

■研究論文■

健常成人男性の胸背部に対する持続的圧迫刺激が軟部組織硬度、自律神経活動および手指皮膚温に与える影響

Effects of the continuous pressure stimulus to the upper back on soft tissue hardness, autonomic nerve activity, and fingertip temperature in healthy young adult men

岡 真一郎^{1)*}, 中元 唯²⁾, 池田拓郎¹⁾, 光武 翼³⁾, 濱地 望¹⁾

Shinichiro Oka, RPT, PhD^{1)*}, Yui Nakamoto, RPT²⁾, Takuro Ikeda, RPT, PhD¹⁾, Tsubasa Mitsutake, RPT, PhD³⁾, Nozomi Hamachi, RPT¹⁾

1) 国際医療福祉大学 福岡保健医療学部 理学療法学科
〒831-8501 福岡県大川市榎津 137-1 TEL: 0944-89-2000

2) にし脳神経外科クリニック リハビリテーション科

3) 白石共立病院 リハビリテーション部

要旨: [目的] 健常成人男性の胸背部に対する持続的圧迫刺激 (CPS) が軟部組織硬度、自律神経活動、手指皮膚温に与える影響について検討した。[対象と方法] 対象は健常成人男性 10 名。測定項目は、胸背部の軟部組織硬度、血圧、心電図、および右中指皮膚温とした。心拍変動解析は、低周波数帯域 (LF) および高周波数帯域 (HF) を 4 秒間隔で解析した。LF および HF の正規化は、LF を LF と HF の和で除したものを LFn、HF を LF と HF の和で除したものを HF_n とした。胸背部への CPS は、第 2 から第 4 胸椎棘突起の 3.5 cm 右側を 50 mmHg で 10 分間圧迫した。圧迫前後の比較は、対応のある t 検定あるいは Wilcoxon 符号付順位検定を用いた。[結果] 第 4 胸椎右側の軟部組織硬度、心拍数、LF_n および LF / HF は、CPS 後に低下した。HF_n と皮膚温は、CPS 後に上昇した。[結論] 胸背部への CPS は、心臓交感神経活動を抑制し、心拍数の低下と手指皮膚血管の拡張を誘発していることが示唆された。
キーワード: 体性交感神経反射、胸背部、持続的圧迫刺激

Abstract: [Purpose] To evaluate the effects of continuous pressure stimulus (CPS) applied to the upper back on soft tissue hardness, autonomic nerve activity, and fingertip temperature in healthy young adult men. [Subjects and Methods] The study subjects were 10 healthy young adult men. The measurement items included soft tissue hardness on the right side of the upper back, blood pressure, electrocardiogram, and right middle fingertip skin temperature. Heart rate variability (HRV) was analyzed at low frequency (LF) and high frequency (HF) at four-second intervals. The following formulas were used to calculate the HF normalized (HF_n) and LF normalized (LF_n) values, respectively: $HF / (LF + HF)$ and $LF / (LF + HF)$. CPS was applied at 50 mmHg at the distance of 3.5 cm from the T2 to T4 vertebrae on the right side for 10 min. Statistical analysis was performed using a paired t-test or Wilcoxon signed-rank test to compare the measurement items before and after CPS. The significance level was set at 5%. [Results] Soft tissue hardness at the right side of T4, heart rate, LF_n, and LF / HF were significantly decreased after CPS. HF_n and fingertip skin temperature were significantly increased after CPS. [Conclusions] These results suggest that the inhibition of

*e-mail: s.oka@iuhw.ac.jp

1) Department of Physical Therapy, School of Health Sciences at Fukuoka, International University of Health and Welfare, 137-1 Enokizu, Okawa-shi, Fukuoka 831-8501, Japan

2) Department of Rehabilitation, Nishi Neurosurgery Clinic

3) Department of Rehabilitation, Shiroishikyoritsu Hospital

(受付日 2017 年 9 月 12 日 受理日 2017 年 9 月 26 日)

cardiac sympathetic nerve activity using CPS applied to the upper back leads to a decrease in heart rate and an increase of fingertip temperature.

