

は渦流により強く現されていることが示された。Watanabe らは渦の kinetic energy は小さいと結論している²⁸⁾が、本研究では拡張期の血流現象が収縮初期の血流に影響していることが示された。今回測定された渦は剥離渦と旋回渦を含んだ値と考えられ、その差異の議論は今後に残された課題である。今回のデータは 10 frame/s のデータであり、複数心拍から再構築して R 時間での並べ替えを行ったが、心拍間での血流動態の変動、呼吸変動による影響により、連続性が良い例も悪い例もあった。心エコーは MRI に比較して時間分解が高いことが特徴であり、今後、エコーダイナモグラフィ解析により適した超音波診断装置本体の開発が望まれる。

ものと期待される。

結論

統合医療による生体インターベンションの定量的影響評価のために、心臓血管系の機能を解析した。例えば、本研究で検討されたように、エコーダイナモグラフィによる計測により DCM の血流動態の特徴は流入血が心尖部まで達し難く、渦流が大きいこと、また収縮期の渦ができる位置は正常とは異なるというこれまでは得られなかった新たな左室内血流動態が明らかになった。さらに正常心と DCM 心において左室内渦流の定量化および時間的推移を計測すると渦流は左室収縮性と左室腔の大きさに加え、流入血の影響を受け形成されることが示された。拡張と収縮は左室内血流動態という新たな評価指標によっても互いに連関していることが分かり、心臓生理学の解明に繋がる知見を得たと考えられた。流軸上速度分布評価と渦流評価が収縮期、拡張期の新たな指標となりえることが分かり、エコーダイナモグラフィの心臓ポンプ機能評価に対する有用性が示された。

このような新しい解析法により、統合医療に新しい科学の光を当てることができる

VIII. 文献

1. 海老名敏明, 菊池喜充, 田中元直, ほか. 心臓の超音波断層写真法 (i 報). 第 5 回日超医論文集. 1964:49-50
2. 海老名敏明, 菊池喜充, 田中元直, ほか. 心臓の超音波断層写真法 (ii 報). 第 6 回日超医論文集. 1964:29-30
3. 田中元直, 吉川純一. 超音波心臓病診断学の確立へ. 心臓. 2007
4. Tanaka M. Historical perspective of the development of echocardiography and myocardial ultrasound. 1998;2:1517-1524 vol. 1512
5. 吉川純一. 臨床心エコー図学 第 3 版. 文光堂; 2008.
6. Aurigemma GP, Gaasch WH. Diastolic heart failure. *New England Journal of Medicine*. 2004;351:1097-1105
7. Vasan RS, Larson MG, Benjamin EJ, Evans JC, Reiss CK, Levy D. Congestive heart failure in subjects with normal versus reduced left ventricular ejection fraction. *Journal of the American College of Cardiology*. 1999;33:1948-1955
8. Senni M, Tribouilloy CM, Rodeheffer RJ, Jacobsen SJ, Evans JM, Bailey KR, Redfield MM. Congestive heart failure in the community: A study of all incident cases in olmsted county, minnesota, in 1991. *Circulation*. 1998;98:2282-2289
9. Sanderson JE, Fraser AG. Systolic dysfunction in heart failure with a normal ejection fraction: Echo-doppler measurements. *Progress in cardiovascular diseases*. 2006;49:196-206
10. Ceyhan K, Kadi H, Koç F, Çelik A, Öztürk A, Önalın O. Longitudinal left ventricular function in normotensive prediabetics: A tissue doppler and strain/strain rate echocardiography study. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2012;25:349-356
11. 田中元直. 超音波による心臓内血流の可視化. 流れの可視化. 1985;5:46-56
12. 菅原重生. 流量関数法による心臓腔内渦流動態の 3 次元的解析に関する研究. 東北大学 博士論文.
13. Ohtsuki S, Tanaka M. Doppler pressure field deduced from the doppler velocity field in an observation plane in a fluid. *Ultrasound in medicine & biology*. 2003;29:1431-1438
14. Ohtsuki S, Tanaka M. The flow velocity distribution from the doppler information on a plane in three-dimensional flow. *Journal of visualization*. 2006;9:69-82
15. 田中元直, 菅原重生, 中島博行, 片平美明. 心臓超音波断層法-とくに心臓の「機能断層法」の展開-. 日本循環器専門医誌. 2004
16. Tanaka M, Sakamoto T, Sugawara S,

- Nakajima H, Katahira Y, Ohtsuki S, Kanai H. Blood flow structure and dynamics, and ejection mechanism in the left ventricle: Analysis using echo-dynamography. *Journal of Cardiology*. 2008;52:86-101
17. Tanaka M, Sakamoto T, Sugawara S, Nakajima H, Kameyama T, Katahira Y, Ohtsuki S, Kanai H. Spiral systolic blood flow in the ascending aorta and aortic arch analyzed by echo-dynamography. *Journal of Cardiology*. 2010;56:97-110
 18. Tanaka M, Sakamoto T, Sugawara S, Nakajima H, Kameyama T, Tabuchi H, Katahira Y, Ohtsuki S, Kanai H. Physiological basis and clinical significance of left ventricular suction studied using echo-dynamography. *Journal of Cardiology*. 2011
 19. Nakajima H, Kameyama T, Ohtsuki S, Sugawara S, Tabuchi H, Tanaka M, Saijo Y. Location of flow axis line in the left ventricle and its interaction with local myocardial motion. *J Echocardiogr*. 2011
 20. Paulus WJ, Tschöpe C, Sanderson JE, Rusconi C, Flachskampf FA, Rademakers FE, Marino P, Smiseth OA, De Keulenaer G, Leite-Moreira AF. How to diagnose diastolic heart failure: A consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the heart failure and echocardiography associations of the european society of cardiology. *European heart journal*. 2007;28:2539
 21. Brun P, Tribouilloy C, Duval AM, Iserin L, Meguira A, Pelle G, Dubois-Randé JL. Left ventricular flow propagation during early filling is related to wall relaxation: A color m-mode doppler analysis. *Journal of the American College of Cardiology*. 1992;20:420-432
 22. Stugaard M, Smiseth O, Risoe C, Ihlen H. Intraventricular early diastolic filling during acute myocardial ischemia, assessment by multigated color m-mode doppler echocardiography. *Circulation*. 1993;88:2705-2713
 23. Takatsuji H, Mikami T, Urasawa K, Teranishi JI, Onozuka H, Takagi C, Makita Y, Matsuo H, Kusuoka H, Kitabatake A. A new approach for evaluation of left ventricular diastolic function: Spatial and temporal analysis of left ventricular filling flow propagation by color m-mode doppler echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1996;27:365-371
 24. 三神大世. 左室流入血伝搬血流速度による評価. *心エコー*. 2006;7:329-332
 25. Ohtsuki S, Tanaka M. Flow function for streamlines

- representative of the flow on a plane in three-dimensional flow. *J Visual Soc Jpn.* 1998;18:136-140
26. Steen T, Steen S. Filling of a model left ventricle studied by colour m mode doppler. *Cardiovascular research.* 1994;28:1821
27. Uejima T, Koike A, Sawada H, Aizawa T, Ohtsuki S, Tanaka M, Furukawa T, Fraser AG. A new echocardiographic method for identifying vortex flow in the left ventricle: Numerical validation. *Ultrasound in medicine & biology.* 2010;36:772-788
28. Watanabe H, Sugiura S, Hisada T. The looped heart does not save energy by maintaining the momentum of blood flowing in the ventricle. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2008;294:H2191-2196

