

中間期の頸髄損傷者の至適温湿度範囲に関する研究

- 相対湿度 50%での検討 -

日大生産工 (院) ○大関 俊哉 日大生産工 三上 功生

1. はじめに

交通事故やスポーツ事故、労働災害などにより中枢神経である脊髄を損傷した脊髄損傷者の多くは、主として交感神経性調節機能の不全のために、受傷部以下の発汗、血管運動、熱産生、温冷感覚などの自律性及び行動性体温調節機能が麻痺している¹⁾。特に頸部の脊髄を損傷した頸髄損傷者（以下頸損者）は、その麻痺がほぼ全身に及んでいるため、深部体温が環境温度の影響を受けて変動しやすいことが報告されている²⁾⁴⁾。脊髄損傷者の体温調節障害は、リハビリテーションプログラムの進行や社会進出を阻害する要因の一つになっていることから、今後頸損者を中心とした脊髄損傷者の体温調節障害を支援する（補う）仕組みを、空調設備、医療機器、福祉用具、建築、衣服、寝具、リハビリテーションなどの多分野から総合的に検討する必要がある。

筆者らは、この目的を達成するためのアプローチの一つとして、極めて重篤な体温調節障害を有する頸損者の温熱生理心理反応の特徴を把握するために、1975年から継続的に人工気候室による被験者実験を行ってきている⁵⁾⁷⁾。着衣量 0.6clo（春と秋の季節に対応する中間期の着衣の断熱性能に相当）、相対湿度 50%（以下 50%RH）条件下のデータが相当数蓄積されたことから、頸損者の中間期、且つ 50%RH の至適温度範囲について検討したので、その結果を報告する。

2. 実験方法について

これまでに行ってきた人工気候室による被験者実験で、着衣量 0.6clo、且つ 50%RH の温度条件下に曝露された被験者のプロフィールを表 1、各温度条件の曝露者数を表 2 に示す。

被験者の頸損者及び対照被験者である学生共に、全て男性である。分析作業の正確性を考慮すると、全ての被験者が同じ温度条件に曝露されるのが望ましいと考える。しかし、実験に

よる肉体的及び精神的疲労を考慮すると、頸損者、学生共に 1 日あたり 3 つの温度条件（午前：1 条件、午後：2 条件）に曝露するのが限界であった。従って、研究協力者になってくれた頸損者の曝露温度は、穴埋め的に決めてきた（曝露者数が少ない温度条件に曝露するようにしてきた）のが実情である。なお、実験への協力を申し出る頸損者を探すのに難儀したことを記しておく。

表 1 被験者プロフィール

	被験者数	年齢	身長[cm]	体重[kg]
		(Mean ± SD)	(Mean ± SD)	(Mean ± SD)
頸損者	32	33.7 ± 8.0	171.8 ± 6.1	58.8 ± 9.6
学 生	53	22.6 ± 1.6	169.0 ± 7.6	61.7 ± 11.4

表 2 各温度条件の曝露者

室 温	19°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	29°C	31°C
頸損者	4	11	9	12	9	18	9	11	11	4
学 生	4	10	17	27	17	29	17	23	10	4

2-1. 環境条件

実験を行った室温は 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31°C、相対湿度は前述の通り 50% RH とし、人工気候室内の気流速度は 0.15m/s 以下（不感気流）で一定にした。

2-2. 着衣条件

着衣は実験専用のものを使用した。素材は全て綿で、ISO の有効着衣熱抵抗より合計したクロー値は 0.6clo（前述の通り、中間期の着衣の断熱性能に相当）であった。なお、車いすとの接触部における保温については無視した。被験者の着衣状態を図 1 に示す。