Key words : somato-sympathetic reflex, upper back, continuous pressure stimulus

I. 目的

我が国では、受療要因および自覚症状として腰痛、肩こり、手足の関節痛が上位を占めている¹⁾。そのため、「慢性の痛み」に対する取組みの必要性が指摘されており²⁾、我々理学療法士には痛みの慢性化を予防することが求められている。

痛みを持続させる要因としては、組織損傷や炎症による末梢性感作、脊髄後角の感受性増大による中枢性感作に加え、交感神経機能の変化と関連することが認められている³⁾。これは、末梢性感作によってノルアドレナリンの感受性が増大し、間接的な疼痛増強が起こることが示されている³⁾。また、痛みの悪循環の要因として、痛みによる筋緊張亢進やスパズムが代謝産物の増加が指摘されている³⁾。自律神経系による循環調節の特徴として、全身の血管平滑筋に神経性血管収縮神経が分布している⁴⁾。そのため、慢性疼痛に対する医学的治療は、星状神経節ブロック⁵⁾ および胸部交感神経節ブロック⁶⁾のほか、星状神経節に対する直線偏光近赤外線照射⁷⁾ が用いられている。しかし、神経ブロック治療は医師による専門的な技術が必要であり、侵襲による合併症のリスクを伴う⁵⁾。また、直線偏光近赤外線照射は、機器が高価であり、移動範囲も限定される。そのため、いずれの治療も提供できる環境が限定されている点が課題である。一方、理学療法では、脊椎へのマニピュレーションによる交感神経の興奮が痛みの軽減と相関し、指先の皮膚温を変化させることが報告されている³⁾。また、交感神経活動の自発放電は、圧受容器求心性神経の興奮によって反射的に抑制されることが示されている⁸⁾。これらのことから、軽微な圧迫による体性感覚刺激は交感神経活動の抑制と相対的な副交感神経活動の賦活を誘発できると考えられる。これは、痛みの悪循環の要因である末梢循環障害を改善するために、心臓交感神経であるTh1-Th4領域⁹⁾への体性-自律神経反射の誘発が活用できる可能性がある。しかし、ヒトを対象として、胸部交感神経節の髄節に応じた体性感覚刺激が自律神経活動と末梢循環に与える影響については未だ明らかにされていない。

本研究の目的は、若年健常成人男性を対象に、胸背部に対する持続的圧迫刺激 (continuous pressure

stimulus : CPS) が軟部組織硬度、自律神経活動および手指皮膚温に与える影響について検討することとした。

II. 対象と方法

対象は、健常若年成人男性10名 (22.2 ± 1.2歳)。体格は、身長 1.70 ± 0.06 m。体重 65.8 ± 10.9 kg, BMI 22.9 ± 4.2 kg/m²であった。測定前の注意事項として、対象者には、測定当日のアルコールやカフェインの摂取、激しい運動、喫煙を避け、検査2時間前までに食事を済ませるよう説明した。また、測定する時間帯は午前12時までとした。測定条件は、静穏な環境で室温を25°前後に調整し、対象者を背臥位としてメトロノームのリズムに合わせて呼吸数を12回/分で行うよう指示した。

胸背部に対する圧迫刺激の影響の評価は、圧迫部位の軟部組織硬度、自律神経活動の指標として手指皮膚温 (以下、皮膚温) および心電図を測定した。

軟部組織硬度の測定は、生体組織硬度計 (PEK-1, 井本製作所製) を用いて、圧迫部位である第2から4胸椎棘突起の3.5 cm右側部で、被験者の呼気に合わせ垂直に押圧し、3回実施した。測定値の処理は、3回の平均値をもとに押圧推力 (g) を算出した。

皮膚温の測定は、防水型デジタル温度計 (SK-250WP, 佐藤計量器製作所製) を用い、サーミスタセンサを圧迫部位と同側である右中指指尖にサージカルテープで固定して実施し、圧迫前および終了時の温度を記録した。