足三里穴への鍼刺激による心拍変動の変化の検討

分担研究者 仁田 新一 東北大学加齢医学研究所 名誉教授

研究要旨

背景：ヒトにおいて鍼刺激を行った際の自律神経活動の変化を探る研究は様々な方法で行われているものの、その解釈は様々であり既存の解析方法では限界があることが指摘されている。本研究では自律神経活動を非侵襲的に評価しうる心拍変動（HRV）スペクトル解析法を用いて足三里穴に鍼刺激を行った際の反応を検討することとし、既存の総パワー（TP）、低周波数領域パワー（LF）、高周波数領域パワー（HF）、LF/HFといった指標に新たに超低周波数領域パワー（VLF）の解析も追加し詳細に検討することとした。

方法：健康ボランティア13人に対して両側の足三里穴に鍼刺激を行ない、安静時、鍼刺激後の10分、20分、30分における心拍数、血圧およびHRVの変化について解析を行った。

結果：安静時に比べ、心拍数は刺激後20分に、拡張期血圧は刺激後10分と20分において有意に低下を示した。HRVスペクトル解析では、TPおよびVLFは、安静時と比べて刺激後30分に有意に増加し、LF、HFおよびLF/HFは、有意な変化を示さなかった。

結論：足三里穴への鍼刺激は、心拍数や拡張期血圧の減少、VLFパワーの上昇を引き起こした。既存のHRVスペクトル解析に加えVLFなどの指標を追加することで、より鋭敏に体性刺激により引き起こされる変化を評価できる可能性があると考えられた。

研究背景と目的

東アジア伝統医学では、鍼治療を行なう体表面の反応点を経穴と呼び、各々の経穴が独自の効能を持ち、人体臓器の機能と密接に関係していると考えられている。しかしながら、鍼治療の効果を定量的に評価する方法が確立されていなかったため、経穴独自の臓器特異的反応を評価することは困難とされてきた。

我々はこれまでに鍼刺激が人体臓器におよぼす効果を検討し、主に血流量の変化という生理学的側面から、上腸間膜動脈、橈骨動脈、上腕動脈、眼球後動脈などへの鍼刺激の効果を報告してきた[1-5]。

足三里穴への鍼刺激は腹部症状などの改善効果があるとして昔から用いられており（図1）、我々はこれまでに超音波診断装置を用いた上腸間膜動脈（SMA）（図3）血流量の評価において足三里穴への鍼刺激がSMA血流量を有意に増加させることを報告した[4]。このような血流量の増加の機序として、腹部交感神経活動の抑制や腹部迷走神経活動の亢進による直接的血管拡張、腸管運動促進による二次的な血流増加などが推測されているが、その機序の解明には至っていない。

血流量増加など生理学的現象の自律神経機序を解明するためには、可能な限り非侵襲的な方法であることが望ましい。

研究や臨床の現場では自律神経活動を非侵襲的に評価しうる方法として、心拍変動 (Heart rate variability: HRV) スペクトル解析が広く用いられている。HRV スペクトル解析とは、心電図中の R-R 間隔からえた HRV を高速フーリエ解析することにより、各周波数領域のパワーを算出し、自律神経活動を定量的に評価できる方法である [6]。ヒトにおいて鍼刺激を行った際の自律神経活動の変化を探る研究は、このような方法を用いて行われてきているものの、様々な解釈があり既存の解析方法では限界があることが指摘されている。本研究では自律神経活動を非侵襲的に評価しうる HRV スペクトル解析法を用いて足三里穴に鍼刺激を行った際の反応を検討することとし、既存の総パワー (TP)、低周波数領域パワー (LF)、高周波数領域パワー (HF)、LF/HF といった指標に新たに超低周波数領域パワー (VLF) の解析も追加し、足三里穴へ鍼刺激を行った際の自律神経系の変化を詳細に検討することとした。

方法

健常ボランティア13人 (男性6人、女性7人、平均年齢 34 ± 10 歳) を対象とした。室温 $25-26$ 度に調節された部屋で、10分間の安静の後、Seirin社製1番鍼 (径 0.16 mm、長さ 40 mm) を両側の足三里穴に刺入し皮膚表面から 1 cmの深さに刺入、18秒間の捻転刺激を加え、その後15分間留置 (置鍼) する鍼刺激介入を行なった。足三里穴は下腿にあり、外膝眼から4横指下で、脛骨前面から1横指外側に位置する (図2) [7]。

本研究のプロトコルを図4に示す。心電図は安静時から足三里穴刺激後40分まで記録した。安静時、鍼刺激後の10分、20分、30分 (以降、それぞれを安静時、10分、20分、

30分とする) における心拍数、血圧およびHRVから算出した各周波数領域パワーを抽出し解析をおこなった。

(1) 収縮期血圧、拡張期血圧

血圧測定には、オシロメーターBP-608 Evolution II[®], (Colin Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan)を用いて、収縮期および拡張期血圧を測定した。

(2) 心拍数およびHRVスペクトル解析

心拍数およびHRVスペクトル解析は、標準肢誘導によって得られた心電図データをAD変換システム PowerLab (AD Instruments Pty Ltd, AUSTRALIA) を介して記録した (図5)。そこから各時間帯3分間を抽出し解析ソフト LabChart (AD Instruments Pty Ltd, AUSTRALIA) を用いてスペクトル解析を行った (図6、7)。各周波数領域を以下に示す [13]。

(i) Total Power (TP) :

抽出した時間のR-R間隔 (N-N間隔) の分散 [ms^2]

一般的に、自律神経系活動全体を反映する。

(ii) Very Low Frequency (VLF)

超低周波数領域 (≤ 0.04 Hz)

パワー [ms^2]

一般的に、体温調節機能、レニン・アンジオテンシン系活性などを反映する。

(iii) Low Frequency (LF) :

低周波数領域 ($0.04 \sim 0.15$ Hz) パワー [ms^2]

一般的に、交感神経系と副交感神経系の両方を反映する。

(iv) High Frequency (HF) :

高周波数領域 ($0.15 \sim 0.40$ Hz) パワー [ms^2]

一般的に、副交感神経系を反映する。

(v) LF/HF ratio (LH/HF) :

LFとHFのパワー比

一般的に、交感神経系と副交感神経系のバランスを反映する。

統計解析は、平均値±標準偏差で表した。各時間帯の心拍数、血圧および HRV の各周波数領域のパワーを安静時の値を 100%として変化率[%]で表し ANOVA を用いて解析を行った。 $p < 0.05$ をもって有意とした。

本研究は東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を得ており、全ての被験者から実験に関わる内容についての同意を書面により取得した。

結果

脈拍、血圧および各周波数帯成分に関する結果を表 1 に示す (平均値±標準偏差)。

全身の血行動態に関し、心拍数は安静時に比べ足三里穴刺激後 20 分に有意に低下した (図 8, $p = 0.041$)。血圧について、収縮期血圧は安静時に比べて足三里穴刺激後 20 分に減少傾向を見せたが有意な変化を示さなかった (図 9, $p = 0.053$)。拡張期血圧は安静時に比べて、足三里穴刺激後 10 分と 20 分の時点で有意に低下を示した (図 10, $p = 0.014$, $p = 0.011$)。

HRV の各周波数領域解析は、TP および VLF は、安静時と比べて足三里穴への鍼刺激後 30 分に有意に増加した (図 11, $p = 0.048$)、(図 12, $p = 0.016$)。また、LF、HF および LF/HF は、増加傾向がみられたものの有意な変化を示さなかった (図 13, 14, 15)。また、低周波数領域および高周波数領域を (TP-VLF) で除して表す normalized units (LFnorm、HFnorm) に関しても有意な変化は見られなかった (図 16, 17)。全ての指標の変化をまとめたものを図 18 に示す。

考察

本研究では、足三里穴への鍼刺激により心拍数が低下し、拡張期血圧は低下し、超低周波数領域パワーは増加するという結果が得られた。

(1) 心拍数および拡張期血圧の低下

鍼刺激による心拍数の低下や拡張期血圧の低下はすでに報告されており、大澤らは筋組織の多い後肢への鍼刺激は腎臓交感神経活動の低下とともに平均血圧の低下をもたらしたことを報告している [8]。今回の我々の研究結果もこれと矛盾しない結果であった。

