

原 著

低周波鍼通電刺激がヒトの心拍数に及ぼす影響
—再現性および鍼刺入深度による影響の検討—

中原 英博*, 川田 徹**, 山本 裕美***
杉町 勝**, 宮本 忠吉*

要 旨

本研究は、8名の被験者の前腕部に対して鍼通電刺激を行い、心拍応答とその応答の再現性および鍼刺入深度の影響を検討した。刺激条件は、方形波 1V、持続時間 5ms、刺入深度 5mm、刺激頻度 2Hz で行った。刺激プロトコールは、先ず刺激なし 2分、その後刺激あり 2分の計 4分を 1サイクルとし、そのサイクルを 3回繰返し行った。再現性は、各試行中の平均値を相関およびテスト-再テスト法により検討した。5名の被験者に対して、鍼刺入深度 10mm で通電刺激を行った際の心拍応答も検討した。その結果、鍼通電刺激は心拍数減少効果をもたらし、試行回数を重ねることで再現性の高いデータが獲得された。また、鍼刺入深度の影響は今回の検討範囲では認められなかった。

キーワード：鍼通電刺激，心拍数，再現性

緒 言

鍼は東洋療法の一つで、世界保健機構のガイドラインでは、鍼灸適応症として自律神経の機能障害、末梢性・中枢性神経疾患があげられている。近年、動物やヒトを対象とした鍼に関する基礎的研究は積極的に進められており、動物を用いた実験系においては、四肢への鍼刺激が橈骨神経・尺骨神経・正中神経などの体性神経系を通じて、腎

交感神経活動の抑制および血圧低下をもたらすことが報告されている¹⁻³⁾。Nishijo ら³⁾は、ヒトの前腕に対して徒手鍼刺激を行ったところ心拍数が減少し、交感神経遮断薬であるプロプラノロールや、迷走神経遮断薬であるアトロピンを一方もしくは同時投与後では、その反応が減弱したことから、そのメカニズムには交感神経の減弱および迷走神経活動の亢進の両方が影響していることを報告している。

しかしながら、先行研究で主に利用されてきた徒手による鍼刺激は、施術者の技量によって変動が大きく、刺激の強度、頻度や時間などの条件を正確にコントロールすることが困難である。それゆえ鍼刺激に対する自律神経活動および循環応答に関する定量的なデータやその再現性に関する科学的データが得られにくく、現状では、根拠に基づく医療が広く実践されるには至っていない。今後、データの定量性を重視する基礎研究の推進や、鍼療法の臨床試験への展開の効率性を考えれば、刺激の強度、頻度、時間などの条件を正確にコントロールできる鍼通電刺激を用いて、種々の生理機能に及ぼす影響を検討することが必要不可欠と考えられる。そこで、本研究は、鍼通電刺激に対する心拍応答の再現性や鍼刺入深度の違いによる影響を検証することを目的とした。

近年の臨床研究では、交感神経作用を抑制する β アドレナリン受容体遮断薬が心不全の治療に用いられるようになり一定の効果をあげている。Li ら⁴⁾は迷走神経への直接の通電刺激が、慢性心不全モデルラットの生存率を劇的に向上させることを報告している。これらは、いずれも循環器疾患の

*森ノ宮医療大学保健医療学部

**国立循環器病センター研究所循環動態機能部

***近畿大学医学部循環器内科

病態決定には自律神経活動の異常(交感神経活動の亢進と迷走神経活動の減退)が深く関与し、それを正常に戻すような手技が、病状悪化を防ぐ手段となり得る可能性を示唆するものである。すでに、Kawada ら⁵⁾は鍼療法は心不全治療への展開を想定し、動物を用いた基礎研究にて、鍼通電プログラム刺激による血圧の外部制御に成功している。本研究はその成果をヒトへと応用するための第一段階の基礎研究と位置づけている。