心電図の測定は、メモリー心電計 (LRR-03, GMS社製) を使用し、3点誘導法として右鎖骨下に陰極、左第5-6肋間と中腋窩線上の交点に陽極、右肋骨下部にアースを接地して、サンプリング周波数250 Hzで行った。そして、記録した心電図のアナログ信号は、A / D変換ボードを経由してデジタル変換された後、心拍変動解析に用いた。心拍変動解析は、心拍ゆらぎ測定機器 (MemCalc / Tarawa, GMS社製) を使用し、心電図R-R間隔をTotal Power (TP), 0.04~0.15 Hz (低周波数帯域, Low Frequency : LF), 0.15~0.40 Hz (高周波数帯域, High Frequency : HF) として4秒間隔で解析した。心拍変動解析の結果が示

す自律神経活動の指標は、Total Power (TP) が自律神経全体の活動、LF を LF と HF の和で除した値 (LF normalized : LFn) が心臓迷走神経系と心臓血管交感神経系の両活動、HF を LF と HF の和で除した値 (HF normalized : HFn) が心臓副交感神経活動、LF/HF が交感神経活動とされている⁹⁾。

胸背部への CPS は、簡易式体圧・ズレ力同時測定器 (プレディア MEA, molten 社製) を使用し、第 2 から第 4 胸椎棘突起の 3.5 cm 右側に圧力センサー中央部を接着して、圧力センサーの上部に示指、中央に中指および下部に環指を置き、開始時の圧力を 50 mmHg に調整した。圧迫刺激の圧力は、対象が胸背部局所の軟部組織であることから、軟部組織の多い上下肢に対する圧力¹⁰⁾ を参考に設定した。

測定プロトコールは、圧迫前の安静 10 分 (以下、圧迫前)、胸背部圧迫 10 分、圧迫後の安静 10 分 (以下、圧迫後) とした。心拍変動解析のデータ処理は、圧迫前の指標として安静終了 5 分前から安静終了時までの 5 分間の平均値、胸背部圧迫後の影響は、圧迫後安静 5 分間の平均値を算出した。

統計学的分析は SPSS statistics 23.0 (IBM 社製) を用いて、圧迫前後の比較として対応のある t 検定および Wilcoxon 符号付順位検定を行い、有意水準 5% とした。

倫理的配慮として、本研究は、国際医療福祉大学倫理委員会の承認 (承認番号: 15-lfh-28) を受けた後、実験実施前に口頭および書面にて対象者に研究目的および内容を説明し、同意を得た。共著者全員が、本研究に関連し開示すべき利益相反関係にある企業などはない。

Ⅲ. 結果

圧迫前後の圧迫部位の軟部組織硬度、皮膚温、血圧、心拍数および心拍変動解析の結果を表 1 に示す。圧迫部位の軟部組織硬度は、第 4 胸椎レベルにおいて圧迫前 327.2 ± 17.4 g から圧迫後 323.4 ± 15.4 g へ有意に低下した ($p < 0.05$) (表 1)。また、皮膚温は、圧迫前 33.9 ± 0.6 °C から 34.5 ± 0.6 °C と有意に上昇した ($p < 0.05$) (表 1)。血圧および心拍数の比較については、収縮期血圧が圧迫前 113.7 ± 15.7 mmHg から圧迫後 110.5 ± 17.1 mmHg、拡張期血圧が圧迫前 69.2 ± 13.5 mmHg から圧迫後 68.6 ± 15.6 mmHg と変化はなかったが、心拍数が圧迫前 70.1 ± 12.9 bpm から圧迫後 67.6 ± 11.5 bpm と有意に低下した ($p < 0.05$) (表 1)。圧迫前後の自律神経活動の比較で