(2) 超低周波領域 (VLF) のパワーの増加

本研究では、安静時と比較したとき鍼刺激によって LF、HF および LF/HF は有意な変化はみられなかった。また、鍼刺激後 30 分における VLF が有意に上昇するという結果が得られた。一般的に鍼刺激などの体性刺激が自律神経活動に及ぼす影響を仰臥位安静の状況下において HRV スペクトル解析を用いて評価する場合、低周波領域 (LF) は心臓交感神経活動と心臓迷走神経活動の両者を反映し、高周波領域 (HF) は心臓迷走神経活動、LF を HF で除した LF/HF は心臓交感神経と心臓迷走神経のバランスを反映しているとされる [9]。このような考え方にもとづいて行われた、鍼刺激介入を行った際の HRV への影響はすでに多くの報告がなされている [10, 11, 12]。しかしながら、鍼刺激が自律神経系に影響し、LF、HF や LF/HF が有意に変化するという仮説とは矛盾する報告も多い。Lee らが行ったシステマティックレビューでは、Sham 鍼 (皮下に刺入しない鍼) などを用いた対象群に対し、鍼刺激群において LF や HF など HRV スペクトル解析に関するパラメータに統計学的有意差が認められなかったことから、鍼刺激が LF

やHFなどのHRVスペクトル解析に対して特定の影響を及ぼす明確な根拠を示すことが出来なかったと報告している[13]。本研究と同様のプロトコルで行い、足三里穴への鍼刺激と上腸間膜動脈の血流量の変化を検討した我々の過去の報告では、足三里穴への鍼刺激により上腸間膜動脈の血流量が有意に増加し、その機序として腹部交感神経の抑制や迷走神経系の促進が推察された[4]。それらの考察から、今回同様のプロトコルで実験を行うことによりHRVスペクトル解析から、交感神経系の抑制と、迷走神経系の促進が確認できると予想していたが、本研究の結果からは、LFやHFなど既存のHRVパラメータの有意な変化は確認できなかった。

しかしながら、本研究では、刺激後30分におけるVLFが有意に上昇するという新たな結果が得られた。VLFは、LFやHFと比較してその由来は不明な点が多いが、体温調節機能[14]、レニン・アンギオテンシン系の活性[15]、末梢循環の自律神経調節[16]や静脈系への水分または血液負荷[17]などがその変化に関与しているという報告もある。実験結果を見るに、VLFが有意に上昇した時に収縮期および拡張期血圧の変化は認められなかった。このことから、VLF増加と血圧上昇をもたらすレニン・アンギオテンシン系の活性化の関係を本研究で確認することはできなかった。鈴木が行った実験におけるVLFの評価では、分娩時に子宮筋層内に循環していた300-500mlの血液が子宮収縮により体循環へ灌流し、容量負荷により右房容量や圧の上昇が起こり、心拍数や心拍出量の上昇をおこす反応とVLFが関係することを報告している[17]。しかしながら、本研究ではVLFが有意に増加した時点で心拍数の上昇は認められていない。本

研究と同様のプロトコルで行った我々の過去の報告では、足三里穴への鍼刺激により心拍出量の変化は認めなかった[4]。これらの結果から、VLF増加と右房に対する容量負荷に付随する反応の関係も確認することはできなかった。Taylorらはアトロピンの投与によりVLFがほとんど消失したことによりVLFが迷走神経活動を反映していることを報告している[18]。HFも迷走神経活動を反映していることから、VLFはHFとともにパラレルに変化すると推察される。本研究におけるVLFとHFの変化には相関関係が認められなかったが($r=0.17$)、VLFとLFの間には弱い相関関係が認められた($r=0.38$)。Pomeranzらは、健康成人に対し仰臥位や立位といった体位の違いにおけるHRVの変化を自律神経遮断薬の投与で検討している。その中で、仰臥位においてはLFが副交感神経活動を反映し、立位においてはLFが交感神経活動を反映していることを報告している[19]。本研究も健康成人に対し仰臥位で行っており、LFとの相関関係からVLFの変化の一部は迷走神経活動を反映している可能性が考えられる。

自律神経活動は生体内において複雑に調整されている。HRVのスペクトル解析は主に心拍に関与する自律神経活動を評価できるとされている。しかしながら、既存のパラメータであるLFやHFなどを用いて単独に解析を行っただけでは、体性刺激などによる微細な自律神経活動の変化を詳細に抽出することは困難であることが予想される。また、本研究における被験者数は13名であり、LF、HFやLF/HFを評価の指標とするには被験者数が不十分な可能性がある。しかしながら、VLFにおいては本研究の被験者数でも有意な変化を認めており、VLFが体性刺激を行った際の自律神経活動に代表さ

れる生体反応の変化をより鋭敏に反映する指標となる可能性が考えられる。今後は異なる部位への刺激や無刺激などの対象群を設けて鍼刺激を行った際の生体反応の評価の指標として VLF の位置づけを確かめていきたい。

これをふまえて、今後は我々がこれまでに行ってきた各臓器の血流量を測定するなどの定量的な評価方法に加え、今回行った HRV スペクトル解析により算出されるパラメータである LF、HF、LF/HF や今回注目した VLF などの指標の解析を同時に行っていきたいと考える。このような複数の生理学的反応を反映する定量的検査を駆使し、鍼刺激に代表される体性刺激が生体に及ぼす影響をより正確に解析していきたい。

結論

足三里穴への鍼刺激は、心拍数や拡張期血圧の減少、VLF パワーの上昇を引き起こした。これまでに行ってきた、鍼刺激による臓器血流量への影響や既存の HRV パラメータ解析に加え、VLF などより鋭敏に体性刺激の影響を反映する可能性がある指標を盛り込むことで、生体反応を詳細に評価できる可能性があると考えられる。

研究協力

高山真 東北大学大学院医学系研究科
金子聡一郎 東北大学大学院医学系研究科
先進漢方治療医学講座
渡部正司 同講座
楠山寛子 同講座
神谷哲治 東北大学病院 漢方内科
平野篤 同科

参考文献

- [1] Takayama S., Seki T., Watanabe M., et al., Changes of blood flow volume in the superior mesenteric artery and brachial artery with abdominal thermal stimulation. eCAM 2009, 17. Aug.
- [2] Takayama S., Seki T., Watanabe M., et al., Brief effect of acupuncture on the peripheral arterial system of the upper limb and systemic hemodynamics in humans. Journal of Alternative and Complementary Medicine 2010, Jul;16(7):707-713.
- [3] Takayama S., Seki T., Nakazawa T, et al., Short-term effects of acupuncture on open-angle glaucoma in retrobulbar circulation: additional therapy to standard medication. eCAM 2011, 157090. Epub. 2011 Mar 7.
- [4] Watanabe M., Takayama S., Yamamoto Y, et al., Haemodynamic changes in the superior mesenteric artery induced by acupuncture stimulation on the lower limbs. eCAM 2012, 908546. Epub. 2012 May 23.
- [5] Watanabe M., Takayama S., Hirano A, et al., Hemodynamic changes in the brachial artery induced by acupuncture stimulation on the lower limbs: a single-blind randomized controlled trial. eCAM 2012, 958145. Epub. 2012 Nov 25.
- [6] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standard of measurement,

