基礎報告 持久能鍛錬者の安静時, 運動負荷中,
負荷後の心機能に及ぼす内関の
鍼電気刺激の影響

周 偉

Effects of Stimulating Neiguan Acupoints on Cardiac Pump Function at Rest and
during Exercise and Recovery in Endurance-Trained Athletes

Yi SYUU

M.D., Department of Physiology II, Okayama University Medical School Shikatacho, Okayama, 700-8558, Japan

Abstract The effects of stimulating Neiguan acupoints on cardiac pump function were studied in 20 athletic subjects during the performance of submaximal (70% $\dot{V}O_2\text{max}$) stable bicycle exercise in the supine position. M mode, two dimensional echocardiography and a computerized light-pen system were used to quantitatively assess the differences between stimulating and not stimulating Neiguan acupoints. Measurements were taken with the subjects at rest, every 12 minutes during exercise, and after exercise. Results indicate that stimulating Neiguan acupoints improves cardiac pump function during exercise and accelerates the recovery of heart function after exercise.

Key words : Echocardiography, Neiguan Acupoints, Stimulating, Cardiac Pump Function

Nihon Toyo Igaku Zasshi (Japanese Journal of Oriental Medicine), **50**(2), 225-233, 1999

(Accepted ; 23 Feb., 1999)

緒 言

運動競技は運動選手の心肺機能と密接な関係を持っている。特に持久力が求められる競技種目では, 心機能のレベルは選手の運動成績を大きく左右する¹⁾。従って, 運動選手の心機能に関する研究は古くからスポーツ医学の領域において重要な課題の一つとなっている。

超音波エコー検査法による非侵襲的な左心室の

形態及び機能の評価が可能となったため, スポーツ心臓の機能に関する研究は広く行われるようになった。持久的な運動を習慣的にを行っている運動選手の心臓が運動をあまり行っていない人の心臓に比べ, 左心室内腔容積の拡大, 左室心筋の肥大といった特徴を有すると報告されている²⁾。

運動選手の心機能を評価する際, 安静時のみの検査では心機能の本当のレベルを反映することができない³⁾⁴⁾。運動選手の心ポンプ機能は運動負荷

医, 岡山大学医学部生理学第二講座, 岡山, 〒700-8558 岡山市鹿田町2-5-1

[1999年2月23日受理]

中によく反映されるため、安静時、運動負荷中、負荷後の各過程における心機能指標を総合評価してはじめて運動選手の心機能レベルが正確に反映できる^{5)~8)}。

心エコーを用いた運動負荷実験では負荷の種類によって isometric exercise と dynamic exercise に分けることができる。Isometric exercise は主に後負荷を増大することで心臓に影響を及ぼすのに対し、dynamic exercise は前負荷を増大することで心血管系に影響を及ぼす⁶⁾⁷⁾。また、運動負荷強度と時間の関係についても多くの研究が行われてきた⁹⁾¹⁰⁾。エルゴメーターを用いた運動負荷状態における心エコーの研究は外国の文献で比較的に多く報告されている。心エコーで得られた心臓形態及び機能指標は心臓血管造影などいくつかの検査との間に良い相関性を持っており、再現性に優れる¹¹⁾。

近年の臨床研究では内関鍼刺激は虚血時の心筋の血液循環を改善し、心機能を改善するといった研究報告がある¹²⁾。また、中国では鍼刺激が選手の疲労回復に用いられている¹³⁾。しかし、一定の運動負荷条件下で内関への鍼電気刺激が安静時、負荷中及び負荷後の持久能鍛錬者の心機能にどのような影響を与えるのかについて検討した報告はない。

本研究の目的は、持久能鍛錬者に対し、70% $\dot{V}O_2$ max の一定の運動負荷で心包経路にある“内関”への鍼電気刺激が安静時、運動負荷中及び運動負荷後の心機能に与える影響について検討することである。

対象及び方法

対象

男子持久能鍛錬者（長距離走選手）20名（年齢 20.6 ± 1.0 歳，身長 168.9 ± 2.9 cm，体重 60.3 ± 3.6 Kg，訓練年数 4.2 ± 1.1 年）を被験者とした。全被験者は以下の条件を満たすものとした。また、被験者には本研究の目的、方法、危険性を十分に説明し、研究に参加することの同意を得た。

