

電気温熱刺激療法が自律神経活動に及ぼす 影響についての統計学的検討

伊藤宏文・高橋恵美・藤松美由紀

東洋医学 Vol.37 No.1 (2021) 別冊

一般財団法人 東方医療振興財団
日本東方医学会

[ここに入力]

原著

電気温熱刺激療法が自律神経活動に及ぼす影響についての

統計学的検討

伊藤宏文¹⁾・高橋恵美¹⁾・藤松美由紀¹⁾

(受領日：2020 年 11 月 11 日)

概要：

健康な成人 10 名（平均年齢 39 歳±14.1 歳）が、温熱療法と電気刺激療法を組み合わせた理学療法を受けた。温熱療法は、深部体温を温めることで局所循環動態を改善し、免疫機能や自律神経機能を刺激すると言われている。また、電気刺激療法は、物理的なものとして肩こりや首こりなど、筋肉の緊張や痛みを和らげることを目的とした療法である。これらの物理療法は、非侵襲的かつ反復的な治療法としてその有用性が広く認知されているが、その効果のメカニズムについては、未だ不明な点が多くある。本研究では、温熱療法と電気刺激療法がより有益な効果を発揮し、自律神経活動に影響を与えるかどうかを検討した。治療前後の自律神経機能の変化を評価し、心拍変動解析で検討した。温熱療法と電気刺激療法を併用することで、自律神経活動が調整され、自律神経機能が正常化することがわかった。温熱療法と電気刺激療法の併用が治療効果を発揮するメカニズムについて考察した。

I. 要 約

健常成人 10 名（平均年齢 39 ± 14.1 歳）に温熱療法と電気刺激療法を組み合わせた電気温熱刺激療法を行った。温熱療法は深部体温を温めることにより局所循環動態を改善し、免疫機能や自律神経機能などを刺激するといわれている。また電気刺激療法は肩こりや首こりなどに対して筋緊張緩和や疼痛緩和を目的とした理学療法として行われている。これらの物理療法は非侵襲的に繰返し行うことのできる治療法として、有用性は広く認識されているが、効果発現機序についてはまだ不明な点も多い。今回、温熱療法と電気刺激療法を同時に行う電気温熱刺激療法を行うことによって、より有益な効果を得ることができるかどうか、自律神経活動にどのような影響を及ぼすかどうかについて検討を行った。施術前後の自律神経機能変化を心拍変動解析により評価検討を行った。電気温熱刺激療法により自律神経活動が調整され、自律神経機能が正常化されることが判明した。温熱療法と電気刺激療法の併用が治療効果を発現する機序について考察を行った。

II. 目 的

温熱療法は深部体温を温めることにより免疫機能や自律神経機能などを刺激するといわれる。また電気刺激療法は疼痛緩和目的や理学療法などとして行われている。これらの治療法の有用性は広く認識されているが、効果発現機序についてはまだ不明な点も多い。温熱療法を単独で行っても、電気刺激療法を単独に行っても施術後の改善効果や満足度は高いが、今回、温熱療法と電気刺激療法を同時に行う電気温熱刺激療法の改善効果を評価する目的で検討を行った。電気温熱刺激療法が自律神経活動に及ぼす効果について心拍変動解析を用いて検討を行ったの

で報告する。

III. 対 象

本研究は口頭と文書によるインフォームドコンセントを行い、同意書を得て行った。千葉県保険医協会倫理委員会の審議にて承認を得た（承認番号 202011050007）。対象は、令和 1 年 6 月から 8 月に当院にて温熱療法と電気刺激療法を行った、男性 3 名（平均年齢 54.7 ± 3.3 歳）、女性 7 名（ 32.3 ± 10.9 歳）の健常成人ボランティア 10 名（平均年齢 39 ± 14.1 歳）である。本研究は施術前後に記録された既存の心電図検査や血圧検査資料を基に心拍変動解析を行い、施術前後の自律神経機能の変化の評価を行った後ろ向き症例観察研究である。

IV. 方 法

はじめに約 30 分間の温熱療法を行った後に、継続して約 30 分間の電気刺激療法を行った。当院では温熱療法と電気刺激療法を一連の流れの治療法として施術しているが、これを電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）と呼称している。作用機序については後述するが、この施術を行うことにより、マッサージ効果や温熱効果を介した包括的な働きにより人体の循環を促進するとともに、ファッシアの中を通電することにより筋膜リリースを促進し、自律神経系活動を活性化することが推察されている。施術前後の自律神経機能の変化を評価するために、電気温熱刺激療法施術前と施術終了後 1 時間経過した後に、心拍変動スペクトル解析ソフトきりつ名人®（クロスウェル社製）を用いて起立負荷による自律神経機能の変化の評価を行った。

心拍は呼吸や全身循環に関与する自律神経活動の影響を受けているが、心電図 R-R 間隔には周期的なゆらぎが存在する。ゆらぎ成分は大

動脈、頸動脈洞の圧受容器や、肺の伸展受容器からの入力が迷走神経、舌咽神経を介して、延髄心臓血管中枢に到達し、反射弓を形成して、心臓迷走神経からの副交感神経出力と、交感神経を経由した心臓や血管への出力に由来するといわれる。ゆらぎを有する R-R 間隔の一定時間内の変動のばらつきを見るのが時間領域解析であり、変動に関与する周波数成分を抽出することで交感神経成分、副交感神経成分の強度をみるのが周波数領域解析である¹⁾。

心拍変動のゆらぎの大きさの変動係数である CVRR (Coefficient of Variation on R-R interval) は心拍変動の周波数解析した結果の成分 (HF、LF、VLF) の集合体であり、自律神経活動の総和といえる。循環器系のゆらぎに共通する指標として、高周波数成分 (high frequency : HF) と低周波数成分 (low frequency : LF) があるが、HF 成分 (0.2Hz 前後) は呼吸刺激が延髄を介して心臓迷走神経を抑制する周期に由来し、主に副交感神経機能を反映すると考えられている。一方 LF 成分は Mayer 波と呼ばれる約 10 秒周期 (0.1Hz) のリズムで圧受容器由来と考えられていることから交感神経機能および副交感神経機能とともに反映すると考えられている。LF と HF で除した LF/HF 比は交感神経系の指標として用いられ、成分毎の定量的評価に用いられる。超低周波成分 (very low frequency : VLF) は 0.0033~0.04Hz の周波数帯のパワースペクトルであるが、この成分と生理学的メカニズムの関連についてはまだよく分っていないが、このパラメータは交感神経機能の非常にゆっくりとしたメカニズムの全体的活動を示すもので、血管運動活動、レニン・アンジオテンシン系、体温調節などを反映するのではないかと考えられている。主に交感神経活動、一部副交感神経活動により影響を受けていると考えられている²⁾。

周波数解析の HF、LF、VLF の coefficient

of component variance (CCV) とは、各周波数の揺らぎの係数であり、CVRR と同じように再現性がよく、CCV は各変動成分ごとの CVRR 値に対応する値で、CVRR と同じ概念で捉えることができる。今回は CVRR を自律神経全体の活動指標とし、高周波成分 (HF) は 0.15~0.40Hz、低周波成分 (LF) は 0.04~0.15Hz とし、LF/HF を交感神経の指標、CCV HF (coefficient of component variance high frequency) を副交感神経の指標とした^{3) 4)}。

起立負荷を行うと重力の影響で下肢および体幹の容積静脈へ血液 (1/2~1L) の貯留が起こる。そして下肢静脈から心臓に還流する血液が減少することにより、心拍出量が減少し、瞬間的に血圧は陰圧になる。健常な場合は、それらの反応に対応して大動脈弓および頸動脈小体の圧受容器は速やかに血圧を正常化させる自律神経反射を促進させ、交感神経を亢進、副交感神経を抑制することで、心拍数および収縮力を増大させ、容積血管を収縮させ、血圧を維持する。更に立位を続けるとレニン・アンジオテンシン・アルドステロン系の活性化および抗利尿ホルモンの分泌により、循環血液量の増加が起き自律神経反射により、交感神経を抑制、副交感神経を亢進することで、心拍数および収縮力、容積血管の収縮を安静化させ、立位に適した血圧を維持する。このように人間には心血管中枢からの自律神経反射により秒・分単位で恒常性を維持する働きがある。起立負荷試験による自律神経反射をみることにより瞬間的な自律神経機能を捉えることが可能となる⁵⁾。

きりつ名人[®]は Mem Calc 法を搭載した解析ソフトであり、心拍の R-R 間隔の変動 (心拍変動 heartrate variability : HRV) をリアルタイムに周波数解析することができる。同時に起立負荷試験を行うことによって自律神経機能の詳細な評価が可能となる⁶⁾。具体的な測定方法は、右手首と左手首に心電図電極を装着し

座位での安静状態で2分間、続いて起立負荷を行い立位で2分間、立位負荷の前後で血圧変動を測定し、心拍数測定を心電図のR-R間隔をリアルタイムに連続的に記録して時間領域と周波数領域の同時解析を行った。

今回は電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）が自律神経活動に及ぼす影響について、自律神経活動全体の大きさの指標 CVRR、座位から起立した時の自律神経活動 CVRR の変化量

（ Δ CVRR）、安静時交感神経指標（CCVL/H）、座位から起立した時の交感神経指標の変化量（ Δ CCVL/H）、安静時副交感神経指標（CCVHF）、の5つの指標を自律神経機能の評価項目として用いて比較検討を行った。

被検者の測定値と標準値とを比較検討すると、測定した全症例は安静時の自律神経状態は健常型であった。本研究は比較対照のない観察研究である。すべての統計解析には EZR バージョン 2.6-2 を使用した。EZR は R および R コマンドの機能を拡張した統計ソフトウェアである。対応のある2群の比較の検定には、パラメトリックな検定としては対応のある t 検定（paired t-test）、ノンパラメトリックテストとしては Wilcoxon 符号付き順位和検定（Wilcoxon signed rank sum test）を行った。対応のある

