

### 脊髄損傷者の麻痺領域に対する温熱療法の効果

#### Effects of thermotherapy on paralyzed area in patients with spinal cord injury

○ 新美未幸 (お茶大院)      河島則天 (国リハ研)      太田裕治 (お茶大院)

Miyuki NIIMI, Graduate School of Ochanomizu University  
Noritaka KAWASHIMA, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities  
Yuji OHTA, Graduate School of Ochanomizu University

**Abstract:** Motor paralysis due to spinal cord injury (SCI) inevitably causes joint contracture, spasticity and hypo-circulation in the paralyzed area. Thermotherapy on paralyzed area is empirically known to be effective in rehabilitation to improve range of motion, make milder spasticity. However, less study investigated quantitatively the effects of thermotherapy on tissues in paralyzed area, spasticity and circulation in patients with spinal cord injury. In this study, we examined the effects of thermotherapy on paralyzed lower limbs in SCI patients by foot steamer for home use. As a result, 10-minute of steam in SCI is effective to improve hypo-circulation in the paralyzed area and may be effective to reduce spasticity.

**Key Words:** Spinal cord injury, Thermotherapy, Ankle torque, Stretch reflex, NIRS

#### 1. 背景と目的

温熱療法は、リハビリテーションの一環として関節可動域の拡大や痙性麻痺の緩和、疼痛の緩和等を目的に実施される<sup>(1),(2)</sup>。温熱療法が脳卒中片麻痺患者の循環動態に及ぼす影響について調べた先行研究では、湯温約 44℃で 20 分間の足浴を実施し、足浴が片麻痺患者の循環動態に与える影響は健常者よりも大きい可能性が報告されている<sup>(3)</sup>。また、温熱刺激が筋腱の伸展性に与える影響について、25℃と 45℃の温水に筋腱組織を浸し 73g の力で引っ張った際の筋腱の長さ変化は、25℃温水では変化が見られなかったが、45℃温水では増加したと報告されている<sup>(4)</sup>。神経系に与える影響を調べた先行研究においては、脳卒中片麻痺患者の健側温浴で患側の深部体温の上昇と H 波の減弱が報告されており、患側筋群の痙性抑制に繋がることを期待されている<sup>(5)</sup>。このように、温熱療法が生体に及ぼす影響を調べた先行研究は多々あるが、脊髄損傷者を対象とした研究は非常に少なく、温熱療法が脊髄損傷者の麻痺領域に与える影響は明らかになっていない。脊髄損傷者のリハビリテーションにおいても、関節可動域の拡大や痙性麻痺の緩和等を目的として温熱療法が実施されており、入浴後には痙性が緩和する、寒い時期には増加する等といった経験を持つ患者・医療従事者も多い。このような臨床的知見と照らし合わせて考えても、温熱療法が脊髄損傷者の麻痺領域に何らかの影響を与えていると考えられる。そこで本研究では、温熱療法が脊髄損傷後の麻痺領域に与える影響について、循環動態、神経系、および麻痺領域組織に着目し包括的に調べることを目的とした。

#### 2. 方法

対象は、脊髄損傷者 (SCI) 17 名 (平均年齢 33±9 才、平均身長 172±6 cm、平均体重 63±11 kg、損傷レベル C6~L3) とした。また、健常者 (NOR) 8 名 (平均年齢 33±13 才、平均身長 168±8 cm、平均体重 63±8 kg) をコントロール群とした。本研究は国立障害者リハビリテーションセンター倫理委員会の承認、被験者のインフォームド・コンセントを得た上で行った。

本研究では、Panasonic 社製 EH2862P スチームフットスパ (Fig. 1) を用いて麻痺下肢の遠位を温めた (以下、温熱刺激)。温度覚のない脊髄損傷者でも火傷等のリスクが想定