（1）心疾患、肺疾患の病歴がない。

（2）少なくとも検査前一週間は心血管機能に

影響を及ぼす薬物を服用していない。

（3）被験者については、長距離走のトレーニングを受けており、検査前もトレーニングは通常通りに行われる。

使用器具

（1）ALOKA 社製 SSD-710型超音波エコーグラフィ：周波数は2.25MHz，スキャンスピードは5 cm/sec，リアルタイムでBモード及びMモードの画像を表示することができる。

（2）西ドイツ製の ERGOTESTER 3/A 自転車エルゴメーター

（3）QZT-4 型鍼電気刺激装置

（4）電子血圧計（オムロン HEM-16），ストップウォッチ，記録時計

プロトコール

運動中の体動を抑制するために70度傾斜している背もたれのついた電気ブレーキ式自転車エルゴメーター（ERGOTESTER 3/A）を使用した。70% $\dot{V}O_2$ max の強度で回転数を60回転/分とした。2.5 MHz の探測子を胸骨左縁3～4肋間に垂直にあて、終始一定の場所に固定した。左室長軸断面のBモードのエコーグラフィを表示し、その後Mモードで左室腱索レベルで理想的な呼吸末Mモードエコーグラフィが得られたとき、左室の構造や機能指標を記録した。安静時そして運動負荷中、負荷後のそれぞれの12分間（3分，6分，9分，12分）の最後30秒間に左心室のエコーグラフィを記録し、心機能を測定した。同時に収縮期血圧（SBP）及び心拍数（HR）も記録した。得られたデータを対照群とした。

1週間後に、同じ被験者の両手の内関に鍼を刺し、20v，20Hz の電気刺激を与えた状態において、同様の測定を行った。得られたデータを内関群とした。

測定指標

心エコーBモード上、呼気末において、以下の指標を測定した。

（1）拡張期末左心室内径（EDD）

（2）収縮期末左心室内径（ESD）

（3）左心室駆出時間（ET）

EDD，ESD，ET の値を基準にして、コンピュー

表1 各指標における分散分析表

	ESV		EDV		EF		ET	
	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値
群	0.929	0.341	25.460	0.0001	12.88	0.0009	0.13	0.7201
カテゴリーの経時変化	77.480	<.0001	61.346	<.0001	106.2	<.0001	104.2	<.0001
カテゴリーの経時変化*群	0.624	0.758	13.58	<.0001	0.661	0.7258	0.357	0.9421
	HR		SV		CO		SBP	
	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値
群	11.25	0.0018	36.16	<.0001	18.03	0.0001	10.080	0.003
カテゴリーの経時変化	873	<.0001	87.97	<.0001	317.9	0.0001	264.5	<.0001
カテゴリーの経時変化*群	3.480	0.0007	15.15	<.0001	11.3	0.0001	3.421	0.0009

タで Pombo 法で以下の結果を計算した。

- (1) 左心室拡張期末容積 (EDV)
- (2) 左心室収縮期末容積 (ESV)
- (3) 一回心拍出量 (SV)
- (4) 心拍出量 (CO)
- (5) 駆出率 (EF)

統計処理

各変数の測定結果は平均±標準偏差で表した。両群間における諸指標の経時的変化の差を分散分析 (ANOVA with two way repeated measurements) を用いて解析した。両群間の各時点ごとの比較は paired t-test で行った。各群において、安静時に対する運動負荷開始12分及び運動負荷後12分の比較は Bonferroni 変法*に基づく t-test で行った。

危険率 (p) 5 %未満を有意とした。

* : Elashoff, J.D.: Down with multiple t-test. Gastroenterology. 80: 615-620, 1981

結 果

“群×時点” 交互作用の評価は ANOVA with repeated measurements を用いて行い、その結果を表1に示した。

まず ESV に関しては「群による差」を見ると p 値が0.341となっており、両群の各時点における平均値に差は認められなかった。また、「カテゴリー経時変化*群」においても p 値が0.758と有意性がなく群と時点の推移には交互作用が認めら

