

鍼刺激が引き起こす一過性心拍数減少反応における  
体性感覚、覚醒度の関与および自律神経機能評価に関する研究  
—背景脳波および心拍変動解析を指標とした検討—

帝京平成大学大学院  
健康科学研究科 博士課程

115M13301

内田 千加子

# 目次

1. はじめに .....	1
2. 方法 .....	3
1) 対象 .....	3
2) 介入方法 .....	3
3) 実験プロトコル .....	3
4) 測定と解析 .....	3
(1) 心電図の測定と解析 .....	3
(2) 背景脳波の測定と解析 .....	4
(3) 鍼刺激感覚の評価 .....	5
5) 統計解析 .....	5
3. 結果 .....	5
1) 心拍数の変化 .....	5
2) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応時の自律神経機能評価指標の変化 .....	5
3) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応と鍼刺激感覚の関連 .....	6
4) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応時の背景脳波の変化 .....	7
4. 考察 .....	8
5. 結語 .....	11
謝辞 .....	11
利益相反に関する記載 .....	11
参考文献 .....	12
図、表 .....	14

## 1. はじめに

鍼刺激に伴い一過性に心拍数(HR)が減少することが知られている<sup>9)10)21)25)</sup>。このHR減少反応を引き起こす要因は、鍼刺激がもたらす交感神経の抑制<sup>10)</sup>、または副交感神経の亢進<sup>9)25)</sup>、あるいは交感神経の抑制と副交感神経の亢進<sup>21)</sup>のいずれかであることが薬理学的研究手法等から明らかにされている。これらの知見から、心地良い鍼刺激時には相対的な副交感神経の亢進に伴いHRが減少し、これは鍼灸治療の有するリラクゼーション効果の表れであると臨床的に説明されてきた。しかし鍼刺激は、時に、強いひびき感などを伴い、必ずしも心地良い感覚とは限らない。このような鍼刺激によってもHRの減少が認められることから、鍼刺激は鍼刺激感覚やリラクゼーション効果に係らずに心循環器系に効果をおよぼしてHRを減少させることが推測される。さらに、この時、心臓自律神経機能は副交感神経優位状態に変化すると考えられる。しかし、これらについては明らかとはされていない。

鍼刺激のもたらすリラクゼーション効果については、先行研究において背景脳波(基礎律動)中の $\alpha$ 波や $\theta$ 波を指標とした検証がなされている。矢野らは、被験者が心地良いと感じる低周波鍼通電刺激によって、 $\alpha$ 波帯域のパワーの増大とFm $\theta$ 波様の所見が認められ、脳波学的に鍼刺激(鍼治療)は快適性や心地良さ、リラクゼーション効果を誘導することを明らかにしている<sup>31)</sup>。ここで、脳波(electroencephalogram; EEG)とは、大脳皮質錐体細胞の興奮性シナプス膜電位と抑制性後シナプス膜電位の総電位を頭皮上から導出したものである<sup>8)</sup>。脳波は、覚醒水準あるいは意識レベルの変化には極めて鋭敏であり、ほんのわずかな眠気や注意力の低下によって変化することが明らかにされている<sup>23)</sup>。覚醒度が上昇すると基礎律動の周波数がやや高くなり睡眠脳波が現れる割合が低下し、覚醒度が低下すると睡眠脳波の出現率が上昇して周波数の小さな徐波の混入が見られる<sup>22)</sup>。背景脳波は、ほぼ全般的・持続性に出現し脳波の大部分を形成する脳波活動である。背景脳波の原波形においては、 $\alpha$ 波は安静・閉眼・覚醒時におけるもっとも優勢な波であり<sup>23)</sup>、覚醒時でも僅かに眠気がある場合には出現が広汎化し、緊張が強い場合には出現量が少なくなる<sup>29)</sup>。速波である $\beta$ 波は、正常人の覚醒時に $\alpha$ 波と混在し、開眼、痛み、暗算、緊張などの興奮により増加する<sup>7)</sup>。 $\delta$ 波と $\theta$ 波は合わせて徐波とされ<sup>7)</sup>、通常覚醒時の脳波には低振幅の $\theta$ 波がごく少量散在する程度で明らかな $\theta$ 波や $\delta$ 波は出現せず、傾眠状態で徐波の混入が目立つようになる<sup>31)</sup>。背景脳波と覚醒度の関係について、Wrangらは、睡眠時無呼吸症候群の患者に対する日中の覚醒度評価の研究から、個々の背景脳波のバンドパワーはPsychomotor Vigilance Task(PVT)、Karolinska 睡眠スケール(KSS)およびAusEd 運転シュミレータによる覚醒度の測定結果と相関が無く、これら覚醒度の測定結果と有意な相関を示すのは、 $\delta$ 波に対する $\alpha$ 波のパワー比、あるいは、 $\delta$ 波と $\theta$ 波のパワー値に対する $\alpha$ 波と $\beta$ 波のパワー値の割合であることを明らかにしている<sup>28)</sup>。

本研究においては、背景脳波の原波形に対し周波数解析を行い、得られたスペクトルから各波の周波数に対応する帯域ごとのパワー値を算出して、背景脳波の変化を定量的に評価した。背景脳波スペクトルにおいて $\delta$ 波および $\theta$ 波の周波数帯域のパワー割合が増加すると共に $\alpha$ 波および $\beta$ 波の周波数帯域のパワー割合が減少した状態、すなわち背景脳波が全体として徐波化して覚醒度が低下した状態を「リラックス状態」と定義し、また、背景脳波スペクトルにおいて $\delta$ 波および $\theta$ 波の周波数帯域のパワー割合が減少すると共に $\alpha$ 波および $\beta$ 波の周波数帯域のパワー割合が

増加する変化、すなわち背景脳波が全体として速波化し覚醒度が増加する変化を「リラックス状態から緊張あるいは活動状態への変化」であると定義したうえで、鍼刺激のリラクセーション効果を評価した。

一方、鍼刺激に伴う HR の変化に対する鍼刺激感覚の関与および自律神経機能の変化については、Sakai ら<sup>24)</sup>が、心地良いひびき又は得気を生じる僧帽筋への鍼刺激が HR を減少させ、この時、ひびきの回数と相関して交感神経活動の指標値が有意に低下し、副交感神経活動の指標値が増加したとの心拍変動 (HRV) 解析による結果を報告している。この結果に基づき、心地良いひびきや得気が、HR を減少させ自律神経系を副交感神経優位状に傾ける変化と関係するとしている。

ここで「得気」とは、身体に治療用の鍼を刺すと縫い針で体表を突いたような痛みとは違った感覚を感じるが、このような身体に鍼を刺すときに生じる感覚を表現したものであり、「ひびき」、「鍼感」などとも表現される。ひびきとは、患者自身が刺激部位に自覚する感覚[酸 (だるい)、脹 (腫れぼったい)、重 (おもだるい)、麻 (しびれる)、痛 (表皮上の痛覚ではなく、皮下の深部に発生する痛覚)]を言う<sup>20)</sup>。ひびきの感覚は鍼灸治療の場において、治療効果に係るとされてきた。しかし、適度な強度のひびきは心地良い感覚をもたらすが、一方で、強いひびきが不快感をもたらすこともある。鍼治療の臨床の場においては心地良いひびきを生じる鍼刺激に加えて、ときに、不快なひびきを伴う鍼刺激、さらには、ひびきを伴わない鍼刺激、あるいは強い痛みによる不快感を伴う鍼刺激も行われることがある。しかし、このような鍼刺激が HR 変化にもたらす影響は明らかにされていない。本研究では、鍼刺激感覚のうち、鍼刺激の「痛み」、鍼刺激によって生じる「ひびき」、鍼刺激の「心地良さ」の3つの要素について HR 変化に及ぼす効果を明らかにし、併せて自律神経機能の変化も検証した。

ところで、鍼刺激に伴う HR 減少反応時の自律神経機能の変化については、HRV 解析を用いた先行研究からは一定した結果が得られていない。先行研究に基づくレビュー結果では<sup>6)17)</sup>、鍼刺激後には鍼刺激前に比べ自律神経機能の指標に有意な変化を生じる事が明らかにされている<sup>6)</sup>。しかし、鍼刺激中における有意な変化については明らかになっていない<sup>17)</sup>。鍼刺激中の変化については、木村らが、鍼刺激が一過性に副交感神経活動を増加させ相対的に心臓交感神経活動を抑制したことを報告しているが<sup>14)</sup>、HRV 解析における副交感神経活動の指標とされる高周波成分のパワー (HF) および、交感神経活動と副交感神経活動のバランスの指標とされる低周波成分のパワー (LF) と高周波成分のパワーの比 (LF/HF) については、有意な変化は報告されていない。前述した Sakai らによる先行研究においても、鍼刺激中の HR 減少反応時における HF および LF/HF の有意な変化は観察されていない<sup>24)</sup>。一方、黒野らは、腹部鍼刺激および膈中 (CV17) への鍼刺激により心臓迷走神経活動が有意に増加し交感神経の活動は有意な変化を示さなかったとの HRV 解析結果を報告しているが、これは筋膜上圧刺激という特殊な手法を用いた結果であるとされている<sup>15)16)</sup>。

本研究は、HR 減少反応に対する鍼刺激のリラクセーション効果の関与及び鍼刺激感覚の関与を明らかにすることを目的とした。併せて、鍼刺激に伴う HR 減少時における心臓自律神経機能の変化を確認したうえで心臓自律神経機能への鍼刺激のもたらす効果についても検証を行った。リラクセーション効果は背景脳波の周波数解析結果に基づいて、心臓自律神経機能は HRV 解析結果に基づいて評価した。

## 2. 方法

### 1) 対象

18歳以上の健常な学生ボランティア男性40名（ $21.0 \pm 0.85$ 歳、平均±標準偏差 S.D. 以下同様）を対象とした。HR 減少反応時の HRV 解析による自律神経機能評価研究は、25名（ $21.0 \pm 0.98$ 歳）を解析対象として行われた。HR および HRV 解析の指標の変化に対する鍼刺激感覚の関与の研究における解析対象者は34名（ $21.0 \pm 0.85$ 歳）であった。これらの結果をふまえた鍼刺激に伴う HR 減少反応時の背景脳波の変化についての研究の解析対象者は安定した脳波測定を行うことのできた27名（ $21.0 \pm 0.92$ 歳）であった。対象者に、心疾患、中枢および末梢神経障害の者はいなかった。対象者は全員右利きであった。全員が本学鍼灸科の学生であり、鍼灸施術を受けた経験を持ち、また、鍼灸治療についての知識を有していた。本研究は、帝京平成大学倫理委員会の承認（承認番号 27-093）を得て実施された。

### 2) 介入方法

すべての研究において、雀啄法（挿入した鍼を皮膚に垂直に上下に動かす）による鍼刺激を行った。鍼刺激は、周波数 1Hz、深度 15～20mm で2分間行われた。鍼刺激部位は左前腕の手三里穴（LI10）（前腕撓側の長・短撓側手根伸筋間、橈骨神経上に位置する）であった。長さ 40mm、No. 18、sterile 鍼（セイリン社製、Japan）を用いた。一名のはり師免許保有者がすべての鍼刺激を行った。

### 3) 実験プロトコル（図 1）

被験者に心電図（electrocardiogram; ECG）測定用および EEG 測定用電極を貼付し、鍼刺激箇所を特定して印をつけた後に測定を開始した。15 分間の開眼安静の後に被験者に閉眼を指示し、5 分経過後に左前腕手三里穴に2分間の鍼刺激を行った。鍼刺激終了から5分経過後に開眼を指示し、その後10分間の測定を経て終了した。その後、鍼刺激の感覚（痛みの強さ、心地良さ／不快感の有無および程度、ひびきの有無および強さ）および、鍼刺激に伴う HR 変化の感覚について質問票への記入を求めた。実験は、約 120 度のリクライニング姿勢で行った。室温は摂氏 18 度から 23 度であった。測定は 11 時から 16 時の間に行なわれた。

### 4) 測定と解析

#### (1) 心電図の測定と解析

ディスプレイザブル銀-塩化銀電極（Vitrode L, NIHON KODEN, Japan）を被験者の右鎖骨下（－極）、左胸部（＋極）と腹部（アース）に貼付し、胸部誘導にて ECG を測定した。呼吸に対する管理は行わずに、自然な呼吸下で測定を行った。フィルター設定は、ローパスフィルター 60Hz、時定数 0.3sec とした。バイオアンプ（Model ML132, AD INSTRUMENTS, Australia）で増幅後、A/D コンバーター（Power Lab AD Instruments, Australia）でコンピューターに取り込んだ。サンプリングレートは 1k/sec とした。同時にソフトウェア（Lab Chart<sup>TM</sup> 5.4.2, AD INSTRUMENTS, Australia）により ECG の R 波を検出し、R-R 間隔から瞬時 HR を算出した。鍼刺激前の4分間につき1分毎の HR 平均値を算出し、さらに、鍼刺激開始4分前、2分前、鍼刺激開始後、鍼刺激終了後、鍼刺激終了2分後からの各2分間の HR の平均値を算出した（図 1）。HR 減少反応時の HRV 解析による自律神経機能評価研究では、鍼刺激開始4分前と2分前からの HR の平均値を鍼

刺激前の HR とし、鍼刺激終了後と鍼刺激終了 2 分後からの HR の平均値を鍼刺激後の HR とした。HR および HRV 解析の指標の変化に対する鍼刺激感覚の関与の研究においても同様に、鍼刺激開始 4 分前と 2 分前からの HR の平均値を鍼刺激前の HR とした。HR 減少反応時の背景脳波の変化研究においては、鍼刺激開始 2 分前からの HR を鍼刺激前の HR とした。すべての研究において、鍼刺激開始後 2 分間の HR を、鍼刺激中の HR とした。さらに、鍼刺激前に対する鍼刺激中の HR の変化量を算出した。自律神経機能の指標は、HRV 解析により算出した。鍼刺激開始 4 分前、2 分前、鍼刺激開始後、鍼刺激終了後、鍼刺激終了 2 分後からの各 2 分間を解析区間とし（図 1）、ECG の R-R 間隔時系列データについて HRV 解析ソフト (Lab Chart<sup>TM</sup> 8.0.4, AD INSTRUMENTS, Australia) を用いて高速フーリエ変換による周波数解析を行ってパワースペクトルを描出した。図 2 にパワースペクトルの例を示す。解析対象周波数帯域は 0.04~0.50Hz とし、0.04~0.15Hz のパワー値を低周波成分 (LF) と、0.15~0.45Hz のパワー値を高周波成分 (HF) とした。解析対象周波数帯域の全パワー値に対する LF の割合を LF のノーマライズユニット (LFnu) とした。同様に、解析対象周波数帯域の全パワー値に対する HF の割合を HF のノーマライズユニット (HFnu) とし、これを心臓副交感神経機能の指標とした。LF と HF の比 (LF/HF) を算出してこれを心臓交感神経機能と心臓副交感神経機能のバランスの指標とした。解析区間は HR の算出と同様とし、鍼刺激前、鍼刺激中、鍼刺激後の LFnu、HFnu および LF/HF の値を算出した。さらに、LFnu、HFnu および LF/HF について、鍼刺激前の値に対する鍼刺激中の値の変化量を算出した。

## (2) 背景脳波の測定と解析

被験者の左前頭部 Fp1 (一極)、右乳様突起部 RM (+極)、左耳朶 A1 (アース) の 3 か所の皮膚表面の皮脂及び角質を除去した後に銀-塩化銀電極を貼付し双極誘導により背景脳波を測定した。実験に先立ち、測定データへの筋電図によるノイズの混入を防ぐため、排尿を済ませるよう指示し、測定中の体動は避ける事、指示に従って閉眼を保つこと、閉眼中には顎の力を抜いて歯を噛みしめない事、眼球運動や嚥下をむやみに行わないよう心がけることを要請した。これらについては、測定中、目視による確認を行った。さらに、測定に先立ち、照明および不要な電気機器の電源をすべて落とし、被験者が寒さを感じていないことを確認したうえで、耳栓を装着させて測定を行った。測定時のフィルター設定は、ローパスフィルター 60Hz、時定数 0.1 秒とした。バイオアンプ (Model ML132, AD INSTRUMENTS, Australia) で増幅後、AD コンバーター (Power Lab AD Instruments) でコンピューターに取り込んだ。サンプリングレートは 1k/sec とした。解析区間は、HR と同様とした。各解析区間の EEG データに解析ソフトウェア (Lab Chart<sup>TM</sup> 8.0.4, AD INSTRUMENTS) を用いて fast Fourier transform により周波数解析を行ってパワースペクトルを描出した。図 3 に背景脳波の原波形とこれを解析して求めたパワースペクトルの例を示す。パワースペクトルをもとに  $\delta$  波 (0.5~4Hz) の周波数に対応する帯域、 $\theta$  波 (4~8Hz) の周波数に対応する帯域、 $\alpha$  波 (8~13Hz) の周波数に対応する帯域、 $\beta$  波 (13~38Hz) の周波数に対応する帯域の各パワー値、及び全周波数帯域 (0.5~38Hz) のパワー値を算出した。演算に際し、FFT サイズ 2K、データウィンドウ Hann (cosine-bell)、ウィンドウオーバーラップ 50%、ゼロ周波数成分除去 on とした。各周波数帯域のパワー値について、次の算式によりノーマライズユニット (nu) (%) を求めた。

$\alpha$  波 nu (%) = [背景脳波のパワースペクトルにおける  $\alpha$  波の周波数に対応する帯域のパワー値 /

(背景脳波のパワースペクトルにおける全周波数帯域のパワー値) ] × 100

δ波 nu(%), θ波 nu(%), β波 nu(%)についても同様に演算を行った。

### (3) 鍼刺激感覚の評価

実験終了後に鍼刺激感覚の質問票 (図 4) により鍼刺激時の感覚を評価させた。鍼刺激中の痛みについては VAS (Visual Analogue Scale) を用い、想定できる最も強い痛みを 100、痛みを感じない時を 0 として鍼刺激中の痛みの強さを評価させた。鍼刺激に伴うひびきの感覚はカテゴリカルスケールを用い、何も感じなかった、刺激を感じたがひびきは感じなかった、弱いひびきを感じた、かなり強いひびきを感じた、耐え難い強さのひびきを感じた、の 5 段階で評価した。鍼刺激の心地良さについても同様に、大変に不快だった、どちらかと言えば不快だった、快でも不快でもなかった、どちらかと言えば心地よかった、大変心地よかった、の 5 段階で評価した。鍼刺激に伴う HR 変化の感覚については、心拍数が上がった、心拍数に変化はなかった、心拍数が下がった、の 3 つから選択させた。

### 5) 統計解析

鍼刺激前の 4 分間における 1 分毎の HR 平均値について繰り返しのある一元配置分散分析を行った。鍼刺激に伴う HR 変化の感覚と実際の HR 変化について、カイ 2 乗適合度検定を行った。鍼刺激前と鍼刺激中および鍼刺激後の値の比較については、繰り返しのある一元配置分散分析を行い、主効果が認められた場合には、Tukey の方法による多重比較を行った。鍼刺激前と鍼刺激中の値の比較については、Wilcoxon' s test を行った。相関分析は Spearman' s test を行った。解析ソフトは JSTAT (Japan) を用いた。P < 0. 05 を有意差有りとした。すべてのデータは平均値 ± 標準偏差 (standard deviation: SD) で示した。