- physiological interpretation and, clinical use. *Circulation* 1996;93:1043-1065.
- [7] WHO Standard Acupuncture Point Locations in the Western Pacific Region. WPRO Nonserial Publication 2008:64
- [8] Ohsawa H., Okada K., Nishijo K., et al., Neural mechanism of depressor responses of arterial pressure elicited by acupuncture-like stimulation to a hindlimb in anesthetized rats. *J. Auton. Nerv. Syst.* 1995;51:27-35.
- [9] 循環器疾患と自律神経機能 第2版, 医学書院, 71-109
- [10] Witt CM, Meissner K, Pach D, Thiele C, Lüdtkke R, Ghadiyali Z, Deter HC, Zimmermann-Viehoff F, Stimulation of gastric slow waves with manual acupuncture at acupuncture points ST36 and PC6--a randomized single blind controlled trial. *Neurogastroenterol Motil.* 2012 May;24(5):438-45
- [11] Lee JH, Kim KH, Hong JW, Lee WC, Koo S, Comparison of electroacupuncture frequency-related effects on heart rate variability in healthy volunteers: a randomized clinical trial. *J Acupunct Meridian Stud.* 2011 Jun;4(2):107-15
- [12] Bäcker M, Grossman P, Schneider J, Michalsen A, Knoblauch N, Tan L, Niggemeyer C, Linde K, Melchart D, Dobos GJ, Acupuncture in migraine: investigation of autonomic effects. *Clin J Pain.* 2008 Feb;24(2):106-15
- [13] Lee S, Lee MS, Choi JY, Lee SW, Jeong SY, Ernst E, Acupuncture and heart rate variability: a systematic review. *Auton Neurosci.* 2010 Jun 24;155(1-2):5-13.
- [14] Hyndman et al., Spontaneous rhythms in physiological control systems. 1971;233(5318):339-341.
- [15] Akselrod S., Gordon D., Ubel FA., et al., Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. *Science* 1981;213:220-222.
- [16] Nizan M et al., Very low frequency in arterial blood pressure and blood volume pulse. *Med Biol Eng Comput* 1999;37:54-58.
- [17] 鈴木. 時間周波数解析を用いた分娩中の母体心拍変動の評価. 東北大学大学院医学系研究科 博士論文 2005.
- [18] Taylor JA., Carr DL., Myers CW., et al., Mechanisms Underlying Very-Low-Frequency RR-Interval Oscillations in Humans. *Circulation* 1998;98:547-555.
- [19] Pomeranz B., et al., Assessment of autonomic function in human by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol* 1985;248:H151-H153.
- [20] 解剖学-分担 (2), 金原出版, 1950.
- [21] Takashi Seki, Masashi Watanabe, and Shin Takayama, Acupuncture-Concepts and Physiology, 2011, pp 102.

パラメーター	足三里穴刺激			
	安静時	10分	20分	30分
心拍数 [拍/分]	60.4±9.2	58.0±10.3	57.2±10.7 *	58.2±9.8
収縮期血圧 [mmHg]	113.5±6.0	109.4±10.1	107.9±9.1	109.6±7.1
拡張期血圧 [mmHg]	67.1±6.6	62.2±8.4 *	62.0±8.6 *	63.9±6.2
総パワー (TP) [ms ²]	3605±4584	4458±3994	4116±4686	4540±3780 *
超低周波数領域パワー (VLF) [ms ²]	842±559	1503±1511	1191±1118	2146±2144 *
低周波領域パワー (LF) [ms ²]	1559±2743	1576±1611	1457±1777	1214±1222
高周波領域パワー (HF) [ms ²]	1144±1668	1339±1611	1448±2091	1140±1168
LFとHF比 (LF/HF)	1.45±1.19	1.68±1.11	1.52±1.29	1.78±1.99

表 1: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における心拍数、血圧および HRV の変化。値は平均±標準偏差で表示。*P<0.05。

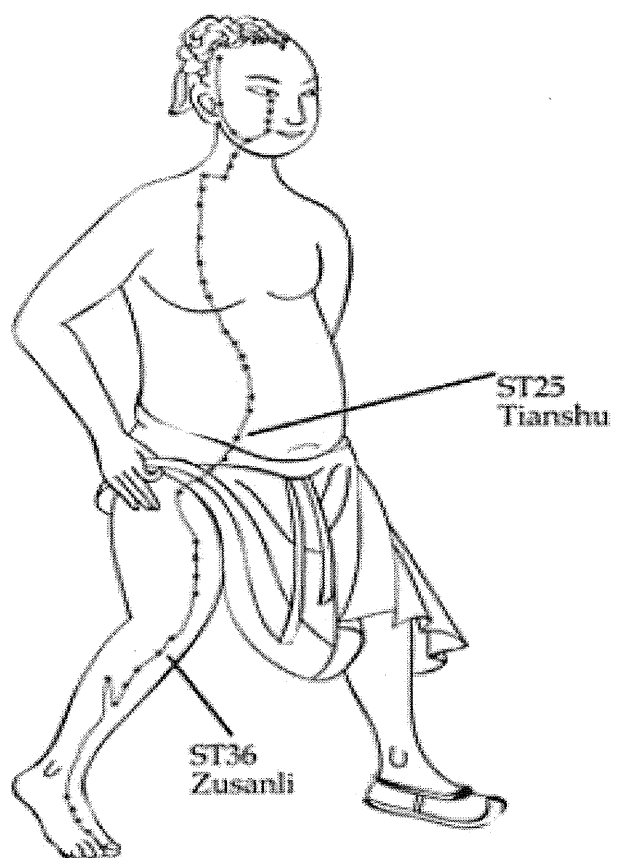
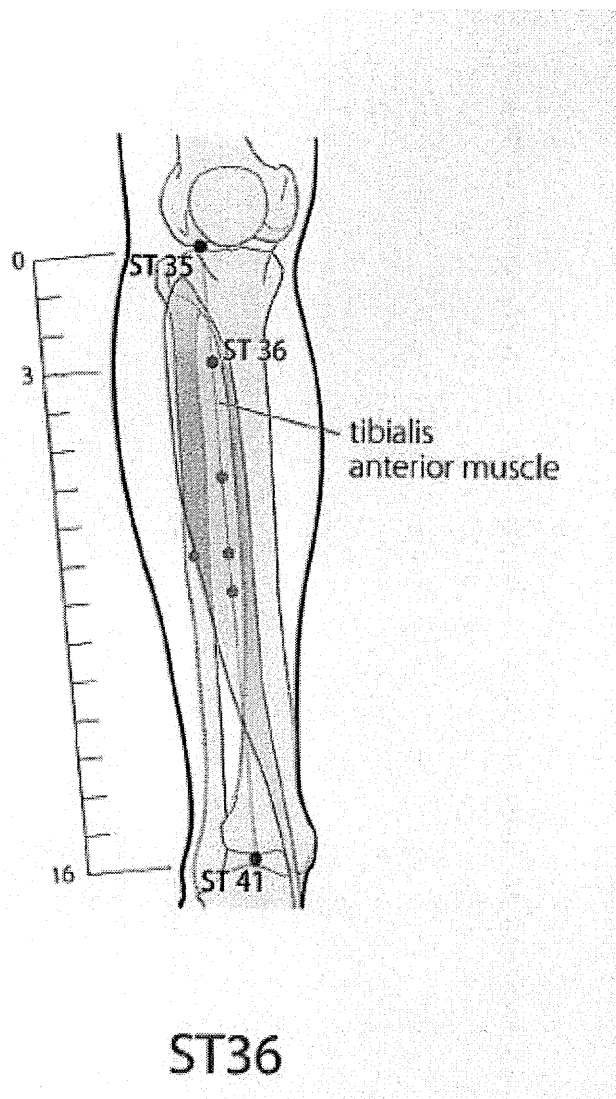


図 1:胃経と足三里穴 (ST36) の位置。[文献 21 より改変]



ST36

図 2: 足三里穴 (ST36) は下腿にあり、外膝眼から 4 横指下で、脛骨前面から 1 横指外側に位置する。[文献 7 より]