れなかった。つまり、内関鍼電気刺激が ESV の経時変化に及ぼす効果が認められなかったと言える。ET においては ESV と同様な結果が得られた。また、EF には群による差は見られたが、群と時点の推移には交互作用が認められなかった。つまり、内関鍼電気刺激が EF の経時変化に及ぼす効果は見られなかった。

一方、EDV, HR, SV, CO, SBP に関しては「群による差」、「カテゴリー経時変化」、「カテゴリー経時変化*群」のどの項目においても有意性が見られた。従って、内関鍼刺激はこれらの指標の経時変化に影響を及ぼしていると考えられる。

測定指標の各時点ごとの比較を表2に示した。安静時に両群間にいずれの指標においても有意差はみられなかった。運動負荷中及び運動負荷後において、内関群では EDV は運動負荷中3分から負荷後9分まで有意に増大していた。また、運動負荷中6分から負荷後3分まで及び負荷後9分の時点で内関群ではわずかではあるが EF は有意に増大していた。

両群における SV 及び CO の経時変化を図1 (中) に示した。対照群に比較して内関群では運動負荷中3分から負荷後9分まで SV は有意に増大し、運動負荷中6分から負荷後6分まで CO も有意に増大した。

図1 (上, 下) より両群ともに運動負荷によって HR 及び SBP が上昇し、負荷後徐々に回復し

表2 安静時, 運動負荷中・負荷後の

測定指標	群	安静時	運動負荷中			
			3 min	6 min	9 min	12min
ESV (ml)	対照群	32.4±3.8	21.9±10.1	15.8±5.7	14.8±6.5	12.4±5.1§
	内関群	32.6±3.3	21.5±6.7	17.0±4.0	16.6±5.5	13.4±3.4†
EDV (ml)	対照群	139.5±19.8	165.2±33.5	141.8±21.8	120.6±26.5	102.6±24.1§
	内関群	140.5±21.1	190.8±30.8*	186.6±19.0*	168.5±23.5*	142.4±19.8*
EF (%)	対照群	76.5±3.4	87.2±4.0	89.1±2.8	88.1±3.4	88.3±2.6§
	内関群	76.4±3.5	88.9±2.8	90.9±1.9*	90.3±2.6*	90.7±1.9*†
ET (sec)	対照群	0.315±0.029	0.248±0.038	0.212±0.041	0.194±0.046	0.195±0.031§
	内関群	0.314±0.027	0.247±0.033	0.225±0.033	0.194±0.036	0.198±0.029†

* : 対照群に比較して P<0.05

† : 内関群 安静時に比較して P<0.025

§ : 対照群 安静時に比較して P<0.025

てくることが分かる。内関群では負荷後12分以内に心拍数及び収縮期圧は安静時レベルまで回復したのに対し、対照群では回復しなかった。

考 察

心臓の主要な機能は血液を拍出するポンプ機能である。心ポンプ機能の指標である心拍出量は1回拍出量と心拍数の積である。1回拍出量はさらに前負荷, 後負荷, 収縮性により決定される。従って心ポンプ機能は心拍数, 前負荷, 後負荷, 心収縮性の四大因子により決定される。本研究では前負荷を EDV, 後負荷を SBP, 心収縮性を EF といった指標を用いて内関鍼電気刺激が安静時, 運動負荷中, 負荷後の持久能鍛錬者の心ポンプ機能に及ぼす影響を調べた。

1) EDV の変化について

持久能鍛錬者は低, 中レベルの運動負荷において ESV が変わらず EDV が負荷の増加に伴い増大するのに対し, 非持久能鍛錬者は EDV が変わらず ESV が減少する¹⁴⁾。また, EDV が持久能鍛錬者及び非持久能鍛錬者の両方において運動負荷に伴って増加し, かつ持久能鍛錬者の方が EDV

の増加幅がより大である¹⁵⁾。さらに, 運動選手の中でも持久能鍛錬選手も非持久能鍛錬選手も高負荷レベルにおいて, EDV がともに減少するが, 持久能鍛錬選手の方が減少幅は小さい¹⁶⁾。