方 法

A. 対 象

被験者は、循環器疾患歴のないことを条件として選定した健康男性 8 名(20.9±5.9 歳)を対象とした。全ての被験者に対しては、実験の目的・方法・起こり得る危険性を十分説明した上で実験に参加の同意を得た。本実験は、森ノ宮医療大学の倫理委員会に実験計画の承認を得た上で実行した。

B. 測定方法

被験者は実験室入室後、心電図用電極を取り付け、十分に安静にした後に座位姿勢で実験を行った。心拍数はテレメータ心電計(Life Scope B, 日本光電)を用いて計測した。得られた心電図波形は、実験中 1kHz のサンプリング周波数でコンピューターに連続的に記録し、実験終了後にオフライン解析を行った。

C. 鍼通電条件および通電プロトコール

鍼の刺鍼は、ステンレス製鍼(直径:0.16mm, 長さ:40mm, CE0123 セイリン)を用い、目的の経穴(郄門:前腕部前面中央, WHO 定義 PC4)に行った。鍼の刺入は 5mm の深度で行った。鍼通電刺激は電気刺激器(日本光電 SEN-7103)を用いて行い、方形波、刺激周波数 2Hz, 電圧 1V, パルス幅 5ms の条件で行った。通電プロトコールは、先ず刺激なし 2 分間、その後刺激あり 2 分間の計 4 分間を 1 サイクルとし、そのサイクルを 3 回繰返した。加えて、刺鍼深度の違いを検討するため、8 名中 5 名の被験者に対して、10mm の深さまで刺鍼し、同一刺激条件下にて心拍応答を観察した。

D. アンケート評価

実験終了後、鍼通電刺激に対する、鈍痛、違和感および筋収縮の有無を確認した。また、鍼通電刺激による刺激感の程度は、視覚的アナログ尺度

「0(全く刺激を感じない)~10(非常に強い刺激を感じる)」を用いて評価した。

E. 統 計

全てのデータは、平均±標準偏差で表わした。統計処理は、目的に応じて繰り返しのある一元配置もしくは二元配置の分散分析を用いた。統計的有意差は $p < 0.05$ とした。再現性は、3 試行からなる各試行 2 分間の平均値を相関および Bland-Altman 解析により検討した。

結 果

本実験に参加した全ての被験者は、今回用いた通電刺激に対して、痛みを訴えたものは無く、視覚的アナログ尺度を用いた刺激感の程度は 2.0±1.8 スコアであった。これにより本実験で用いた刺激の強さは、痛みを感じない、弱い刺激であったことが判明した。また、鍼通電刺激中に、鈍痛、違和感および筋収縮が生じたと訴えた被験者はいなかった。

鍼刺入深度を 5mm の深さの条件において実施した、非通電時および鍼通電時における全被験者の平均心拍数の時系列データを示した(図1)。3 試行全ての鍼通電刺激時において心拍数は減少した。二元配置の分散分析の結果、心拍反応に及ぼす刺激の主効果が有意に認められた($[F_{1,7}=11.6]$, $p=0.011$)。有意な試行回数の効果および相互作用は認められなかった。非通電時および鍼通電時における全被験者の全試行の平均心拍数の値は 74.8±9.5 拍/分および 72.1±8.7 拍/分であり、通電時において有意に低値を示した(図2)。

刺激による心拍数減少効果の再現性を検討するため、各試行間における鍼通電刺激時の心拍数の相関関係、および心拍数データの試行間の差異を示した(図3)。全ての試行間において有意な相関関係($r=0.867\sim 0.964$)が認められ、特に 2 試行目と 3 試行目間では、再現性を有し、かつばらつきが少くないデータが得られた。

各試行間における鍼通電刺激時の心拍数の非通電時からの変化量についても同様の検討を行った(図4)。その結果、1 試行と 2 試行間、1 試行と 3 試行間では相関関係が認められず、データ間で大きなばらつきが見られた。一方、2 試行目と 3 試行目間では、ばらつきが少なく、かつ有意な相関