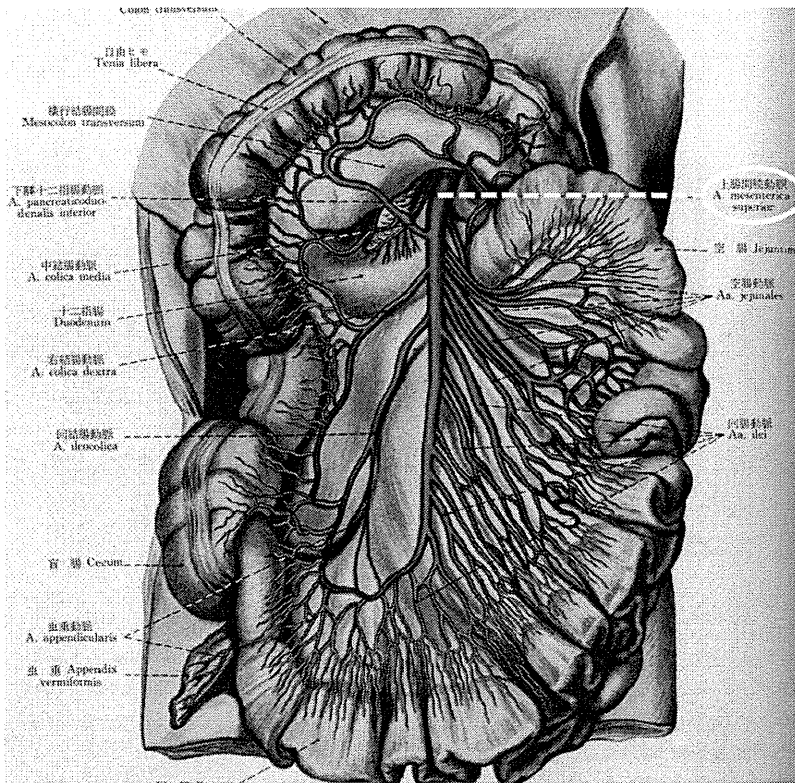


図 3: 上腸間膜動脈の灌流領域。上腸間膜動脈は、十二指腸上部以外の小腸全体に血液を供給する。また、回盲部や上行結腸、横行結腸にも血液を供給する。(文献 20 より改変)

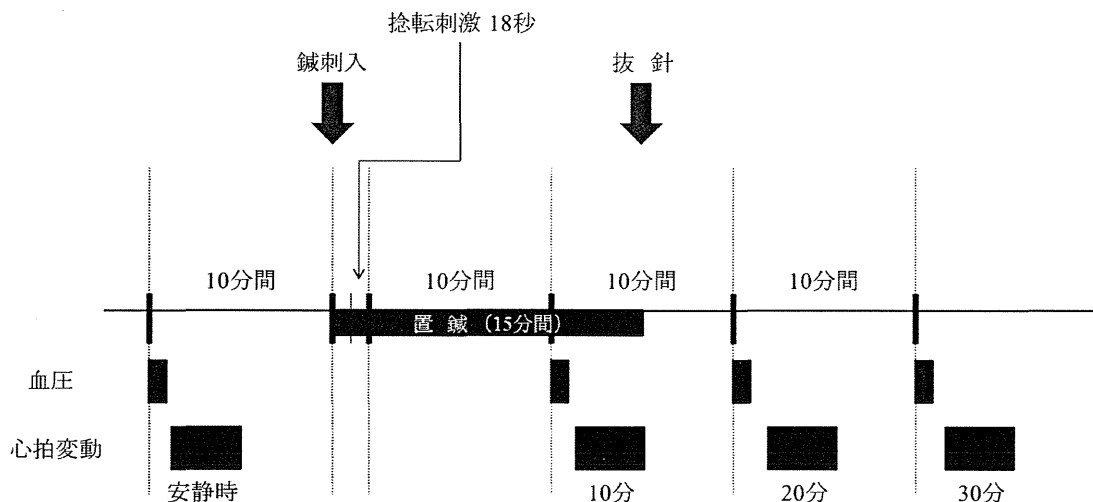


図 4: 実験プロトコル。10 分間の安静の後、両側の足三里穴に鍼を刺入および刺激を行なう。心電図は実験時間通して記録し、安静時、鍼刺激後の 10 分、20 分、30 分の心拍数、血圧および HRV を抽出し解析を行う。

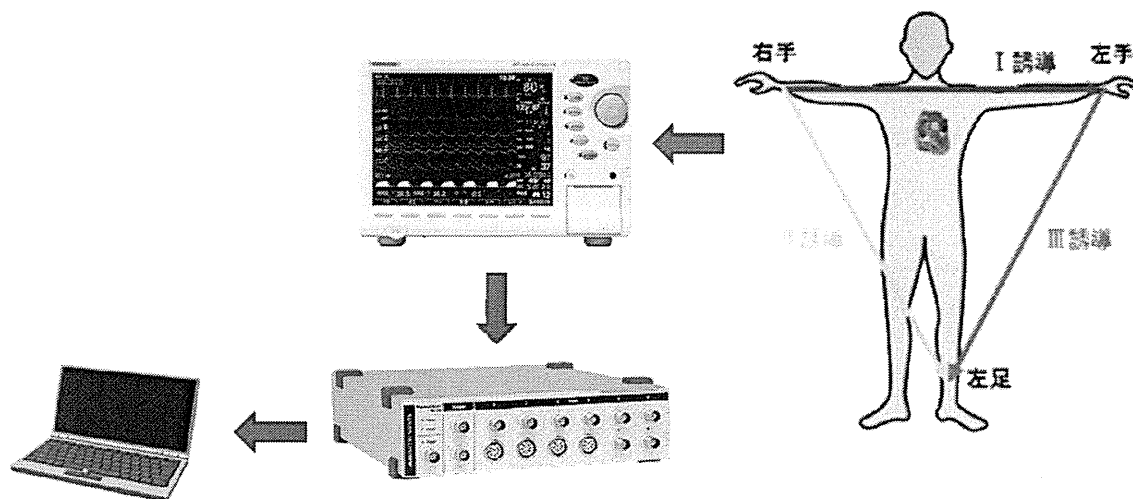


図 5: HRV 解析のための機材。標準肢誘導により得られた心電図データはオシロメーター BP-608 Evolution II®, (Colin Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan)と AD 変換システム PowerLab(AD Instruments Pty Ltd, AUSTRALIA)を介してパーソナルコンピューター内に記録する。記録されたデータを各時間帯の 3 分間を抽出し付属解析ソフト LabChart を用いて HRV を解析した。