2群以上の間の平均値の比較を反復測定分散分析（repeated measures ANOVA）で行った。

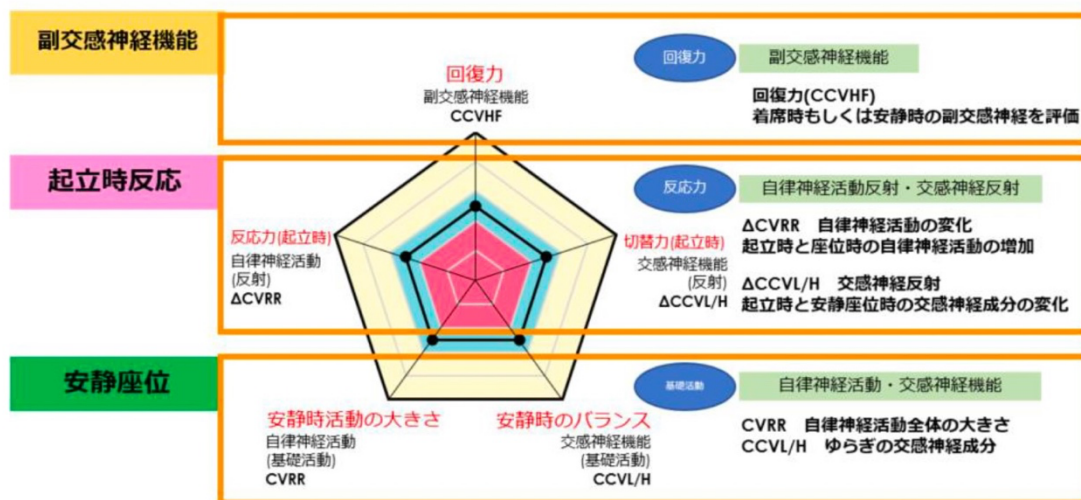
年齢が性別の違いによる効果に対して影響を与えるかどうか検討する目的で、群別変数を性別、連続変数（年齢）を共変数として調整を行った共分散分析（analysis of covariance : ANCOVA）を行った。 $P < 0.05$ を統計学的有意差ありと判定した。

V. 結 果

1 症例報告

施術前後の心拍応答のバランスをレーダーチャートで示す。CVRR、CCVL/H の安静時と起立時の反射、回復力として副交感神経指標 CCVHF 年齢基準値と比較して評価すると、中心部の赤色は低下、外側部の黄色は過剰、青色部は標準を示す。それぞれの項目のバランスが重要と考えられる。

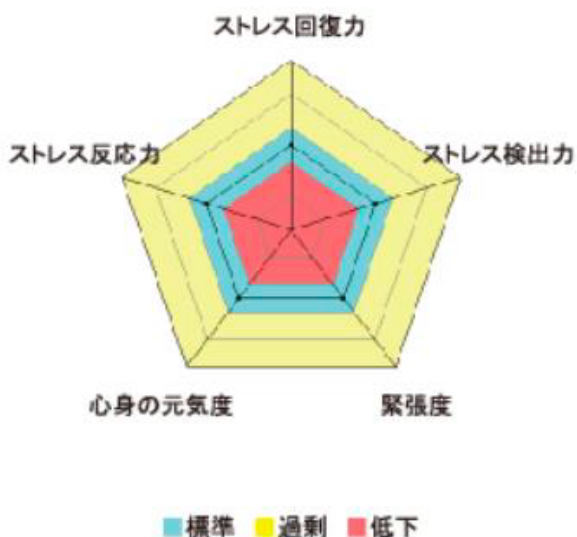
起立負荷試験を行った際の心拍応答から自律神経のストレス耐性が推察される。安静 CVRR は心身のストレスに対する基礎的な対応力を示し、小さい場合は対応可能なストレスは小さいと考えられる。 Δ CVRR はストレスに対する反応の大きさを示し、着席



赤→自律神経活動が小さい 青→年齢標準範囲 黄→自律神経活動が大きい

クロスウエル社資料より

CCVHF はストレスからの回復のしやすさを示す。 Δ CCVL/H は心身のストレスの反応のしやすさを示し、安静 CCV L/H は現在の心身の緊張度を示すといわれる。



症例 1 22 歳女性

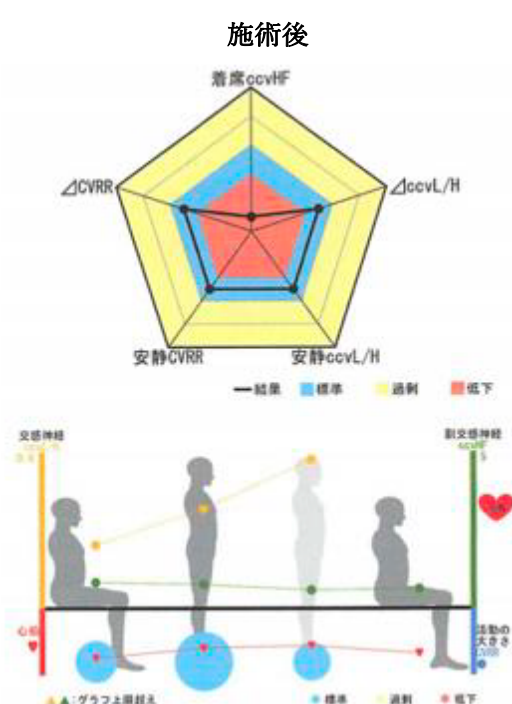
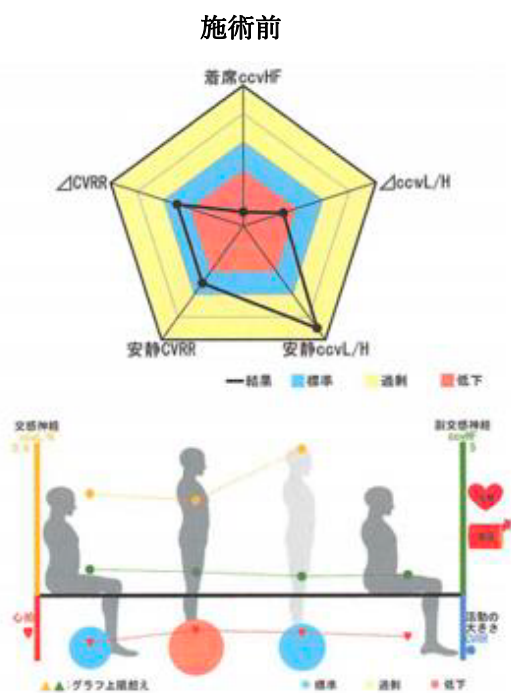
安静 CCV L/H の亢進すなわち交感神経系活動の増大が正常化して改善し、 Δ CCV

L/H の反応低下すなわち交感神経反射が出にくい状態が改善して反射活動が出やすくなっていることが認められた。着席 CCV HF の改善は認められなかったので副交感神経活動は低下した状態のままであった。以上を要約すると施術によって交感神経系の緊張状態が改善し、刺激に対する反射活動も反応しやすくなり改善していることが認められた。施術の効果は交感神経系活動の改善に働いたことが示された。

症例 2 22 歳女性

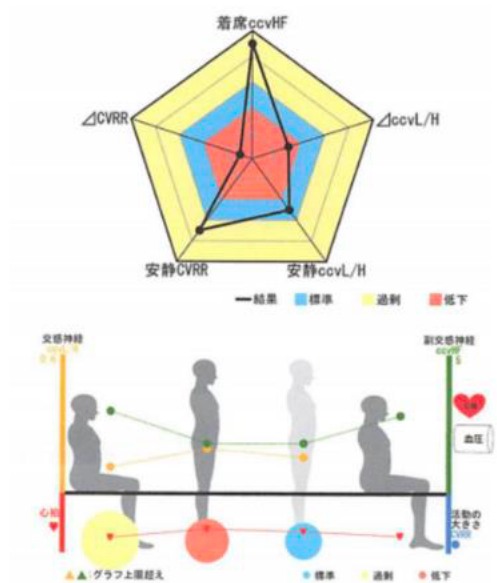
安静 CVRR の亢進すなわち自律神経活動全体の緊張状態が改善し、 Δ CVRR の低下すなわち自律神経反応の低下が改善して正常化していることが認められた。着席 CCVHF の過度な増大は反応性の低下を示しているが、正常に近い状態に回復していることが認められた。交感神経系活動の変化は明らかではなかった。施術の効果は副交感神経活動の改善に働いたことが示された。

症例 1

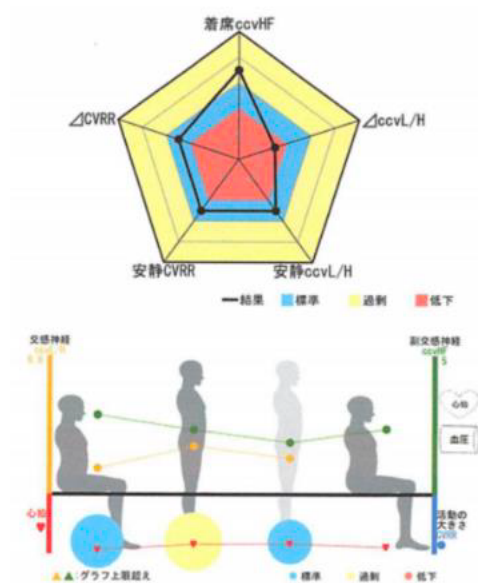


症例 2

施術前



施術後



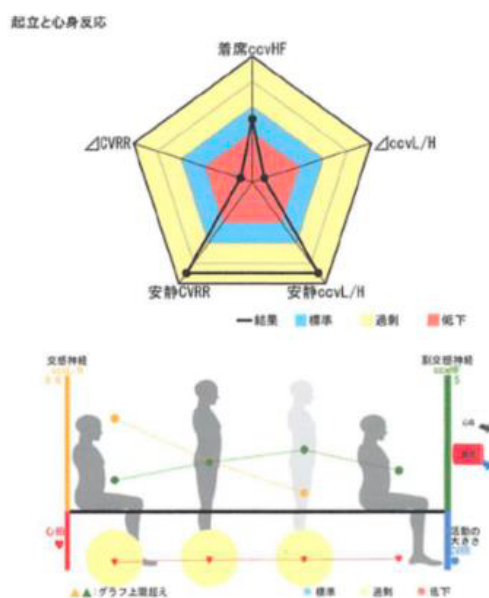
症例 3 51 歳男性

施術前は交感神経系活動の過緊張状態が認められ、交感神経活動の反射反応も低下していたが、施術によって過緊張状態が改善し、反射反応が出やすくなることが確認された。

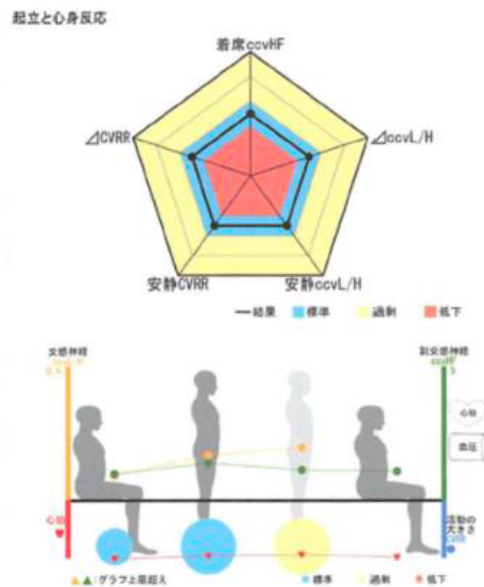
施術によって過剰な自律神経活動と交感神経系活動が改善し、自律神経反射と交感神経反射が出現しやすくなり、バランスの取れた自律神経活動を示すようになった。