されない約 42℃の温度で 10 分間の温熱刺激を与え、近赤外分光装置を用いて温熱中の下腿部の循環動態を計測するとともに、温熱刺激前後の皮膚表面温度の変化をサーモグラフィ (NEC 三栄製) にて撮影した。また、温熱刺激の影響を定量的に評価するため、Fig. 2A に示す装置を用いて足関節他動トルクの計測、及び伸張反射応答の計測を温熱刺激前後 (pre 計測, post 計測) で実施した。痙性麻痺は伸張反射の異常亢進状態と定義されることから<sup>(6)</sup>、伸張反射応答を痙性麻痺の程度の指標とした。また、足関節他動トルクを足関節スティフネス (硬さ) の指標とした。pre 計測及び post 計測システム構成図を Fig. 2B に示す。足関節他



Fig.1 Foot steamer. The subjects kept sitting with knee joints positioned in 90 degrees of flexion at rest, with their lower legs in this steamer. We wound a towel around subjects' lower legs to prevent steam from leaking out.

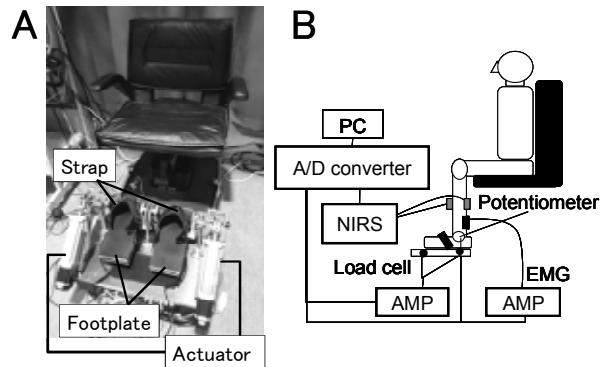


Fig.2 A: Ankle passive motion device. Four load cells were mounted in each footplate, which measured resistance force. B: Experimental setup. The subjects were instructed to sit on a chair with knee joints positioned in 90 degrees of flexion and to be relaxed during experiment.

動トルクは、装置のフットプレートに取り付けたロードセルの鉛直荷重(反力)から算出した<sup>7)</sup>。足関節角度はフットプレートの回転軸部分に取り付けたポテンシオメータより得た。被験者は座位姿勢を取り足関節を装置のフットプレートに固定、安定した座位姿勢が取れるよう体幹及び大腿部をストラップを用いて装置に固定した。以下に、各測定項目の計測方法と解析方法を示す。

①循環動態：麻痺筋の循環動態を反映する指標として、総ヘモグロビン(total hemoglobin: Hb)濃度を計測した。近赤外分光装置のプローブを内側腓腹筋(GAS)及び前脛骨筋(TA)に貼付し、温熱刺激中のtotal Hb濃度変化を記録、15秒毎の平均値を算出した。サンプリングレートは6 Hzとした。また、撮影したサーモグラフィから、右足母指球付近の皮膚表面温度を計測した。

②伸張反射応答：ヒラメ筋(SOL)を対象とした。足関節角度0度～背屈10度の可動域で、伸張反射を誘発し得る4段階の速度でランダムに5回ずつ、計20回足関節を背屈させ筋活動電位を計測した。サンプリングレートは1 kHzとした。反射振幅(peak to peak)を定量、被験者毎に伸張速度-反射振幅プロットから回帰直線を求めた後、回帰係数(傾き、y切片)の平均値を求めた。

③足関節他動トルク計測：足関節を底屈10度～背屈20度まで5度/秒で6回底背屈動作させ、足関節に懸かる他動トルクを計測した。サンプリングレートは100 Hzとした。解析は、足関節が背屈される際の角度-トルク変化量曲線及び足関節他動トルクの最大値の平均を求めた。