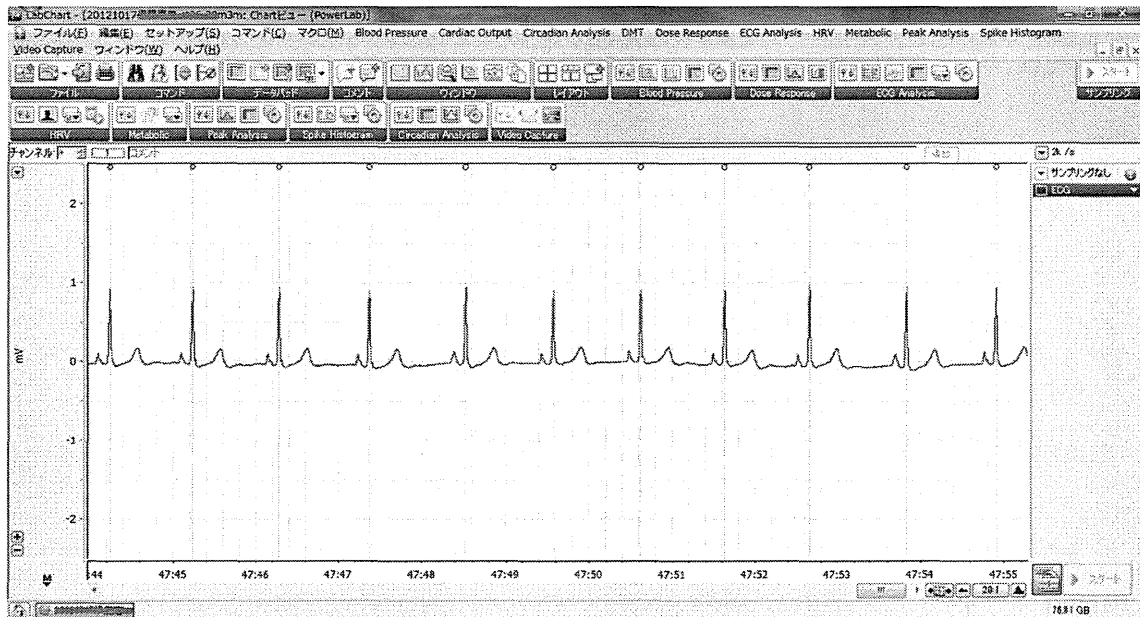


図 6: PowerLab 付属ソフト LabChart。時間帯ごとに抽出した心電図の全ての R 波を検出、1 拍ごとの R-R 間隔 (N-N 間隔) を解析する。

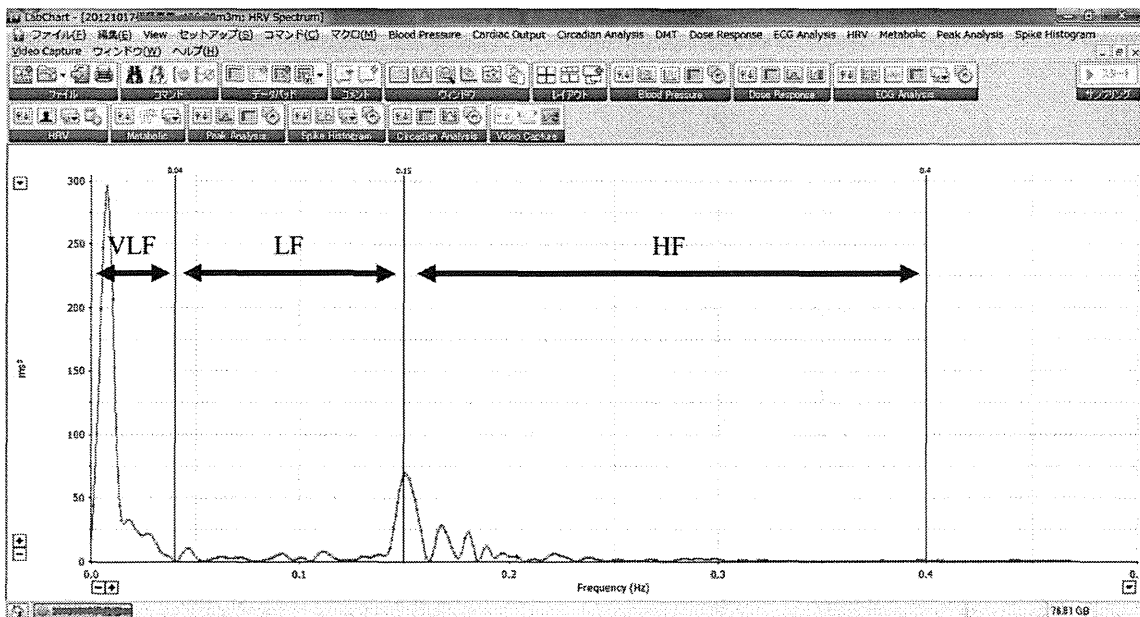


図 7: LabChart における Spectrum の画面。各周波数領域のパワー [ms^2] が算出される。図中に VLF、LF、HF と記載のある範囲がそれぞれ、超低周波数領域 (VLF)、低周波領域 (LF)、高周波領域 (HF) の周波数帯を表す。図中の実線 (赤) がスペクトル解析によって各周波数帯に算出されたパワーを表す。

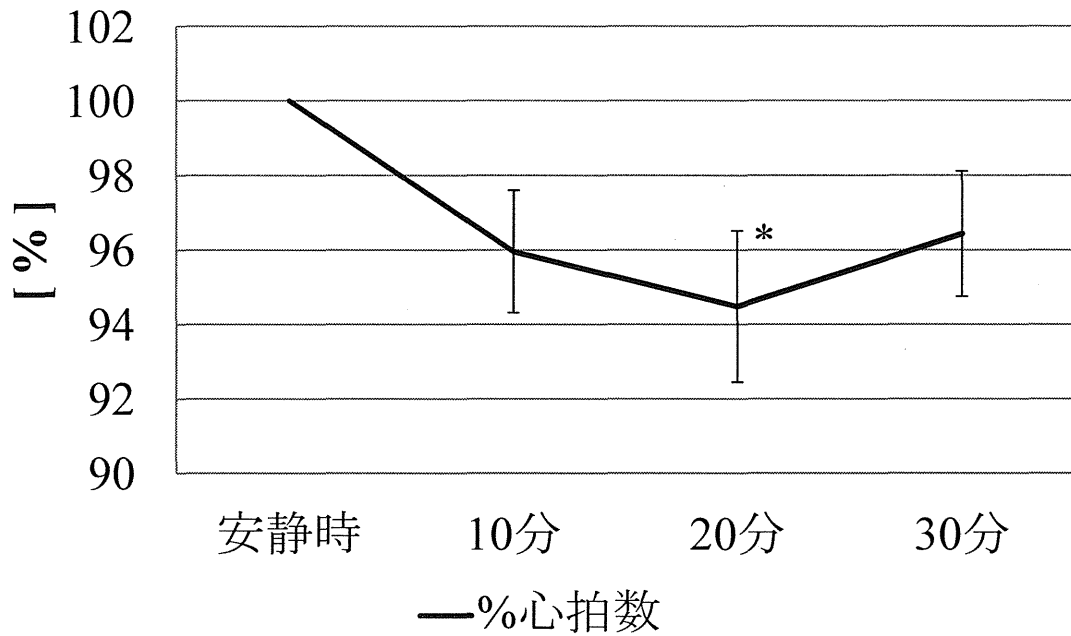


図 8: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における心拍数の変化を変化率で示す。安静時と比べて足三里穴刺激後 20 分において有意な低下を示した。値は平均±標準誤差で表示。*P<0.05。

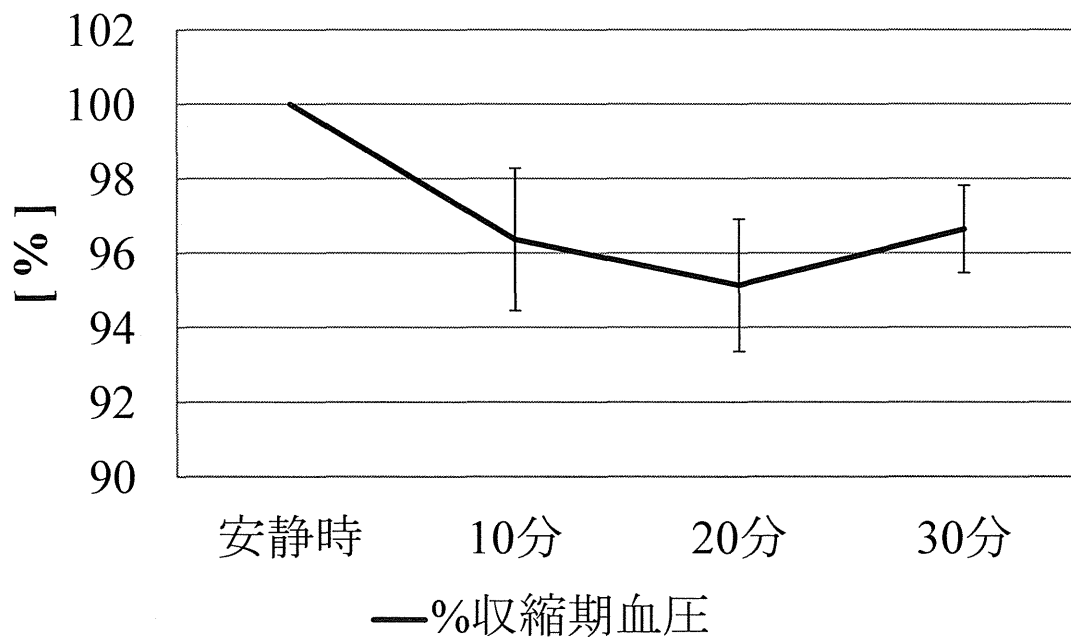


図 9: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における収縮期血圧の変化。値は平均±標準誤差で表示。