## 3. 結果

### 1) 心拍数の変化

鍼刺激中に HR は一過性に減少した (図 5. A)。鍼刺激前の 1 分毎の HR 平均値について繰り返しのある一元配置分散分析を行ったところ有意差は認められず、鍼刺激前の HR は安定していた (one-way repeated-measures ANOVA: N.S.)。

HR 減少反応時の HRV 解析による自律神経機能評価についての研究結果において、HR は、鍼刺激前  $58.3 \pm 5.97$  (beat/min) から鍼刺激中には  $55.4 \pm 6.93$  (beat/min) に減少し、鍼刺激後には  $58.0 \pm 6.29$  (beat/min) へと増加回復を示した (図 5. B)。この変化には主効果が認められたので (P < 0. 0001)、多重比較を行ったところ、鍼刺激前と鍼刺激中の値には有意差があり (P < 0. 01)、鍼刺激中と鍼刺激後の値にも有意差があった (P < 0. 01) が、鍼刺激前と鍼刺激後の HR の値には有意差が無かった (N. S.)。鍼刺激にともなう一過性の HR 減少反応が確認された。

HR の変化に対する鍼刺激感覚の関与の研究および HR 減少反応時の背景脳波の変化についての研究結果においても同様に、鍼刺激前に比した鍼刺激中の HR 減少を確認した (P < 0. 0001、P = 0. 0002)。

### 2) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応時の自律神経機能評価指標の変化

図 6 に HRV 解析によって 2 分毎に描出したスペクトルの典型例を示す。HR の変化に伴い鍼刺激中に HF パワーが増加し鍼刺激後には減少していることが認められる。

HR 減少反応時の HRV 解析による自律神経機能評価についての研究結果において HR 減少反応時における LFnu の値は、鍼刺激前  $46.7 \pm 16.82(\%)$  から鍼刺激中には  $26.1 \pm 16.16(\%)$  に減少し、鍼刺激後には  $37.4 \pm 13.74(\%)$  へと増加回復した (図 7)。この変化には主効果が認められた ( $P < 0.0001$ ) ので多重比較を行うと、鍼刺激前と鍼刺激中の値には有意差があり ( $P < 0.01$ )、鍼刺激中と鍼刺激後の値にも有意差があった ( $P < 0.01$ ) が、鍼刺激前と鍼刺激後の HFnu の値には有意差が無かった。鍼刺激に伴い LFnu は一過性に減少した。HFnu の値は、鍼刺激前の値  $53.7 \pm 16.02(\%)$  から鍼刺激中には  $69.5 \pm 15.43(\%)$  へと増加し、鍼刺激後には  $60.6 \pm 13.36(\%)$  へと減少した (図 8)。この変化には主効果が認められた ( $P < 0.0001$ ) ので多重比較を行うと、鍼刺激前と鍼刺激中の値には有意差があり ( $P < 0.01$ )、鍼刺激中と鍼刺激後の値にも有意差があった ( $P < 0.05$ ) が、鍼刺激前と鍼刺激後の HFnu の値には有意差が無かった。鍼刺激に伴い HFnu は一過性に増加した。LF/HF の値は、鍼刺激前  $1.11 \pm 0.777(\text{ratio})$  から鍼刺激中には  $0.47 \pm 0.488(\text{ratio})$  に減少し、介入後には  $0.75 \pm 0.467(\text{ratio})$  に増加した (図 9)。この変化には主効果が認められた ( $P < 0.0001$ ) ので多重比較を行うと、鍼刺激前と鍼刺激中の値には有意差があり ( $P < 0.01$ )、鍼刺激中と鍼刺激後の値には有意差がなかった。鍼刺激前と鍼刺激後の LF/HF の値には有意差があった ( $P < 0.05$ )。鍼刺激に伴い LF/HF は減少し、鍼刺激終了後には増加するが、鍼刺激終了 4 分後までの解析結果からは介入前の状態にまでは復さないことが明らかとなった。

同様に、HR の変化に対する鍼刺激感覚の関与の研究結果および HR 減少反応時の背景脳波の変化についての研究結果についても Wilcoxon's test を行ったところ、鍼刺激前に比し鍼刺激中には LFnu が有意に減少し ( $P < 0.0001$ ,  $P = 0.0018$ )、HFnu が有意に増加し ( $P = 0.0001$ ,  $P = 0.0066$ )、LF/HF が有意に減少していた ( $P < 0.0001$ ,  $P = 0.0036$ )。

次に、HR 減少反応時の HRV 解析による自律神経機能評価についての研究結果において、HR 変化量と HRV 各指標の変化量との相関を検証した (図 10)。鍼刺激に伴う HR の変化量と LFnu の変化量との間には相関が無く ( $r_s = 0.066$ ,  $P = 0.75$ )、同様に、HR の変化量と HFnu の変化量との間 ( $r_s = 0.027$ ,  $P = 0.90$ )、HR の変化量と LF/HF の変化量との間 ( $r_s = 0.092$ ,  $P = 0.65$ ) にも相関は無かった。

### 3) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応と鍼刺激感覚の関連

鍼刺激に伴う HR 変化の感覚は、鍼刺激に伴い HR が増加したと感じた者が 14 名 (41.2%)、変化はなかったと感じた者が 13 名 (38.2%)、減少したと感じた者が 7 名 (20.6%) であった。これに対し、実際に HR が増加した者は 6 名 (17.6%)、減少した者は 28 名 (82.4%) であった。カイ 2 乗適合度検定を行った結果、有意な偏りが認められた ( $P < 0.0001$ )。

図 11. A に鍼刺激の痛みの強さと HR の変化量との関係について示す。痛みの強さと HR の減少量との間に有意な相関は認められなかった ( $r_s = 0.085$ ,  $P = 0.63$ )。この時、痛みの強さと LFnu、HFnu、LF/HF それぞれの変化量との間にも、有意な相関は認められなかった (痛み-LFnu:  $r_s = 0.15$ ,  $P = 0.38$ 、痛み-HFnu:  $r_s = -0.19$ ,  $P = 0.28$ 、痛み-LF/HF:  $r_s = 0.14$ ,  $P = 0.42$ ) (図 11. B-D)。

表 1 にひびきの強さおよび有無による下位群毎の、鍼刺激前と鍼刺激中における HR と HRV 各指標の値を示す。ひびきを感じた群 (かなり強いひびきを感じた群と弱いひびきを感じた群の合計群) においては、HR の平均値が、鍼刺激前に比べ鍼刺激中に有意に減少した ( $P = 0.0002$ 、(か



なり強いひびきを感じた群:P=0.012、弱いひびきを感じた群:P=0.0046)) (図 12. A)。ひびきを感じなかった群 (何も刺激を感じなかった群と刺激は感じたがひびきを感じなかった群の合計群) においても HR の平均値は鍼刺激前に比べ鍼刺激中に減少したが、有意ではなかった (P=0.098) (図 13. A)。この時、HRV 解析の各指標は、ひびきを感じた群においては、鍼刺激前に比し鍼刺激中には LFnu が有意に減少し (P=0.0012、(かなり強いひびきを感じた群:P=0.0093、弱いひびきを感じた群:P=0.027))、HFnu が有意に増加 (P=0.0027、(かなり強いひびきを感じた群:P=0.021、弱いひびきを感じた群:P=0.040))、LF/HF が有意に減少した (P=0.0021、(かなり強いひびきを感じた群:P=0.012、弱いひびきを感じた群:P=0.040)) (図 12. B-D)。ひびきを感じなかった群においても、同様に LFnu は有意に減少し (P=0.0078)、HFnu は有意に増加 (P=0.020)、LF/HF は有意に減少した (P=0.0039) (図 13. A-D)。

表 1 に、心地良さの程度および有無による下位群毎の、鍼刺激前と鍼刺激中の HR の値を示す。鍼刺激が心地良かった群 (鍼刺激が大変こちよかった群とどちらかと言えば心地よかった群の合計群) において、HR は鍼刺激前に比べ鍼刺激中に有意に減少した (P=0.039) (図 14. A)。鍼刺激が快でも不快でもなかった群、鍼刺激が不快であった群においても、それぞれ HR は鍼刺激前に比べ鍼刺激中にはそれぞれ有意に減少した (P=0.017、P=0.0049) (図 15. A、図 16. A)。この時、HRV 各指標の値は (表 1)、鍼刺激が心地良かった群においては、鍼刺激前に比し鍼刺激中には LFnu が有意に減少し (P=0.0078)、HFnu が有意に増加 (P=0.0078)、LF/HF が有意に減少した (P=0.0039) (図 14. B-D)。鍼刺激が快でも不快でもなかった群においても、同様に LFnu は有意に減少 (P=0.017)、HFnu は有意に増加 (P=0.027)、LF/HF は有意に減少していた (P=0.027) (図 15. B-D)。さらに、鍼刺激が不快であった群においても、鍼刺激に伴い LFnu は有意に減少し (P=0.012)、HFnu は有意に増加 (P=0.034)、LF/HF は有意に減少した (P=0.016) (図 16. B-D)。

#### 4) 鍼刺激に伴う心拍数減少反応時の背景脳波の変化

図 17 は鍼刺激前及び鍼刺激中における脳波の原波形を周波数解析し、スペクトルを描出した典型例である。背景脳波原波形においては観察される波形に違いが認められない。これらの原波形に対して周波数解析を行い単純なサイン波およびコサイン波の重ね合わせに分解して個々の周波数成分ごとのパワー値を算出してスペクトルを描出すると、背景脳波全体での周波数の変化 (増減) が明らかとなる。この典型例では、鍼刺激中には徐波 ( $\delta$  波、 $\theta$  波) の周波数に対応する周波数帯域のパワーが減少しており、背景脳波の周波数が全体的には増加したことが明らかに見て取れる。

背景脳波のスペクトルから各周波数帯域のパワー値のノーマライズユニット (nu) (%) を算出して鍼刺激に伴う変化を検証すると、鍼刺激前に比べ、鍼刺激中には  $\delta$  波 nu、 $\theta$  波 nu が有意に減少し (P=0.039、P=0.0012)、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu は有意に増加した (P=0.0049、P=0.035) (図 18)。背景脳波は全体として速波化し、覚醒度は上昇していた。

さらに、 $\delta$  波 nu の増減により 2 つの下位群に分け、それぞれの群における背景脳波 nu の変化について検証した結果を表 2 に示す。 $\delta$  波 nu が増加した群 (n=6) においては、鍼刺激前に比べ、鍼刺激中には  $\delta$  波 nu が有意に増加し (P=0.031)、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu が有意に減少していた (P=0.031、P=0.031)。 $\theta$  波 nu は減少したが有意ではなかった (P=0.22) (図 19)。背景脳波が全体として徐波化して覚醒度が低下した下位群をなしていることが確認された。この群に置い

て、HR は鍼刺激中に有意に減少した( $P=0.031$ ) (図 21. A)。この時、LFnu は減少し( $P=0.22$ )、HFnu は増加し( $P=0.22$ )、LF/HF は減少した( $P=0.16$ ) が、これらの変化に有意差は認められなかった(図 21. B-D)。次に、 $\delta$  波 nu が減少した下位群( $n=21$ )では、 $\delta$  波 nu、 $\theta$  波 nu が有意に減少し( $P<0.0001$ 、 $P=0.0037$ )、 $\alpha$  波 nu および  $\beta$  波 nu が有意に増加していた( $P<0.0001$ 、 $P=0.0024$ ) (図 20)。背景脳波が全体として速波化して覚醒度が上昇した下位群を形成していることが確認された。この群において、HR は鍼刺激中に有意に減少し( $P=0.0030$ ) (図 22. A)、この時、LFnu は有意に減少し( $P=0.0024$ )、HFnu は有意に増加し( $P=0.0087$ )、LF/HF は有意に減少していた( $P=0.0046$ ) (図 22. B-D)。

表 3 に背景脳波 nu の変化量と HR および HRV 各指標の変化量との相関係数を示す。背景脳波 nu の変化量と HR の変化量には相関が無かったが、 $\theta$  波 nu の変化量と LFnu の変化量との間には有意な弱い負の相関が( $r_s=-0.37$ ,  $P=0.0058$ )、 $\theta$  波 nu の変化量と HFnu の変化量との間には有意な弱い正の相関が( $r_s=0.41$ ,  $P=0.036$ )、 $\theta$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量との間には有意な弱い負の相関が認められた( $r_s=-0.49$ ,  $P=0.013$ ) (図 24)。 $\delta$  波 nu、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu の変化量は、いずれも、HR、HRV 各指標の変化量と有意な相関がなかった(図 23、図 25、図 26)。

#### 4. 考察

先行研究において筋肉に至る鍼刺激を行うと HR が減少することが明らかになっていることから、鍼刺激箇所として手三里穴(LI10)を選択した<sup>10)</sup>。本研究においても手三里穴への鍼刺激に伴い HR が有意に減少することが確認された。ここで、本研究は鍼灸学科の生徒を対象者としたため、鍼治療の経験および鍼灸に対する知識が本研究の結果に影響をおよぼす事が懸念された。そこで HR 変化の感覚と実際の HR 変化につきカイ 2 乗適合度検定を行ったところ、有意な偏りが認められたことから、被験者の持つ鍼灸についての知識および経験が、本研究における HR 変化に対して及ぼす影響を考慮する必要性は無いと判断された。

ここで、一般的には HRV 解析により得られたデータに十分な信頼性が保証されるためには 5 分間以上の測定が必要とされている。本研究では、筋肉に至る鍼刺激が被験者に与える痛みの負担を考慮して鍼刺激時間を 2 分間に設定し、各解析区間を 2 分間とした。データサンプリング数としては十分ではないかもしれないが、本研究の HRV 解析結果はこれに基づくものである。

本研究の結果、鍼刺激に伴い一過性に HR が減少した。また、この時、薬理学的手法による先行研究結果と同様に、自律神経機能が副交感神経優位状態へと変化していることが HRV 解析によって確認された。

この、鍼刺激に伴う HR の減少反応は、鍼刺激の痛み、心地良さの感覚の有無によらず生じていた。ひびきの感覚については、ひびきを感じた群では HR の有意な減少が見られたが、ひびきを感じなかった群においては自律神経機能が副交感神経優位状態へと変化したにもかかわらず HR の減少は有意ではなかった。ところで、本研究においては筋肉に対し鍼刺激が加えられたが、このような刺激は、高閾値機械侵害受容器やポリモーダル侵害受容器を活性化し、感覚神経終末に活動電位を発生させる。前額面や顔面以外の筋や腱への鍼刺激は一次感覚ニューロンである A $\delta$  線維や C 線維により伝えられ、脊髄後角で二次感覚ニューロンと接続し、脊髄視床路や脊髄網様体路脊髄を上行して脳に向かう。脊髄視床路は脳幹から外側脊髄視床路と内側脊髄視床路

に分かれる。外側脊髄視床路を上行した刺激情報は視床の外側核から大脳皮質中心後回（一次体性感覚野）に到達して、体性感覚を生じる。脊髄網様体路は主にC線維で構成され、脊髄の前側索を上行し、延髄の網様体に行く脊髄延髄路、中脳に行く脊髄中脳路、扁桃等に行く脊髄腕傍核路などを形成する<sup>27)</sup>。鍼刺激の痛みには、A $\delta$ 線維により伝えられる一次痛とC線維により伝えられる二次痛がある。ひびきは主に無髄のC線維によって伝えられる感覚であるとされている<sup>12)</sup>。

本研究において、ひびきを感じなかった群においてHRは減少したが有意ではなかったが、その原因がひびきを感じなかった群のサンプル数が十分ではなかったことにある可能性を否定できるものではない。しかし、鍼刺激の痛みがA $\delta$ 線維やC線維で伝えられ外側脊髄視床路から体性感覚野に至り一次痛、二次痛として認識される<sup>11)</sup>のに対し、ひびきの感覚は主にC線維によって伝えられる二次痛に係るとされることから、ひびきを感じなかった群ではひびきを感じた群に比べ二次痛に係る刺激情報の量が少なかったことが関係した可能性があり、痛みのうちでも特に二次痛に係る鍼刺激の情報が心循環器系に効果をおよぼしてHRを減少させる可能性が考えられた。一方、自律神経機能については、HRV解析結果から鍼刺激時には、痛み、ひびき、心地良さの感覚によらず副交感神経優位状態へと変化することが示された。Sakaiらの先行研究においては、心地良いひびきを生じる鍼刺激がHRを減少させ、ひびきの回数と相関してHRVによる交感神経活動の指標が有意に低下し、副交感神経活動の指標は増加したことから、鍼の心地良いひびきや得気が自律神経系を副交感神経優位状態に傾ける変化と関係するとされている<sup>24)</sup>。本研究の解析は定性的な範囲にとどまるため、本研究の結果から鍼刺激感覚の強さとHRV指標の変化との相関について論ずることはできないが、鍼刺激の感覚によらず自律神経機能が副交感神経優位となったことから、鍼刺激に伴う自律神経機能の変化に鍼刺激の感覚に係らないことは明らかであろう。Sakaiらの研究では鍼刺激の量の違いによってひびきの回数の違いがもたらされていることから、その結果が示すのは鍼刺激量とHRV各指標の変化量との相関であったのかもしれない。本研究の結果、鍼刺激時には鍼刺激感覚に係らずに心臓自律神経機能が副交感神経優位状態へと変化し、この時、ひびきを引き起こす鍼刺激情報が大きい場合には、自律神経機能の変化に加えてHR減少反応も生じる事が示唆された。

鍼刺激に伴うHR減少反応時、背景脳波活動は $\delta$ 波および $\theta$ 波の周波数帯域のパワー割合が減少し、 $\alpha$ 波および $\beta$ 波の周波数帯域のパワー割合が増加して速波化していた。これは、鍼刺激に伴いリラックス状態から緊張あるいは活動状態へと変化していたことを表し、リラックス状態への変化を生じていたとは認められなかった。リラックス状態へと変化しない場合においても、鍼刺激は心循環器系に作用してHRを減少させることが示された。これについては、さらに、覚醒度が増加した下位群のみならず、覚醒度が減少した下位群においてもHRが有意に減少したことから裏付けられた。この時、覚醒度が増加した群においてはHRV指標値が副交感神経優位状態への有意な変化を示した。覚醒度が減少した群においてはこの変化に有意差が認められなかったが、HR減少反応の要因は相対的な副交感神経優位状態であるとの薬理学的手法による先行研究結果を考慮すると、この結果にはサンプルサイズの不足が関係している可能性が疑われる。サンプルサイズを増やしたうえでの再検証が必要であろう。本研究の結果としては、覚醒度の増減すなわちリラックス状態へと変化したか否かには係らずに、鍼刺激は心循環器系に関与し

て HR を減少させることが明らかとなった。また、鍼刺激に伴い覚醒度が増加して緊張状態あるいは活動状態に移行した場合において、心臓自律神経機能が相対的な副交感神経優位状態へと変化することが明らかになった。

ここで、鍼刺激に伴う HR 変化および自律神経機能の変化の機序については、Napadow らが鍼通電刺激時の脳幹各部の活性と HRV 解析結果の相関を調べ、視床下部、中脳水道周囲灰白質 (PAG)、延髄が関わって鍼刺激に伴い自律神経機能の変化を生じる事を報告している<sup>19)</sup>。