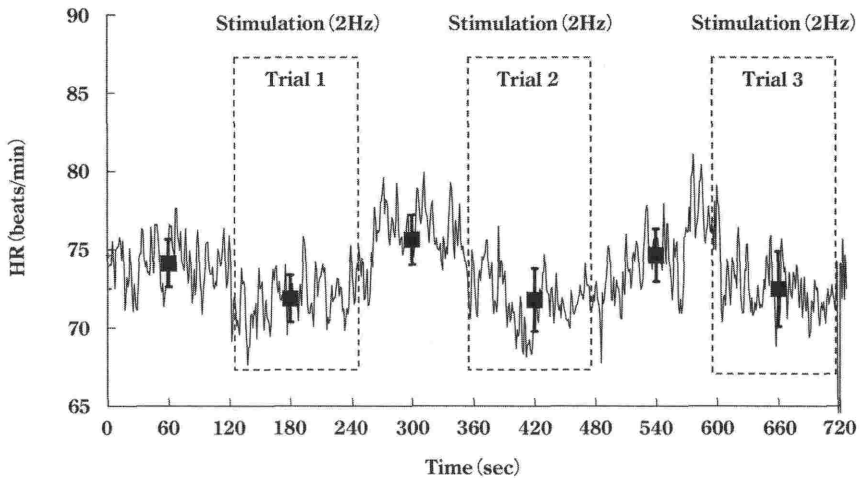


図1 非通電時および鍼通電時における全被験者の平均心拍数の時系列データ(鍼刺入深度は5mm)
3 試行全ての鍼通電刺激時において心拍数は減少した。■ : 2分間の平均心拍数±標準偏差

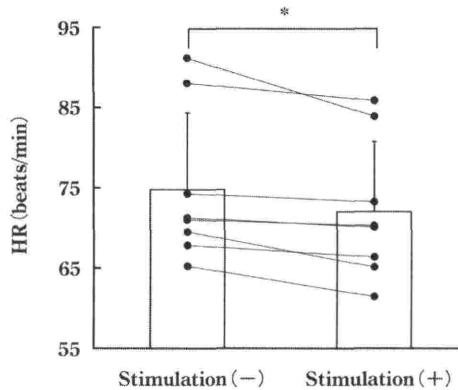


図2 非通電時および鍼通電時における全被験者の全試行の平均心拍数の比較(鍼刺入深度は5mm)
全試行の平均心拍数の値は、鍼通電時において有意に低値を示した(74.8±9.5 拍/分, 72.1±8.7 拍/分).
二元配置の分散分析の結果、心拍反応に及ぼす刺激の主効果が有意に認められた([F_{1,7}=11.6], p=0.011).
*p<0.05 ● : 個人毎の平均心拍数

関係(r=0.899)が認められた。

鍼刺入深度を10mm条件で実施した、非通電時および鍼通電時における全被験者全試行での平均心拍数を示した(図5)。鍼通電刺激により心拍数の値は、非通電時の66.7±5.9拍/分から64.1±7.4拍/分へ有意に減少した([F_{1,4}=9.4], p=0.037)。

考 察

本研究は、鍼通電刺激が心拍数に及ぼす影響の再現性や、鍼刺入深度の違いの影響について検証した。その結果、以下の知見が得られた。1) ヒトに対する鍼通電刺激は心拍数減少効果をもたらす。2) 鍼通電刺激によってもたらされる心拍数減少効

果は、試行回数を重ねることでより再現性の高いデータが得られる。3) 今回の検討範囲において、鍼通電刺激による心拍数減少効果には、鍼刺入深度の違いによる影響は認められない。

A. 鍼通電刺激がもたらす心拍数減少効果

鍼通電刺激による非通電時からの心拍数減少率は、平均4±3%(2.7±2.2拍/分)、最大で8%(7.3拍/分)認められた。Nishijoら³⁾は、1Hzの頻度で郄門穴に対して、徒手鍼刺激を行ったところ、非刺激時より5-10拍/分(10%)の心拍数減少反応が認められたと報告している。Imai and Kitakoji⁶⁾の先行研究では、手三里穴に対して、1分間の徒手鍼刺激を行った後、約7拍/分の心拍数の減少効果を示

