

微弱電流刺激 (MENS) による自律神経バランスへの影響 —ウェアラブルバイオセンサを用いての検討—

則本 哲郎¹⁾, 柳原 延章^{2,3)}, 佐藤 教昭⁴⁾

キーワード: 微弱電流刺激, ウェアラブルバイオセンサ, 自律神経バランス, 心電図 R-R 間隔

要旨

近年スポーツ界では, 微弱電流刺激治療がスポーツ選手のケアやコンディショニングの分野まで実施されている. 本研究では, 頸椎から仙椎に通電する微弱電流刺激が自律神経バランスにどのような影響を与えるか検討した. 被験者は各群, 健常成人 27 名で, 通電群 (40.8 ± 17.7 歳) 及び非通電群 (コントロール群) (37.7 ± 18.9 歳) であった. ウェアラブルバイオセンサ (小型携帯用心電計) を用いて, 自律神経バランス測定を行った. 2 元配置分散分析の結果, 自律神経バランス測定パラメータ 7 項目の内, 6 項目で治療前後の主効果に有意差が認められた. 治療有無の主効果は 2 項目 (相対的交感神経活動度と交感神経 / 副交感神経領域比) で有意な低下が認められた. 治療有無 × 治療前後の交互作用は副交感神経機能パラメータの 2 項目 (安静時平均心拍と内在活力) で有意差が認められた. 以上の結果より, 頸椎から仙椎における微弱電流刺激は自律神経バランス, 特に副交感神経機能を高める可能性が示唆された.

はじめに

自律神経とは, 気温の変化や精神的ストレスなどの外的刺激に対し生体の恒常性 (ホメオスタシス) を一定に保とうとする働きをもつ神経である. 自律神経には活動・興奮時に働く交感神経とリラックス時に働く副交感神経の 2 つの神経がある. この相反する神経が内臓や血管の収縮・弛緩や内分泌ホルモンの調節など, ほとんどすべての器官の調整を担っている¹⁾. 人の身体はこの自律神経による二重支配の協調作用として影響を受けているが, 長期の精神的興奮やストレス等により 2 つの神経のバランスが崩れると自律神経不全となり様々な病気が生じると考えられている^{1,2)}.

微弱電流刺激 (Microcurrent Electrical Neuromuscular

Stimulation, 以下 MENS) は, 損傷した軟部組織, 骨組織や神経組織 (末梢神経) などの修復を促すことからスポーツ界でも広く利用されている. ラットを用いた実験³⁾ や臨床実験^{4,5)} 等によりその効果が報告されているが, 近年は治療のみならずコンディショニングケアにも実施されている. このように MENS の使用が広がる中, 自律神経系にどのような影響を及ぼすのかについては未だ十分な研究が行われていない.

著者らは, 後藤ら⁶⁾ が開発した自律神経バランス測定システムを用いて, 更年期障害患者での自律神経バランスの異常を報告した^{7,8)}. さらに最近, 小型携帯用心電計を用いた自律神経バランス自動測定解析ソフトウェアを開発し, それを臨床研究に応用しその成果を報告した^{2,7-9)}. そこで今回, このウェアラブルバイオセンサを用いて頸椎から仙椎にかけての微弱電流刺激が自律神経系にどのような影響を及ぼすかを検討した.

対象と方法

1) 対象者

被験者は成人健常者の各群 27 名で通電群 (平均年齢 ± 標準偏差, 40.8 ± 17.7 歳) 及び非通電群 (平均年齢 ± 標準偏差, 37.7 ± 18.9 歳) とした. 但し, 自律神経バランスに影響する疾患 (糖尿病, 高血圧, パーキンソン

Effect of microcurrent electrical neuromuscular stimulation on the autonomic nervous balance : Examination by using a wearable sensor

¹⁾ 医大前整骨院

Tetsuro NORIMOTO, Judo Therapist: Idaimae Osteopathic Clinic

²⁾ 産業医科大学

Nobuyuki YANAGIHARA, Ph.D: University of Occupational and Environmental Health

³⁾ 九州栄養福祉大学食物栄養学部

Nobuyuki YANAGIHARA, Ph.D: Kyushu Nutrition Welfare University

⁴⁾ 産業医科大学共同利用研究センター

Noriaki SATOH, Ph.D, Assistant Professor: Shared-Use Research Center, University of Occupational and Environmental Health

(受付日 2021 年 7 月 21 日 / 受理日 2022 年 1 月 17 日)