表 1 刺激前後の軟部組織硬度、皮膚温、血圧、心拍数および自律神経活動の比較

	圧迫前	圧迫後	p 値
軟部組織硬度 (g)			
Th2	314.4 ± 17.9	308.8 ± 13.8	0.062
Th3	317.9 ± 15.8	312.5 ± 13.0	0.183
Th4	327.2 ± 17.4	323.4 ± 15.4	0.045*
皮膚温 (°C)	33.9 ± 0.6	34.5 ± 0.6	0.005**
血圧 (mmHg)			
収縮期血圧	113.7 ± 15.7	110.5 ± 17.1	0.141
拡張期血圧	69.2 ± 13.5	68.6 ± 15.6	0.858
心拍数 (bpm)	70.1 ± 12.9	67.6 ± 11.5	0.047*
心拍変動解析			
TP (msec ²) [#]	2283.1 ± 1433.5	2329.6 ± 2071.3	0.959
LFn [#]	10.1 ± 4.8	13.0 ± 4.3	0.037*
HF [#]	89.9 ± 4.8	87.0 ± 4.3	0.021*
LF / HF [#]	13.5 ± 7.1	10.2 ± 5.4	0.017*

平均値 ± 標準偏差。TP : Total Power, LF : Low Frequency, LFn : LF normalized, HF : High Frequency, HFn : HF normalized. 対応のある t 検定, [#] : Wilcoxon 符号付順位検定, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

は、TP は圧迫前 2283.1 ± 1433.5 msec² から圧迫後 2329.6 ± 2071.3 msec² と変化がなかったが、LFn が圧迫前 10.1 ± 4.8 から圧迫後 13.0 ± 4.3 ($p < 0.05$) と有意に上昇し、HFⁿ が圧迫前 89.9 ± 4.8 から圧迫後 87.0 ± 4.3 ($p < 0.05$)、LF / HF が圧迫前 13.5 ± 7.1 から圧迫後 10.2 ± 5.4 と有意に低下した ($p < 0.05$) (表 1)。

Ⅳ. 考察

結果のまとめとして、①圧迫後に圧迫部位の一部で軟部組織硬度が低下した、②収縮期および拡張期血圧は変化しなかったが、心拍数が低下した、③自律神経活動全体の変化はなかったが、交感神経活動の低下と副交感神経活動の上昇を認めた、以上の 3 点であった。

本結果では、胸背部への CPS により第 4 胸椎右側近傍の軟部組織硬度が低下した。徒手による持続的な圧迫は、皮膚に対する圧刺激が入力される。皮膚の圧受容器は、速順応性、遅順応性および放電し続ける C 線維 (IV 群線維) に分類される⁸⁾。ほとんどがポリモーダル受容器であるヒトの皮膚 C 線維受容器の活動は、電気的および機械的刺激に対して非侵害性の強度でも発射活動を認めることが報告されている⁸⁾。これらのことから、徒手による持続的な圧迫刺激は、圧迫開始時には速順応および遅順応の圧受容器が刺激された後、ポリモーダル受容器を介し C 線維に圧迫刺激が感覚入力されたと推察される。また、刺激された皮膚領域の求心性刺激による興奮は、刺激された部位

付近の一定領域内で血管拡張性物質を放出し、軸索反射を誘発する⁴⁾。これらのことから、CPSによる軟部組織硬度の低下は、軸索反射による血管拡張により誘発されたと考えられる。

次に、胸背部CPS後に血圧および自律神経活動全体の変化はなかったが、HF_nの上昇、心拍数、LF_nおよびLF/HFの低下を認めた。体性-自律神経反射は、全身性の上脊髄性反射と、脊髄分節性を示す脊髄性反射に分類される⁴⁾。ラットによる先行研究では、胸髄の局所刺激および後根求心性刺激が交感神経節前ニューロンの抑制性シナプス後電位を誘発することが示されている⁵⁾。よって、胸背部へのCPSは、心臓交感神経節に対して脊髄性の抑制性反射を誘発したと考えられる。一方、交感神経活動の自発放電は、圧受容器求心性神経の興奮による上脊髄性反射によって抑制されることが示されている¹¹⁾。ヒトを対象とした触圧刺激に対する生理的反応については、健常者に圧力2.5 N、速度1.5 cm/secの触圧刺激を手足に80分間実施したところ、心拍数、ストレスホルモンおよび自律神経活動が減少したと報告されている¹²⁾。同じ触圧刺激が脳活動に与える影響について機能的磁気共鳴画像(fMRI)を用いて検討したところ、自律神経と関連する前帯状皮質での賦活が認められた¹³⁾。これらのことから、胸背部へのCPSは、心臓交感神経節に対して脊髄性および上脊髄性の抑制性反射を誘発したと考えられる。