Beissner らは人を対象とした 機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) を用いた脳機能の研究結果から鍼刺激は侵害刺激であると結論し、人に対して鍼刺激が引き起こす心循環器系の反応は動物を対象とした先行研究結果から説明出来ると述べている<sup>4)</sup>。動物を対象とした先行研究からは、筋肉への侵害刺激により HR が減少し、この時自律神経機能が副交感神経優位となること、この中枢は中脳水道周囲灰白質腹外側部および視床下部にあることが明らかにされている<sup>1)2)3)5)13)18)</sup>。この心循環器系の変化には上位中枢からの入力に関与するとされるが<sup>2)3)</sup>が、一方で、徐能動物においても反射性に生じる<sup>2)3)</sup>。Uchida らも、麻酔下のラットにおいて筋肉への鍼様刺激は脳幹の GABA 作動性神経を刺激し、心臓への交感神経活動を抑制して HR を低下させる上脊髄性の反射性反応を生じると報告している<sup>26)</sup>。本研究の筋肉への鍼刺激は、相対的に皮膚への刺激に比べ筋肉への刺激が大きく、主に筋肉への刺激であったと考えてよいのかもしれない。本研究の結果、人においても、筋肉に至る鍼刺激が HR を減少させ自律神経機能を副交感神経優位状態へと変化させることが示唆された。

ところで、本研究では、徐波である  $\theta$  波 nu の変化量と HFnu および LF/HF の変化量との相関係数がそれぞれ弱い相関を示し、 $\theta$  波 nu の変化と自律神経機能の変化に関連があることが示された。 $\theta$  nu の増加は背景脳波の徐波化と関わることが推測されることから、この  $\theta$  波 nu と HFnu との間の正の、LF/HF との間の負の相関係数からは、鍼刺激により覚醒度が低下してリラックス状へと変化した場合には相対的な副交感神経優位状態を生じる事が疑われた。これは臨床経験とよく一致する。しかし、本研究では鍼刺激に伴い  $\theta$  波 nu が減少しており、交感神経優位状態への変化が期待される。本研究においては、 $\theta$  波 nu の減少に応じた相対的な交感神経優位状態への変化がもたらされていたであろうにもかかわらず、同時に、上述した覚醒度に係らない機序による副交感神経優位状態への変化がもたらされた結果、実際に観察されたのは副交感神経優位状態への変化であったと考えられた。本研究における鍼刺激に伴う一過性の HR 減少反応および自律神経機能の副交感神経優位状態への変化は、主として、覚醒度の変化に係らない機序によりもたらされ、この時同時に、 $\theta$  波 nu の減少に応じた相対的な交感神経優位状態へと向かう反応も併せて生じていたと考えられた。鍼刺激に伴う覚醒度変化が自律神経機能に与える効果とその機序については今後の検討課題である。

本研究では、鍼刺激に伴い一過性に HR が減少し同時に相対的な心臓副交感神経優位状態となっていることが HRV 解析結果から明らかとなったが、この時、HR 減少量と HRV 各指標の変化量には相関が認められなかった。この結果からは HR 減少反応が自律神経機能の変化によりもたらされるとは言えない。しかし、薬理学的研究手法を用いた先行研究結果からは、すでに、鍼刺激中の HR の減少の要因は自律神経機能の副交感神経優位状態への変化であることが明らかにされている。ここで、HRV 解析は心拍のゆらぎから間接的に自律神経機能を評価する手法であり、そ

の解析結果は個人の末梢神経の機能状態に左右されることを考慮すると、異なる被験者間での HRV 解析結果を集計しこれに基づいて HR 減少量と HRV 解析指標の変化量との相関を検証することには、慎重でなくてはならないであろう。そのため、HR 減少反応が自律神経機能の変化によりもたらされるとの薬理学的手法による先行研究結果を、本研究の結果から否定できるものではないと考えられた。同一被験者内での繰り返し測定の結果に基づいた検証が必要であろう。

## 5. 結語

鍼刺激に伴い一過性に HR が減少した。この時、自律神経機能は相対的な副交感神経優位状態へと変化していることが HRV 解析により確認された。HR は鍼刺激の痛み、心地良さの感覚によらずに有意に減少し、ひびきの感覚によらず減少したが、ひびきが無い場合における減少は有意ではなかった。自律神経機能は鍼刺激感覚によらずに副交感神経優位状態へと変化した。さらに、覚醒度の増減に係らず鍼刺激に伴い HR は減少し、覚醒度が増加しリラックス状態でなくなった場合においても自律神経機能は副交感神経優位状態へと変化した。

鍼刺激は、鍼刺激の痛み、心地良さの感覚、覚醒度の変化すなわちリラックス状態への変化には係らずに心循環器系に効果をおよぼして HR を減少させ、この時、心臓自律神経機能は鍼刺激感覚に係らずに副交感神経優位状態へと変化することが明らかとなった。また、鍼刺激に伴い覚醒度が増加して、リラックス状態から緊張状態あるいは活動状態へと変化した場合においても、心臓自律神経機能は副交感神経優位状態へと変化することが示された。

## 謝辞

本研究を実施するにあたって多大なご指導をいただきました、今井賢治教授、久島達也教授、玉井秀明先生、皆川陽一先生、脇英彰先生に深く感謝申し上げます。

## 利益相反に関する記載

開示すべき利益相反は無い。

## 参考文献

- 1) Bandler R, Shipley MT. Columnar organization in the midbrain periaqueductal gray: modules for emotional expression? Trends Neurosci. 1994; 17: 379-89.
- 2) Bandler R, Keay K A, Floyd N, et al. Central circuits mediating patterned activity during active vs. passive emotional coping. Brain Res Bull. 2000; 53(1): 95-104.
- 3) Bandler R, Carrive P, Zhang S. Integration of somatic and autonomic reactions within the midbrain periaqueductal gray: Viscerotopic, somatotopic and functional organization. Prog Brain Res. 2006; 87: 269-305.
- 4) Beissner F, Dichmann R, Henke C, et al. Acupuncture-Deep pain with an autonomic dimension? Neuroimage. 2012; 60: 653-60.
- 5) Bernard JF, Bandler R. Parallel circuits for emotional coping behavior: new pieces in the puzzle. J Comp Neurol. 1998; 401: 429-36.
- 6) Chung JW, Yan VC, Zhang H. Effect of acupuncture on heart rate variability: a systematic review. Evid Based Complement Alternat Med. 2014; 2014: 819871. doi: 10.1155/2014/819871.
- 7) 江部充, 本間伊沙子. 図解脳波テキスト 第2版. 文光堂: 東京: 2006; 40-2.
- 8) 猪狩淳, 中原和彦. 標準臨床検査医学 第3版. 医学書院: 東京: 2006, 376.
- 9) 今井賢治. 鍼刺激が引き起こすヒトの胃電図、瞬時心拍数および交感神経皮膚反応の変化とその機序に関する研究. 明治鍼灸医学. 1996; 19: 45-55.
- 10) Imai K, Kitakoji H. Comparison of transient heart rate reduction associated with acupuncture stimulation in supine and sitting subjects. ACP IN MED. 2003; 21(4): 133-7.
- 11) 柿木隆介. 生理的な痛覚情報認知機構. ペインクリニック. 2009; 30(7): 895-904.
- 12) Kawakita K, Shinbara H, Imai K, et al. How do acupuncture and moxibustion act? - Focusing on the progress in Japanese acupuncture research-. J Pharmacol Sci. 2006; 100(5): 443-59
- 13) Keay KA, Bandler R. Distinct central representation of inescapable and escapable pain: observation and speculation. Exp. Physiol. 2006; 87(2): 275-9.
- 14) 木村研一、米山裕和、今井賢治. 鍼刺激による心拍変動スペクトル解析の変化と起立負荷による影響について. 自律神経. 2004; 41(3): 365-72.
- 15) Kurono Y, Minagawa M, Ishigami T, et al. Acupuncture to Danzhong but not to Zhongting increases the cardiac vagal component of heart rate variability. Auton Neurosci. 2011; 161: 116-20.
- 16) 黒野保三、各務壽紀、皆川宗徳ら. 心拍変動解析による鍼刺激に対する自律神経反応の評価—腹部鍼刺激に対する自律神経反応の評価—. 自律神経. 2012; 49(4): 251-6.
- 17) Lee S, Lee MS, Choi JY, et al. Acupuncture and heart rate variability: a systematic review. Auton Neurosci. 2010; 155: 5-13.
- 18) Lumb BM. Hypothalamic and midbrain circuitry that distinguishes between escapable and inescapable pain. News Physiol Sci. 2004; 19: 22-6.

- 19) Napadow V, Dhond RP, Purdon P, et al. Correlating acupuncture fMRI in the human brainstem with heart rate variability. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2005; 5: 4496-9.
- 20) 奈良上眞, 和辻直, 渡邊勝之ら. 「得気」についての文献的考察. *明治鍼灸医学.* 1991; 8: 1-13.
- 21) Nishijo K, Mori H, Yoshikawa K, et al. Decreased heart rate by acupuncture stimulation in humans via facilitation of vagal cardiac activity and suppression of cardiac sympathetic nerve. *Neurosci Lett.* 1997; 227: 165-8.
- 22) 斎藤正範. 覚醒度を脳波で把握する. *精神経誌.* 2008; 110(9): 843-8.
- 23) 佐藤光源, 松岡洋夫 編集. 最新臨床脳波学. 朝倉書店: 東京: 2006; 94-5.
- 24) Sakai S, Hori E, Umeno K, et al. Specific acupuncture sensation correlates with EEGs and autonomic changes in human subjects. *Auton Neurosci.* 2007; 133: 158-69.
- 25) Sugiyama Y, Xue Y-X, Mano T. Transient increase in human muscle sympathetic nerve activity during manual acupuncture. *Jpn J Physiol.* 1995; 45: 337-45.
- 26) Uchida s, Kagitani F, Hotta H. Neural mechanisms of reflex inhibition of heart rate elicited by acupuncture-like stimulation in anesthetized rats. *Auton Neurosci.* 2010; 157: 18-23.
- 27) 渡辺正仁, 早崎華, 由留木裕子. 痛みのメカニズムと鎮痛. *保健医療学雑誌.* 2017; 8(1): 50-63.
- 28) Wang D, Bai XX, Williams SC, et al. Modafinil Increases awake EEG activation and improves performance in obstructive sleep apnea during continuous positive airway pressure withdrawal. *Sleep.* 2015; 38(8): 1297-1303.
- 29) 山崎まどか, 松浦雅人. 成人および高齢者の脳波. *臨床神経生理学.* 2014; 42(6): 387-92.
- 30) 山崎まどか, 松浦雅人. 成人基礎脳波. *検査と技術.* 2008; 36(6): 512-7.
- 31) 矢野忠, 福田文彦: 心身医学的な病態に対する鍼灸治療の効果と脳報酬系に及ぼす影響. *心身医.* 2008; 48(1): 17-28.

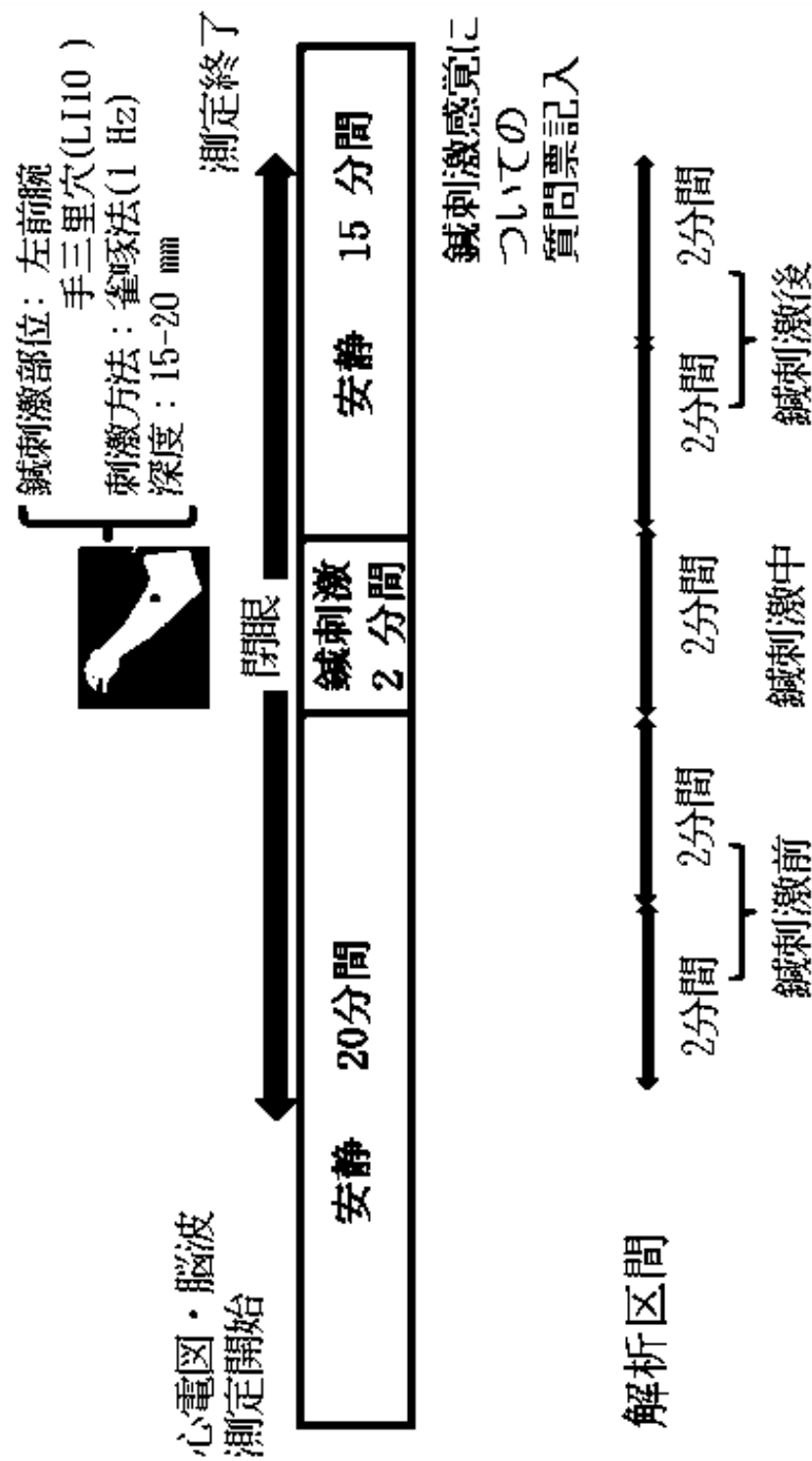


図 1. 実験手順及び解析区間

心電図及び脳波を測定しながら、15 分間の開眼安静状態の後、被験者に閉眼を指示し、閉眼後 5 分経過した時点で、被験者の左前腕手三里穴に 2 分間鍼刺激を行った。鍼刺激終了から 5 分経過後に被験者に開眼を指示し、その後 10 分間、開眼安静状態で測定を継続し、測定を終了した。解析区間は、鍼刺激開始 4 分前、刺激鍼開始 2 分前、鍼刺激開始後、鍼刺激終了後、鍼刺激終了 2 分後からの各 2 分間とした。



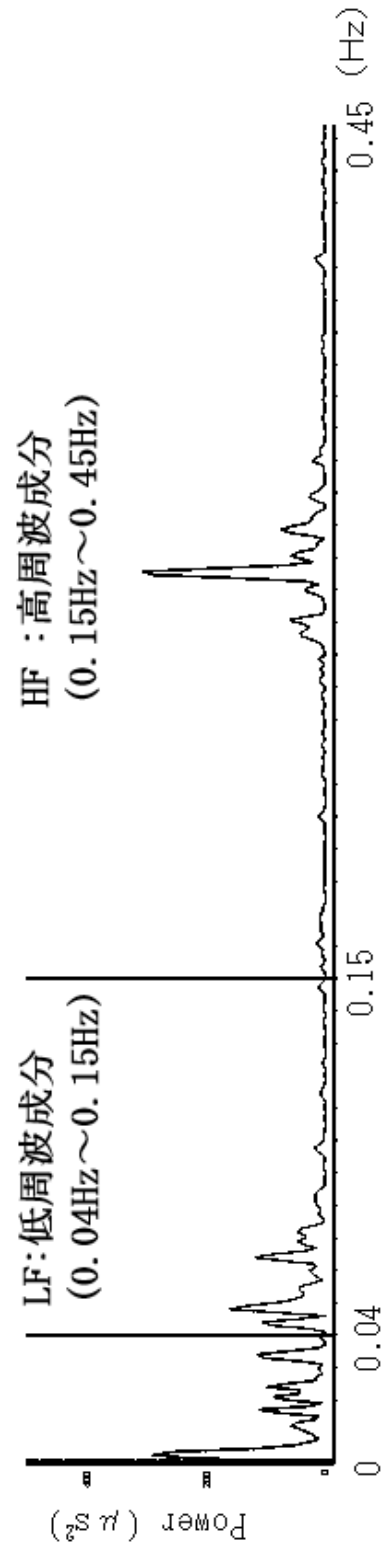


図 2. 心拍変動 (HRV) 解析

心電図波形の心拍変動 (心拍のゆらぎ) を周波数解析することでパワースペクトルが得られる。自律神経機能の評価指標は、このスペクトルの低周波成分 (LF) および高周波成分 (HF) のパワー値から算出された。

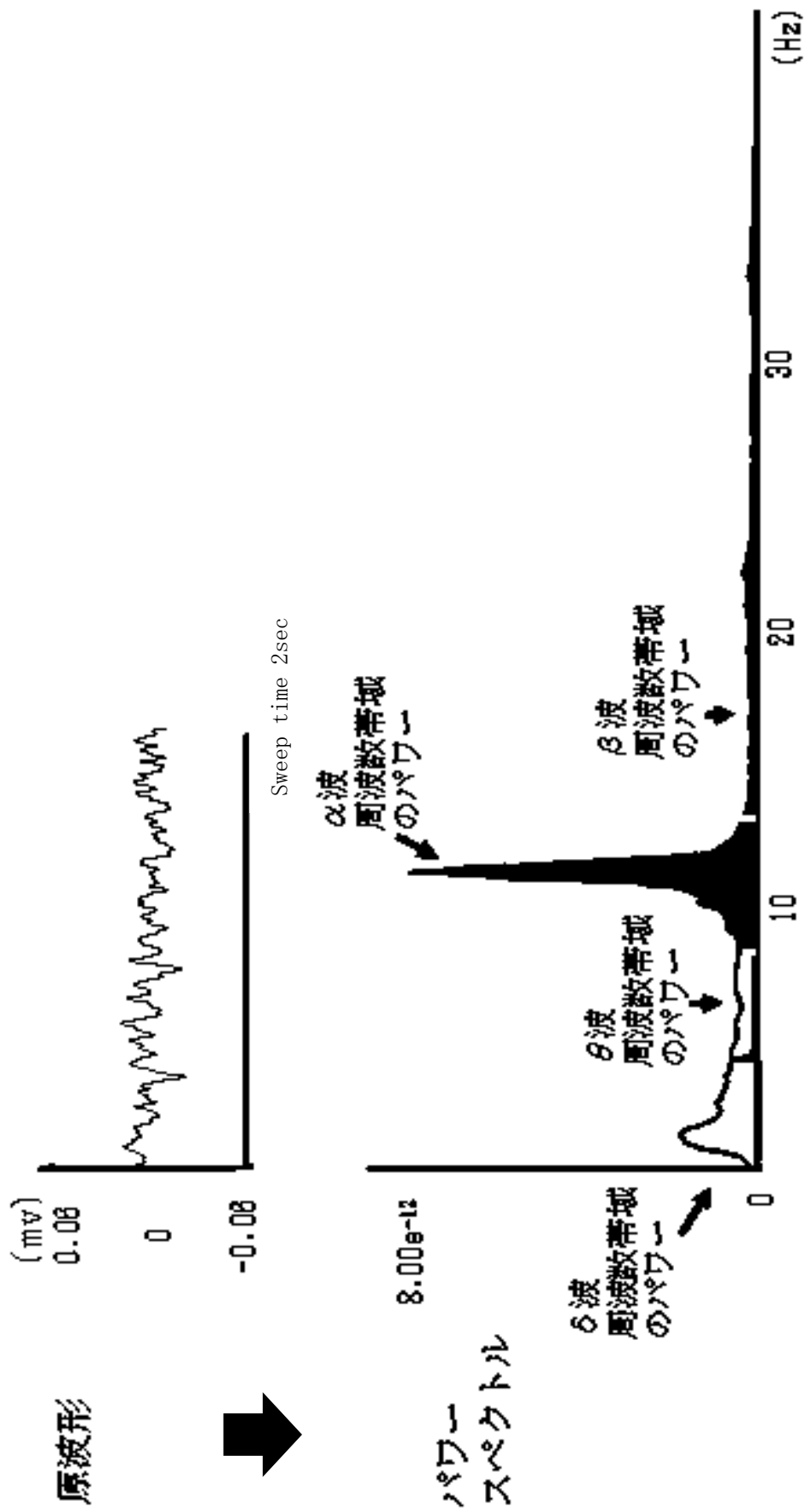


図 3. 背景脳波の周波数解析

原波形に周波数解析を行って背景脳波（基礎律動）のスペクトルを描出した。得られたスペクトルを、 $\delta$  波、 $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波の周波数帯域に区切って各周波数帯域のパワー値を算出し、それらのパワー割合の変化から背景脳波の周波数変化を評価した。

年 月 日  
被験者 No.