2-3. 測定項目及び方法

測定生理項目は口腔温、皮膚温、血圧、脈拍、体重減少量である。口腔温は電子体温計により 10 分または 15 分間隔、皮膚温は Hardy-Dubois による 7 部位（額部、上腕部、手背部、胴部、大腿部、下腿部、足背部）をデータロガーにより 1 秒または 1 分または 5 分間隔、血圧と脈拍は自動血圧計により 10 分または 15 分間隔、体重減少量は精密体重計により 15 分間隔、または実験開始時と終了時に測定した。

Study On the Range of Optimum Temperature and Relative Humidity for Patients with Cervical Spinal Cord Injuries during the Intermediate Period
- Consideration on 50% Relative Humidity -

Toshiya OZEKI and Kosei MIKAMI

さらに、測定心理項目として、温冷感、快適感、湿度感を 10 分または 15 分間隔で申告してもらった。実験は 1 温度条件につき 90 分間行った。

実験条件を一覧にしたものを表 3 に示す。



図 1 被験者の着衣状態の一例

表 3 実験条件

室温	19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31°C
相対湿度	50%
曝露時間	1 温度設定 90 分間
輻射	室温と同じ
気流速度	0.15 m/s 以下
作業量	椅座安静状態 (雑談、読書程度)
着衣量	0.6 clo (中間期に相当)

3. 至適温度範囲の検討方法及び結果

筆者らは既に、着衣量 0.6clo、50%RH における頸損者の至適温度範囲を $24 \pm 1^\circ\text{C}$ と示している^{6,7)}。この温度範囲を導く根拠になったものを、図 2 に示す⁷⁾。図 2 は 50%RH における各室温での実験終了時 (90 分曝露後) の口腔温平均値を示したものである。図内には一般的な平熱といわれている温度範囲 $36.0 \sim 36.9^\circ\text{C}$ (以下平熱範囲)⁸⁾ も示している。学生群の口腔温は殆どの室温で、標準誤差も含めて平熱範囲内にあった。一方頸損者群の口腔温は、室温 27°C 以上では平熱範囲の上限付近或いは上限以上であり、また室温 21°C 以下では平熱範囲の下限付近或いは下限以下であった。この分析結果より、頸損者群の口腔温が標準誤差も含めて平熱範囲に収まっているのは 23°C と 25°C であったことから、頸損者の至適温度範囲を $24 \pm 1^\circ\text{C}$ と提案した。

しかし既往研究⁹⁾で、頸損者の基礎代謝量は

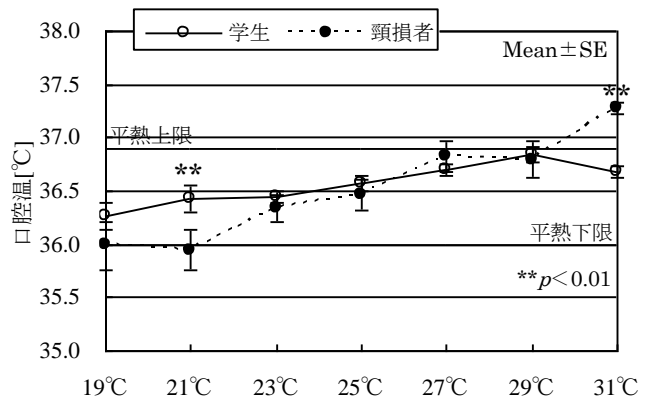


図 2 各室温での実験終了時の口腔温

健常者と比較して約 20%低いとの報告があり、また、頸損者の口腔温 (舌下温)、腋窩温、食道温、直腸温などの統計値に関する研究は行われていないことから、図 2 のように 36.0°C と 36.9°C のラインで区切ることが、果たして適切なのかという疑問が生じるようになった。

そこで生体での熱の出入りを示す体熱出納に着目することにした。各室温での実験開始時と終了時の口腔温の温度差は、曝露温度による熱産生と熱放散の平衡が崩れた結果、即ち人体にかかる熱的負担の大きさを示していると言える。そして、この温度差を学生群と頸損者群で比較することで至適温度範囲を求める方が、体温生理学の面からみて適切であると判断した。