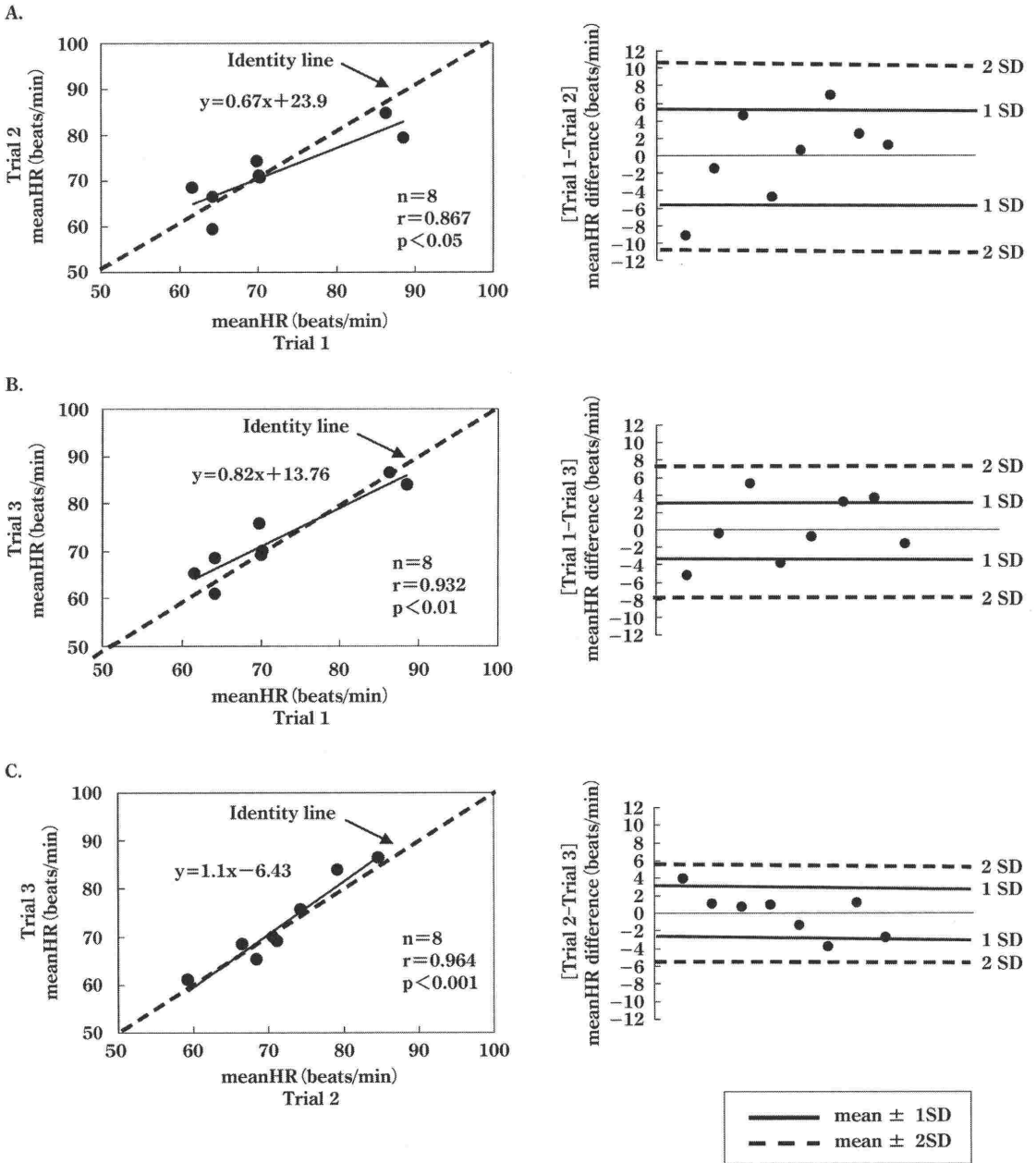


図3 鍼通電刺激時の心拍数の各試行間における相関関係および心拍数データの試行間の差異

A : 1 試行目と 2 試行目間における検討.