症例 3

施術前



施術後

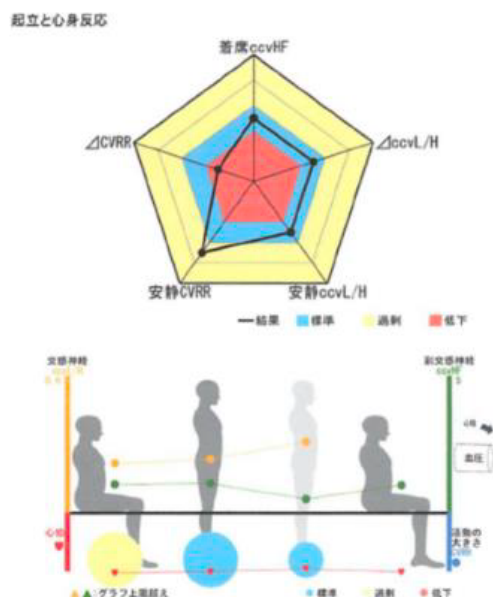


症例 4 51 歳男性

施術前は安静 CVRR の亢進が認められ、 Δ CVRR の低下が認められたが、CCVL/H、 Δ CCVL/H、CCVHF は正常範囲内であった。交感神経系活動も副交感神経活動も正常範囲内であるが、全体としては自律神経活動

が過剰であり、刺激に対する自律神経反応は低下していることからストレス状態にあると考えられる。施術によって過剰な自律神経活動は正常化し、自律神経反応は出やすくなり、バランスの取れた自律神経活動を示すようになった。

症例 4 施術前

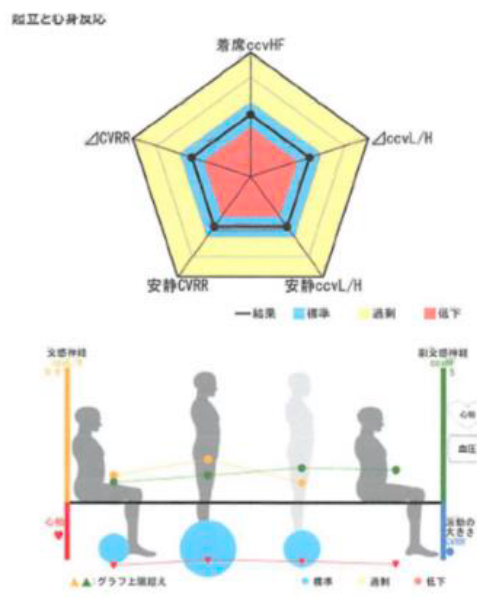


心拍変動解析は簡便、非侵襲的、低コストで、かつ自律神経機能を総合的に評価できる有用な自律神経機能検査法の一つであると考えられた。

2. 統計学的検討

レーダーチャートによるバランス評価では個々の症例の改善傾向を示すことはできるが、各症例毎に安静時の自律神経状態が異なるため、具体的にどのように自律神経活動が変化しているのかを評価することは難しい。そこで、自律神経活動全体の大きさの指標 CVRR、座位から起立した時の自律神経活動 CVRR の変化量 (Δ CVRR)、安静時交感神経指標 (CCVL/H)、座位から起立した時の交感神

施術後



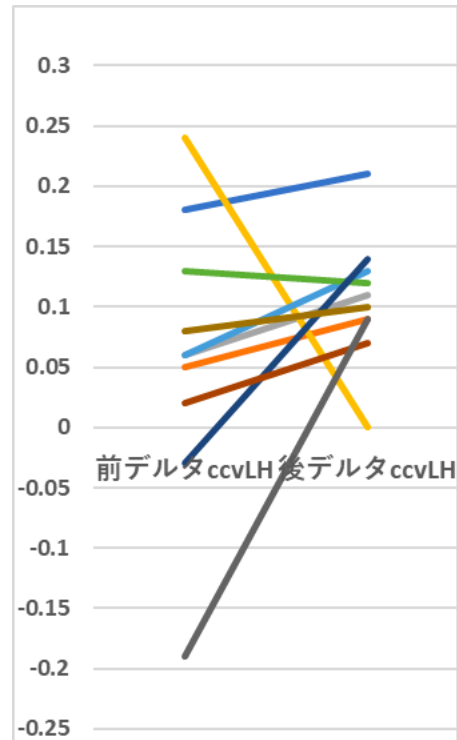
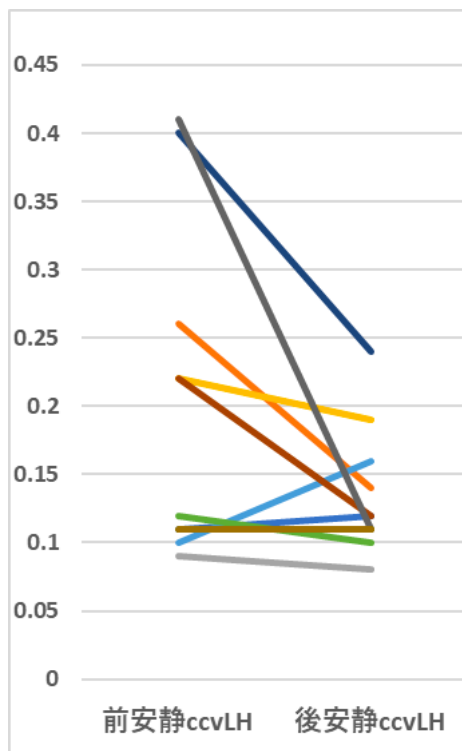
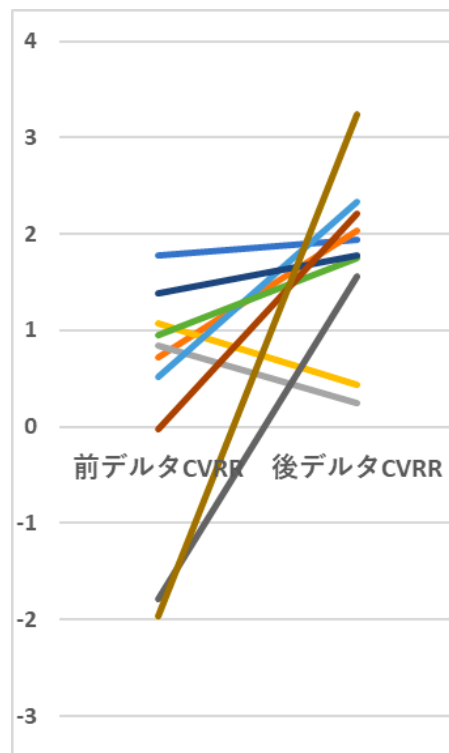
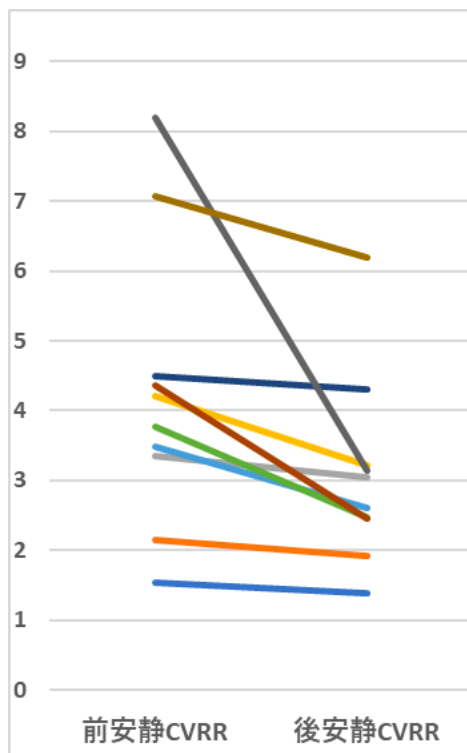
経指標の変化量 (Δ CCVL/H)、安静時副交感神経指標 (CCV HF)、の 5 つの指標を自律神経機能の評価項目として施術前後において比較検討を行った。

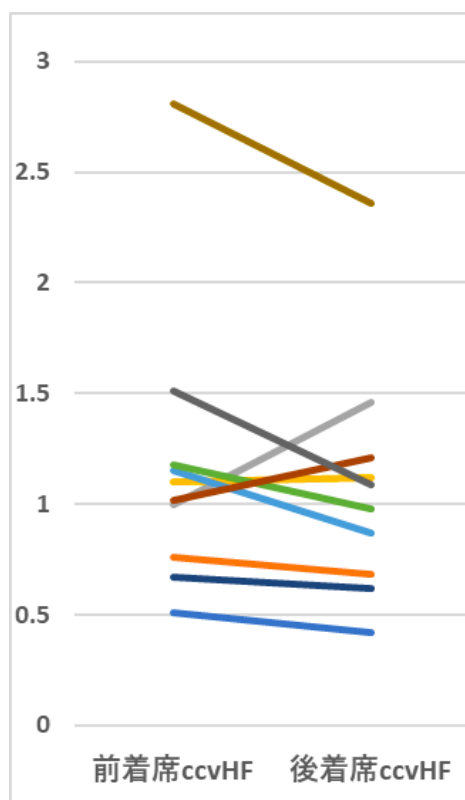
施術前後の指標数値の変化を図に示す。安静時 CVRR は低下傾向、 Δ CVRR は上昇傾向が認められた。

安静時 ccvL/H は低下傾向、 Δ ccvL/H は上昇傾向が認められた。

着席 CCVHF は低下傾向が認められた。

すなわち、自律神経活動は交感神経系活動も副交感神経系活動も含めて沈静化する傾向を示し、自律神経反射は反応しやすくなる傾向が認められた。





そこで電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）が自律神経活動に及ぼす効果を検討するために、各測定項目について統計学的検討を行った。まずはじめに正規性の検定（Kolmogorov-Smirnov 検定、Shapiro-Wilk 検定）を行い、データの正規性は棄却されないことを確認した。施術前後の測定項目の比較は、パラメトリック検定である、対応のある 2 群間の平均値の比較（paired t-test）を行った。 $p < 0.05$ を統計学的有意差ありと判定した。結果を表に示す。

対応のある 2 群間の平均値の比較の結果

CVRR、 $t(9)=2.54$ 、 $p=0.032$ と Δ CVRR、 $t(9)=-2.44$ 、 $p=0.038$ の値において有意な変化が認められた。すなわち自律神経活動は沈静化され、自律神経反射は反応しやすくなることが確認された。CCVHF、 Δ CCVL/H、CCVL/H においては有意差は認められなかったが、CCVL/H においては有意に近い変化を認めた。これは交感神経活動の沈静化を示唆しており、自律神経活動の沈静化の主要因は交感神経活動の沈静化であることが推察された。