着衣量 0.6clo、50%RH における各室温での口腔温変化量 (90 分曝露後) を図 3 に示す。学生群の口腔温変化量の平均値は、どの室温でも $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内に収まっている傾向にあった。一方頸損者群の口腔温変化量の平均値が、標準誤差も含めて $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以内に収まっていたのは、室温 $24 \sim 26^\circ\text{C}$ であった。従って、頸損者群にとって室温 $19 \sim 23^\circ\text{C}$ 、 $27 \sim 31^\circ\text{C}$ は、学生群に比べ、重篤な体温調節障害により熱的負担が大きい温度帯であったと考えられる。

この結果より、中間期、且つ 50%RH における頸損者の至適温度範囲は、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ と推定される。

この新たに提案した至適温度範囲を、表 4 に示す 1983 年に労働科学研究所における住宅熱環境評価研究委員会が策定した「身体障害者に配慮した住宅熱環境評価基準値¹⁰⁾」の居間・食堂の評価基準値 (中間期: $24 \pm 2^\circ\text{C}$) と比較すると、上限値は同じであるが、下限値は評価基準値の方が 2°C 低い。

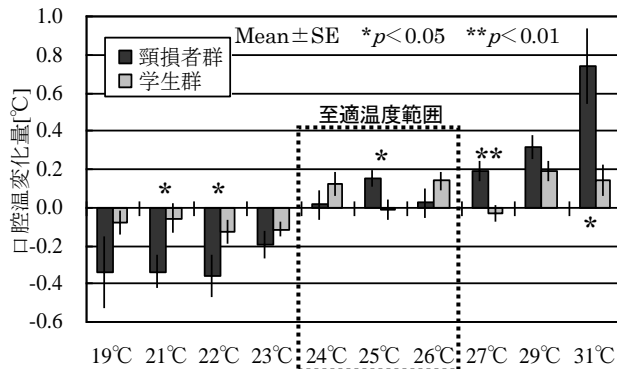


図3 50%RHにおける各室温での口腔温変化量

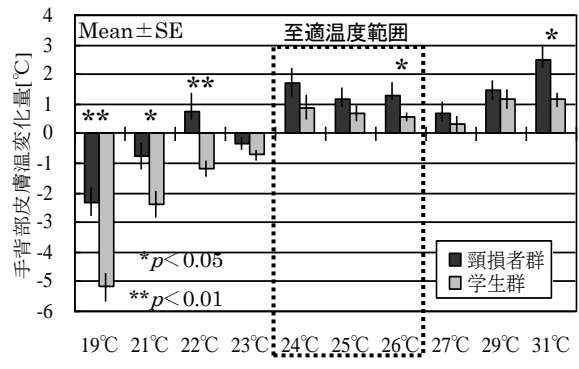


図4 50%RHにおける各室温での手背部皮膚温変化量

表4 身障者に配慮した住宅熱環境評価基準値

	居間 食堂	寝室	台所	便所	風呂 脱衣所	備考
夏期	25 ± 2°C	25 ± 2°C	25 ± 2°C	25 ± 2°C	27 ± 2°C	0.5 ~ 0.2clo
中間期	24 ± 2°C	22 ± 2°C	22 ± 2°C	24 ± 2°C	26 ± 2°C	0.7 ~ 0.5clo
冬期	23 ± 2°C	20 ± 2°C	22 ± 2°C	24 ± 2°C	25 ± 2°C	1.4 ~ 0.7clo

[注1] 表中の数値は床上1.2mで測定したグローブ温度
 [注2] 湿度は夏期60~80%、中間期40~70%、冬期30~50%
 [注3] 特別大きな放射熱、気流、温度分布はないものとする

