研究。体力科学, 36；195-201, 1987.