鍼刺強感のヒヤリングシート

年齢 歳 性別 (男・女)

・今日の体調はどうですか？

① とても良い  
② 良い  
③ 普通  
④ 悪い  
⑤ とても悪い

I. 痛みの強さ

雀啄刺激中の痛みについて教えてください

想定できる最も強い痛みを 100、全く痛みを感じない時を 0 として 雀啄刺激中の痛みの大きさを評価したうえで 該当する位置に印をつけてください

0 100

雀啄中に、時間経過に従って痛みの強さに変化があった場合には、痛みの強さの時間経過を教えてください

II. ひびき

雀啄刺激中のひびきについて教えてください

① 面え難い強さのひびきを感じた  
② かなり強いひびきを感じた  
③ 弱いひびきを感じた  
④ 刺激を感じたが ひびきは感じなかった  
⑤ 何も感じなかった

III. 鍼刺激の感覚

雀啄刺激中の鍼刺激の心地よさの感覚について教えてください

① 大変に不快だった  
② どちらかと言えば不快だった  
③ 快でも不快でもなかった  
④ どちらかと言えば心地よかった  
⑤ 大変心地よかった

IV. 心拍数の変化

鍼刺激中に心拍数がどのように変化したと感じたか、教えてください

① 心拍数が上がった  
② 心拍数に変化はなかった  
③ 心拍数が下がった

・測定中、寒くはありませんでしたか

・測定中、音が気になりませんでしたか

その他、気になったことがありましたら 記入願います

ご協力 ありがとうございます

図4. 鍼刺激感覚の質問票



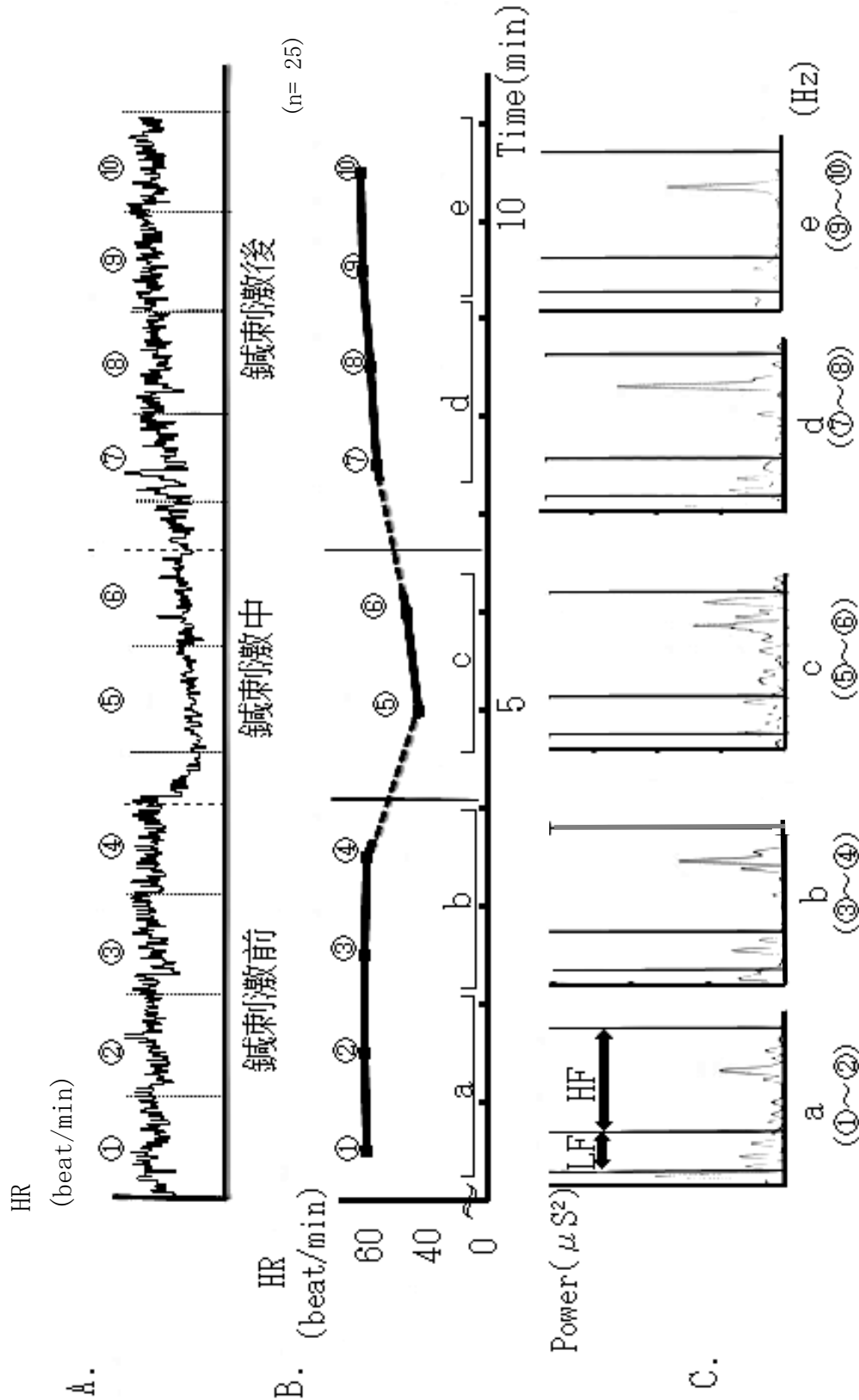


図 6. 鉅束刺激に伴う HR 減少反応時の HRV スペクトルの変化 (典型例)

A: 1 分毎の平均 HR の変化 (典型例)、B: 1 分毎の平均 HR の変化、C: 心拍変動解析によるスペクトル (2 分間) (典型例)  
心拍数は鉅束刺激中に減少し、鉅束刺激後には回復した (A、B) が、この時、HRV スペクトル (典型例) では、鉅束刺激中に HF のパワーが増加し、鉅束刺激後には減少している (C)。