©2022 Japanese Society for Electrophysical Agents in Physical Therapy



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International. (CC-BY 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ン病、精神疾患、不整脈等)に罹患している人やその疾患のために服薬している人は除外した。また自律神経機能に影響の可能性がある薬物(抗ヒスタミン薬や抗アドレナリン作動薬等)や飲料水(カフェインを含むコーヒーや緑茶など)は、測定日は服用しないこととした。

2) 方法

(1) 自律神経バランスの測定と分析

被験者は仰臥位 (sup), 閉眼にて 60 秒間, その直後に起立状態 (std), 開眼にて 90 秒間姿勢を保持し, メトロノーム音にしたがって 4 秒に 1 回の呼吸を維持するようにした。自律神経バランスの測定と分析には, ウェアラブルバイオセンサ (TDK 社製, シルミー) (図 1A) を用い, 心窩部に貼付した。測定された心電図は, 測定システムにより交感神経機能と副交感神経機能の 6 つのパラメータが算出される。

<交感神経機能パラメータ①~③>

交感神経機能は起立負荷時の心拍変動を測定し, これらの値が増加することにより交感神経活動が亢進していると判断する。

- ① 相対的交感神経活動度 LF/Total (std) : 立位時 RR 間隔変動の LF (0.04-0.15 Hz) 成分の全パワースペクトルに対する面積比を表し, 起立負荷時の相対的な交感神経活動レベルを示す。
- ② 瞬時反応性 mRR(sup)-RRmin(std) : 安静仰臥位時の RR 間隔平均値と起立負荷により RR 間隔が最も低下した時の差を表し, 起立負荷時の交感神経被刺激度の値を示す (図 2)。
- ③ 活性化持続 mRR(sup-std) : 安静仰臥位と起立時の

RR 間隔平均値の差を表し, 起立負荷時の交感神経被刺激度の持続性を示す (図 2)

<副交感神経機能パラメータ④~⑥>

副交感神経機能は安静仰臥位での心拍変動を測定し, これらの値が増加することにより副交感神経活動が亢進していると判断する。

- ④ 安静時平均心拍 mRR(sup) : 安静仰臥位時 RR 間隔の平均値を表し, 安静仰臥位での心拍間隔の平均値を示す。
- ⑤ 相対的副交感神経活動度 HF/Total (sup) : 安静仰臥位時 RR 間隔変動の HF (0.15-0.4 Hz) 成分の全パワースペクトルに対する面積比を表し, 安静仰臥位での相対的な副交感神経活動を示す。
- ⑥ 内在活力 SDRR(sup) : 安静仰臥位時 RR 間隔平均値の標準偏差を示す。
- ⑦ 自律神経バランス比 S/P ratio : 交感神経機能の 3 つのパラメータの和である交感神経領域 (S) と副交感神経機能の 3 つのパラメータの和である副交感神経領域 (P) の比であり, 交感神経 / 副交感神経領域比 (S/P ratio) を示す。

これらの結果を健常若年者 100 名から得られた平均値を 100%とした時の相対値 (基準値) をレーダーチャート図として表示され, それと比較することにより自律神経バランスの歪みや状態がわかるものである^{6,7)}。S/P 値より交感神経と副交感神経活性化の度合いを知ることができる。S/P 値が 1.0 以上で交感神経優位, 1.0 以下で副交感神経優位と判断する。自律神経バランス測定は, 通電及び非通電前後において実施した。

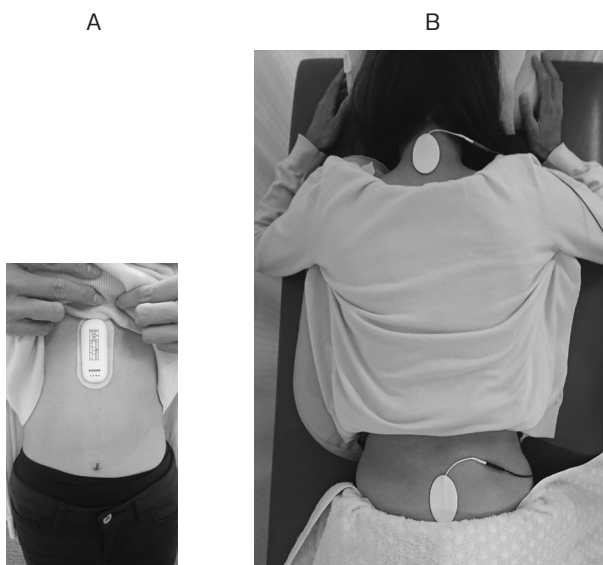


図 1 A, 生体バイオセンサの装着部位 MENS 通電方法. B, 体表より頸部 C5-C7 に正極, 仙椎に負極の電極を貼付し通電する。

(2) MENS

通電群には通電機器 (サンメディカル社, エレサス) を用いて体表より電極を頸椎 C5-C7 に正極, 仙椎に負極を貼付し, 腹臥位にて測定した。刺激パラメータはパルス幅 1,700 ms, 0.3 Hz, 600 μ A, 双極性交流電流で 10 分間通電した (図 1(B))。非通電群では腹臥位の姿勢を 10 分間保持した。