本実験では安静時において両群間に有意差は見られなかった(表2)。対照群では EDV は運動負荷中3分をピークに以後経時的に低下し, 運動負荷中12分の時点で安静時よりも有意に低かった。一方, 内関群では対照群と同様に EDV が運動負荷中3分をピークに経時に低下していたが, 運動負荷期末においても安静時以上に保持されていた。運動負荷後の回復過程においても両群間の変化の特徴も異なる。対照群では EDV が負荷後3分に一旦安静時レベルまで回復したが, 以後安静時レベルを下回りながら安静時レベルまで回復した。これに対し, 内関群では EDV が運動負荷後3分をピークに緩やかに安静時レベルまで回復し負荷後も終始安静時レベルを上回っていた。運動負荷初期に EDV が両群ともに増大した。

Stabbah & Stein は拡張期初期には左心室内径は増大しつつ左心室内圧が低下することから, 拡張期の左心室血液流入は受動的過程だけではなく

心機能指標

運動負荷後			
3 min	6 min	9 min	12min
17.5±5.7	17.3±6.0	24.5±7.8	28.6±8.0
18.4±5.9	21.1±5.3	26.2±5.7	30.4±9.4
136.4±24.0	110.2±22.7	120.8±22.5	128.9±17.2
173.5±21.8*	156.5±24.1*	150.6±26.1*	140.0±23.8
87.3±3.1	84.6±3.7	80.1±4.0	77.8±5.4
89.6±2.5*	86.5±3.1	82.5±3.3*	78.6±4.3
0.268±0.043	0.287±0.047	0.308±0.042	0.311±0.035
0.262±0.036	0.292±0.036	0.309±0.035	0.321±0.031

左心室の自己拡張能にも依存していることを示唆した¹⁷⁾。選手に見られる拡張期の EDV 亢進には、左心室の心筋コンプライアンスの増加（左心室拡張機能・伸展性の亢進）、左心室充満圧の亢進（心房－心室圧較差の増大）、左心室自己拡張機能（拡張期吸引）の増大などが関与あるいは相互作用していると考えられる。

以上述べた運動負荷中及び負荷後の両群における EDV の変化の違いについて以下のことが考えられる。70% $\dot{V}O_{2max}$ の一定の運動負荷において、運動負荷時間が長ければ長いほど体内の酸素需要の矛盾が大きくなり、心筋の酸素供給が相対的に減少し、HR の増加に加え、心筋の拡張機能が低下する。ET に関しては両群間には有意差は見られなかったことから内関鍼電気刺激が HR を減少させることより、左心室から血液が駆出される時間よりも流入時間の方が相対的に長いことを意味する。つまり、内関への鍼電気刺激はより多くの血液を左心室腔内に充満させるために一心周期時間中の左心室腔内への血液流入時間を相対的に増やすという適応がおきていると考えられる。左心室心筋への血液供給は主に収縮期ではなく拡張

期に行われるので¹⁸⁾、内関群に見られる相対的に長い左心室拡張時間は心筋への血液（酸素やエネルギー基質）供給によって合理的な適応といえるだろう。上記のことから内関鍼電気刺激は運動負荷中及び負荷後において心拡張機能の安静時レベルへの回復に及ぼす影響は HR の調節によるものと考えられた。

2) ESV の変化について

本実験では両群間に有意差は認めなかった。左心室の ESV は間欠的多段階負荷漸増法を用いた研究では負荷の増加に伴い減少する。本実験では70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動負荷において ESV は経時的に小さくなり、間欠的多段階負荷漸増法の研究結果と同じ傾向が見られた。これは運動負荷時、交感神経系が優位になり、カテコラミン分泌の増加によって心収縮性が亢進したため、ESV が小さくなったと思われる。 β ブロッカーは運動負荷時での ESV の減少を拮抗する。また、ESV の減少は末梢血流の力学的な調節に関わっている。

3) 心ポンプ機能及び心収縮性について

本研究では運動負荷開始後、内関群では SV 及び CO はすばやく増大する傾向が見られ、ピー

* : 対照群に比較して $P < 0.05$

† : 内関群 安静時に比較して $P < 0.025$

S : 対照群 安静時に比較して $P < 0.025$

図1 両群における安静時，運動負荷中，負荷後の血行動態の変化

図2 内関への鍼刺激が心臓活動に与える影響の反射経路を示す模式図

ク後の降下は比較的遅く、運動負荷中において対照群より有意に増大していた(図1-中)。これは内関鍼電気刺激が運動負荷中の心ポンプ機能を高める働きがあることを示している。