B : 1 試行目と 3 試行目間における検討.

C : 2 試行目と 3 試行目間における検討.

全ての試行間において有意な相関関係が認められ、特に 2 試行目と 3 試行目間は、ばらつきが少ない再現性を有するデータが得られた.

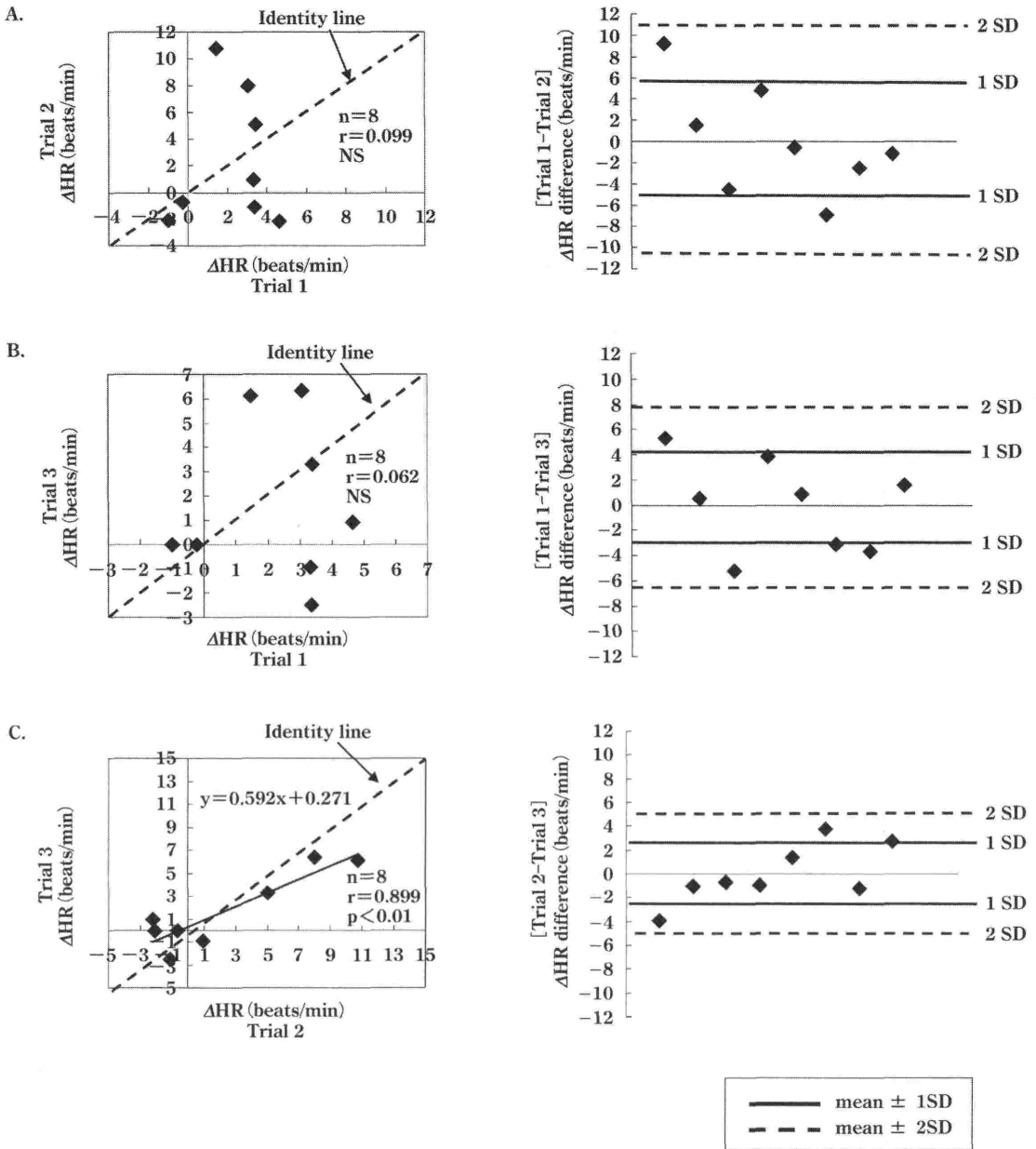


図4 鍼通電刺激時の心拍数の非通電時からの変化量における各試行間の相関関係および試行間の差異

A : 1 試行目と 2 試行目間における検討.