3) 倫理的配慮

本研究は, 産業医科大学倫理審査委員会にて承認後 (倫理委員会承認番号 H27-240), 文書による被験者の同意を得て行われたものである。

統計解析

本実験データの統計解析は, SPSS Statistics (Ver.27) (IBM) を用いて, MENS による治療の有無 \times 治療前後の 2 元配置分散分析を行った。有意水準は 5%とした。

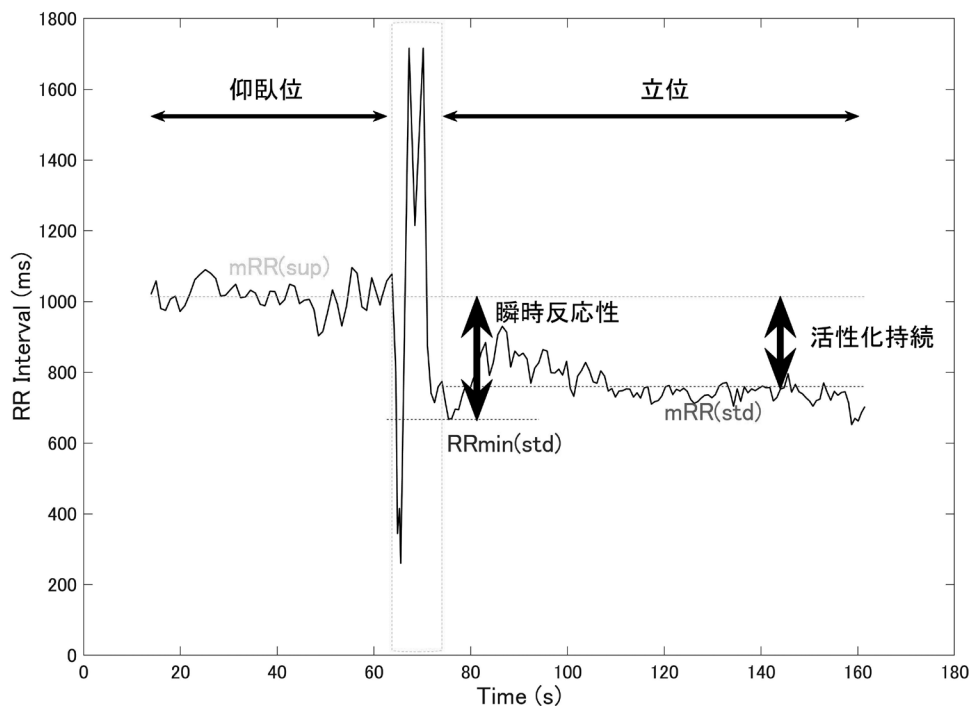


図2 瞬時反応性 mRR(sup)-RRmin(std) と活性化持続 mRR(sup)-std).

結果

7つのパラメータについて、プロファイルプロットを図3に示す。図中の横軸は治療前後、縦軸は各パラメータ値を示している。各点はそれぞれの条件での平均値でプロットされており、青線は通電群、赤線は非通電群を示している。

MENSによる治療の有無の主効果はLF/Total(std) ($F(1,52) = 4.120, p = 0.048$)とS/P ($F(1,52) = 5.067, p = 0.029$)で有意差が認められた。治療前後の主効果はSDRR(sup)以外の6つのパラメータ、mRR(sup-std) ($F(1,52) = 5.302, p = 0.025$)、mRR(sup)-RRmin(std) ($F(1,52) = 6.896, p = 0.011$)、HF/Total(sup) ($F(1,52) = 4.808, p = 0.033$)、mRR(sup) ($F(1,52) = 30.165, p < 0.001$)、LF/Total(std) ($F(1,52) = 10.531, p = 0.002$)、S/P ($F(1,52) = 13.207, p = 0.001$)で有意差が認められた。MENSによる治療の有無×治療前後の交互作用については、mRR(sup) ($F(1,52) = 6.246, p = 0.016$)とSDRR(sup) ($F(1,52) = 10.038, p = 0.003$)で有意差が認められた。各パラメータで、有意差が認められた因子と有意確率を図中に表記している。

考察

MENSによる治療の有無の主効果が、LF/Total(std) ($F(1,52) = 4.120, p = 0.048$)とS/P ($F(1,52) = 5.067, p = 0.029$)で有意差が認められたが、いずれのパラメータ