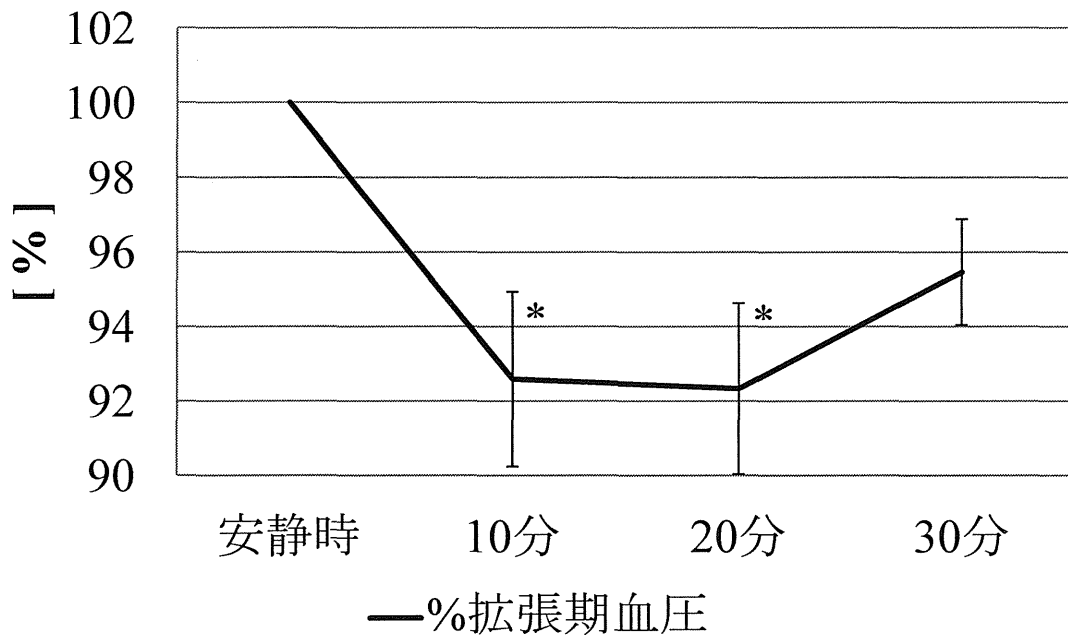


図 10: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における拡張期血圧の変化を变化率で示す。安静時と比較して鍼刺激後 10 分、20 分の値が有意に低下した。値は平均±標準誤差で表示。*P<0.05。

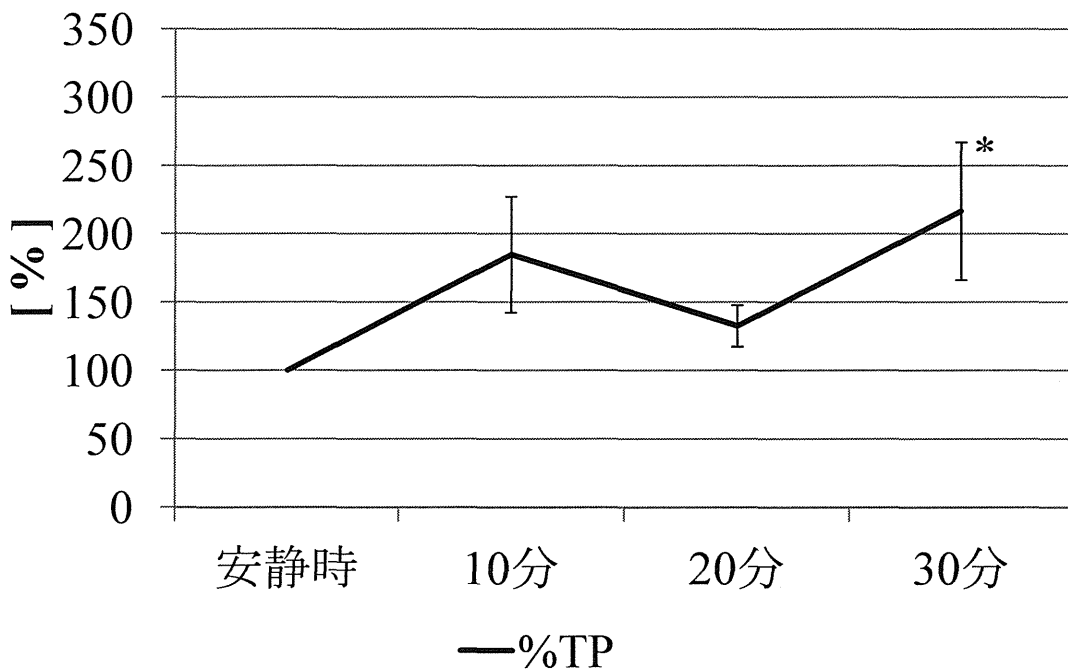


図 11: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における総パワー (TP) の変化を变化率で示す。安静時と比較して足三里穴刺激後 30 分において有意に増加した。値は平均±標準誤差で表示。*P<0.05。

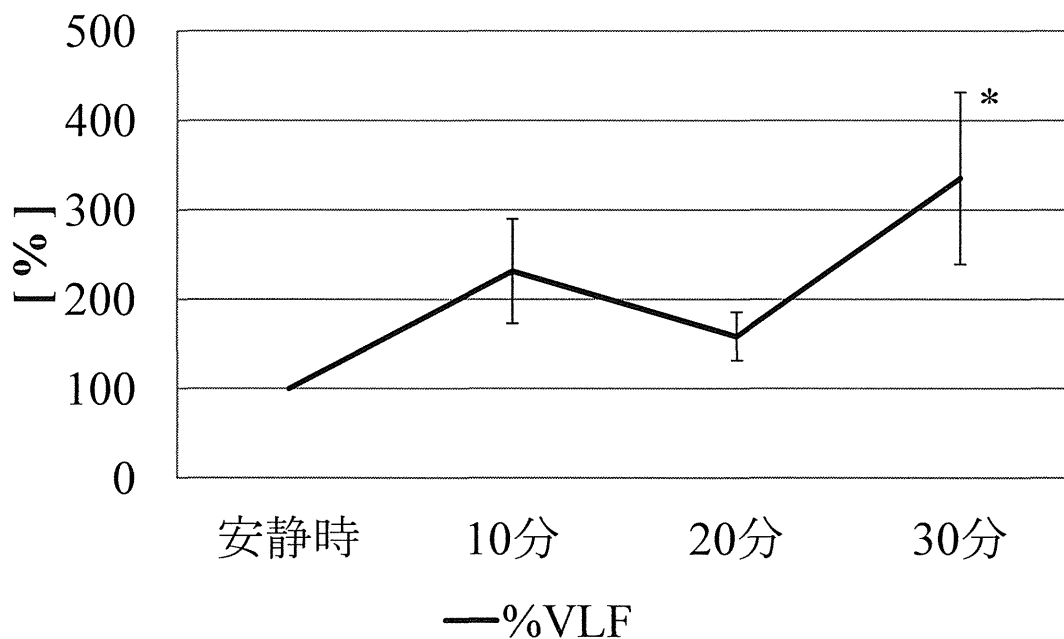


図 12: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における超低周波数領域パワー (VLF) の変化を変化率で示す。安静時と比較して足三里穴刺激後 30 分において有意な増加を示した。値は平均±標準誤差で表示。*P<0.05。