次に施術前と施術後の時間経過に伴う自律神経活動の改善度をアウトカムとして、性差による違いの要因と、年齢の違いによる要因の 2 つが及ぼす影響を反復測定分散分析

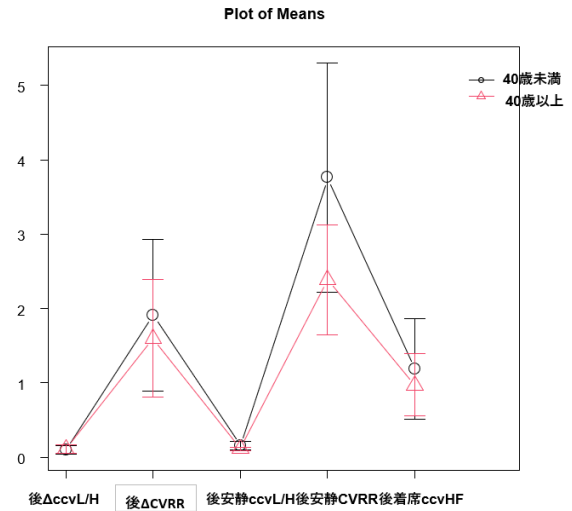
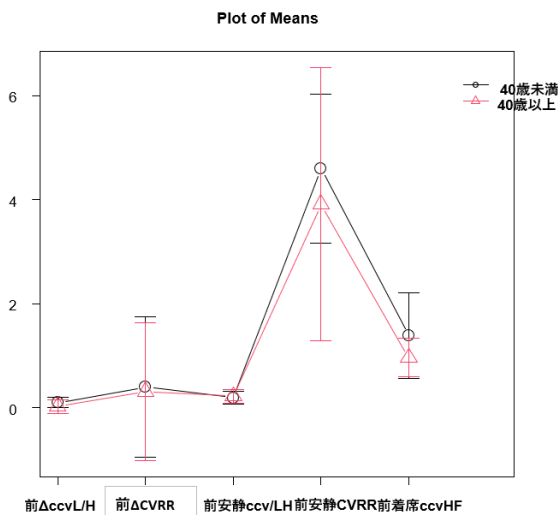
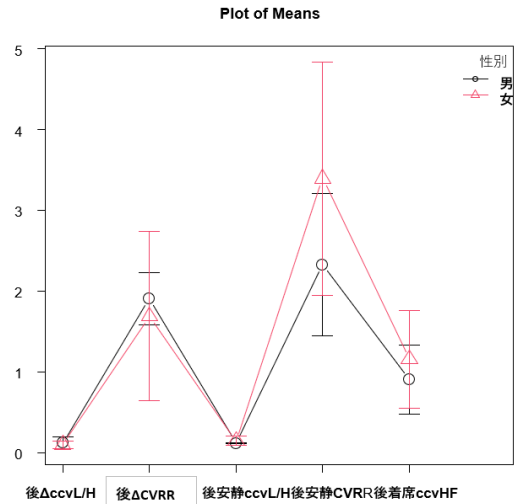
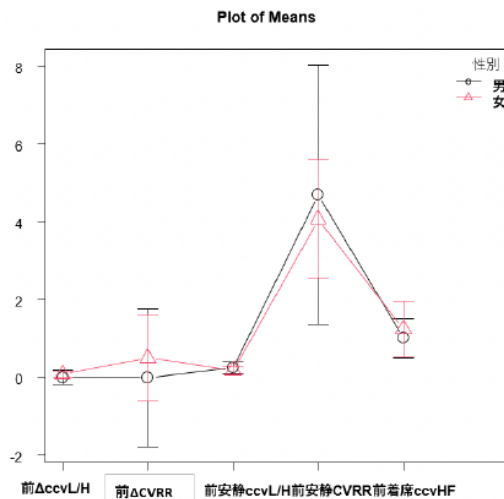
（repeated measure ANOVA）を行って検討した。 $p < 0.05$ を統計学的有意差ありと判定した。被検者間要因として性差（男女の違い）と年齢（40 歳未満と 40 歳以上）について検討を行った結果、施術前後の時間経過に対してはいずれも有意な変化が認められた。

Mauchly の球面性の検定の結果は $p < 0.01$ で、有意差ありの判定であったため、Greenhouse-Geisser の方法で検定を行った結果は $p < 0.01$ であった。調整を行った場合でも経時経過に対して性差と年齢の要因は有意差を認めた。性差と年齢の要因はいずれも Δ CVRR を増大し、CVRR は減少する傾向が認められた。特に CVRR に関しては 40 歳以上の男性において減少傾向が認められた。

施術前後の比較

	施術前	施術後	P-value
CVRR	4.26 ± 2.03	3.07 ± 1.35	0.032
Δ CVRR	0.35 ± 1.27	1.75 ± 0.87	0.039
ccvHF	1.17 ± 0.64	1.08 ± 0.54	0.328
ccvL/H	0.20 ± 0.12	0.14 ± 0.05	0.076
Δ ccvL/H	0.06 ± 0.12	0.11 ± 0.05	0.299

データ表示： mean ± sd P-value： paired t test



CVRR、 Δ CVRR、CCVHF、CCVL/H、 Δ CCVL/H の 5 つの評価項目がどのように変化しているかを検討するために、それぞれの項目について施術前後の測定値の変化を年齢（40 歳未満群と 40 歳以上群の 2 水準）と性差（男性群と女性群の 2 水準）の 2 要因で反復測定分散分析（repeated measures ANOVA）を行った。p < 0.05 を統計学的有意差ありと判定した。

結果は表に示すように、自律神経活動は交感神経活動、交感神経活動共に減少傾向を示し、自律神経反射活動、交感神経反射活動は

出やすくなる傾向があることがわかった。

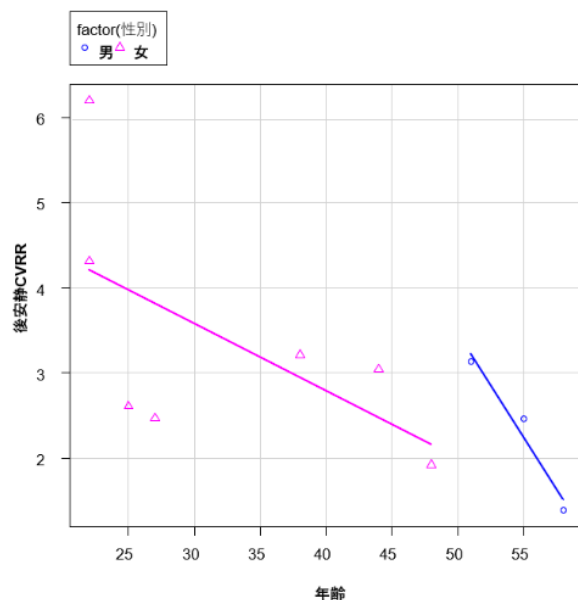
検定の結果は男性が全員 40 歳以上であったため、年齢と性別に関しての交互作用は明らかではなかったが、それぞれの単純主効果検定では、年齢は CVRR において有意差を認めた。性別は CVRR、 Δ CVRR、CCVL/H において有意差を認めた。すなわち 40 歳以上の群においては自律神経活動が減少する傾向が有意に認められた。男性においては自律神経活動の減少、特に交感神経活動が沈静化する傾向が有意に認められた。また自律神経反射は出やすくなる傾向が示された。

反復測定分散分析

		施術前	施術後	Δ (施術後-施術前)	年齢	性別
	n	mean $\pm$ sd.	mean $\pm$ sd.	mean $\pm$ sd.	P-value	P-value
CVRR	10	4.26 $\pm$ 2.03	3.07 $\pm$ 1.35	-1.19 $\pm$ 1.48	0.039 a	0.009 a
Δ CVRR	10	0.35 $\pm$ 1.27	1.75 $\pm$ 0.87	1.40 $\pm$ 1.83	0.051 a	0.046 a
ccvHF	10	1.17 $\pm$ 0.64	1.08 $\pm$ 0.54	-0.09 $\pm$ 0.28	0.320 a	0.374 a
ccvL/H	10	0.20 $\pm$ 0.12	0.14 $\pm$ 0.05	-1.86 $\pm$ 0.11	0.076 a	0.042 a
Δ ccvL/H	10	0.06 $\pm$ 0.12	0.11 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.13	0.299 a	0.170 a

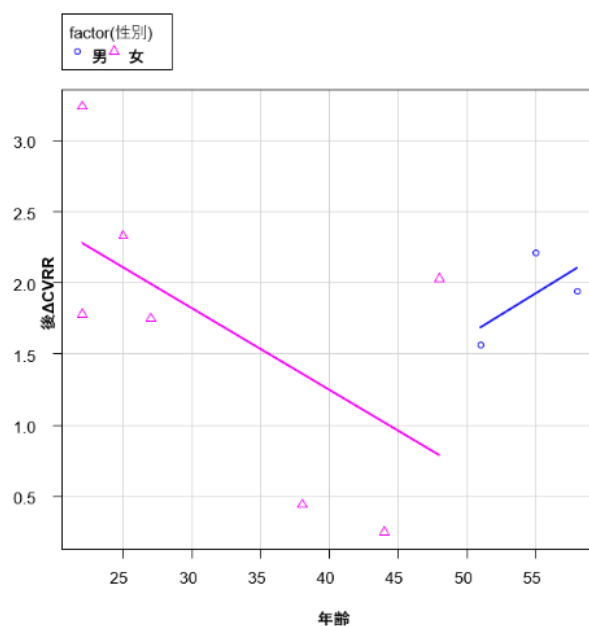
P-value : a, repeated-measures ANOVA

次に年齢と性別に関する交互作用を検討する目的で、目的変数を施術後安静 CVRR、施術後 Δ CVRR、施術後安静 CCVL/H として、群別変数を性別とする共分散分析（analysis of covariance : ANCOVA）を行った。連続変数（年齢）を共変数として調整を行った。その結果、施術後安静 CVRR の分散分析結果は $F(1,7) = 0.47$ 、 $p = 0.52$ であり有意差は認められなかった。群別変数と共変数の交互作用の p 値は 0.52 であり有意差は認められなかった。

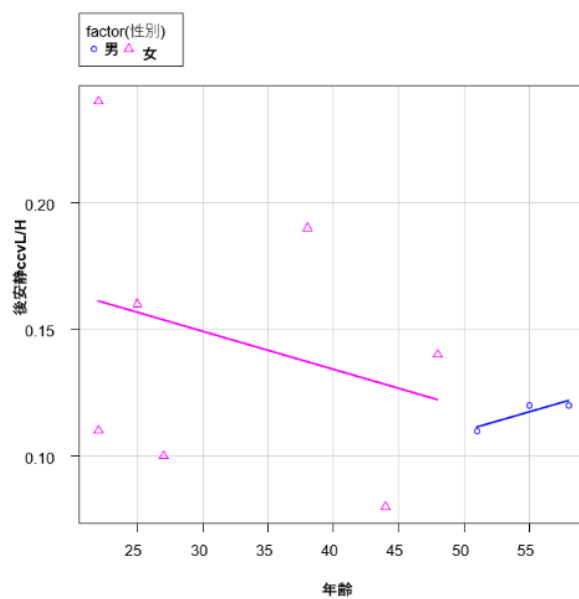


施術後 Δ CVRR の分散分析結果は $F(1,7) = 2.53$ 、 $p = 0.16$ であり有意差は認められなかった。

群別変数と共変数の交互作用の p 値は 0.53 であり有意差は認められなかった。



施術後安静 CCVL/H の分散分析結果は $F(1,7) = 0.0022$ 、 $p = 0.96$ であり有意差は認められなかった。



群別変数と共変数の交互作用の p 値は 0.79 であり有意差は認められなかった。

群別変数と共変数の交互作用はいずれも有意差を認めなかった。目的変数に対する共変数の影響は有意ではなかったことが示された。つまり年齢は性別の違いによる効果に対して統計的に有意な影響を与えなかったと考えられる。今回行った検討対象は、女性は若年者に多く、男性は年配者に多い集団に偏っており、症例数が少ないため更なる検討を要すると考えられるが、性別による効果の違いに関しては、年齢による影響は少ないと考えられた。