SV は ESV, EDV の変化によって決まる。運動負荷中、心臓は交感神経の興奮でカテコラミンの分泌が増強され、ESV を減少すると共に静脈環流量及び前負荷(EDV)を増やすことでSVを増やす。本実験では内関群に見られたEDVの増大はFrank-Starlingの心臓の法則に従えば、運動負荷中及び負荷後のSVの増大に大きく寄与している。

内関群ではHRが対照群のそれより低いにも関わらず、COが対照群のそれより多いのはEDVの増大によりSVの増大のためであると考えられる。

心収縮能の指標として知られているEFは $SV/EDV \times 100\%$ で表すことが出来る。表2よりEFに関して両群間にほとんど差はないように見えるが、統計処理を行ってみるとわずかに内関群の方が大

きいという結果が得られた。しかし、この指標は負荷条件によって大きく影響されるので、運動負荷中6分、9分、12分及び負荷後3分、9分の時点で内関群に見られたEFの有意の増大は必ずしも内関群の方は心収縮性が亢進したと言えない。

図1(上)より運動負荷中6分から負荷後12分まで対照群に比較して内関群ではHRが有意に少なかった。つまり、内関群では一心周期がより長い。また、ETにおいて両群間に有意差はなかったことから、内関群では拡張時間が相対的に長いことが推測できる。内関鍼電気刺激は前負荷を増大させたことより心ポンプ機能を高めたと考えられる。

4) 心拍数、血圧の変化について

Dynamic exerciseでは、心拍数の初期の上昇は迷走神経張力の減退と思われる。負荷が持続すると、交感神経の張力が亢進し、血中カテコラミン濃度が上昇するため、心拍数が増加する¹⁹⁾。運動負荷によって上昇したHR, SBPは心臓にとって負担となる。運動負荷中、心拍数の上昇は交感神

経系の興奮によりカテコラミンの分泌増加のためであると思われる。内関群では対照群に比較し、運動負荷中及び負荷後 HR, SBP は有意に減少していた。これは内関鍼電気刺激は運動負荷時の自律神経系のバランスを調節する働きがあることを示唆している。内関鍼電気刺激の心臓活動に与える影響の反射経路として、求心路は皮膚及び筋からの両方の求心神経からなり、遠心路は自律神経を通り、反射中枢として中枢神経系を介すると考えられる。図2は文献²⁰⁾から引用したものである。鍼刺激が循環系に及ぼす影響について周らによる総説がある²⁰⁾。内関鍼刺激が HR, SBP の上昇をある程度抑制したのは副交感神経系の活動が高められたと思われる。

まとめ

1) 内関への鍼電気刺激は安静時の心機能に及ぼす影響は見られなかった。

2) 内関への鍼電気刺激は運動負荷中において前負荷を増大させたことにより心ポンプ機能を高めた。

3) 運動負荷によって上昇した心拍数及び収縮期圧は内関鍼電気刺激によって抑制されたのは副交感神経系の活動が高められたと思われる。

付記 本論文の要旨は第49回東洋医学会学術総会(1998年5月, 熊本)にて発表した。

謝辞 稿を終えるに当たり、本研究に対しご指導ご校閲を賜りました生理学第二講座の恩師菅弘之教授ならびに循環器内科の松原広己先生、細木信吾先生に心から深く感謝いたします。