4. 測定項目の結果の一部について

4-1. 四肢末梢部の皮膚温変化量について

各室温における90分曝露後の四肢末梢部の皮膚温変化量(実験開始時と終了時の皮膚温の差)を図4,5に示す。低室温環境下における頸損者群の手背及び足背部の皮膚温下降量は、学生群よりも有意に小さかった。これらは血管収縮障害の影響と考えられる。従って、頸損者の四肢末梢部皮膚温は、低室温環境下でも熱放散を抑制することができず、それによる過剰放熱が、口腔温下降の主原因と考えられる。

高室温環境下における頸損者群の口腔温上昇量が、学生群より有意に大きい主な原因は、既報^{6,7)}の通り、ほぼ全身に及ぶ発汗障害と、血管拡張障害による皮膚温の上昇速度の遅さをもたらす熱放散増進の遅れの2つと考えられる。室温31°Cのように、学生群の手背及び足背部皮膚温上昇量が頸損者群より小さい傾向にあるのは、学生群の四肢末梢部の発汗による蒸発潜熱損失の影響の可能性がある。

4-2. 実験終了時の全身温冷感について

各室温における実験終了時(90分曝露後)の全身温冷感を図6に示す。頸損者はほぼ全身の温冷感が麻痺しているため、唯一麻痺を免れた顔面の知覚で評価している傾向にあった。前述した新たに提案した至適温度範囲(25 ± 1°C)では、学生群、頸損者群共に「5. どちらともいえない」、「4. やや暖かい」を申告している傾向にあった。

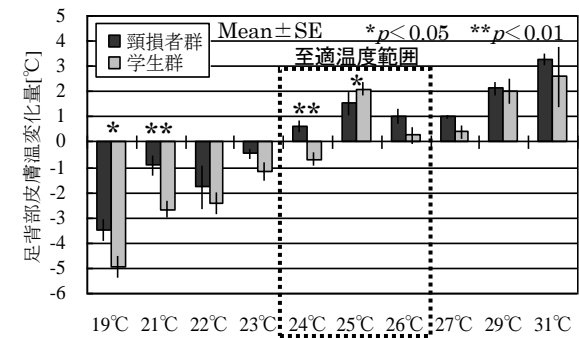


図5 50%RHにおける各室温での足背部皮膚温変化量

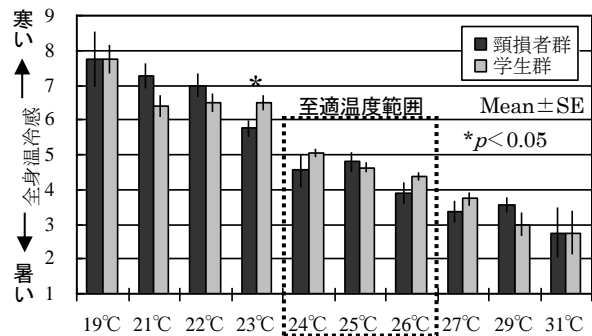


図6 50%RHにおける各室温での全身温冷感

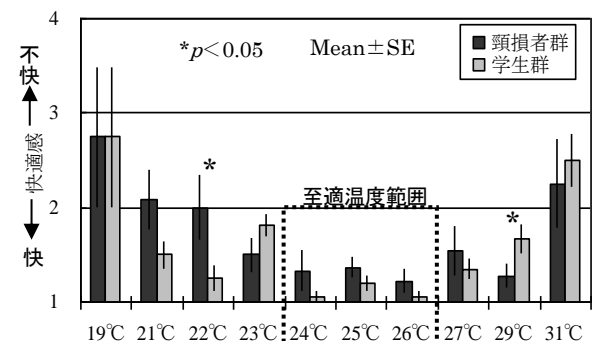


図7 50%RHにおける各室温での快適感

4-3. 実験終了時の快適感について

各室温における実験終了時(90分曝露後)の快適感を図7に示す。新たに提案した至適温度範囲(25 ± 1°C)には、学生群は「1. 不快ではない」を申告している傾向にあった。一方