以上の結果から電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）は自律神経活動、特に交感神経活動を沈静化し、自律神経反射は出やすくする、すなわち反射し易くする傾向があることが示された。またその効果は性差による違い、年齢による違いがあることが示唆された。

VI. 考 察

1 電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）の位置づけ

日本においては電気刺激療法、マッサージ療法、温熱療法、鍼治療やその他の物理的刺激による治療全般は物理療法 physical therapy と呼ばれ、理学療法の中では運動療法と共にリハビリテーション医療の主体を成すものである。電気刺激療法は電気エネルギーによって起こる生体反応を治療に応用したものであり、鎮痛効果、筋緊張の緩和、関節可動域の改善、筋力増強、神経筋再教育、萎縮の予防、循環改善、創傷治療、浮腫の改善など様々な分野に応用されている⁷⁾⁸⁾。

電気刺激療法は治療方法や目的により、治療的電気刺激（therapeutic electrical stimulation : TES）と機能的電気刺激（functional electrical

stimulation : FES）に分類される。TES は電気刺激によって合目的な筋活動を引き出すことを目的とし、FES は中枢性麻痺などで失われた身体機能を補うことを目的とした電気刺激療法である。TES の中で筋力増強や神経筋再教育を目的とした電気刺激を神経筋電気刺激（neuromuscular electrical stimulation : NEMS）、鎮痛を目的とした電気刺激を経皮的電気刺激（transcutaneous electrical nerve stimulation : TENS）と呼ぶ。組織には知覚的には無感覚の μA レベルの微弱電流（microcurrent）刺激を用いる微弱電流治療（マイクロカレント療法）も行われている。微弱電流には除痛効果以外に損傷組織の治癒促進効果が認められる⁹⁾。

電流のタイプは直流、交流、パルス電流などがあるが、刺激強度や周波数、パルス時間の設定などを変えることで、身体への働きかけを様々に変えられるのが電気刺激療法の大きな特徴である。今回行った電気温熱刺激療法は TES と FES の両方の特徴・作用効果を持つと考えられる¹⁰⁾。

人体は非常に微弱な電流でも感電しやすく、皮膚を介して感電するマクロショックが生じる場合がある。人体が感知できる 60Hz 正弦波電流は平均 1.09mA（成人男子、手のひらで銅線を握らせたとき）との報告がある。感電によって人体に障害が及ぶことを電撃というが、安全性に関しては、今回行った電気刺激療法は LV8 の最大刺激でも 1mA に設計されている。これは国際電気標準会議による領域 AC-1（通電電流が 0.5mA 以下で示された領域にあり、感知するが、通常は驚くような（startled）反応はない領域）から領域 AC-2（通電電流が 0.5mA を超えるが 5mA（成人男子に限れば 10mA）以下の領域で、無意識の筋収縮が起こるが、通常は有害な電気生理学的影響はないとされる）にあたり、通電時間

にかかわらず人体に影響はないとされる。被施術者と施術者の双方の長期的な安全性については、これまでのところ問題はみられていない。今後、更に長期間に渡って反復・継続して施術を行う場合は、その安全性に関して検討を要すると考えられる。

生体電流は人体が作り出す電流で $50\mu A$ 前後といわれ、神経細胞におけるシグナル伝達の際に多く発生するといわれる^{11) 12)}。生体電流は細胞の活動時や損傷時にも発生するが、老化、ストレス、有害事象などによって減弱する。そこに $1mA$ 以下の微弱電流を流すとミトコンドリアの ATP 合成能が増加したり、細胞機能が促進されることが報告されている。微弱電流刺激も可能な電気温熱刺激療法には細胞機能強化、活発化などの働きも期待される^{13) 14)}。

電気温熱刺激療法は被験者の感じ方や筋収縮の状態を見ながら、用手的に刺激を行うことで、目的に応じた刺激条件や細かい調整が可能である。筋繊維の修復・筋肉のストレッチ、インナーマッスル（身体の深いところに位置する深層筋）およびアウトーマッスル

（身体の表面に位置する表層筋）の強化、血流促進、体液循環、神経バランス調整、骨格ゆがみ補正、脂肪燃焼促進などの生理作用を促進し、細胞レベルでの機能修復やシグナル伝達の改善をとうして生命活動を活性化するものと考えられる¹⁵⁾。

温熱療法は身体を温めたり冷やしたりする温度刺激であり、物理療法の中でも基本的なものの一つである。日光浴や温泉浴などの日常的なものから、熱源として光線、電気（高周波、超音波など）などを使用するものもある。治療目的・効果は鎮痛、循環改善、組織の加温、創傷治癒、免疫力活性化、リラクゼーションなどがある。皮下 $3cm$ までの赤外線療法などの表在温熱療法と極超短波療法、超短

波療法などの深部温熱療法に分類される。今回行った温熱療法はラジオ波領域の電磁波を利用した高周波温熱機器である。体内細胞分子レベルの振動により体内組織にジュール熱を発生させ体内深部から加温を行う深部温熱療法である¹⁶⁾。電気温熱刺激療法は温熱療法と電気刺激療法の二つの治療法のメリットを最大限に生かし、相乗効果を得ることが期待される。

2 電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）の作用機序（受容器、反射経路）について

体性感覚は表在感覚 superficial sensation（体表面の皮膚や粘膜にある受容器に刺激が加わることによって起こる触覚、温度感覚、痛覚の皮膚感覚）と深部感覚 deep sensation（固有感覚 proprioception、自己受容感覚とも呼ばれ、筋肉、腱、筋膜、関節、靱帯などにある固有受容器に刺激が加わることによって起こる身体内部の感覚）に分けられる。電気温熱刺激療法による電気刺激と温度刺激は皮膚の知覚（触覚・痛覚・温度覚）や深部感覚（骨膜・筋肉・関節などの知覚）を刺激していると考えられる。

皮膚感覚受容器には触覚や振動覚に関わる受容細胞構造が明確な機械受容器 mechanoreceptor と、主に温度感覚や痛覚に関わる自由神経終末がある。機械受容器は、機械刺激をうけて求心性インパルスを発生させる受容器の総称であるが、触覚・聴覚・重力覚・平衡覚・圧覚・張力覚・振動覚などに関する受容器が該当する・

皮膚の触覚に関与する機械受容器は4種類ある。真皮にはマイスナー小体 Meissner Corpuscle（機械受容器の4割以上を占め、皮膚の表面近い真皮に存在し、受容野が狭く、順応が速い（RA1, rapidly adapting）、接触した対象の細部を検出し、体表面の限局した

部分の触覚情報を処理する)、メルケル盤 Merkel cells (表皮の最深部にあり、受容野は狭いが、順応が遅い (SA1, slowly adapting)) が存在する。真皮深部や皮下組織にはパチニ小体 Pacinian corpuscle (受容野が広く境界が不鮮明であり、順応が速い (RA2))、ルフィニ終末 Ruffini endings が存在する。また毛包受容器は体毛の曲がるのを感知する。有毛部と無毛部では触圧覚受容器の種類は異なっており分布しているといわれる。

自由神経終末 free nerve ending は侵害受容器 nociceptor ともよばれる。情報を伝達する神経は A δ 線維と C 線維の 2 種類あり、皮膚、皮下組織、筋肉の腱や靱帯、骨膜、筋膜などに存在している。

侵害受容器は強い刺激、一般的には 45°C 以上の温刺激、組織を傷害する化学物質などの侵害刺激に特異的に反応する受容器である。侵害受容器は、以下の 2 種類に大別される。ひとつは高閾値機械受容器 high threshold mechanoreceptor である。これは侵害性機械刺激に対し強度に応じた反応を示し、繰り返し刺激で反応は減弱し、刺激が終了すれば後発射を示さないという特徴がある。もうひとつはポリモーダル受容器 polymodal receptor である。非侵害刺激から侵害刺激まで広い範囲で刺激強度に応じて反応し、侵害刺激を繰り返し与えると反応性が増大し閾値の低下がみられ、刺激中止後の後発射が長時間持続するという特徴がある。ポリモーダル受容器は侵害性刺激で、直接興奮すると同時に、組織内にブラジキニン、プロスタグランジン類、セロトニン、ヒスタミンなどの炎症メディエータを産生させる機能もあり、その発痛物質にも反応する。

有髄の A δ 線維によって伝導される情報は速い鋭い痛み (1 次痛 pricking pain) である。A δ 線維は髄鞘を有しており、跳躍伝

導が行われるため伝導速度は速い。一方、ポリモーダル受容器からの興奮は無髄の C 線維によって伝導され、遅く鈍い痛み (2 次痛 dull pain) を伝える。筋、骨、関節や結合組織から生じる痛みは深部痛覚 deep pain といわれる。深部痛覚には筋肉痛や関節痛、骨折の痛み、頭痛などがある。受容器は筋膜や骨膜、関節包に存在する自由神経終末で、感覚神経は A δ 及び C 線維である。冠状動脈虚血によって生じる狭心症の痛みも骨格筋の侵害受容器による。一般に深部痛覚は鈍い痛みで、皮膚痛覚に比べて局在性に乏しいといわれる¹⁷⁾。

温度感覚に関わる自由神経終末 (温度受容器) は、大きく二つの型に分けられる。それは、TRP (Transient Receptor Potential) 型受容器と TRP 以外の型である。ヒトの TRP は、大きく 6 つのグループに分けられている。これらの中で温度に関する TRP 型の受容器は 9 種類 (TRPV : TRPV1,2,3,4、TRPM : TRPM2,4,5,8、TRPA1) である。これらの温度受容器は、皮膚にある自由神経終末で発現しているだけでなく、ケラチノサイト、中枢神経 (脊髄や脳)、その他の臓器でも発現している。すなわち、外界と直に接する部分だけでなく、体内の温度をモニターする役割も担っている。TRPV1、TRPV2 は熱刺激受容を、TRPV3、TRPV4 は温刺激受容を、TRPM8、TRPA1 は冷刺激受容に関わる。また、TRPV3、TRPV4 は感覚神経のみならず皮膚の角質細胞にも発現しており、皮膚表皮細胞で温度が感じられることが示唆されている。