でも、治療前後の主効果の有意確率の方が大きく(LF/Total(std)では、 $p = 0.048$ vs $p = 0.002$, S/Pでは、 $p = 0.029$ vs $p = 0.001$)、MENSによる治療の有無が治療前後値の変化に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

MENSによる治療の有無×治療前後の交互作用は、mRR(sup)とSDRR(sup)で有意差が認められた。mRR(sup)の場合は、非通電群よりも通電群で治療前後の値の上昇度合いが上がっており、副交感機能が通電によってさらに活性化したことが示唆される。SDRR(sup)の場合は、非通電群では治療前後で値が減少したのに対して、通電群では治療前後で値が増加した。このことも、通電による副交感機能亢進を示唆している。

MENSによる電気刺激はラットの末梢神経障害を修復する報告³⁾があるように、細胞や組織の回復を促す効果が示唆されている^{4,5)}。本研究で頸椎から仙椎に通電刺激することにより、副交感神経機能パラメータの安静時平均心拍と内在活力の増加が見られた。これらの機序は不明であるが、MENSにより副交感神経機能の増加が示唆された。よって、自律神経へ電気刺激でアプローチしたい場合、通電ポイントを頸椎と仙椎にする事は副交感神経系を亢進することから有用であると考えられる。

治療前後の主効果はSDRR(sup)以外の6つのパラメータで有意差が認められたことと、7つ中5つのパラメータで、前後で値が上昇していることが非通電群で見られたことから、被験者にとって、10分間の腹臥位(腹部を圧迫させる)状態が自律神経を活性化させる何らかの要因となった可能性が示唆される。