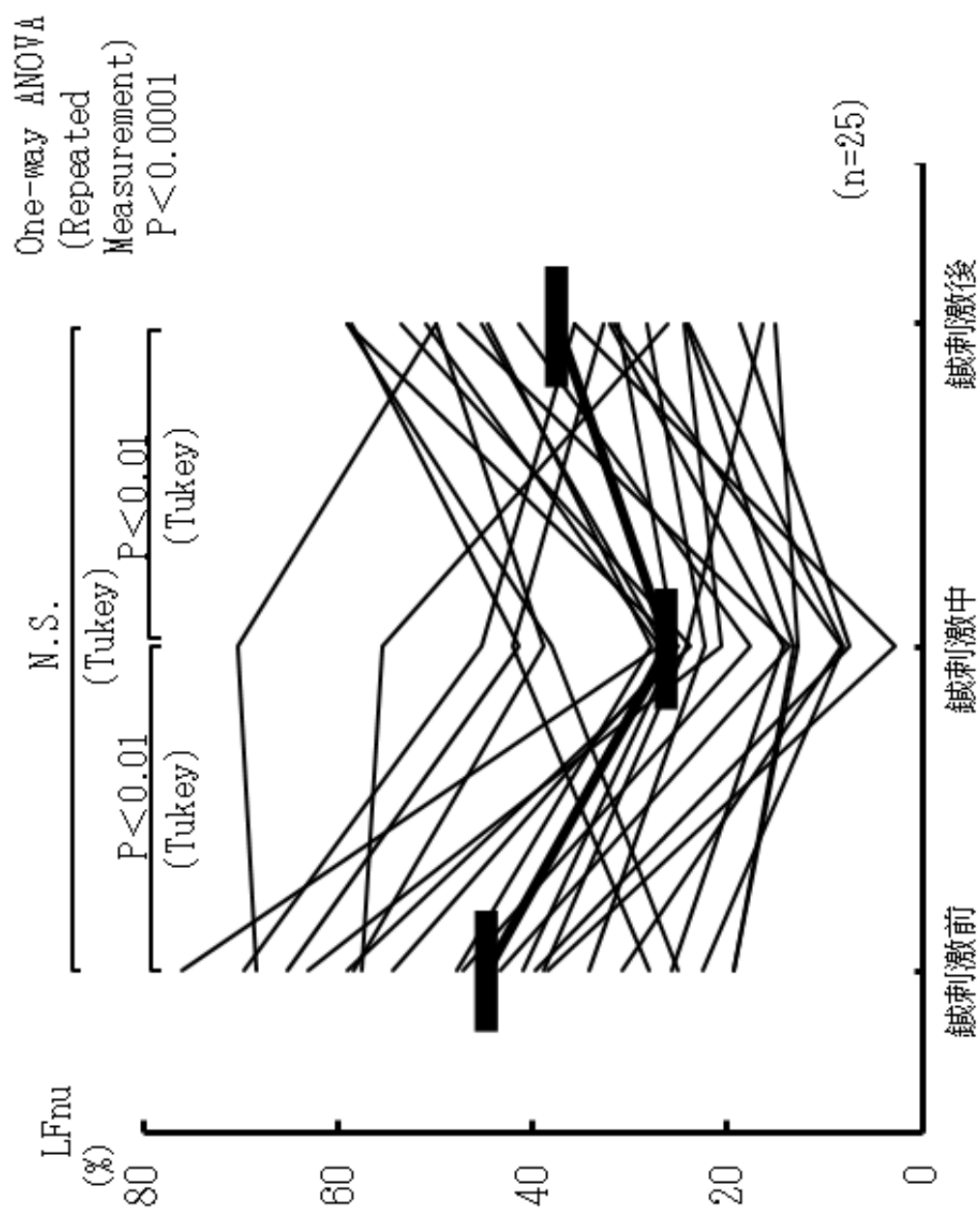


図 7. 鍼刺激に伴う LFnu の変化

LFnu は鍼刺激中有意に減少し、鍼刺激終了後は有意に増加した。鍼刺激前と鍼刺激後における LFnu の値に有意差は無かった。

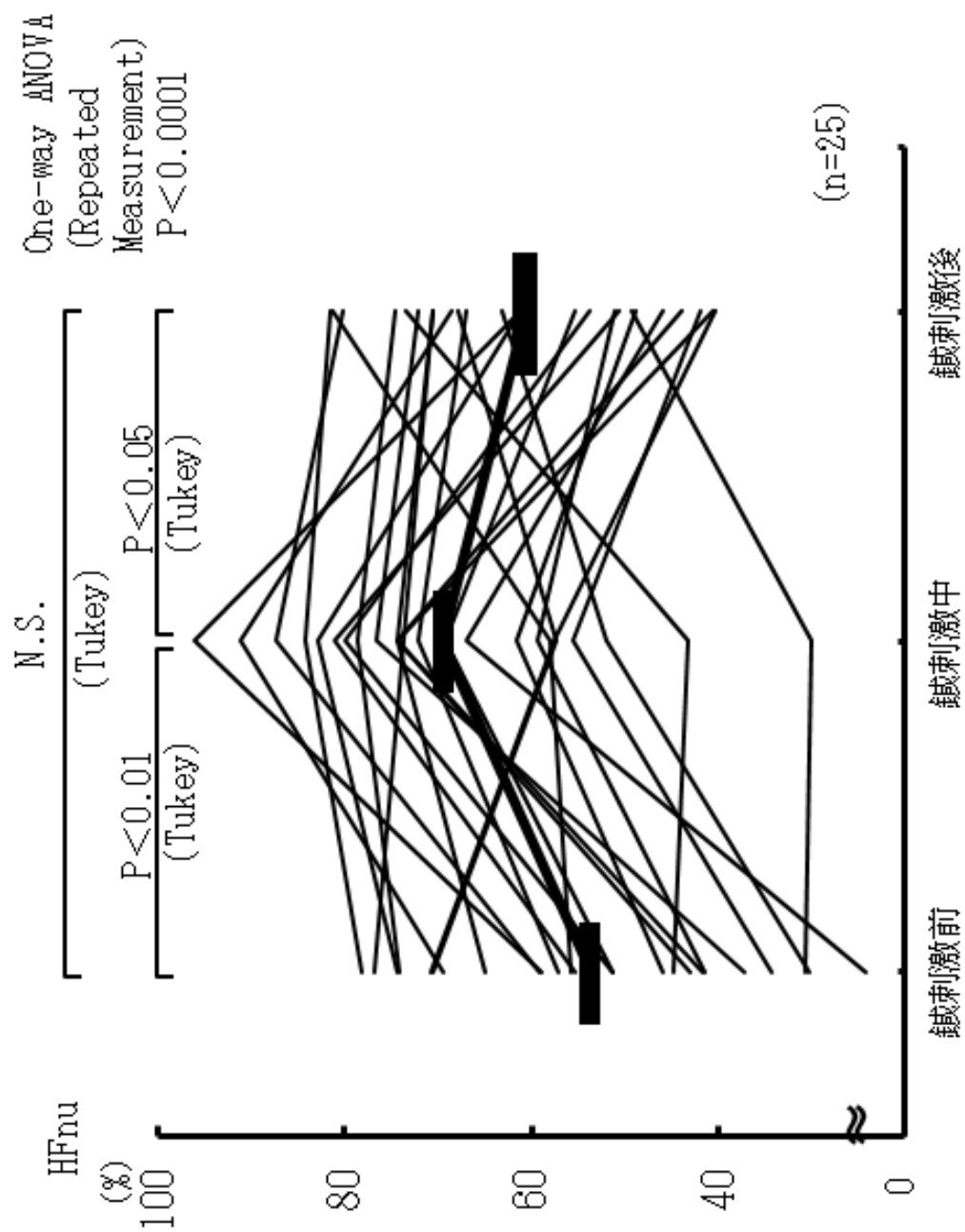


図 8. 鉦刺激に伴う HFnu の変化

HFnu は鉦刺激終了後には減少した。鉦刺激前と鉦刺激後における HFnu の値に有意差は無かった。

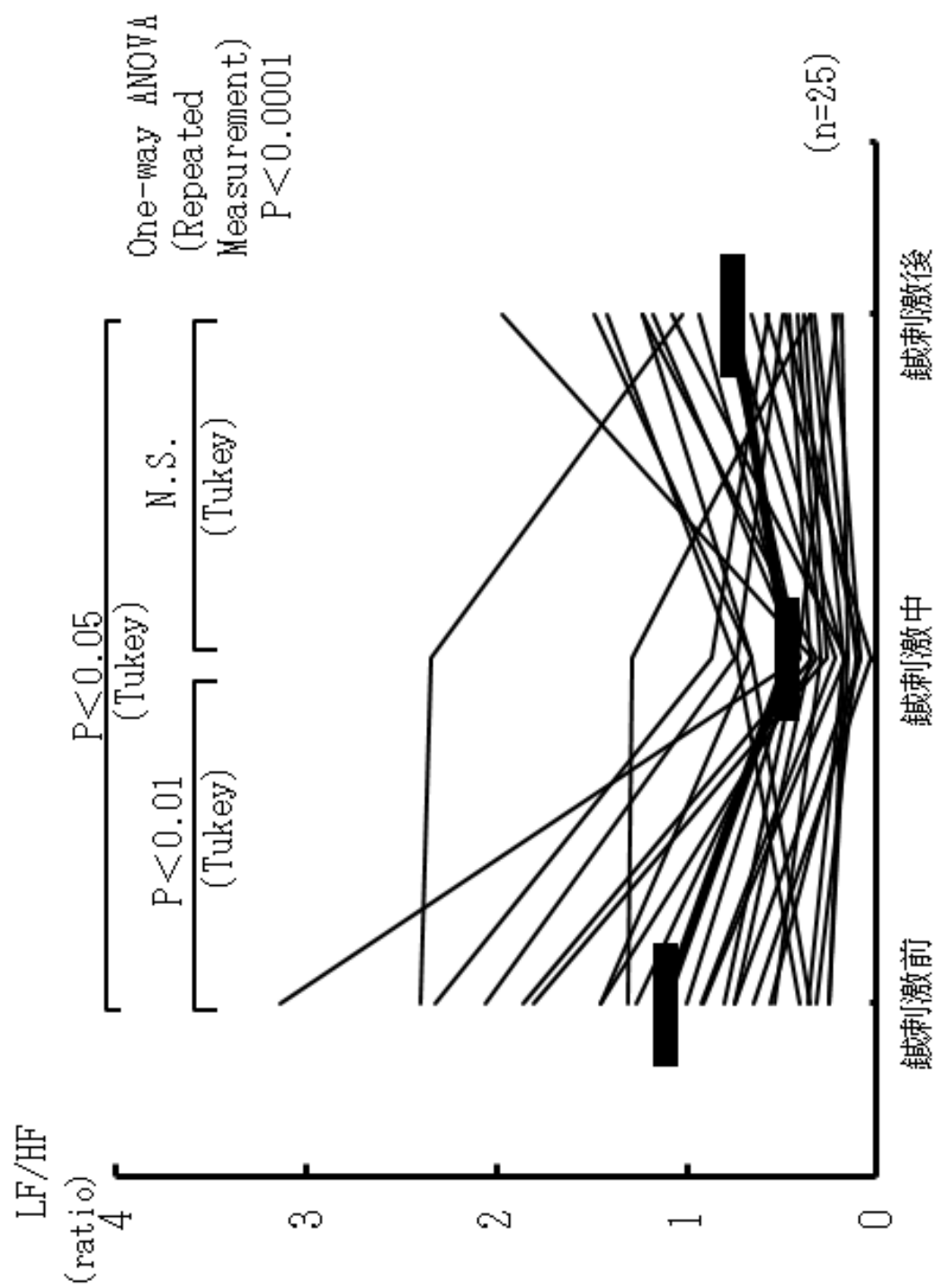


図 9. 鉅刺激に伴う LF/HF の変化  
LF/HF は鉅刺激中減少し、鉅刺激終了後にも減少状態が続いた。



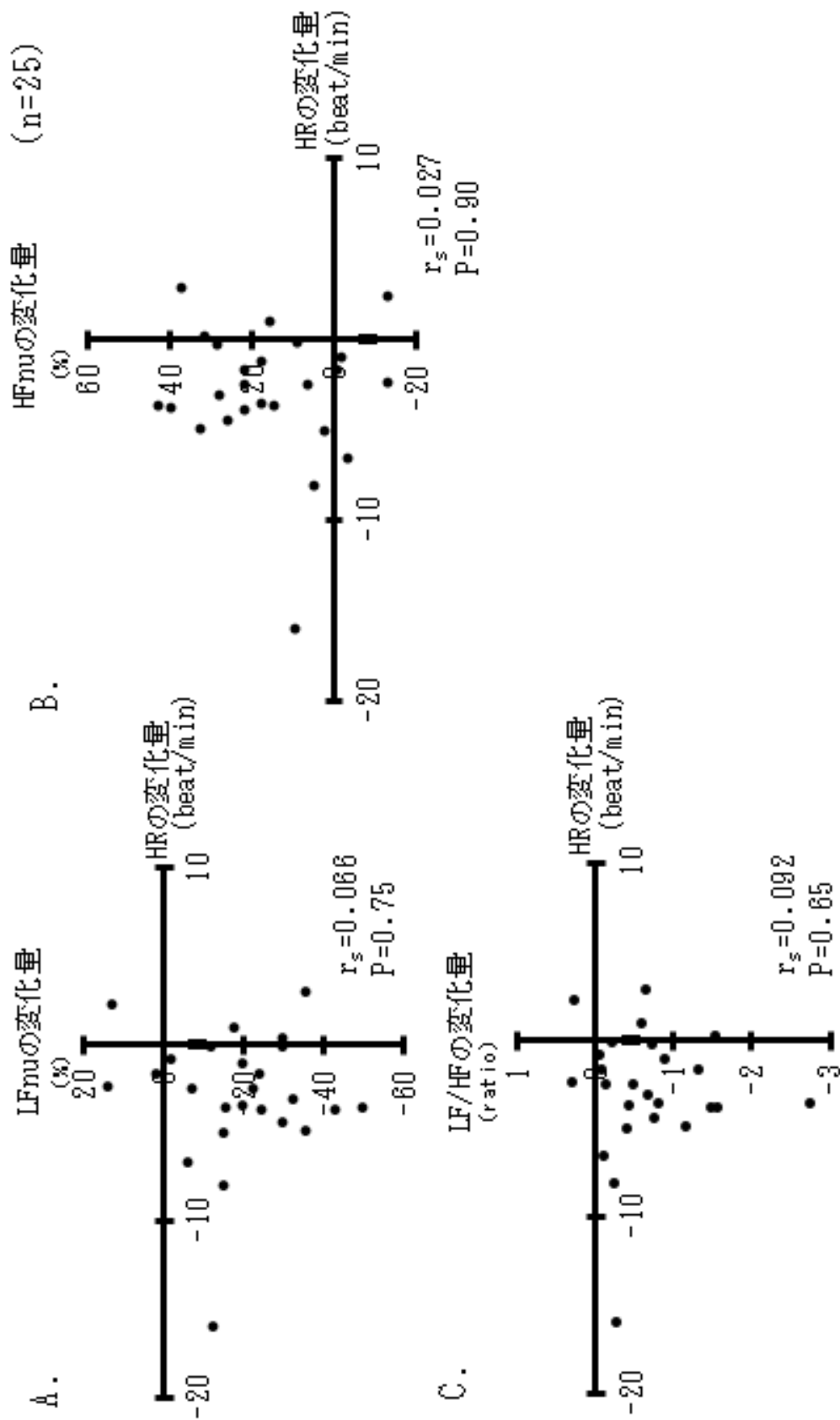


図 10. 鍼刺激に伴う HR の変化量と HRV 各指標の変化量との相関

A: HR の変化量と LFnu の変化量との相関、B: HR の変化量と HFnu の変化量との相関、C: HR の変化量と LF/HF の変化量との相関  
 鍼刺激に伴う HR の減少量と HRV 各指標の変化量には、いずれも相関が無かった。

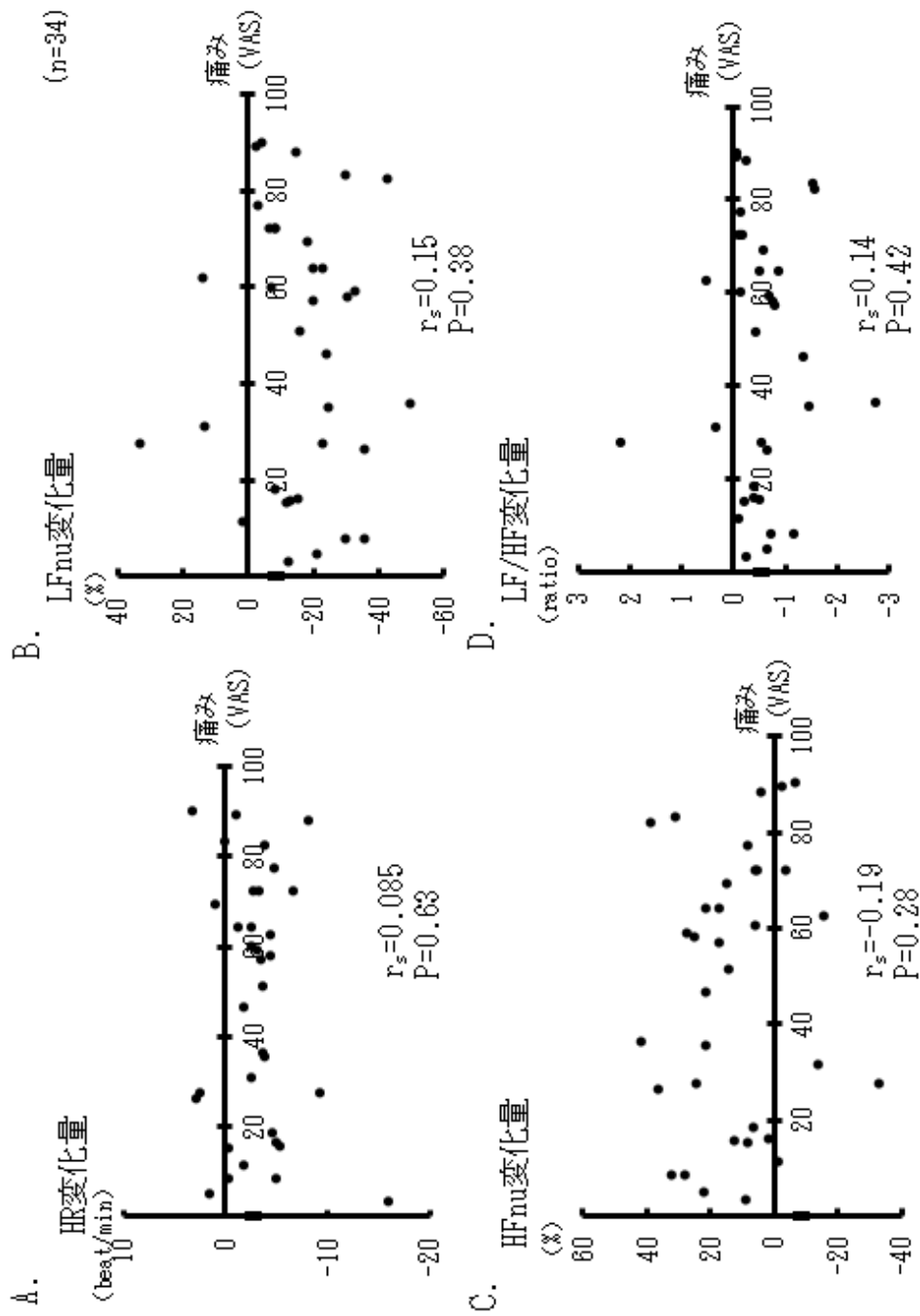


図 11. 鍼刺激の痛みの強さ (VAS) と HR および HRV 各指標の相関

A: 痛みの強さと HR の変化量との相関、B: 痛みの強さと LFnü の変化量との相関

C: 痛みの強さと HFnu の変化量との相関、D: 痛みの強さと LF/HF の変化量との相関

鍼刺激の痛みの強さと HR の変化量との間に相関は無かった。鍼刺激の痛みの強さと HRV 各指標の変化量との間にも相関は無かった。

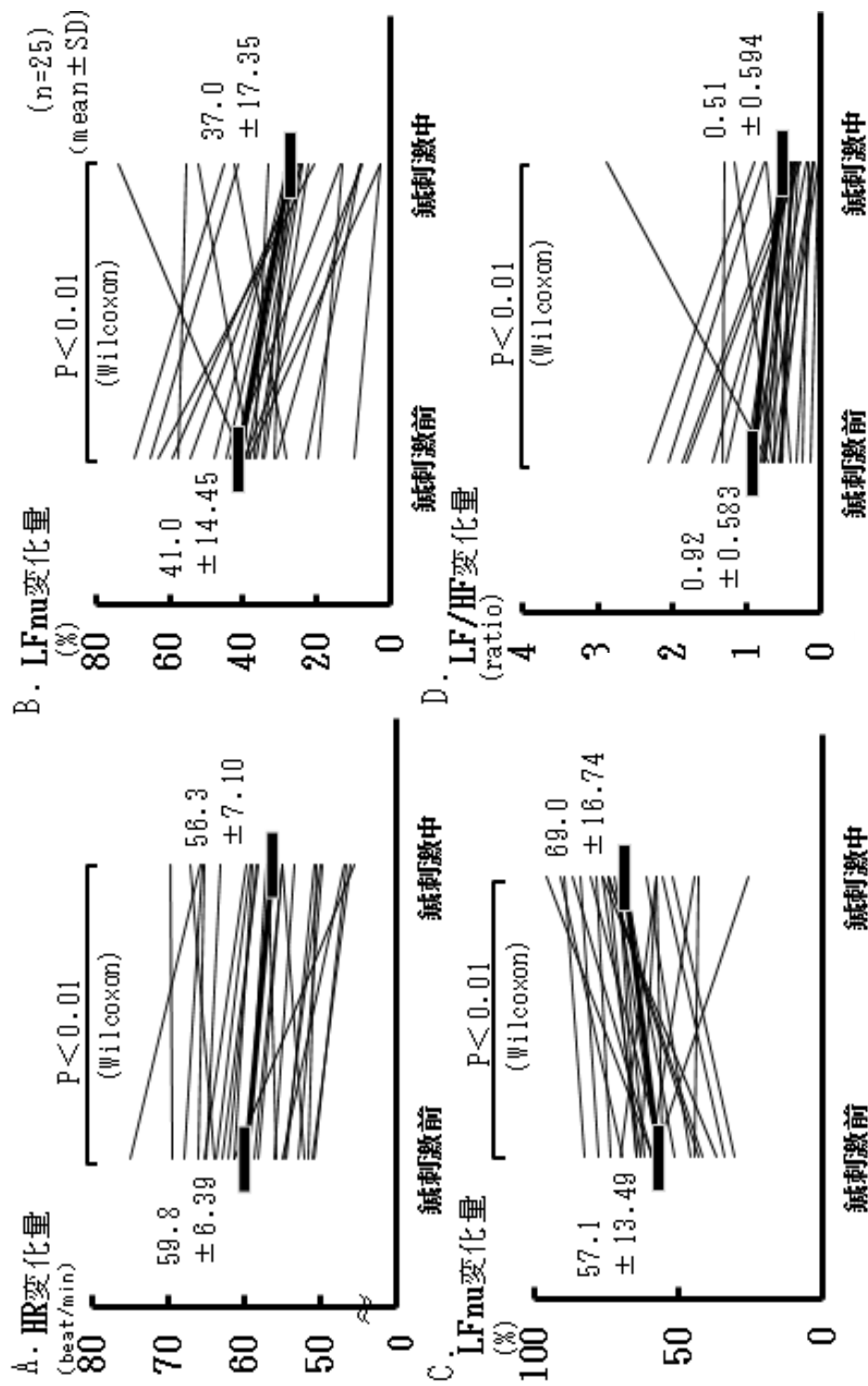


図 12. ひびきを感じた群 (n=25) (かなり強いひびきを感じた群 (n=12) と、弱いひびきを感じた群 (n=13) の合計群) における、鍼刺激に伴う HR および HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

鍼刺激のひびきを感じた群においては、鍼刺激に伴い HR が有意に減少した。また、この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加、LF/HF は有意に減少していた。

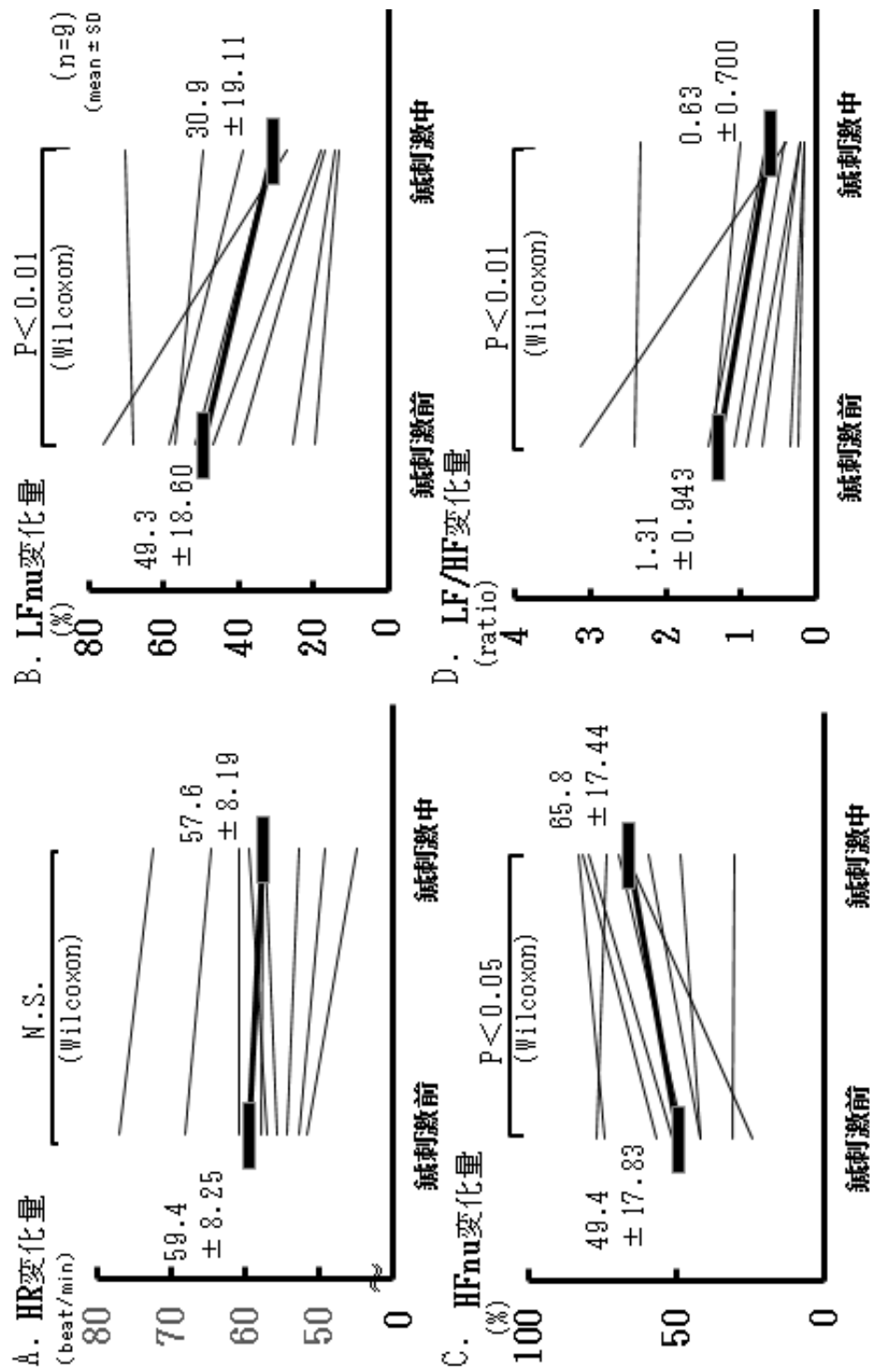


図 13. ひびきを感じなかった群 (n=9) (何も刺激を感じなかった群 (n=4) と、刺激は感じたがひびきは感じなかった群 (n=5) の合計群) における、鍼刺激に伴う HR および HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

鍼刺激のひびきを感じなかった群においては、鍼刺激に伴い HR は減少したが、その減少は有意ではなかった。この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加、LF/HF は有意に減少していた。