電気温熱刺激療法は温度覚と触覚、圧覚を刺激し、軽い痛覚をもたらすことから、表在感覚や深部感覚に関わるこれらの受容器を複合的に刺激しているものと考えられる。

受容器が感知した情報は、細胞体が脊髄後

根神経節（dorsal root ganglion：DRG）に存在する1次ニューロンに伝達される。1次ニューロンから2次ニューロンへの伝達は脊髄後角（あるいは延髄）でシナプスが形成されて行われる。更に情報は視床へと至り、最終的には大脳皮質頭頂葉に存在する、体性感覚野へと伝わる。2次ニューロンの経路には脊髄延髄路（後索路系）、脊髄視床路、三叉神経伝導路、脊髄小脳路、脊髄網様体路がある。

脊髄延髄路（後索路系）は詳細な触圧覚や位置覚、運動覚などの深部感覚を伝える。脊髄に入った後に同側の後索を上行して、延髄後索核（薄束核、楔状束核）で2次ニューロンにかえて、交差して内側毛帯内側毛帯 Medial lemniscus（Lemniscus medialis）となり、視床腹側後外側核（VPL 核）に到達する。

脊髄視床路は温度覚、粗大な触圧覚、侵害受容刺激などを伝える。脊髄に入った後に脊髄後角で2次ニューロンにかえて、交差後に反対側の前側索を上行する。脊髄視床路はさらに脳幹で外側と内側に分かれ、外側は新脊髄視床路（外側脊髄視床路）とよばれ、視床外側核に達し、その後大脳皮質に投射される。内側は旧脊髄視床路（内側脊髄視床路）とよばれ、視床内束核に達し、その後大脳辺縁系に投射される。

脊髄小脳路は非意識型深部感覚を直接小脳に伝える。側索を上行し延髄から下小脳脚を通過して小脳虫部の皮質に終わるのが後脊髄小脳路（非交叉性）、上小脳脚を通過して小脳虫部に至るのが前脊髄小脳路（交叉性）である。この経路は意識に上らないような筋紡錘や腱器官からの情報を伝え、姿勢や運動の調節に関係しているといわれる。

脊髄網様体路は触覚、痛覚、温度覚などの情報を伝える。脊髄内の前側索を上行し、脳幹網様体に達し、別のニューロンとシナプス

を形成し、視床や視床下部に達し、最終的に大脳辺縁系に投射する。

意識水準の維持・調節、姿勢の維持や歩行など自動運動の調節、あるいは怒りや恐れなど情動行動の誘発に関与する。この経路は自律神経系の活動に大きく影響を及ぼすといわれる。

受容器が刺激を受けると、体性感覚神経を經由した求心性情報は脊髄を上行して上位中枢神経系に伝えられる。脊髄、脳幹、中脳レベルで情報処理及び統合が行われるが、どこで情報が処理されるかによって反応の表れ方は異なると考えられる¹⁸⁾。

電気温熱刺激療法の作用機序に関しては、組織レベルでは循環改善作用に伴う機能回復と体性-自律神経反射によって神経機能回復を促すものと考えられる。今回の心拍変動数解析による検討の結果、電気温熱刺激療法は自律神経活動、特に交感神経活動を鎮静化し、自律神経反射を出やすくする、すなわち反射が出現し易くなる傾向であることが示された。またその効果は性差による違い、年齢による違いがある可能性が示唆された。

3 鍼灸治療との比較

体壁に刺激が加わると、その情報は脊髄に入力される。この情報は脳だけでなく、同じ脊髄分節に入力している臓器にも伝わる。このような刺激で内臓に影響が及ぶことを体性-内臓反射あるいは体性-自律神経反射と呼ぶ。特に慢性痛患者では、消化器系の不調や手足の冷え、ドライアイやドライマウスなどの交感神経亢進症状を有するものが多く、これらが間接的に痛みを悪化させる痛みの悪循環を形成している。鍼灸治療では体表に刺激を加えることで、その脊髄分節に関与する臓器機能を活性化させ、痛みの悪循環を断ち切ることを目的としている¹⁹⁾。

鍼治療は皮膚及び筋肉内のポリモダル受容器を刺激していると考えられ、感覚刺激情報は主に脊髄視床路を經由して視床に伝達され、更に大脳の知覚中枢に伝達される。脊髄視床路は延髄、中脳水道灰白質、視床下部などにも投射している^{20) 21)}。

延髄にある孤束核は循環器系、呼吸器系、胃腸系から送られてくる求心性内蔵情報を中枢に伝えたり、内臓機能の調節に大きく関わっている。迷走神経背側核に隣接しており、延髄吻側腹外側野にも投射している。この孤束核が鍼刺激によって興奮すると、副交感神経系と交感神経系の両方、あるいはどちらかが活性化して自律神経機能が変化を受ける。これが自律神経調整につながると考えられる。痛みの情報は中脳水道周囲灰白質から放射されているオピオイド神経によって抑制を受ける。鍼治療の鎮痛効果は内因性オピオイドによっても調節されていることが知られている。視床下部から放出されるオキシトシンは CRF の発現を阻止することで抗ストレス効果を発揮する。

鍼刺激は体性-自律神経反射によって様々な生理反応を引き起こすが、刺激と反応の関係には二つの特徴がある。一つは刺激部位の違いによるもので、四肢の刺激では脊髄より上位の中枢を介する上脊髄反射（全身性反射）が出現する。体幹部の刺激では脊髄の分節レベルに反射弓を形成する脊髄分節反射が出現する。二つめは刺激量による反応の違いで、有髄、無髄神経線維の違いにより興奮閾値が異なるため、反射経路が異なってくる。そのため異なった刺激量によって違う反応が出現する。内分泌系や免疫系に影響をおよぼす場合もある²²⁾。

また脳も脊髄も介さない作用機序も存在する。施術を行った局所の皮膚にフレアといわれる発赤がみられることがある。これは鍼灸

刺激によってポリモダル受容器が興奮して、その情報が C 線維を介して脊髄に伝わる。一方で軸索反射により C 線維を逆行した活動電位は神経終末に達すると血管拡張物質であるサブスタンス P（substance P：SP）やカルシトニン遺伝子関連ペプチド（calcitonin gene-related peptide：CGRP）などのニューロペプチドを神経終末から放出し、局所の血管拡張反応を引き起こすと考えられている。また鍼刺激により局所のアデノシン濃度が増加し、アデノシン受容体を介した末梢性の鎮痛が生じることや、鍼刺激により血管内皮細胞から放出される一酸化炭素（nitric oxide：NO）が増加し皮膚血流増加を示唆する報告などもある。

深部の疾病などが皮膚に影響した範囲は反応点と呼ばれる。反応点は交感神経反射により皮膚に出現したもので、すべての疾病は皮膚の自律神経に反映し反応点を形成し、同時に筋肉を緊張させて痛みの原因になると考えられる。反応点に鍼灸刺激を加えると血液循環・リンパ循環・免疫細胞の増強などを促し、疾病を回復へと導く。自律神経が疾病などの修復に働き、また筋緊張を緩和させて痛みを取り除くと考えられる。

反応点は指先で皮膚に触れて交感神経の過敏な活動を把握して確認されるが、経穴は皮膚通電抵抗の減弱部に多く存在するといわれている。そのため電気刺激療法を行う場合は経穴を用いるほうが反応点を用いるよりも、さらに電流量が多く流れると考えられている。皮膚通電抵抗の減弱の理由として、角層の細胞膜の脱分極が考えられ、その脱分極を起こす原因として交感神経の興奮が考えられている²³⁾。

経穴とは、東洋医学での、病気や痛みの効果的な治療点であると同時に、診断点でもある。経絡上で気・血・水が滞りやすい場所が

経穴である。体表面を押したり叩いたりすることにより、痛みが発生するため、圧痛点と考えられている。Melzack²⁴⁾らは、MPS患者に現れるトリガーポイントの出現部位が、71%という高い確率で経穴部位に一致していると報告した。

電気温熱刺激療法の効果発現を考えると、鍼灸治療との類似点が多いことに気づく。しかし電気温熱刺激両方（バイオセラピー®）は経穴、反応点などのポイントだけを狙って、固定的に刺激する治療ではない。鍼治療と同様の作用機序で自律神経機能に影響を及ぼしている可能性もあるが、別の作用機序も関わっているものと考えられる。

4 鍼通電療法との比較

電気刺激療法と鍼治療を融合させた鍼通電療法（electro acupuncture therapy : EAT）がある。1825 年フランスの医師 Sarlandiere が最初に行ったといわれている。鍼通電療法は一定の刺激を与えることができ、定量的に刺激量や刺激時間を変化させることができる。量－反応関係は S 字状曲線を示すので、刺激量を客観的に評価することができる。電気刺激による鎮痛・除痛効果を目的とする場合、経皮的電気刺激（transcutaneous electrical nerve stimulation : TENS）の強さ－時間曲線（strength duration curve : SD 曲線）の閾値が最も低いのは A β 感覚線維であり、電気刺激強度を上げていくと運動神経の閾値に到達して筋収縮が起こる。痛覚線維の A δ 線維は運動神経の閾値に近いので、刺激強度を上げると鋭い痛みを惹起してしまう。更なるパルス時間の増大は C 線維の閾値にも到達してしまうため、筋収縮を目的とした痛みを惹起しない刺激は難しい²⁵⁾。

筋には電気刺激に対して最も反応しやすい部位が存在する。この部位を運動点 motor

point と呼ぶが、筋を支配している神経の筋枝が筋に入り込む部位で、神経筋接合部が集まっている部位と考えられる。筋収縮を目的とする場合は運動点を刺激する方が、より少ない刺激強度で効率的に筋収縮を惹起することができ、余計な痛みを惹起させないためにも重要である。皮膚表面を刺激する TENS は直接刺激している皮膚に電流が流れやすく、皮膚に分布している知覚神経が刺激されて疼痛を感じる人が多い。また刺激条件は部位や目的などにより適宜変更する必要がある、電気刺激による効果は被験者により個人差が大きいというデメリットがある。筋肉まで刺激できる鍼通電療法は電気抵抗の少ない筋肉を直接刺激できるため、効率的に筋肉の血行を改善したり、効率的に求心性神経を刺激して鎮痛系を賦活化したり、反射反応によるホルモン分泌は自律神経機能調節が可能と考えられている。