参考文献

- 1) V. Di Bello., et al. : Evaluation of maximal left ventricular performance in elite bicyclists. *Int J Sports Med*, **16** : 498-506 (1995)
- 2) Pamela S., et al. : Left ventricular structure and function by echocardiography in ultraendurance athletes. *Am J Cardiol*, **58** : 805-809 (1986)
- 3) Manyari, D. E., et al. : Resting and exercise left ventricular function in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Am Heart J*, **105** : 6, 980-987 (1983)
- 4) Hanson, J. S. : Maximal exercise performance in members of the US Nordic Ski Team. *J Appl Physiol*, **35** : 5, 592-595 (1973)
- 5) Sugishita, Y., et al. : Dynamic exercise echocardiography. *Circulation*, **60** : 4, 743-752 (1979)
- 6) Stefadouros, J. A., et al. : Noninvasive study of effect of isometric exercise on left ventricular performance in normal man. *Br Heart J*, **36** : 10, 988-995 (1974)
- 7) Keul, J., et al. : Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. *Circ Res*, **48** : 62, 1162-1170 (1981)
- 8) Mason, S. J., et al. : Exercise echocardiography detection of wall motion abnormalities during ischemia. *Circulation*, **59** : 1, 50-59 (1979)
- 9) Crawford M. H., et al. : Effect of isotonic exercise training on left ventricular volume during upright exercise. *Circulation*, **72** : 1237-1243 (1985)
- 10) Matsumoto, M., et al. : Transesophageal echocardiographic evaluation of left ventricular function at rest and during dynamic exercise in aortic insufficiency. *J Cardiography*, **11** : 4, 1147-1157 (1981)
- 11) Dickhuth, H. H., et al. : Comparative echocardiographic examinations in sitting and supine position at rest and during dynamic exercise. *Int J Sports Med*, **2** : 3, 178-181 (1981)
- 12) 孟競壁, 他 : 実験的心筋虚血時の冠動脈血流量における鍼刺激の影響の研究. *中国鍼灸*, **2** : 2, 22-24 (1982)
- 13) 周英男, 他 : 東洋医学による疲労回復の研究—ツボ刺激による選手運動後の疲労回復について, 吉備国際大学社会福祉学部研究紀要, 創刊号, 105-111 (1996)
- 14) Conrad, J. A., et al. : The influence of heart rate on echocardiographic assessment of aerobic training. *Clin cardiol*, **5** : 9, 483-488 (1982)
- 15) Sandrios., et al. : Echocardiographic assessment of left ventricular performance in highly trained rowers during and after work. *In sports Cardiology*, 773-775 (1980)
- 16) Bubenheimer, P., et al. : Echocardiographic evaluation of left ventricular performance in highly trained rowers during and after work. *In sports Cardiology*, 773-775 (1980)

- ation of left ventricular function during exercise in untrained young men and athletes. In *sports Cardiology*, 788-794 (1980)
- 17) Sabbah, H. K., et al. : Pressure-diameter relations during early diastole in dogs. Incompatibility with the concept of passive left ventricular filling. *Circ Res*, **48**, 357-365 (1981)
- 18) Kajiya, F., et al. : An optical-fiber laser Doppler velocimeter and its application to measurements of coronary blood flow velocities. *Med Prog Technol*, **12**, 77-85 (1987)
- 19) Poulsen, W. J., et al. : Ventricular response to Isometric and Isotonic exercise : Echocardiographic assessment. *Br Heart J*, **42** : 5, 521 (1979)
- 20) 周偉, 他 : 鍼刺激の循環機能への効果 : 中国文献の紹介, 循環制御, 第19巻, **4** : 509-518 (1998)

要旨 内関鍼電気刺激が安静時, 運動負荷中及び負荷後の持久能鍛錬者の心機能に及ぼす影響を検討した。20.6±1.0歳の持久能鍛錬者20名に対し, 両側前腕のツボ“内関”への鍼電気刺激において, 自転車エルゴメーターを用いて70% $\dot{V}O_{2max}$ の強度の運動負荷を加えた。心エコーを用いて安静時及び運動負荷中, 負荷後のそれぞれの12分間(3分, 6分, 9分, 12分)の心機能指標を測定した。【結果】安静時には両群間の心機能指標に有意差は見られなかった。対照群と比較して, 内関群では一回拍出量及び心拍出量がそれぞれ運動負荷中3分から負荷後9分まで, 負荷中6分から負荷後6分まで有意に増大していた。また, 内関群では負荷後12分以内に心拍数及び収縮期血圧は安静時レベルまで回復したのに対し, 対照群では回復しなかった。【総括】内関鍼電気刺激は運動負荷中の心臓ポンプ機能を高め, 負荷後の心機能の回復を促進する働きがあることが示唆された。

キーワード : 心エコー, 内関, 鍼電気刺激, 心ポンプ機能