### 3. 結果

各計測項目の結果を以下に示す。

①循環動態：温熱刺激中のGAS, TAの循環動態をFig. 3に示す。SCI群, NOR群ともに、温熱刺激によってGAS, TAともtotal Hbの増加が確認された。また、GAS, TAともSCI群の方がNOR群よりも増加量が大きい傾向を示した。温熱刺激開始時と終了時のtotal Hb増加量の比較(Fig. 4)では、SCI, NORそれぞれ温熱後に有意な増加を示した( $p < 0.05$ )。SCIの方がNORよりも増加が大きい傾向を示したが、群間に有意差はなかった。SCI群において、温熱前後に撮影したサーモグラフィの典型例をFig. 5に示す。全ての被験者で温熱後に皮膚表面温度の上昇が見られた。右足母指球付近の表面温度の増加は、温熱前  $30.5 \pm 1.9$  °C, 温熱後  $32.2 \pm 1.5$  °Cであり、有意な温度上昇が見られた。( $p < 0.01$ )

②伸張反射応答：回帰係数の平均値の結果をTable 1に、求めた回帰係数から得られた直線をFig. 6に示す。Table 1において、rate of changeはpre計測の絶対値に対する温熱刺激前後の変化率を示す。SCI群, NOR群ともに、傾きは温熱刺激後に減少、y切片は増加傾向にあったが、有意差はなかった。

③足関節他動トルク：温熱刺激前後の角度-トルク変化量曲線をFig. 7に示す。実線は温熱刺激前、破線は温熱刺激後を示す。温熱刺激前後で曲線に大きな変化は見られず、最大トルクは、SCI群が温熱前  $19.9 \pm 0.5$  Nm, 温熱後  $20.2 \pm 0.4$  Nm, NOR群が温熱前  $19.9 \pm 0.5$  Nm, 温熱後  $19.9 \pm 0.5$  Nmであり、ともに温熱刺激前後で有意差はなかった。

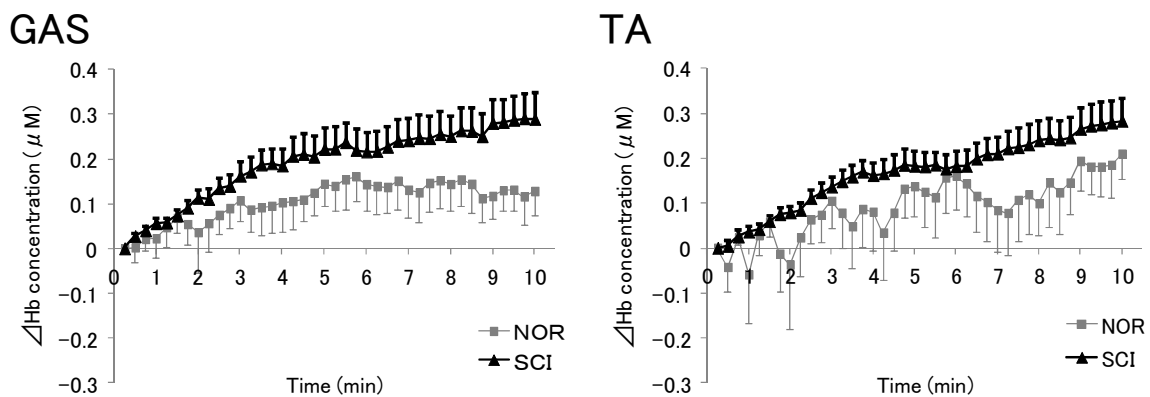


Fig. 3 Averaged data of concentration changes in total Hb in each lower leg muscle during steam (mean  $\pm$  SEM, GAS: n=14, TA: n=17 in SCI; GAS, TA: n=8 in NOR). Black triangular markers represent SCI, and gray square marker represent NOR.