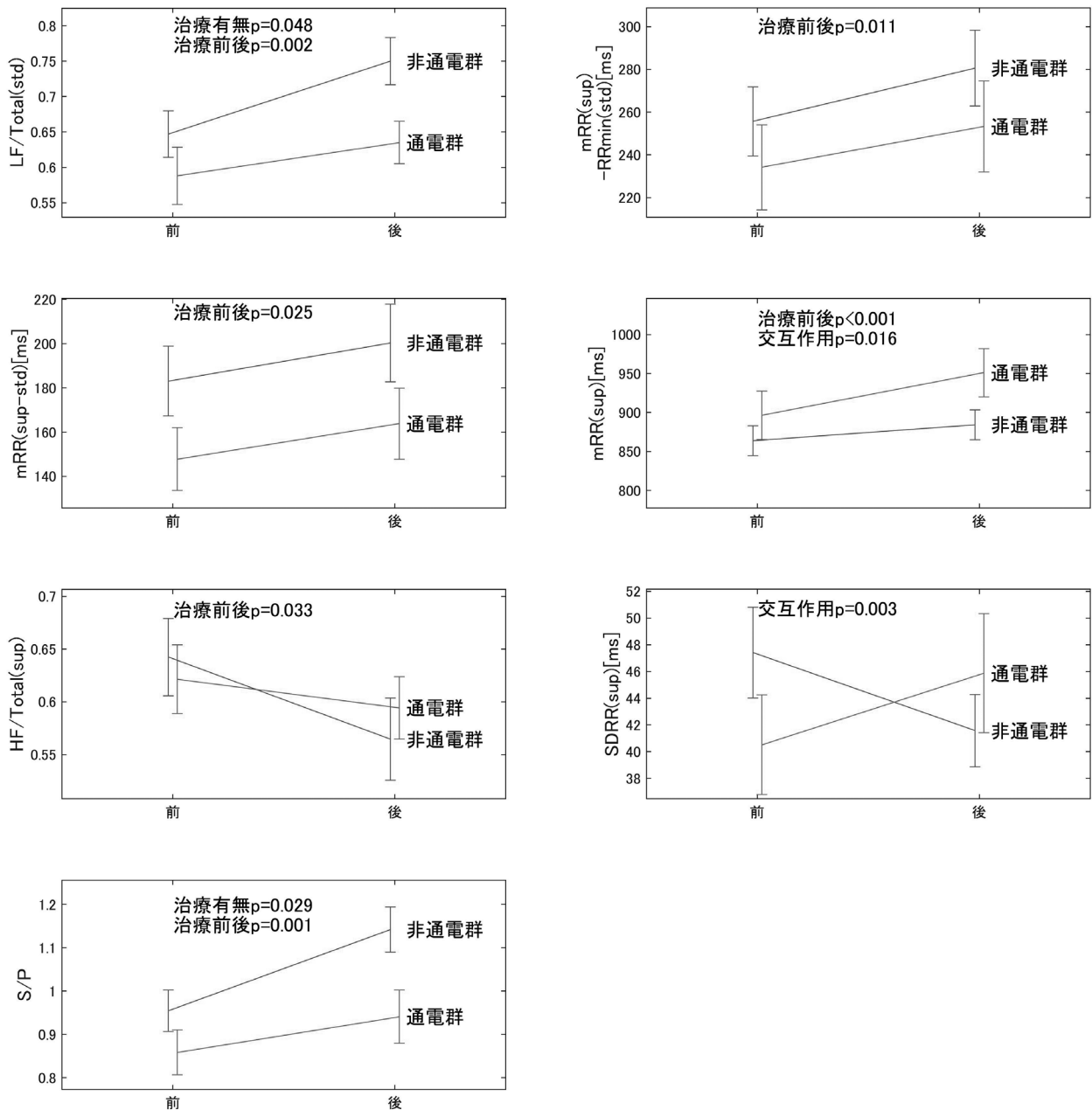


図3 各パラメータのプロファイルプロット。各点はそれぞれの条件での平均値±標準誤差でプロットしている。有意差が認められたパラメータについては、因子名と有意確率を表示している。

今回用いたウェアラブルバイオセンサによるレーダーチャート式の自律神経バランス測定と分析は、患者自身の自律神経バランス状態を、測定しているその場で簡単に客観的かつ鋭敏にタブレット画面に表示されることから、臨床現場において、従来の患者の主観的評価に加えて、症状経過における客観的評価の補助的手段の1つとして利用できる可能性が期待される。

本研究の限界と課題

MENSによる通電刺激が自律神経系に影響を与えることが確認できたが、その機序は不明である。また、コ

ントロール実験においては、通電に要する時間と体位を統一したのみで、疑似通電を用いたプラセボ効果の検討は行っていない。これに関しては今後の検討課題である。さらにウェアラブルバイオセンサによる自律神経バランス測定に加え、その他の測定項目、例えば唾液中のストレスマーカーや血圧などの項目を増やすことで自律神経機能を多面的に検討したいと考えている。

結語

本研究では健常者において、頸椎から仙椎にかけて10分間のMENSが自律神経バランスに与える影響につ

いて、ウェアラブルバイオセンサを用いて検討した。その結果、10分間の安静腹臥位では非通電群において交感神経系の指標が増加し、一方通電刺激群では交感神経系指標の増加が消滅し副交感神経系の指標が増加する可能性が示唆された。

謝辞：被験者として協力して下さった皆様に深く感謝申し上げます。

文献

- 1) Westfall TC, Westfall DP: Adrenergic agonists and antagonists, in Goodman & Gilman: the pharmacological basis of therapeutics, 11th ed (Brunton LL, Lazo JS, and Parker KL eds) McGraw-Hill, NY, 2005, pp 237-295.
- 2) 柳原延章, 佐藤教昭: ウェアラブル生体センサによる自律神経バランス測定システム: その新しい技術と産業医学への応用. 健康開発, 23: 1-9, 2018.
- 3) Menddonca AC, Barbieri CH, Mazzer N: Directly applied low intensity direct electric current enhances peripheral nerve regeneration in rats. J Neurosci Methods, 129 (2): 183-190, 2003.
- 4) Lambert M, Marcus P, Burgess T, et al.: Electro-membrane microcurrent therapy reduces signs and symptoms of muscle damage. Med Sci Sports Exerc, 34 (4): 602-607, 2002.
- 5) Curtis D, Fallows S, Morris M, et al.: The efficacy of frequency specific microcurrent therapy on delayed onset muscle soreness. J Bodywork Movement Ther, 9: 169-176, 2005.
- 6) 後藤幸生, 柳本政浩, 安田善一: レーダーチャート表示による自律神経機能評価法. 自律神経, 31: 660-667, 1994.
- 7) 柳原延章, 佐藤教昭, 石 明寛: 自律神経システムにおける植物フラボノイドと更年期障害の影響について. 自律神経, 52: 13-17, 2014.
- 8) 喜多大三, 柳原延章, 佐藤教昭・他: 健常人における緑茶の旨味成分テアニンの自律神経バランスへの影響 (第2報) - 計算負荷による自律神経バランスに関する予備的研究. 九州栄養福祉大学研究紀要, 12: 145-155, 2015.
- 9) 柳原延章, 石 明寛, 後藤幸生・他: レーダーチャート式自律神経バランス解析の女性更年期障害患者への応用 心拍変動解析値によるバランスと歪み・レーダーチャート式評価法 (総説). 産業医科大学雑誌, 36: 171-177, 2014.