痛みと関連する自律神経は交感神経である。何らかの痛みが身体に存在している際、その痛みがストレスとして認識されるなどの要因により視床下部が興奮すると交感神経活動が亢進する。その結果、交感神経末端からノルアドレナリンが放出され、侵害受容器の活動を亢進させるとともに、血管収縮や血中のマクロファージや肥満細胞を活性化させて TNF α を放出し、感覚神経の活動亢進も引き起こす。さらに副腎髄質からアドレナリンを分泌し同様に感覚神経の活動を亢進させることで痛みを増強したりさらなる痛みを引き起こしたりすると考えられている。また、慢性的な炎症や神経損傷などの病態においては痛みと交感神経との関係はさらに複雑になるが、① 侵害受容器に交感神経の受容体が新たに出現すること、② DRG（後根神経節）へ交感神経が侵入することの 2 点が大きく影響している。これらの結果、侵害受容器が本

来反応しない交感神経が放出するアドレナリンに反応したり、DRG に存在する $A\beta$ や $A\delta$ 神経線維に対応する大型細胞がノルアドレナリンに反応するようになり、痛みを誘発するものと考えられている。なお、痛みの悪化はさらに交感神経の亢進を引き起こし、痛みを慢性化するきっかけ「痛みの悪循環」を形成する^{26) 27)}。

TENS 療法は疼痛部位やその周囲、あるいは支配脊髄神経の起始部に表面電極を貼って、低周波刺激を行い、患部または周囲の神経線維 ($A\alpha$ 、 $A\beta$) を刺激する治療法である。TENS 療法に比べ鍼通電療法は目的とする部位を直接的に刺激でき、刺激量を調節可能であるという利点がある。TENS 療法は皮膚に電流が流れやすく、知覚神経が刺激されやすいが、鍼通電療法は鍼を筋肉に刺入すると電流は抵抗の少ない筋肉の方へ流れるため、筋肉刺激、神経刺激には効率が良いといえる。体性-自律神経反射も起こしやすく、自律神経機能刺激には有効であると考えられる。しかし、鍼通電療法には鍼刺入による感染などのリスクと、 $10\mu A$ 程度の極めて小さな電気刺激でもマイクロショックが起こり重篤な被害を引き起こす可能性もある。

電気温熱刺激療法は用手的に電気刺激を与えるが、刺激目的に応じて、被験者の感じ方や筋収縮の状態を見ながら、刺激条件や細かい調整が可能である。鍼刺入のストレスもなく、マイクロショックのリスクも少なく、繰り返し行うことが出来るというメリットがある。痛覚を感じることは少なく、経絡に沿って刺激を移動しながら与えることで経穴や深部組織に多く存在するといわれるポリモーダル受容器なども効率的に刺激できるものと考えられる。TENS 療法や鍼通電療法は経穴、反応点のみならず運動点やトリガーポイントへの刺激には有用であると考えられるが移動し

ながらの刺激は難しい。電気温熱刺激療法は刺激を経絡や神経走行、筋肉走行などのラインに沿って、流れを良くするような刺激が可能である。効率的に、広い範囲の求心性神経を刺激していることも自律神経機能の調節につながるものと考えられる。

5 タッチセラピーとの比較

心地よさを引き出すタッチの刺激条件は、手掌を皮膚に密着させ、1 秒間に $5\text{cm}\sim 10\text{cm}$ のスピードでゆっくりと撫で擦ることであるとされている。逆に覚醒度を高める刺激条件は、1 秒間に 20cm 程度の速い速度で撫で擦ることがよいとされている。前者の方法は、副交感神経活動を亢進させ、後者は交感神経活動を亢進させるとされている。従って、心地よい、気持ちよい感覚、リラックス感を引き起こすには、ゆっくりとした撫で擦る刺激方法が効果的であるといえる。この心地よさの発現には、特異な C 線維が関与していることが動物実験で明らかにされた。この感覚線維は G タンパク共役型受容体の MRGPRB4 を発現している C 線維であることが同定され、その受容体はマッサージ様のストローク（撫でさすること）にのみ発現し、機械的な刺激には応答しないと報告されている。ゆっくりとしたタッチの刺激は C 線維を介して中枢に伝えられ、脳内の報酬系 (reward system) によりドーパミン、セロトニンが産生され、快感が生じる²⁸⁾。

Snyder²⁹⁾は、手をあてるという看護師の行為を、意図的タッチと、セラピューティックタッチに分け、意図的タッチは、痛みや不安の軽減を目的として患者の身体に意図的に触れるもの、セラピューティックタッチは人間のエネルギーの場を整え、身体のバランスを整えるもので、東洋の氣に通じる働きをもつものであると述べている。

セラピューティックタッチには、疼痛緩和、不安の軽減、免疫機能向上など、効果を示す多数の実践報告がある。我が国においては、野口整体の創始者である野口晴哉³⁰⁾によって開発された愉気という手あて技法がある。愉気は、身体にもともと備わっている機能を喚起する目的で、深い呼吸をしながら身体に手をあてる。これを相手と交互に繰り返す中で、互いの自然治癒力を高めていく。

近藤³¹⁾らは癒し技法としてのタッチが、タッチ受け者とタッチ施術者に及ぼす効果について報告した。主観的評価として気分を評価する質問紙法として、世界共通で使用されている心理テスト（Profile of Mood States：POMS）を用いた。生理的測定として心拍変動解析により高周波成分（HF）、低周波成分（LF）、両者の比（LF/HF）の検討を行った。その結果、タッチ受け者には、副交感神経活動の亢進と交感神経活動の低下がみられリラクセーションがもたされた。タッチ施術者には交感神経活動の低下をもたらされた。タッチを受ける人と、タッチを行う人には相互作用が存在することを報告している³²⁾。

電気温熱刺激療法は電流をセラピストの体内を通して、被検者を刺激する。人の手を持つ力によるエネルギー・セラピーとコンフォート・タッチによるリラクセーション効果が期待できるのではないかと考えられる。またオールハンドで施術することで、顔面などの繊細な部位へのきめ細やかな刺激も可能であり、リンパ循環も改善することが可能な施術であると考えられる。電気温熱刺激療法の施術者と被検者間には生理的反応効果と心理的反応効果が存在し、相互にプラスの影響を及ぼしあっているものと考えられる。

6 電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）が自律神経活動に及ぼす効果について

ヒトは自律神経系と内分泌系、免疫系が連携して体内外の環境変化に対し体内恒常性 homeostasis を維持する。この機能調節系のうち内分泌系と免疫系は全身性であり、またその機能発揮に要する時間は緩徐であるのに対して、神経系の調節は瞬時的、迅速的であり、局所性が強いと言われる。神経系の調節の中核をなすのが自律神経系で、解剖学的には交感神経系と副交感神経系に二大別される。生体はこれらのシステムの協調作用、相互作用のうえに成り立っており、それぞれが影響を及ぼし合っている³³⁾。

各臓器、各組織を支配する自律神経の活動変化は一樣ではなく環境変化に別個に反応する。たとえば心臓の交感神経が興奮したとしてもほかの臓器、組織を支配する交感神経は必ずしも興奮せず、逆に抑制されるものもある。すなわち、生体は体外体内環境の変化に対して各臓器組織を支配する自律神経を必ずしも一樣に変化させるものではない。したがって体外体内の環境変化に対して、どのメカニズムが優位に関わっているかを見極めて、生かしていくことが重要であると考えられる。

自律神経支配は拮抗的な二重支配とそれぞれのトーンス（緊張性活動）の増減によって機能が調節されているという特徴がある。また自律神経系の活動の基調は副交感神経系であり、交感神経系の働きはアクセント的役割であるとされている。例えば気道などに分布する副交感神経は安静時でもトーンスを保ち、気道の状態を絶えず中枢に伝えていると言われる。気道粘膜への刺激は舌咽神経、迷走神経を求心路として咳反射を起こし、鼻粘膜の刺激は三叉神経を求心路としてくしゃみ反射を起こす³⁴⁾。これらの反射は、気道に侵入した異物を排出する防御反射であり、これらの

防御反射が出現した際は交感神経系がアクセント的に活動の増大を起こし、また反射が起こった際には副交感神経系活動は抑制されるのではなく、調節的に働き、副交感神経活動も増加させて反射で抑制するように反応していると考えられる。このように本来の交感神経と副交感神経の働きはシーソーのバランスをとるような動きではないと考えられる^{35) 36)}。

電気温熱刺激療法は交感神経活動や副交感神経活動のどちらか一方だけを刺激して効果を発現するのではなく、それぞれを同時に刺激していると考えられる。刺激終了後は CVRR の低下が示すように、そのリラクセーション効果により自律神経活動全体を沈静化させているものと考えられる。また施術後は自律神経活動が正常化されることにより、刺激に対する自律神経の反応性の向上が Δ CVRR の増加となって現れているものと考えられる。電気温熱刺激療法は自律神経活動を本来のバランス状態に戻す作用があるのではないかと推察される。

7 電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）の展望

全身の皮下組織や筋膜、種々の隔膜などはファッシア（fascia）と呼ばれる結合組織でつながっている。ファッシアの構成要素の大部分はコラーゲンで、一部エラスチンを含み、弾力性や固定性を維持している。コラーゲンは圧電素子でピエゾ電気を発生させ、情報伝達に関与するのではないかと考えられている³⁷⁾。このファッシアの中を微弱電気が流れる現象が経絡現象ではないかという理論に従って、体内の電流の流れを外部から調節する方法として電気温熱刺激療法が開発された。微弱電流はミトコンドリアにおける電子伝達系に働き ATP 合成を促進させるとの報告もあり³⁸⁾、除痛効果や損傷組織の治癒促進効果を

もたらすといわれる。また体内の微弱電流の流れは、体液成分を通じた細胞間コミュニケーション以上に、重要な体内での交流方法であると考えられる。しかし、まだその作用機序については不明な部分も多い。

Thomas Myers³⁹⁾は、体内の筋肉は一群の流れを作り、それらは同じ筋膜に包まれて機能することを提唱した。筋膜のつながり、張力を感じ合うラインを筋・筋膜経線（Anatomy Trains）と呼び、機能的な力伝達の共通経路と認識されている。東洋医学的に気滞血瘀による種々の症状は、筋・筋膜経線における筋膜の炎症による浮腫や縮み、よじれ、肥厚などが原因と推定されている。筋膜リリース⁴⁰⁾は筋膜の委縮・癒着を引き剥がしたり、引き離したり、こすったりすることで、正常な状態に戻し、筋肉の柔軟性を引き出したり、関節の可動域を拡大する治療法であるが、電気温熱刺激療法は温熱刺激や電気刺激により筋・筋膜を伸ばしたり、圧することで、筋膜リリースを行い、筋・筋膜経線の順調な働きを取りもどす治療法と考えられる⁴¹⁾。理想的なテンセグリティ構造になれば、力学的張力伝達の改善が期待でき、身体の機能を最大限に発揮することができる。電気温熱刺激療法は力学的情報伝達系を改善することにより、神経系活動や血液・リンパ液・間質液などの循環動態を改善し、細胞間、組織間の情報伝達も改善する可能性があると考えられる。