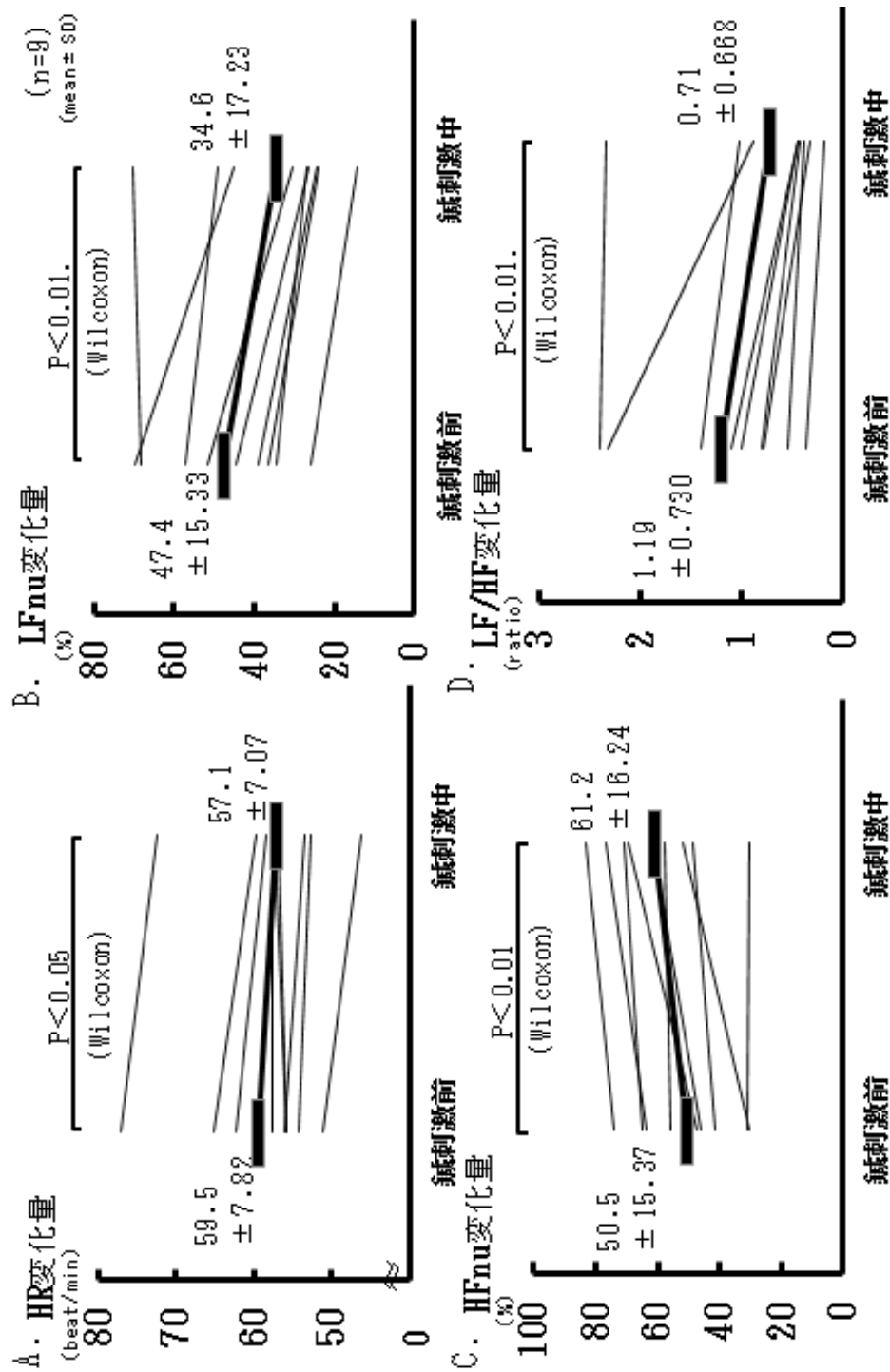


図 14. 鍼刺激が心地良かった群 (n=9) (どちらかと言えば心地良かった群 (n=7) と大変心地良かった群 (n=2) の合計群) における、鍼刺激に伴う HR および HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

鍼刺激が心地良かった群においては、鍼刺激に伴い HR が有意に減少した。また、この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加、LF/HF は有意に減少していた。

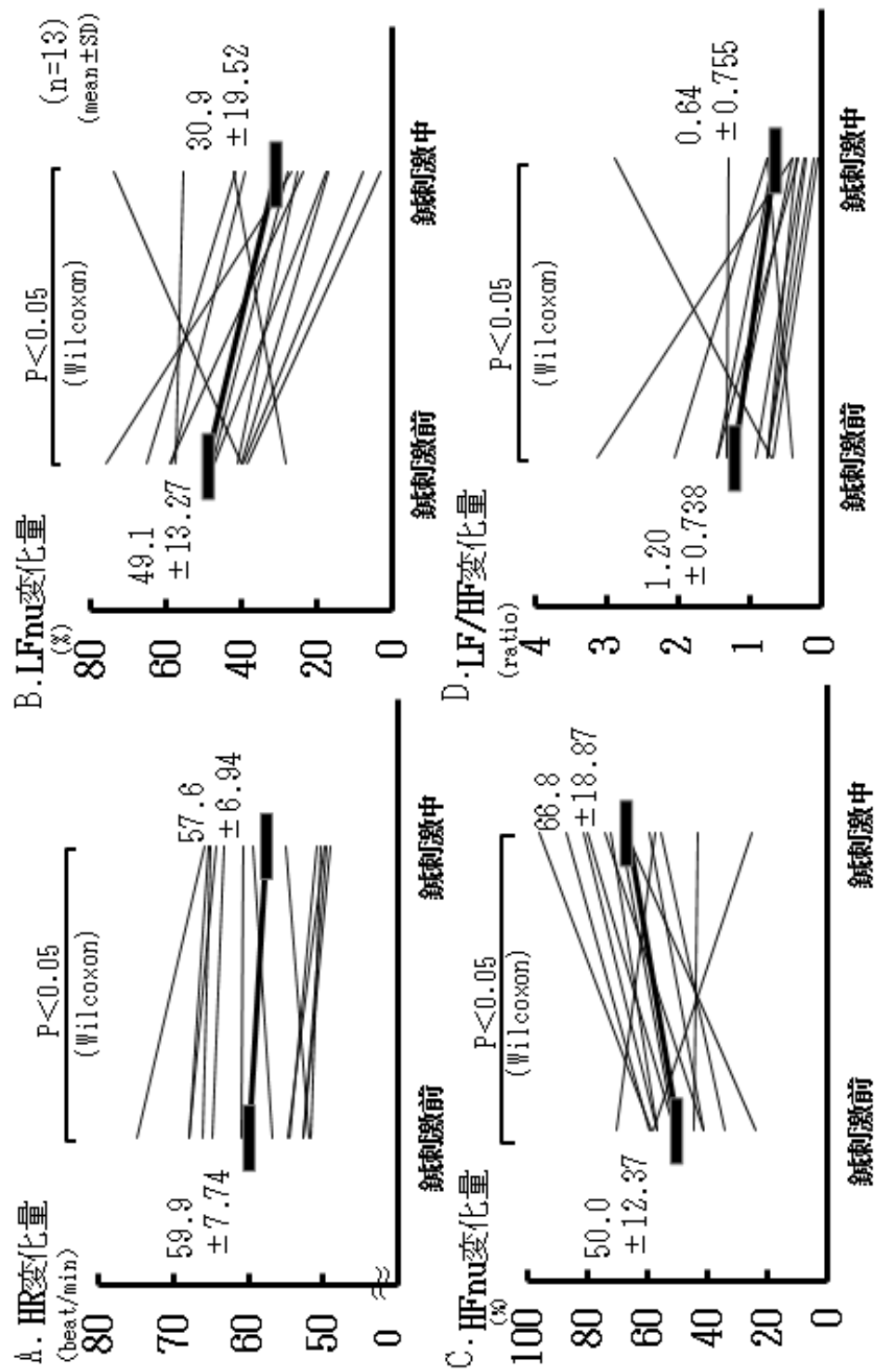


図 15. 鍼刺激が快でも不快でもなかった群 (n=13) における、鍼刺激に伴う HR および HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

鍼刺激が快でも不快でもなかった群においては、鍼刺激に伴い HR が有意に減少した。また、この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加、LF/HF は有意に減少していた。

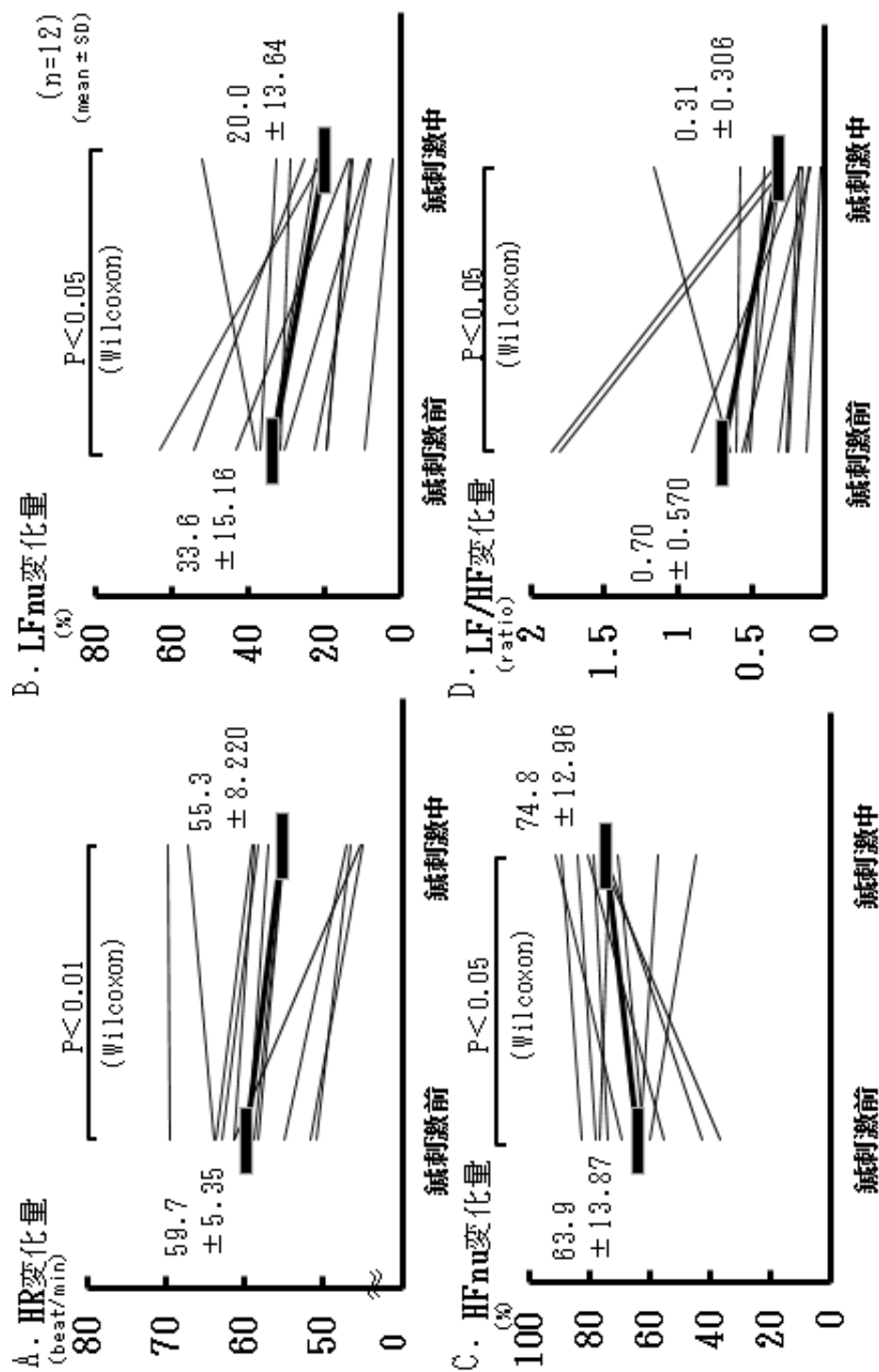


図 16 鍼刺激が不快であった群 (n=12) (どちらかと言えば不快であった群 (n=12) と大変不快であった群 (n=0) の合計群) における、鍼刺激に伴う HR および HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

鍼刺激が不快であった群においては、鍼刺激に伴い HR が有意に減少した。また、この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加、LF/HF は有意に減少していた。

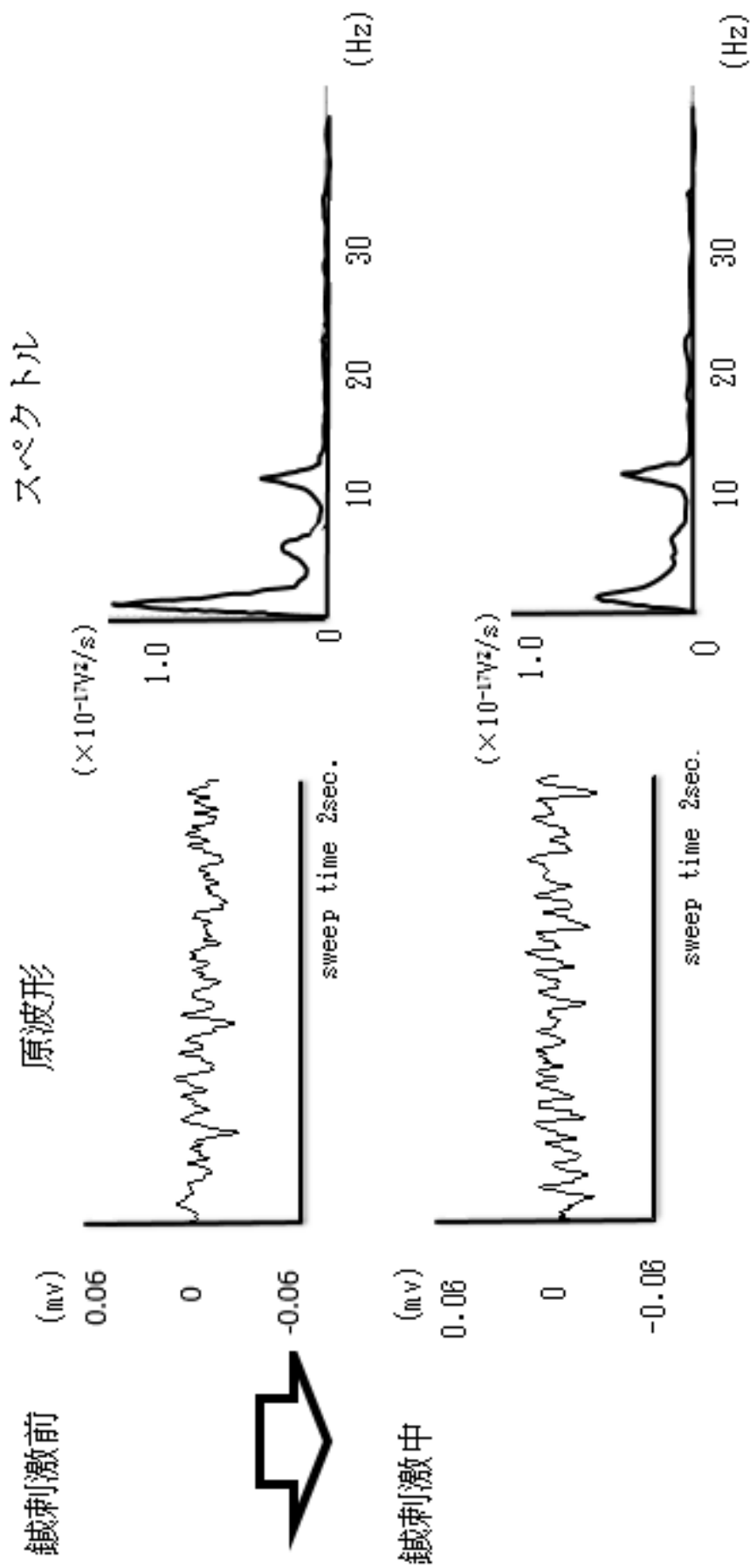


図 17. 脳波原波形および背景脳波スペクトルの変化 (典型例)

鍼刺激前と鍼刺激中それぞれの脳波原波形に対し周波数解析を行って、スペクトルを描出した。これらスペクトルからは、鍼刺激に伴い徐波の周波数帯域のパワーが減少していることが明らかである。



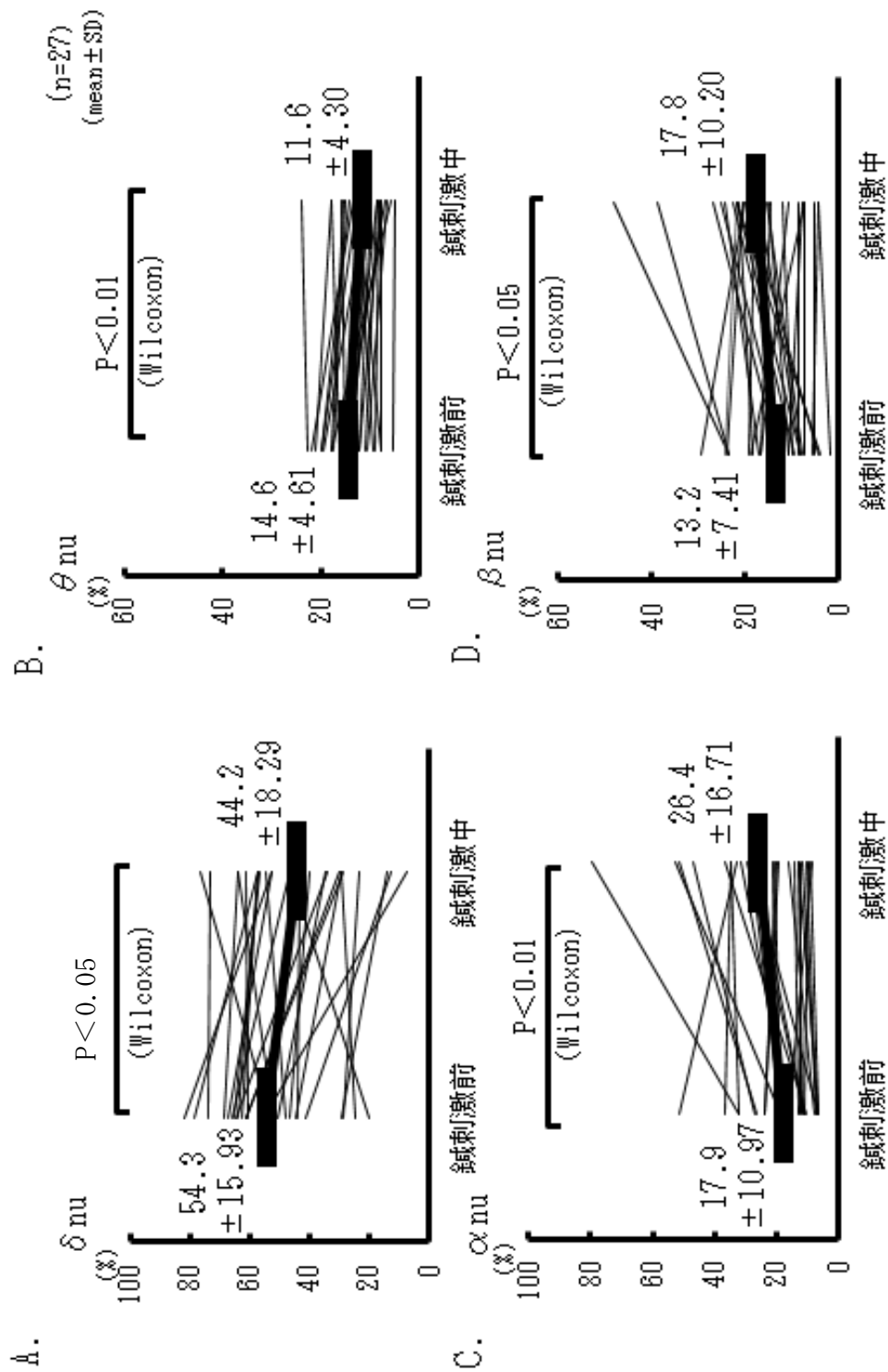


図 18. 鍼刺激に伴う背景脳波 nu の変化

A:  $\delta$  波 nu の変化、B:  $\theta$  波 nu の変化、C:  $\alpha$  波 nu の変化、D:  $\beta$  波 nu の変化

鍼刺激に伴い  $\delta$  波 nu、 $\theta$  波 nu は有意に減少し、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu は有意に増加した。背景脳波は全体として速波化した。