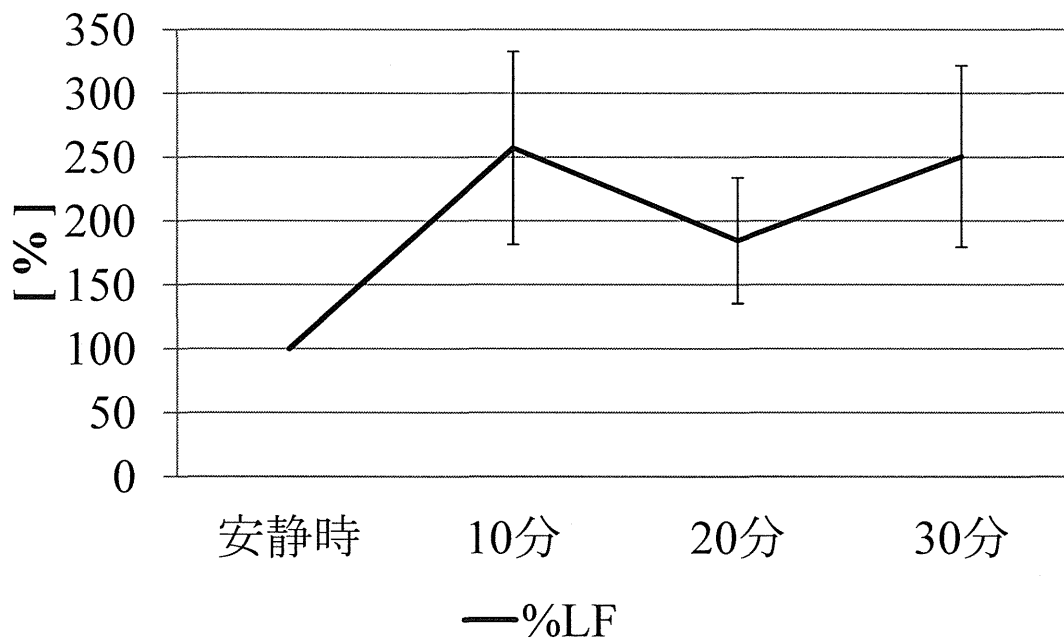


図 13: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における低周波数領域パワー (LF) の変化を変化率で示す。値は平均±標準誤差で表示。

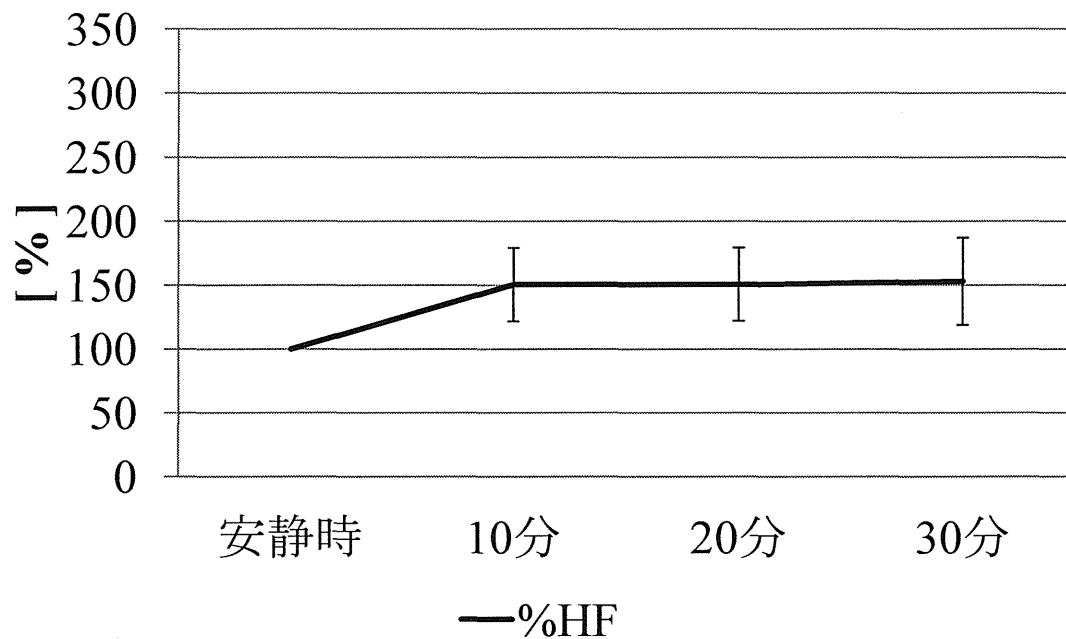


図 14: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における高周波数領域パワー (HF) の変化を変化率で示す。値は平均 \pm 標準誤差で表示。

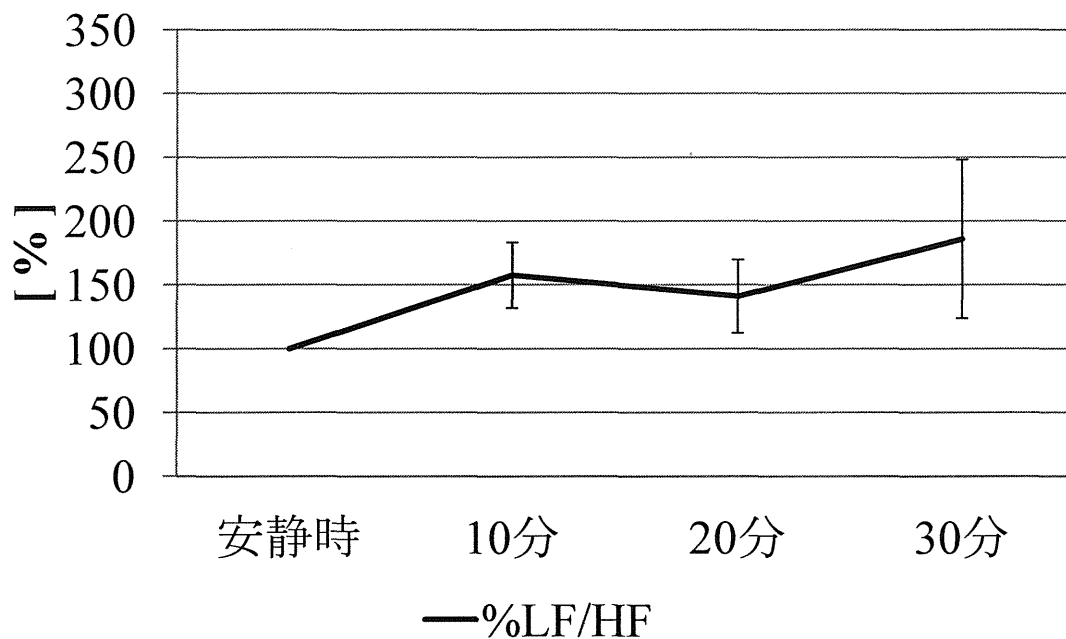


図 15: 安静時および足三里穴鍼刺激後 10 分、20 分、30 分における低周波数領域パワー (LF) と高周波数領域のパワー (HF) 比 (LF/HF) の変化を変化率で示す。値は平均 \pm 標準誤差で表示。