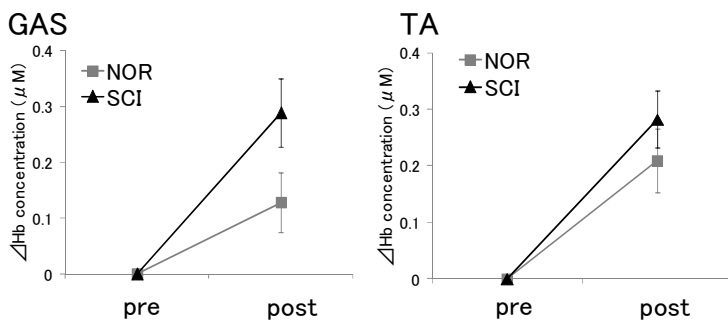


Fig. 4 Averaged data of concentration of total Hb pre and post steam (mean  $\pm$  SEM).

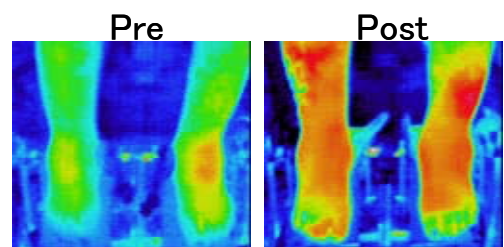


Fig. 5 Typical example of thermography pre and post steam. We confirmed that superficial temperature of feet was increased after steam.

Table 1 Data of regression coefficients in measurement of stretch reflex responses

		slope (mean $\pm$ SD)	y intercept (mean $\pm$ SD)
SCI	pre	0.0022 $\pm$ 0.0028	0.037 $\pm$ 0.190
	post	0.0018 $\pm$ 0.0019	0.044 $\pm$ 0.163
	rate of change (%)	-19.0	19.2
NOR	pre	0.0036 $\pm$ 0.0015	-0.118 $\pm$ 0.089
	post	0.0029 $\pm$ 0.0012	-0.100 $\pm$ 0.062
	rate of change (%)	-19.8	15.0

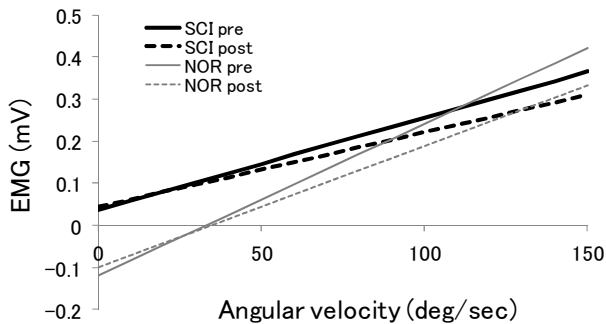


Fig. 6 Regression lines that represent stretch reflex responses in pre and post steam (SCI:n=9, NOR:n=7). Thick black lines and thin gray lines represent SCI and NOR, respectively. Solid lines and dashed lines represent pre and post steam, respectively.

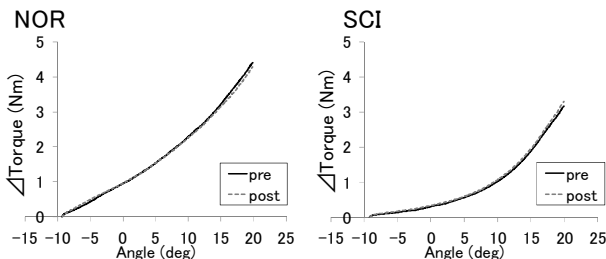


Fig. 7 Averaged data of angle-torque curves in pre and post steam (SCI:n=14, NOR:n=8). Solid lines and dashed lines represent pre and post steam, respectively.

#### 4. 考察

本研究では、温熱刺激が脊髄損傷後の麻痺領域に与える影響について、循環動態、神経系、および麻痺領域組織に着目し包括的に調べることを目的とした。

今回、被験者の下腿遠位に対して、家庭用フットスチーマを用いて約 42°C で 10 分間のスチーム浴を行った。その結果、麻痺筋であっても循環亢進が認められた。また、total Hb 濃度変化の増分が NOR 群より SCI 群で大きかった理由としては、循環の定常状態の違いが考えられる。即ち、SCI 群は麻痺による不全から慢性的な低循環状態にあるため、同じ温熱刺激でも NOR 群より増分が大きかったと考えられる。したがって、今回実施した温熱刺激は脊髄損傷者の慢性的な低循環状態を改善し得るものであると言える。