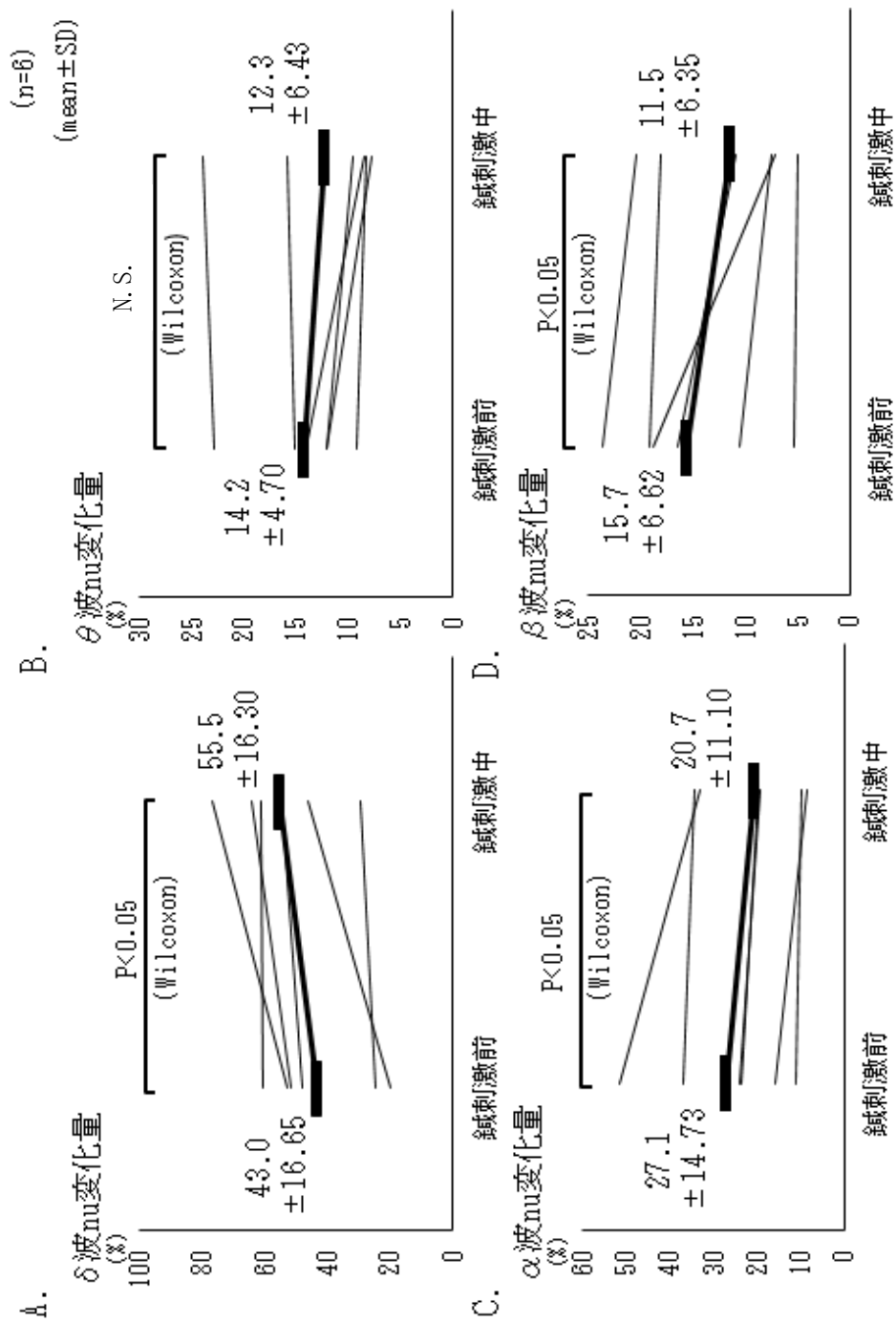


図 19.  $\delta$  波 nu の増加した群における背景脳波 nu の変化

A:  $\delta$  波 nu の変化、B:  $\theta$  波 nu の変化、C:  $\alpha$  波 nu の変化、D:  $\beta$  波 nu の変化

$\delta$  波 nu の増加した群においては、鍼刺激に伴い  $\delta$  波 nu は有意に増加し、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu は有意に減少した。 $\theta$  波 nu は減少した群ではなかった。 $\delta$  波 nu の増加した群においては、背景脳波が全体として徐波化していた。

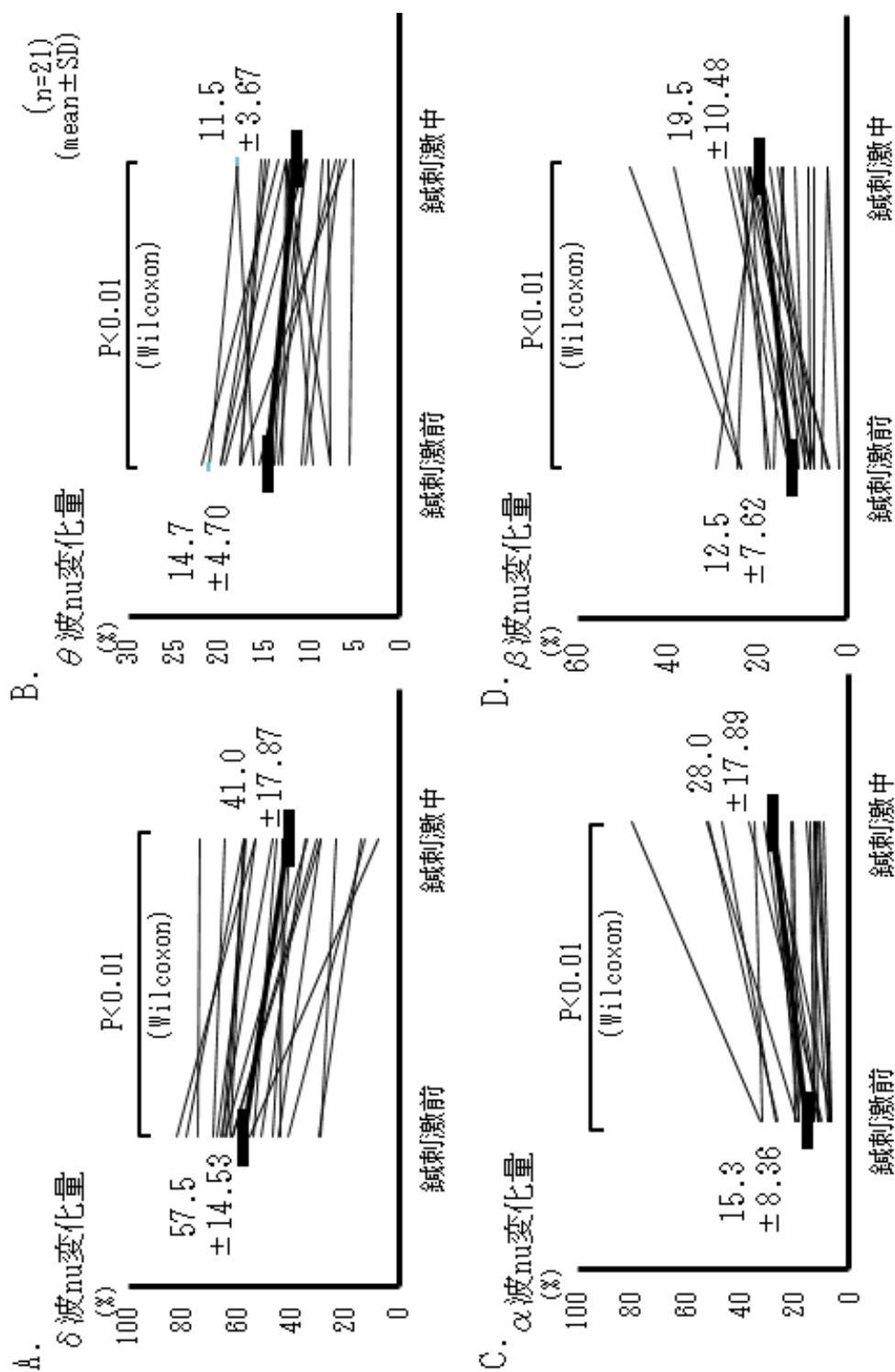


図 20.  $\delta$  波 nu の減少した群における背景脳波 nu の変化

A:  $\delta$  波 nu の変化、B:  $\theta$  波 nu の変化、C:  $\alpha$  波 nu の変化、D:  $\beta$  波 nu の変化

$\delta$  波 nu の減少した群においては、鍼刺激に伴い  $\delta$  波 nu、 $\theta$  波 nu は有意に減少し、 $\alpha$  波 nu、 $\beta$  波 nu は有意に増加した。背景脳波は全体として速波化していた。

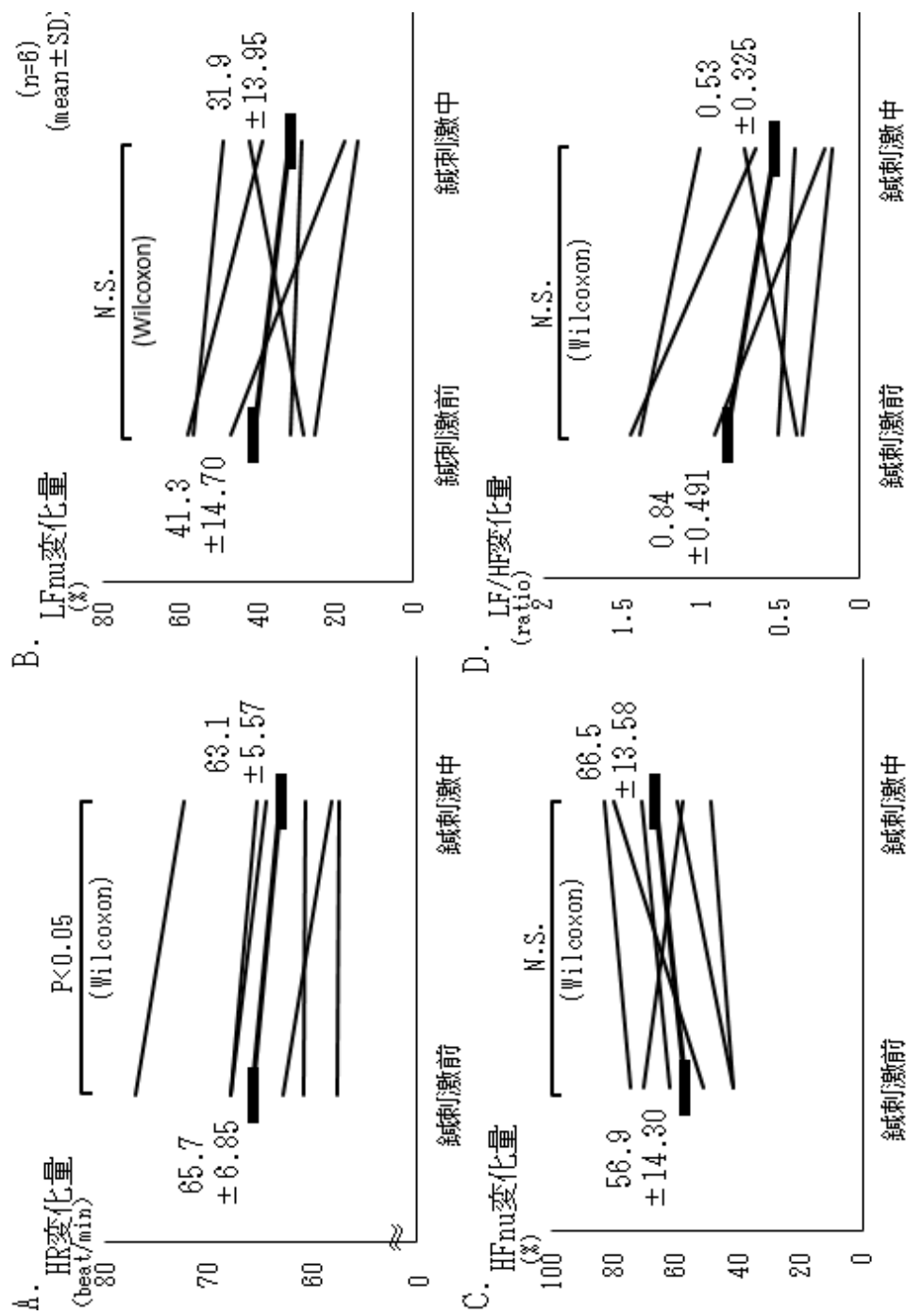


図 21.  $\delta$  波 nu の増加した群における HR、HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

$\delta$  波 nu の増加した群においては、 $\delta$  波 nu の増加に伴い一過性に HR が減少した。この時、LFnu は減少し、HFnu は増加し、LF/HF は減少していたが、これらの変化はいずれも有意ではなかった。

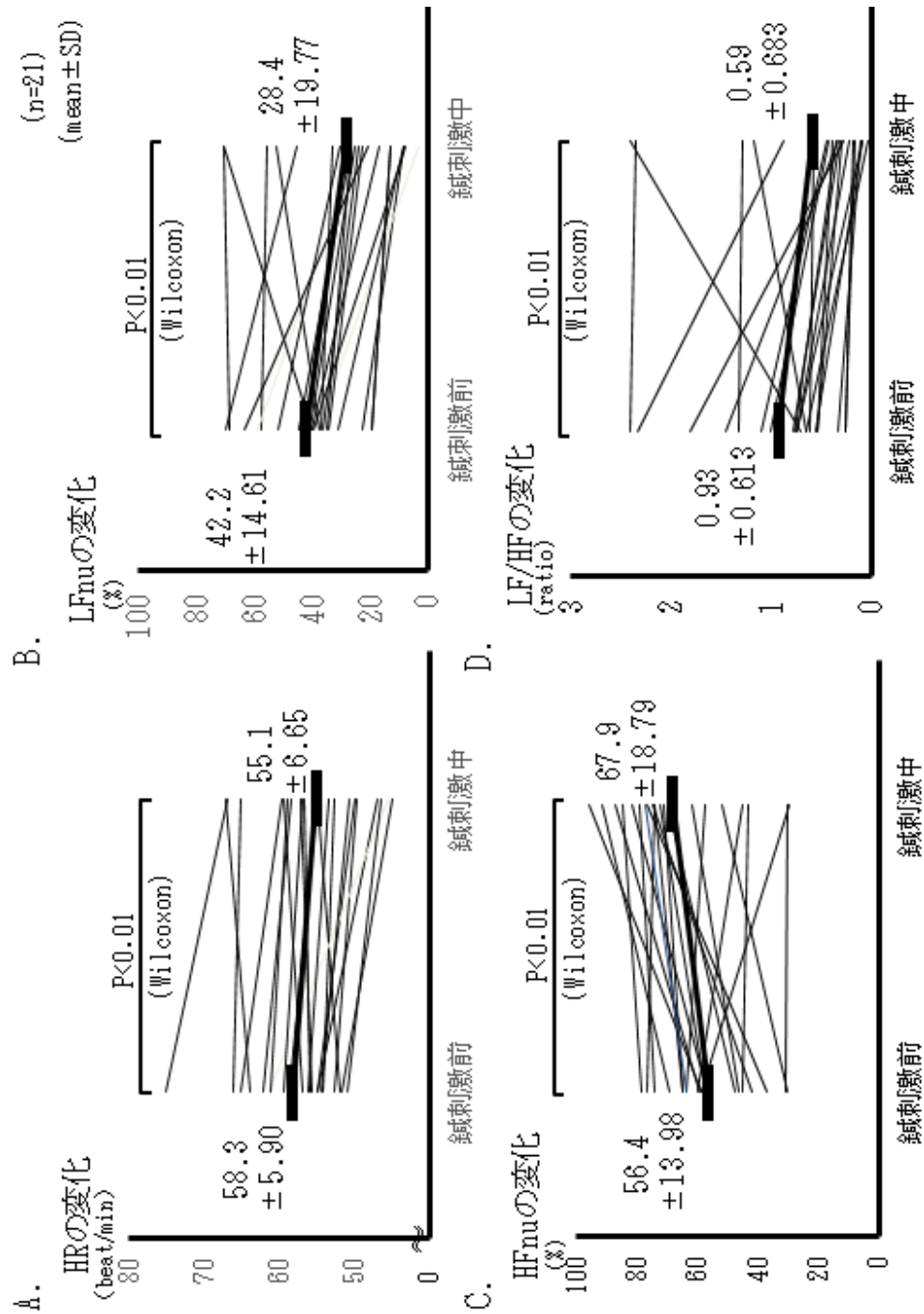


図 22.  $\delta$ 波 nu の減少した群における HR、HRV 各指標の変化

A: HR の変化、B: LFnu の変化、C: HFnu の変化、D: LF/HF の変化

$\delta$ 波 nu の減少した群においては、鍼刺激に伴い一過性に HR が減少した。この時、LFnu は有意に減少し、HFnu は有意に増加し、LF/HF は有意に減少していた。

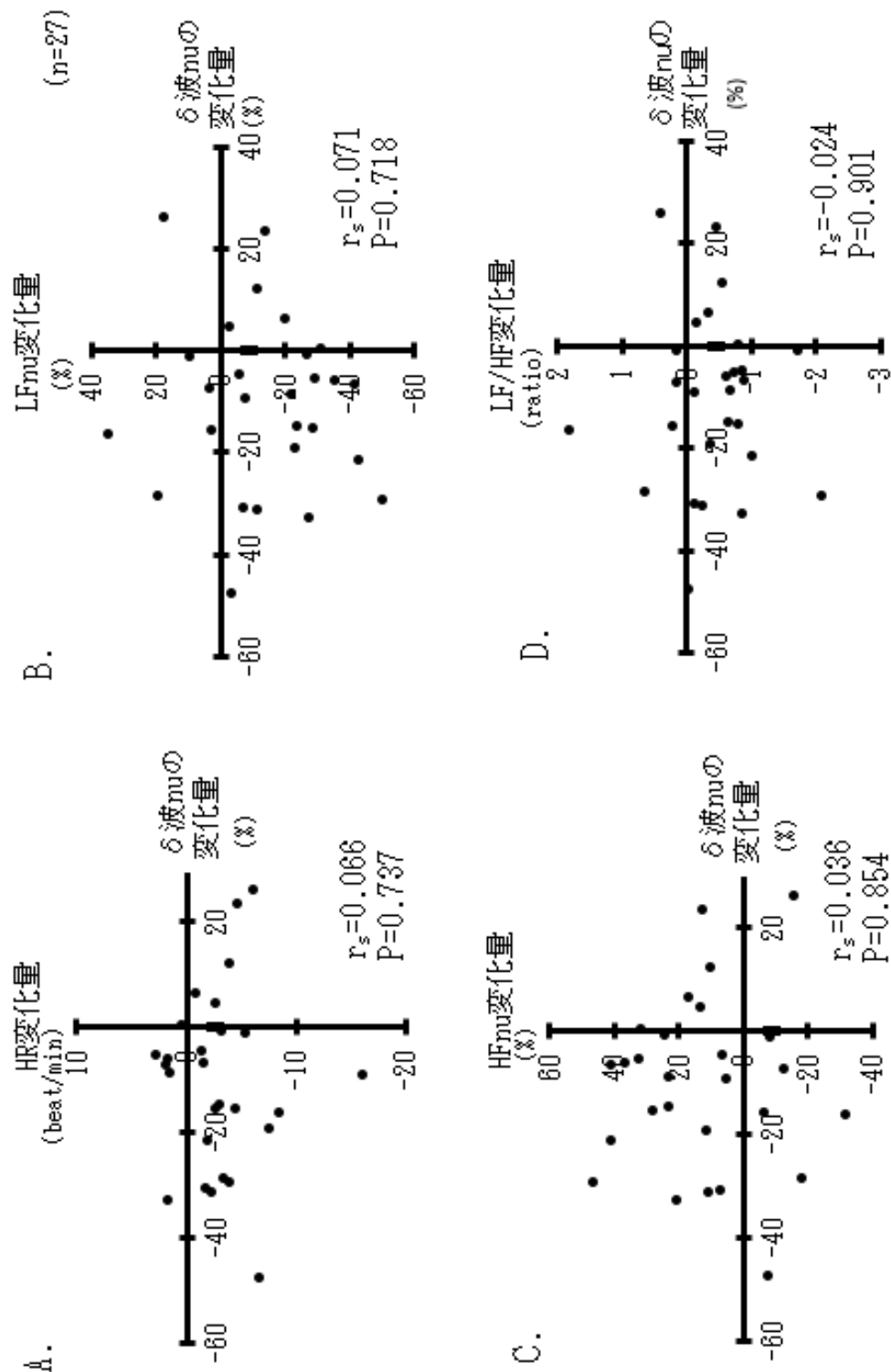


図 23.  $\delta$  波 nu の変化量と HR および HRV 各指標の変化量との相関

A:  $\delta$  波 nu の変化量と HR の変化量との相関、B:  $\delta$  波 nu の変化量と LFnua の変化量との相関

C:  $\delta$  波 nu の変化量と HFnu の変化量との相関、D:  $\delta$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量との相関