自律神経の末梢効果器の変化については、右中指皮膚温が胸背部のCPS後に上昇を認めた。皮膚の細動脈、細静脈と動静脈吻合は、毛細血管を介さずに直接つながっており、温かい血液を大量に静脈叢に送って皮膚を温めて熱放散を促す。このような体温調節機能は、皮膚血管が交感神経性血管収縮神経の支配を密に受け、皮膚血流が血管収縮神経のトーンスの変化によって調節されている⁴⁾。そのため、心臓交感神経節レベルの体性感覚入力、交感神経活動の抑制により皮膚血管を拡張させたことで右中指皮膚温が上昇したと考えられる。

本研究では、若年健常男性を対象に右胸背部に対して徒手によるCPSを行った。その結果、圧迫部位の軟部組織硬度の低下、心臓迷走神経系と心臓血管交感神経系の活動低下および心臓副交感神経の活動亢進を誘発し、心拍数の低下と右中指皮膚温の上昇を認めた。胸背部への軽度なCPSは、自律神経活動の調節による末梢循環の改善と疼痛を緩和する方法として提案できる可能性がある。

本論文の要旨は第48回日本理学療法学会(2013年5月26日、於名古屋)で発表した。

文 献

- 1) 厚生労働省：平成25年国民生活基礎調査 世帯員の健康状況. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa13/dl/04.pdf> (参照2017年7月8日)。
- 2) 厚生労働省「慢性の痛みに関する検討会」：今後の慢性の痛みに対策について(提言). <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000ro8f-att/2r9852000000roas.pdf> (参照2017年7月8日)。
- 3) Strong J, Unruh AM, Wright A, et al.: 痛み学—臨床のためのテキスト. 熊沢孝朗・他(訳), 名古屋大学出版会, 愛知, 2010, pp59-60, 62-63, 230-233.
- 4) 鈴木郁子, 内田さえ, 鎌谷方子・他: やさし自律神経生理学, 命を支える仕組み. 中外医学社, 東京, 2015, pp60-62, 87-90, 111-113, 175-179, 185-187.
- 5) 千葉知史, 伊達 久, 滝口規子・他: 超音波ガイド下星状神経節ブロックの有用性—ランドマーク法との前向き非無作為化(非盲目的)試験—, 日本ペインクリニック学会誌 23(4): 520-524, 2016.
- 6) 信太賢治, 尾頭希代子, 小林玲音・他: 胸部交感神経節ブロックが有用であった交感神経依存性疼痛の一症例. 慢性疼痛 30(1): 191-194, 2011.
- 7) 大森美佐子, 細川豊史, 廣瀬宗孝・他: 星状神経節近傍への直線偏光近赤外線照射が指尖部血流変動に及ぼす影響. ペインクリニック 18: 572-576, 1997.
- 8) 佐藤昭夫, 佐藤優子, Schmidt RF: 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. 山口眞二郎(監訳), 丸善出版, 東京, 2012, pp10-13, 58-60, 66-67.
- 9) 日本自律神経学会(編): 自律神経機能検査, 第4版. 文光堂, 東京, 2007, pp16-17, 164-168.
- 10) 綿貫茂喜, 三平和雄: 与圧服着衣時における圧迫感と脈波の変化について. Ann Physiol Anthropol 6(4): 247-254, 1987.
- 11) 後藤和広, 鹿見島裕, 竹内竜平: ヒト皮膚C線維およびAδ線維求心性神経活動の研究. 全日本鍼灸学会雑誌 32(3): 195-203, 1983.
- 12) Lindgren L, Westling G, Brulin C, et al.: Pleasant human touch is represented

in pregenual anterior cingulate cortex.
Neuroimage 59(4): 3427-3432, 2012.

- 13) Lindgren L, Rundgren S, Winsö O, et al.:
Physiological responses to touch massage in
healthy volunteers. Auton Neurosci 158(1-2):
105-110, 2010.