温熱刺激が神経系に与える影響として、先行研究<sup>(1),(2)</sup>では温熱刺激による痙性麻痺減少が報告されており、その理由として、温熱刺激によりガンマ遠心性神経活動が低下した結果、筋紡錘の興奮性が低下した可能性等が挙げられている。しかしながら、今回の実験では痙性麻痺の指標である伸張反射応答には温熱刺激前後で有意な差は見られな

った。

足関節の硬さを反映する関節トルクには温熱刺激前後で変化は認められなかったが、血行動態そのものが大きく変化していることを考え合わせると、時間の延長、あるいは日常的な温熱刺激実施によって筋や腱の柔軟性が回復していく可能性は十分に考えられる。

また、脳卒中患者を対象に全身浴を実施した先行研究<sup>(8)</sup>では、温熱前後における筋緊張緩和の結果が得られている。先行研究で実施された全身浴は、約 42°C で 3 分以上、浴槽に体幹・四肢を水浸させるものであり、温熱作用にさらに水浸作用が加わって筋緊張緩和をもたらしたと推察される<sup>(8)</sup>。本研究で実施した温熱刺激は、下腿以下の遠位のみであり、先行研究<sup>(3),(5),(8)</sup>で実施された湯浴と比較すると温熱刺激が小さいものの、麻痺領域循環動態の亢進が得られる可能性が示唆された。本研究で用いたフットスチーマは、蒸気による温熱刺激を与える装置であり車椅子常用户であっても比較的簡単に足への温熱刺激を実施できることから在宅での有効なリハビリテーション方策となるものと考えられる。

#### 5. まとめ

温熱刺激が脊髄損傷後の麻痺領域に与える影響について、循環動態、神経系、および麻痺領域組織に着目し包括的に調べることを目的とした。被験者の下腿遠位に対して、家庭用フットスチーマを用いて約 42°C で 10 分間のスチーム浴を行った。その結果、痙性麻痺や麻痺領域組織への影響は見られなかったが、麻痺領域の循環動態が亢進された。このことから、今回実施した温熱刺激は、脊髄損傷後の慢性的不全による低循環状態を改善し得るものであると言える。

#### 参考文献

- (1) Fisher E., Solomon S., Physiological responses to heat and cold, in Therapeutic heat and cold, Licht S., Eds., Elizabeth Licht, Publisher, pp. 116-156, 1958.
- (2) Hecox B., Clinical effects of thermal modalities., in Physical agents : a comprehensive text for physical therapists, Appleton & Lange, pp. 115-124, 1994.
- (3) 美和千尋, 杉村公也, 他, 足浴が片麻痺患者に及ぼす影響, 日本温泉気候物理医学会雑誌, vol. 70, no. 4, pp. 209-214, 2007.
- (4) Lehmann J. F., Masock A. J., et al., Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility, Arch Phys Med Rehabil, vol. 51, pp. 481-487, 1970.
- (5) 前田真治, 中村舞, 他, 脳卒中片麻痺患者の健側温浴による患側体温とH波の変化, 日本温泉気候物理医学会雑誌, vol. 62, no. 4, pp. 178-184, 1999.
- (6) J. W. Lance, Spasticity: Disordered Motor Control, R. G. Feldman, R. R. Young, and W. P. Koella, Eds. Chicago, IL: Year Book Medical, pp. 485-494, 1980.
- (7) Winter A.D, Biomechanics and motor control of human movement forth edition, John Wiley&Sons, Inc., pp. 117-121, 2009.
- (8) 泉従道, 藤田勉, 他, 脳血管障害片麻痺患者の患側上肢の筋緊張亢進に対する高温浴と赤外線照射の効果, 日本温泉気候物理医学会雑誌, vol. 60, no. 4, pp. 209-220, 1997.