B : 1 試行目と 3 試行目間における検討.

C : 2 試行目と 3 試行目間における検討.

1 試行と 2 試行間, 1 試行と 3 試行間では相関関係が認められず, またデータに大きなばらつきが見られた. 一方, 2 試行目と 3 試行目間では, ばらつきが少なく, 且つ有意な相関関係が認められた.

している. 鍼刺激を用いた動物実験においても同様の心拍数減少効果が報告されている. 例えば, Uchida ら⁷⁾は, ラットの後肢に対して, 徒手鍼刺激を行ったところ, 非刺激時と比較して 4.5%の心

拍数減少効果を確認している. また Michikami ら⁸⁾は, 鍼通電刺激を用いて, 交感神経活動の抑制および血圧の有意な低下が認められたと報告している. Zhou ら⁹⁾は, 鍼通電刺激が徒手鍼刺激と同様

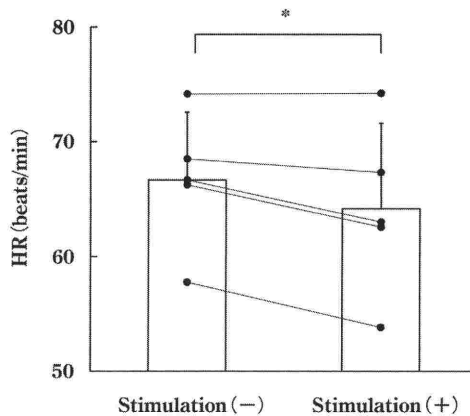


図5 鍼刺入深度を10mm条件で鍼通電刺激を行った際の、全被験者全試行での平均心拍数の比較。鍼通電刺激により心拍数の値は、非通電時の 66.7 ± 5.9 拍/分から 64.1 ± 7.4 拍/分へ有意に減少した ($[F_{1,4}=9.4]$, $p=0.037$)。

* $p < 0.05$ ● : 個人毎の平均心拍数

に、交感神経興奮性の心臓血管反応を抑制することを報告している。これらの研究は、ヒト・動物に関係なく四肢への物理的および電氣的刺激は、自律神経系を介したメカニズムにより心拍数減少効果をもたらすことを示している。

B. 鍼通電刺激がもたらす心拍数減少効果の再現性および鍼刺入深度の影響

本研究において、2試行目と3試行目間の鍼通電刺激によってもたらされる心拍応答には、ばらつきの特にならぬ高い再現性を持ったデータが獲得されることが明らかになった。これらの結果は、鍼通電刺激による心拍数減少効果は、試行回数を重ねることでより個体差の少ない、再現性の高いデータが獲得できることを意味している。我々の知る限り、ヒトを対象とした研究において、鍼通電および徒手鍼刺激のどちらの手段においても、再現性を調べた研究は見当たらない。本研究に用いた鍼通電刺激に関しては、実験中、刺激条件は正確にコントロールされていたにもかかわらず、1試行と2試行間および1試行と3試行間の再現性は必ずしも高くなかった。これは、個体間の心拍応答データのばらつきが1試行目において大きかったことに起因する結果と考えられ、実験開始1試行目では、鍼通電刺激導入に伴う心理的、生理的要因が心拍数の応答特性の個体差に少なからず影響を及ぼしていた可能性が示唆された。加えて本研究では、刺入深度を5mmから10mmに変化させた条件においても、同様の鍼通電刺激によつ

て惹き起こされる心拍数減少効果は認められた。上述したNishijoら³⁾およびImai and Kitakoji⁶⁾は、さらに深い15~20mmの刺入深度の条件下でも、同様の心拍数減少効果を認めている。したがって、鍼通電刺激がもたらす心拍数減少効果に対して、鍼刺入深度の違いによる影響は少ないと考えられる。