細胞を伸展したり加圧したりすると緊張型、緩和型メカニカルストレスが発生するが、細胞はそれに適応して恒常性を維持しようとする働きがある。それが細胞分化や増殖抑制につながり、再生・創傷治癒となる⁴²⁾。マッサージ効果は血流改善によると考えられることが多いが、微弱電流による刺激がメカニカルストレスとなり組織修復シグナルに関与している可能性も考えられる。微弱電流は靱帯損傷、

腱損傷、創傷、骨格筋損傷等の軟部組織損傷に対して修復促進効果が報告されている。電気温熱刺激療法は細胞レベルや組織レベルで生体の機能や応答を制御している可能性が考えられる。

上馬場は電気温熱刺激療法の作用機序として、マッサージ法の効果を介した静脈・リンパ還流の促進と、その結果として循環促進作用が働くこと。また、皮膚を刺激することによる体性自律神経反射による副交感神経刺激の変化を通じた呼吸ポンプ作用（呼気が副交感神経刺激、吸気が交感神経刺激）の発動による自律神経系への刺激作用などを推測している⁴³⁾。またファッシアの中を電気が流れる現象が、体表面での「気」の流れに相当するのではないかと推測している。電気温熱刺激療法は微小電流を介して「気」に、マッサージ効果や温熱作用に介して「血」や「水」に対して作用することで、包括的な作用により人体の循環を促進し、自律神経系を活性化することがあり、今後、更なる進歩を遂げる高い可能性を有していると述べている⁴⁴⁾。

電気温熱刺激療法は高周波温熱治療と電気刺激療法、マッサージ療法を組み合わせた、非侵襲的に繰返し行うことのできる治療法と考えられる。TESとFESの両方の目的を兼ね備える電気刺激が主な効果を発現していると考えられる。経皮的電気刺激法のひとつではあるが、筋収縮刺激強度から無知覚レベルの微弱電流刺激も用いることができる。臓器レベルでは治療刺激を点だけに絞ることなく、ラインによる刺激や面による刺激を加えることにより、神経系や循環器系だけでなく、筋・筋膜ルートなどの運動器系にも刺激を与え力学的張力バランスを取りもどすことも可能である。またこれらの刺激は中枢神経系の情報伝達にも影響を与えている可能性が考えられる。

組織・細胞レベルでは空間的、時間的に反復刺激を加えることが促進刺激となり、組織間コミュニケーションの改善、細胞機能の回復をもたらすものと考えられる。微弱電流刺激はミトコンドリア電子伝達系に働きATP合成を促進させ、細胞のタンパク質合成を促進させる。分子レベルでも細胞増殖因子、サイトカイン、ホルモンなどの生理活性物質に刺激を与え、シグナリング経路を活性化させているものと考えられる。東洋医学における鍼灸療法や鍼通電療法、気の流れ⁴⁵⁾の改善法などとの共通点を生かしながら、西洋医学的理論・手法と融合させることにより循環機能や神経機能、ファッシア機能の改善と分子レベルでのシグナル伝達改善作用などが期待できる可能性を秘めた治療法であると考えられる。

VII 結 語

電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）は温熱刺激と経皮的電気刺激を加えることにより循環機能、神経機能、運動機能、代謝機能などを改善することが可能である、組織の循環改善作用に伴う機能回復と体性－自律神経反射によって起こる様々な生理反応、微弱電流刺激による細胞機能の活性化などが作用機序として考えられた。今回の心拍変動数解析による検討の結果、自律神経活動、特に交感神経活動を沈静化し、自律神経反射を出しやすくする、すなわち反射を出現し易くする傾向があることが示された。またその効果は性差による違い、年齢による違いがある可能性が示唆された。電気温熱刺激療法（バイオセラピー®）は自律神経活動を本来のバランス状態に戻す作用があるのではないかと考えられた。その作用機序について文献的考察を行った。

謝 辞

ご多忙のなか御指導を賜りました、ハリウッド大学院大学教授、帝京平成大学東洋医学研究所客員教授、上馬場和夫先生、トータル・メディカルビューティ研究所、金スワン先生に心より感謝申し上げます。

付 記

本論文について開示すべき利益相反を有しない。

千葉県保険医協会倫理委員会の審議にて承認を得た。(承認番号 202011050007)

文 献

- 1) 早野順一郎・岡田暁宣・安間文彦：心拍のゆらぎ—そのメカニズムと意義. 人工臓器. 1996;25(5); 870-880
- 2) 小澤静司・福田康一郎：標準生理学. 第八版. 東京. 医学書院. 2017
- 3) 林博史：心拍変動の臨床応用-生理的意義-病態評価-予後予測. 東京. 医学書院. 2007
- 4) 日本自律神経学会編：自律神経機能検査. 第五版. 東京. 文光堂. 2015
- 5) 茂吉雅典・早野順：新しい心拍変動パラメータによる tilt 試験に対する自律神経反応の分析. 医用電子と生体工学 1996;34(2):161-170
- 6) 岡野喜史・五十嵐正樹：Mem Calc 法を用いた心房波心拍変動解析と心臓電気生理学的検査. 心臓. 2004;36(2):13-16
- 7) 庄本康治：エビデンスから身に着ける物理療法. 東京. 羊土社. 2017
- 8) 烏野大：高電圧パルス電流療法. 理学療法の歩み 2004;15(1):27-40
- 9) 山田幸一：微弱電流治療の実際. 名古屋. 株式会社中部日本教育文化会. 2015
- 10) 中山登稔・林知也：臨床現場における経皮的神経電気刺激療法. 東京. 医歯薬出版. 2011
- 11) 長尾透：病院と ME 機器との安全対策. 医用電子と生体工学 1973;11(3):61-68
- 12) 市川健二：感電災害の動向と電撃の危険限界. 安全工学 2009;48(6):407-412
- 13) Cheng N. et al.: The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis and membrane transport in rat skin. Clinical Orthopaedics and Related Research 1982;171:264-272
- 14) 藤谷博人：スポーツにおける微弱電流刺激療法. 聖マリアンナ医科大学雑誌 2018;45:265-269
- 15) 杉元雅晴：褥瘡治療を促進する専用電気刺激治療器の開発—臨床治験による安全性と効果の確認. 理学療法. 2013;40(8):732-738
- 16) 水上修作：熱ショックタンパク質と抗腫瘍免疫. 岡山医学会雑誌. 2012;124(8):175-177
- 17) 後藤和廣：ヒト皮膚 C 線維および A δ 線維求心性神経活動の研究. 全鍼灸誌 1983;32(3):195-203
- 18) 川喜多健司・矢野正：鍼灸臨床最新科学—メカニズムとエビデンス. 東京医歯薬出版. 2017
- 19) 熊澤孝明：生体の防御機構と鍼灸医学—生体の警告信号・防御系としてのポリモーダル受容器の働き. 全日本鍼灸学会雑誌 1992;42(3):220-227
- 20) 水村和枝：鍼灸刺激の受容器（経穴）の有力候補—ポリモーダル受容器について. 日東医誌 2011;62:196-205
- 21) 水村和枝：痛み受容器（侵害受容器）の生理学—痛み受容器における受容変換・感作の機構. 日本ペインクリニック学会誌. 2002;9(4):44-50
- 22) A.Sato, Y.Sato, R.F.Schmidt. 山口眞二郎監訳：体性—自律神経反射の生理学—物理療法、鍼灸、手技療法の理論. 東京. 丸善出版. 2012
- 23) 木村研：鍼灸治療が末梢循環に及ぼす影響とその作用機序について—基礎研究からの考察. 自律神経 2019;56:146-149
- 24) Melzack R. Wall PD : Pain mechanisms-a new theory. Science. 1965;150(3699):971-979.
- 25) 大島宣雄・山口眞二郎：鍼通電療法テクニック—運動器系疾患へのアプローチ. 改定第 4 版. 横須賀. 医道の日本社. 2018

- 26) 渡部幸司：リハビリテーションにおける電気刺激療法の展望. 順天堂医学 2010;56:29-36
- 27) 後藤淳：筋緊張のコントロール. 関西理学 2003;3:21-31
- 28) Mary Kathleen Rose, 本間生夫・小岩信義監訳：高齢者と患者へのケア&マッサージーコンフォート・タッチ. 横須賀. 医道の日本社. 2011
- 29) Snyder M, Lindquist R.: Complementary / Alternative Therapies in Nursing 3rd Edition. Springer Publishing Company; 1998.
- 30) 野口晴哉：愉気法 1. 東京. 全生社. 1970
- 31) 近藤浩子・小宮浩美・浦尾悠子：癒し技法としてのタッチの受け者と施行者における効果に関する研究. 東京医療保健大学紀要. 2013;7(1):1-10
- 32) 渡邊久美・國方弘子・三好真琴：精神障害者へのハンドケアリング前後の変化ー自律神経活動および不安、対人距離の心理的指標から. 日本看護科学会誌. 2015;35:146-154
- 33) 鈴木郁子：やさしい自律神経生理学-命をささえる仕組み. 東京. 中外医学社. 2015
- 34) 高橋昭・間野忠明監訳：ロバートソン自律神経学. 原著第3版. 東京. エルゼビア. 2015
- 35) 後藤幸生：自律神経機能解析から見た SGB 反復回数についての検討. 日本ペインクリニック学会誌. 1995;2(3):387-393
- 36) 後藤幸生：自律神経系バランス-歪み. その賦活刺激鍛錬ーバランス調整療法. 臨床麻酔 1999;23(5):797-808
- 37) David Lesondak, 小林只監訳：そのファシアーその存在と知られざる役割. 横須賀. 医道の日本社. 2020
- 38) Cheng N. et al.: The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis and membrane transport in rat skin. Clinical Orthopaedics and Related Research 1982;171:264-272.
- 39) Thomas W. Myers.: Anatomy Trains : Myofascial Meridians for Manual and Movement Therapists, USA. Churchill Livingstone. 2008
- 40) James Earls, Thomas Myers. 赤坂清和監訳：ファッショナルリリーステクニック. 横須賀. 医道の日本社. 2019
- 41) Leon Chaitow. 斎藤昭彦訳：筋膜への徒手療法ー機能障害の評価と治療のすべて. 横須賀. 医道の日本社. 2018
- 42) 澤田泰宏：「緊張型」と「緩和型」のメカニカルストレスによる生体恒常性維持. 実験医学. 2015;33(10):119-127
- 43) 上馬場和夫・西川真知子：新版インドの生命科学ーアールヴェーダ. 東京. 一般社団法人農山漁村文化協会；2017:100-101
- 44) 上馬場和夫：刺絡療法の作用機序に関する考察その1「静脈の循環系ハブ仮説」と「静脈鬱血性疼痛仮説」の提唱. Eastern Medicine. 2017;33(1):63-77
- 45) 木村照：気の病理に関する弁証法的解釈ー気は生体電流であるとみる仮説. 耳鼻臨床 1982;75(2):751-755