$\delta$  波 nu の変化量と HR、LFnu、HFnu、LF/HF の変化量に有意な相関は無かった

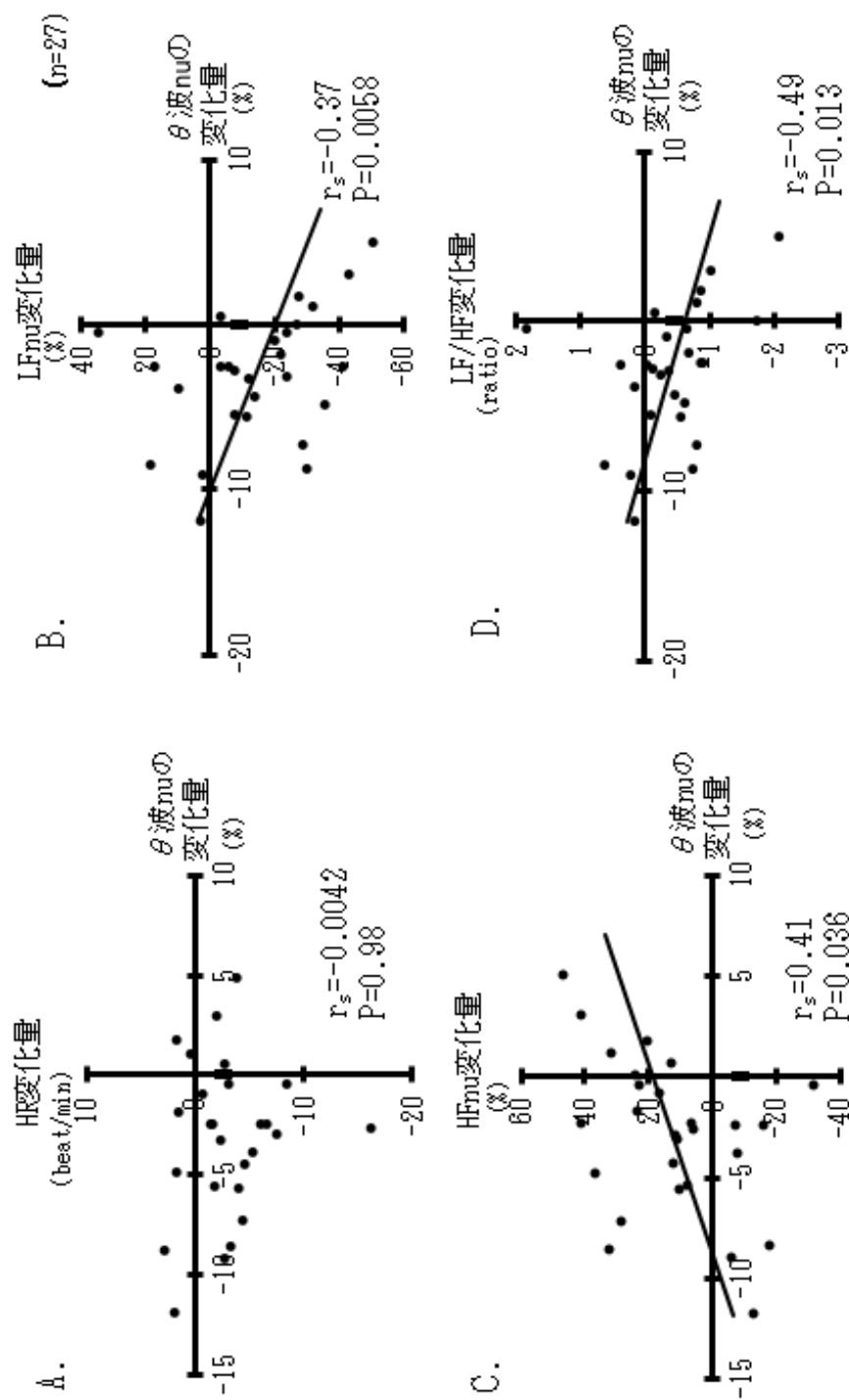


図 24.  $\theta$  波 nu の変化量と HR および HRV 各指標の変化量との相関

A:  $\theta$  波 nu の変化量と HR の変化量との相関、B:  $\theta$  波 nu の変化量と LFnu の変化量との相関

C:  $\theta$  波 nu の変化量と HFnu の変化量との相関、D:  $\theta$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量との相関

$\theta$  波 nu の変化量と HR 変化量には相関が無かった。しかし、この時、 $\theta$  波 nu の変化量と LFnu の変化量には有意な弱い負の相関が、 $\theta$  波 nu の変化量と HFnu の変化量には有意な弱い正の相関が、 $\theta$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量には有意な弱い負の相関が認められた。

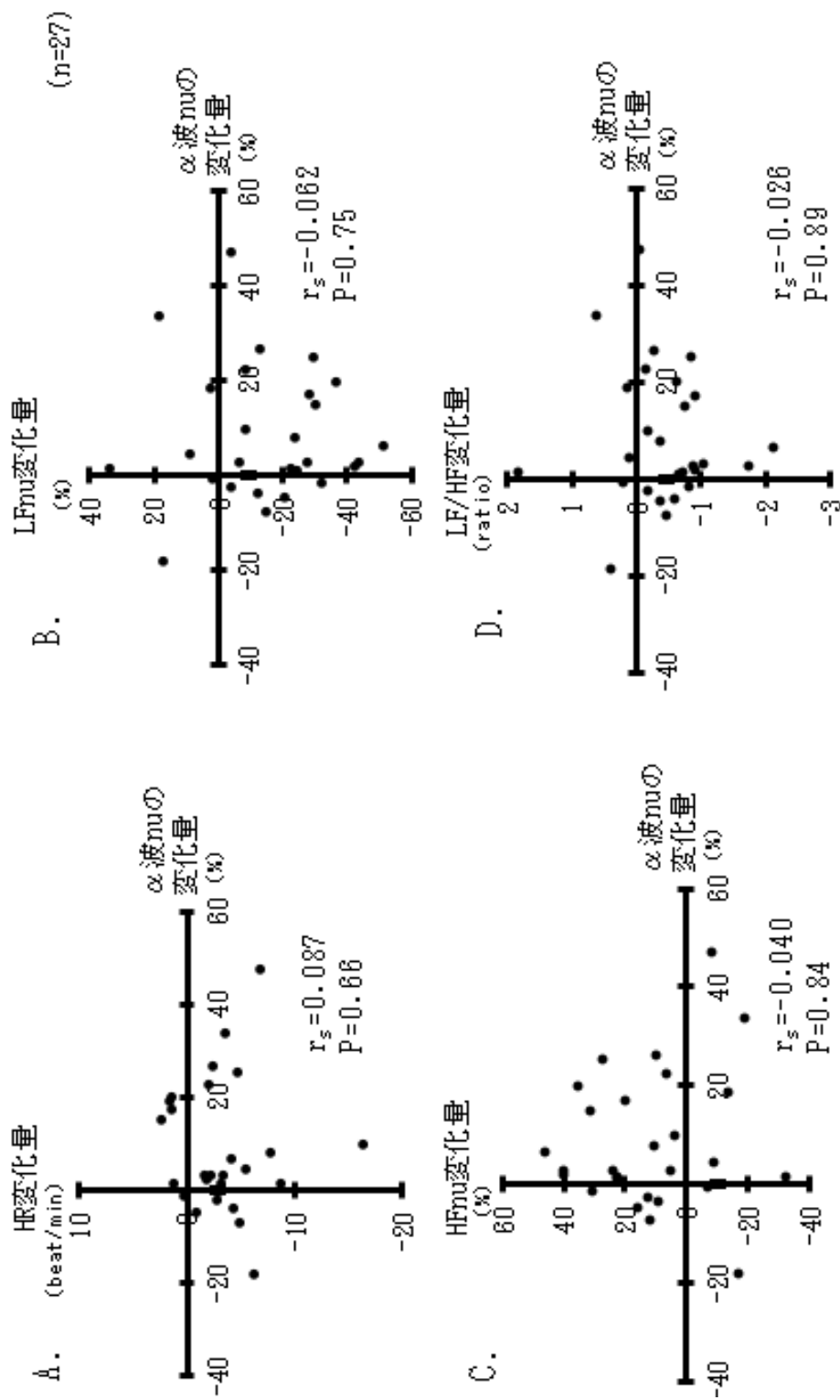


図 25.  $\alpha$  波 nu の変化量と HR および HRV 各指標の変化量との相関

A:  $\alpha$  波 nu の変化量と HR の変化量との相関、B:  $\alpha$  波 nu の変化量と LFnu の変化量との相関

C:  $\alpha$  波 nu の変化量と HFnu の変化量との相関、D:  $\alpha$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量との相関

$\alpha$  波 nu の変化量と HR の変化量に有意な相関はなかった。この時、 $\alpha$  波 nu の変化量と LFnu、HFnu、LF/HF の変化量にも有意な相関はなかった。



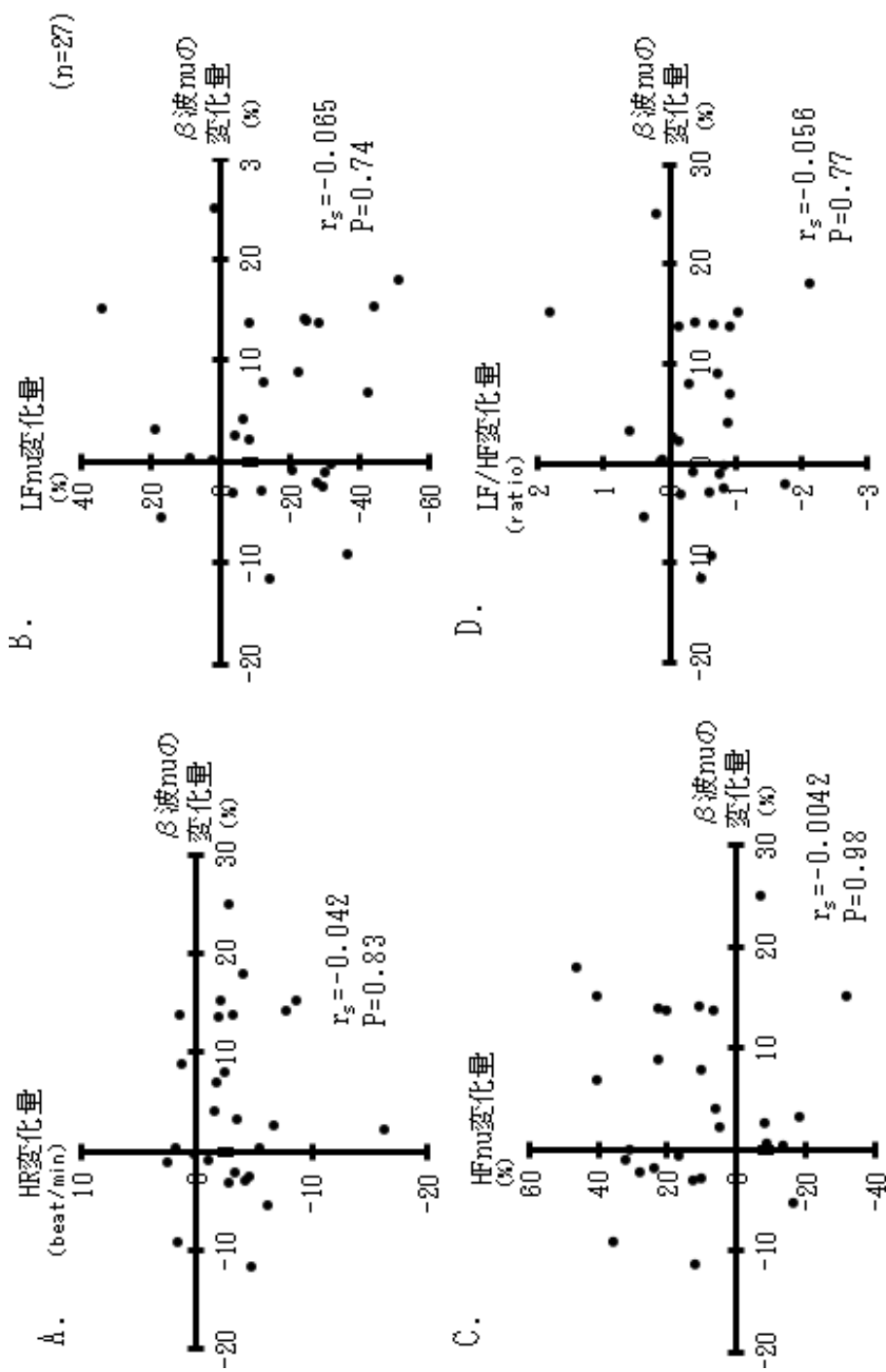


図 26.  $\beta$  波 nu の変化量と HR および HRV 各指標量の変化との相関

A:  $\beta$  波 nu の変化量と HR の変化量との相関、B:  $\beta$  波 nu の変化量と LFnu の変化量との相関

C:  $\beta$  波 nu の変化量と HFnu の変化量との相関、D:  $\beta$  波 nu の変化量と LF/HF の変化量との相関

$\beta$  波 nu の変化量と HR の変化量に有意な相関は無かった。この時、 $\beta$  波 nu の変化量と LFnu、HFnu、LF/HF の変化量にも有意な相関は無かった。

表 1. ひびき、鍼刺激の心地良さの感覚と HR、HRV 指標の変化

	HR		LFnu		HFnu		LF/HF		
	鍼刺激前	鍼刺激中	鍼刺激前	鍼刺激中	鍼刺激前	鍼刺激中	鍼刺激前	鍼刺激中	
ひびき	(n=34)	59.7 ±6.80	56.6 <sup>**</sup> (p<0.0001) (r = 0.71)	43.2 ±15.79	28.0 <sup>**</sup> ±17.62 (r = 0.70)	55.0 ±14.88	68.1 <sup>**</sup> ±16.73 (r = 0.65)	1.02 ±0.702	0.54 <sup>**</sup> (p<0.0001) (r = 0.68)
	(n= 0)	—	—	—	—	—	—	—	—
	(n=12)	59.0 ±5.48	55.2 <sup>**</sup> (p=0.012) (r = 0.70)	34.6 ±12.22	21.5 <sup>**</sup> ±13.69 (r = 0.72)	62.2 ±11.89	73.1 <sup>*</sup> ±13.06 (r = 0.66)	0.69 ±0.450	0.34 <sup>*</sup> (p=0.012) (r = 0.70)
	(n=13)	60.5 ±7.27	57.3 <sup>*</sup> (p=0.0048) (r = 0.75)	46.9 ±14.23	32.1 <sup>*</sup> ±19.29 (r = 0.61)	52.4 ±13.58	65.2 <sup>*</sup> ±19.28 (r = 0.57)	1.13 ±0.628	0.67 <sup>*</sup> (p=0.040) (r = 0.57)
	(n= 5)	60.4 ±9.89	58.9 <sup>n.s.</sup> ±9.79 (p=0.098) (r = 0.57)	43.0 ±14.62	25.5 <sup>**</sup> ±14.80 (p=0.0078) (r = 0.85)	54.7 ±13.57	70.7 <sup>*</sup> ±13.20 (p=0.020) (r = 0.77)	0.88 ±0.424	0.41 <sup>**</sup> (p=0.0039) (r = 0.89)
鍼刺激の心地良さ	(n= 4)	58.2 ±6.88	55.9 ±6.67	57.1 ±22.14	37.6 ±23.95	42.7 ±22.27	59.8 ±22.17	1.84 ±1.203	0.89 ±0.985
	(n= 2)	54.4 ±4.64	51.8 ±8.11	32.3 ±9.36	19.3 <sup>**</sup> ±7.02 (p=0.0078) (r = 0.85)	65.1 ±13.08	70.5 <sup>**</sup> ±17.66 (p=0.0078) (r = 0.85)	0.58 ±0.313	0.30 <sup>**</sup> (p=0.0039) (r = 0.88)
	(n= 7)	60.9 ±8.19	58.6 ±6.60	51.7 ±14.18	38.9 ±16.97	46.3 ±13.97	58.5 ±16.20	1.36 ±0.733	0.83 ±0.719
	(n=13)	59.9 ±7.74	57.6 <sup>*</sup> (p=0.017) (r = 0.65)	49.1 ±13.27	30.9 ±19.52 (r = 0.65)	50.0 ±12.37	66.8 <sup>*</sup> ±18.87 (r = 0.61)	1.20 ±0.738	0.64 <sup>*</sup> (p=0.027) (r = 0.61)
	(n=12)	59.7 ±5.35	55.3 <sup>**</sup> (p=0.0049) (r = 0.77)	33.6 ±15.16	20.0 ±13.64 (r = 0.70)	63.9 ±13.87	74.8 <sup>*</sup> ±12.96 (r = 0.61)	0.70 ±0.570	0.31 <sup>*</sup> (p=0.016) (r = 0.68)
大変に不快だった	(n= 0)	—	—	—	—	—	—	—	—

(r : effect size)      \*: P< 0.05, \*\*: P< 0.01



表 3. 背景脳波 nu の変化量と、HR、HRV 各指標の変化量との相関

	HR変化量	LFnu変化量	HFnu変化量	LF/HF変化量
$\delta$ 波 nu変化量	$r_s = 0.066$ (P = 0.74)	$r_s = 0.071$ (P = 0.72)	$r_s = 0.036$ (P = 0.85)	$r_s = -0.024$ (P = 0.90)
$\theta$ 波 nu変化量	$r_s = -0.0042$ (P = 0.98)	$r_s = -0.37^{**}$ (P = 0.0058)	$r_s = 0.41^*$ (P = 0.036)	$r_s = -0.49^*$ (P = 0.013)
$\alpha$ 波 nu変化量	$r_s = 0.087$ (P = 0.66)	$r_s = -0.062$ (P = 0.75)	$r_s = -0.040$ (P = 0.84)	$r_s = -0.026$ (P = 0.89)
$\beta$ 波 nu変化量	$r_s = -0.042$ (P = 0.83)	$r_s = -0.065$ (P = 0.74)	$r_s = -0.0042$ (P = 0.98)	$r_s = -0.056$ (P = 0.77)

\*: P< 0.05, \*\*: P< 0.01