頸損者群は学生群と比較して「2. やや不快」の申告が多かったが、室温 19～23℃と 27～31℃の快適感と比較すると、「1. 不快ではない」の申告数が多い傾向にあった。

5. まとめ

これまで長年に渡り行ってきた人工気候室による被験者実験のデータより、中間期、且つ 50%RH における頸損者の至適温度範囲について検討した。その結果、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ と推定された。今後は同着衣量 (0.6clo) のもと、相対湿度の違いが頸損者の温熱生理心理反応に及ぼす影響について検討し、相対湿度を考慮した中間期の至適湿度範囲を提案する予定である。

その後は、中間期と同様に、頸損者の夏季及び冬季の至適湿度範囲を検討していきたい。本研究の最終目的は、頸損者の夏季、中間期及び冬季の至適湿度範囲を、各々、空気線図上に描くことである。それらは、ほぼ全身の温冷感が麻痺している当事者とその介助者にとって、室内温湿度を調節する際の目安となり、また建築設備設計技術者にとっても、頸損者が使用する可能性のある公共施設の空調設備を設計する際の資料として利用できる。

研究成果は、重篤な体温調節障害に悩まされている頸損者の QOL 向上に繋がるものと予想している。

【謝 辞】

本研究を行うにあたり、人工気候室実験の被験者としてご協力下さいました頸髄損傷者及びそのご家族の方々、日本大学理工学部建築学科吉田研究室の卒業生、日本大学大学院理工学研究科医療・福祉工学専攻青木研究室の卒業生、日本大学生産工学部建築工学科三上研究室の卒業生、人工気候室を快くお貸し下さいました国立障害者リハビリテーションセンター福祉機器開発部、国立公衆衛生院（現国立保健医療科学院）、文化女子大学（現文化学園大学）服装学部の先生方に深く感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は JSPS 科学研究費（基盤(C)、課題番号：17K06679、代表：三上功生）の助成を受けました。

【参考文献】

1) Guttman L, Silver J, Wyndham CH: Thermoregulation in spinal man, *Journal of Physiology*, Vol.142, No.3, pp.406-419,

1958

- 2) Randall WC, Wurster RD, Lewin RJ : Responses of patients with high spinal transection to high ambient temperatures, *Journal of Applied Physiology*, Vol.21, pp.985-993, 1966
- 3) Downey JA, Chiodi HP, Darling RC: Central temperature regulation in the spinal man, *Journal of Applied Physiology*, Vol.22, No.1, pp.91-94, 1967
- 4) Attia M, Engel P: Thermoregulatory set point in patients with spinal cord injuries (spinal man), *Paraplegia*, Vol.21, No.4, pp.233-248, 1983
- 5) 吉田燦, 蜂巢浩生, 三上功生他: 身体障害者の温熱環境に関する研究 I - X VIII, 1977-2008
- 6) 三上功生, 青木和夫, 蜂巢浩生, 武田仁: 頸髄損傷者の温熱刺激に対する生理反応の特徴 - 中間期安静時の適温 -, 人間と生活環境, 第 14 巻, 第 2 号, pp.47-57, 2004
- 7) 三上功生, 青木和夫, 蜂巢浩生, 武田仁: 頸髄損傷者の生理的体温調節反応の特徴, 日本建築学会環境系論文集, 第 73 巻, 第 633 号, pp.1233-1239, 2008
- 8) 丸山仁司: リスク管理 バイタルサイン, 理学療法科学, Vol.20, No.1, pp.53-58, 2005
- 9) 菊山真行: 脊髄損傷患者の基礎代謝についての研究, 中部日本整形外科災害外科学会雑誌, 4(4), pp.536-549, 1961
- 10) 三浦豊彦編: 住みよい住宅熱環境, 財団法人労働科学研究所, pp.63-79, 1986
- 11) 吉田あきら: 空調を主とした室内環境計画 アメニティー空間を造る, 理工図書, pp.23-47, 1993