C. 鍼通電刺激がもたらす心拍数減少効果の生理的メカニズム

本研究で認められた、鍼通電刺激によってもたらされる心拍数減少効果の生理的メカニズムには、交感神経活動の減弱および迷走神経活動の亢進が関与していると推察される³⁾。

鍼刺激が惹き起こす心拍数減少効果の詳細な作用機序について、Uchidaら⁷⁾は、GABA_A受容体遮断薬であるピククリンの投与時には、鍼刺激による心拍数の減少効果がほぼ消失したことから、脳幹のGABA_A受容体が関与していると述べている。Zhouら⁹⁾は、鍼刺激によって惹き起こされる交感神経反射には、吻側延髄腹外側野が重要な役割を果たしていることを、ネコを用いた実験によって明らかにしている。また、Uchidaら⁷⁾は、0.1~2Hzの低周波帯域での刺激が、効果的に心拍数減弱応答を惹き起こすこと、鍼刺激によってもたらされる心拍数減弱応答は、グループI, II, III求心性線維の刺激では、有意な反応は認められず、グループIV線維の通電刺激において顕著な心拍数減少が生じると報告している。Zhouら⁹⁾もまた、2Hz,

4Hz, 100Hz の周波数で鍼通電刺激を行ったところ, 2Hz の低周波刺激のみ, グループ IV 求心性線維が刺激され, 交感神経興奮性の心臓血管反応を抑制する効果が確認されたと報告している. これらの研究から, 本研究において認められた 2Hz での低周波鍼通電刺激による心拍数減少効果のメカニズムには, グループ IV 線維を介する経路が関与していると推察される.

自律神経系を介して, 循環調節機能の破綻を是正する試みは, 近年積極的に進められている^{4,10,11)}. 交感神経活動の亢進と迷走神経活動の消退は, 心不全の急性期には全身循環の維持に貢献するが, やがて心臓に負担をかけて心不全を悪化させる. このような背景から, 薬物治療の中心は初期の強心作用薬から交感神経の遮断など自律神経系に作用する薬物に推移してきた¹²⁻¹⁴⁾. 本研究では鍼通電刺激が心拍数に及ぼす影響を検討したに過ぎないが, 将来的に, 鍼通電刺激を用いて, 自律神経系を外部より正確に制御できるようになれば, 鍼通電刺激が循環器疾患の新たな治療手段の一つとして有用になると期待される. 今後, 刺激の強度, 頻度や時間などの条件を正確にコントロールでき, かつ高い再現性のある鍼通電刺激システムを確立させることは, データの定量性を重視する基礎研究の推進や, 臨床試験への鍼療法の応用展開を効率的に進めていく上で重要であると考えられる.

ま と め

- 1) ヒトに対する鍼通電刺激は心拍数減少効果をもたらす.
- 2) 鍼通電刺激によってもたらされる心拍数減少効果は, 試行回数を重ねることでより再現性の高いデータが得られる.
- 3) 今回の検討範囲において, 鍼通電刺激による心拍数減少効果には, 鍼刺入深度の違いによる影響は認められない.

文 献

- 1) Uchida S, Shimura M, Ohsawa H, et al: Neural mechanism of bradycardiac responses elicited by acupuncture-like stimulation to a hind limb in anesthetized rats. *J Physiol Sci* 2007; 57: 377-82.
- 2) Uchida S, Kagitani F, Suzuki A, et al: Effect of acupuncture-like stimulation on cortical cerebral blood flow in anesthetized rats. *Jpn J Physiol* 2000; 50: 495-507.
- 3) Nishijo K, Mori H, Yosikawa K, et al: Decreased heart rate by acupuncture stimulation in humans via facilitation of cardiac vagal activity and suppression of cardiac sympathetic nerve. *Neurosci Lett* 1997; 227: 165-8.
- 4) Li M, Zheng C, Sato T, et al: Vagal nerve stimulation markedly improves long-term survival after chronic heart failure in rats. *Circulation* 2004; 109: 120-4.
- 5) Kawada T, Shimizu S, Yamamoto H, et al: Servo-controlled hind-limb electrical stimulation for short-term arterial pressure control. *Circ J* 2009; 73: 851-9.
- 6) Imai K, Kitakoji H: Comparison of transient heart rate reduction associated with acupuncture stimulation in supine and sitting subjects. *Acupunct Med* 2003; 21: 133-7.
- 7) Uchida S, Kagitani F, Hotta H: Mechanism of the reflex inhibition of heart rate elicited by acupuncture-like stimulation in anesthetized rats. *Auton Neurosci* 2008; 143: 12-9.
- 8) Michikami D, Kamiya A, Kawada T, et al: Short-term electroacupuncture at Zusanli resets the arterial baroreflex neural arc toward lower sympathetic nerve activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2006; 291: H318-26.
- 9) Zhou W, Fu LW, Tjen-A-Looi SC, et al: Afferent mechanisms underlying stimulation modality-related modulation of acupuncture-related cardiovascular responses. *J Appl Physiol* 2005; 98: 872-80.
- 10) Sato T, Kawada T, Sugimachi M, et al: Bionic technology revitalizes native baroreflex function in rats with baroreflex failure. *Circulation* 2002; 106: 730-4.
- 11) Sato T, Yoshimura R, Kawada T, et al: The brain is a possible target for an angiotensin-converting enzyme inhibitor in the treatment of chronic heart failure. *J Card Fail* 1998; 4: 139-44.
- 12) La Rovere MT, Bigger JT Jr, Marcus FI, et al: Baroreflex sensitivity and heart-rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction. ATRAMI (Autonomic Tone and Reflexes After Myocardial Infarction) Investigators. *Lancet* 1998; 351: 478-84.
- 13) Lechat P, Hulot JS, Escolano S, et al: Heart rate and cardiac rhythm relationships with bisoprolol benefit in chronic heart failure in CIBIS II Trial. *Circulation* 2001; 103: 1428-33.
- 14) Packer M, Coats AJ, Fowler MB, et al: Effect of carvedilol on survival in severe chronic heart failure. *N Engl J Med* 2001; 344: 1651-8.

**Effect of Low-Frequency Electrical Acupuncture on Heart Rate:
Reproducibility and Influence of Stimulation Depth**

Hidehiro Nakahara*, Toru Kawada**, Hiromi Yamamoto***,
Masaru Sugimachi**, Tadayoshi Miyamoto*

*Morinomiya University of Medical Sciences, Osaka, Japan

**National Cerebral and Cardiovascular Center Research Institute, Suita, Japan

***Department of Internal Medicine, Kinki University School of Medicine, Osaka, Japan

The present study was conducted to evaluate the effect of electrical acupuncture (EA) stimulation on heart rate (HR) in humans, especially its reproducibility and the influence of stimulation depth. In eight healthy subjects, an acupuncture needle was inserted to a depth of 5 mm into Ximen (PC4) acupoint on the forearm. EA (5 ms, 1 V) was applied at 2-Hz pulse frequency for 120 sec. Three repeated trials of EA stimulation were performed. In 5 of 8 subjects, the acupuncture needle was also inserted to a depth of 10 mm to investigate the effect of depth of acupuncture stimulation. Two-way

ANOVA demonstrated that there was a significant main effect of EA stimulation on HR ($F_{1,7}=11.6$, $p=0.011$). The bradycardic effect of EA stimulation was highly correlated between the second and third trials. Similar decreases in HR during EA were found at stimulation depths of 5 and 10 mm, indicating that the bradycardic effect of EA was irrelevant to the depth of EA stimulation in this range. In conclusion, low-frequency EA lowered HR in humans and a highly reproducible HR response during EA was obtained with repeated trials.

Key words : electrical acupuncture, heart rate, reproducibility

(Circ Cont 2010; 31: 28-35.)