【論文】

頸髄損傷者の深部体温簡易モニタリング技術の開発に向けた 口腔温と皮膚温の関連性に関する研究

Study on Relation between Oral Temperature and Skin Temperature to Develop Simplified Monitoring Technologies of Deep Body Temperature for Patients with Cervical Spinal Cord Injuries

三上功生(正会員), 蜂巢浩生(非会員)*

Kosei Mikami and Hiroo Hachisu*

Abstract

We started a study for developing technologies that can easily and accurately estimate deep body temperature for patients with cervical spinal cord injuries who have severe temperature regulation disorder. As a first step, the relation between oral temperature (alternative temperature of deep body temperature) and skin temperature for patients with cervical spinal cord injuries was analyzed by using data from experiments in artificial climate chambers. Among objective patients with cervical spinal cord injuries, eight patients were exposed to temperatures in the room at 23°C, 25°C and 27°C, four patients at 19°C, 21°C, 23°C, 25°C, 27°C and 29°C, seven patients at 21°C, 25°C and 29°C, and one patient at 21°C, 24°C and 27°C. As a result of the analysis, a significant positive correlation was recognized between oral temperature and skin temperature on the forehead and back of the hand for 15 patients equivalent to 75% of 20 patients with cervical spinal cord injuries ($P<0.01$). It was therefore indicated that the condition of oral temperature for patients with cervical spinal cord injuries can be estimated from skin temperature on the forehead and back of the hand.

Key words

Patients with cervical spinal cord injuries, Disorder of thermoregulation,
Simplified monitoring technologies of deep body temperature, Oral temperature, Skin temperature

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, 熱産生などの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ことから, 深部体温(頭蓋及び体幹内部の温度)が環境温度の影響を受けて変動しやすい²⁻¹¹⁾. 頸損者の重篤な体温調節障害は, 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, 今後頸損者の体温調節障害を補う仕組みを, 建築, 空気調和設備, 医療機器, 福祉用具, 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を行い, 確立させる必要がある.

以前, 著者らは頸損者の温熱環境に対する意識や行動実態を

2014年2月17日受付

2014年10月21日掲載決定

日本大学生産工学部建築工学科

〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1

*日本大学理工学部建築学科

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14

Department of Architecture and Architectural Engineering,

College of Industrial Technology, Nihon University

1-2-1 Izumicho, Narashino-shi, Chiba 275-8575

*Department of Architecture,

College of Science & Technology, Nihon University

1-8-14 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8308

把握することを目的とした全国アンケート調査^{12, 13)}を行い、その中で「体調が悪くなってから暑さ、寒さに気づくことがあるか？」という質問をしたところ、338名の回答者の約60%が「暑さ」、「寒さ」共に「よくある」、「時々ある」のどちらかを回答していた。また関連するように、「熱中症になり、気を失いそうになってから暑さに気づく。」、「のぼせて、意識が朦朧としてから暑さに気づく。」、「冷房により下半身が冷えすぎても気づかずの下痢をする。」、「気持ちが悪くなるまで寒さに気づかない。」などの記述回答も得られている。これらの症状は、ほぼ全身に及び温冷感麻痺の影響と考えられ、ケースによっては生命に関わるまでに発展する可能性があることから、至急対策方法を講ずる必要がある。

頸損者が日常生活の中で周囲の温熱環境の影響により、うつ熱(高体温)や低体温を伴う体調不良を起こすことを未然に防ぐためには、深部体温を継続的にモニタリング(測定監視)することが有効と考える。身体広範囲の温冷感が麻痺している頸損者であっても、常にリアルタイムで自分の深部体温の状態を把握することが出来れば、自ら深部体温の変動を防ぐ回避行動をとることができる。また、介助者側も頸損者の周囲の環境温度を調節する判断材料にすることができる。しかし、頸損者の直腸温、膀胱温、食道温などの深部体温や、口腔温、腋窩温、鼓膜温などの深部体温の代替温度を日常生活の中でモニタリングし続けることは、頸損者と介助者の身体的及び心理的負担を考慮するとほぼ不可能である。そのため、容易に測定することができる何か別の生理指標を用いて頸損者の深部体温の状態を推定することが出来れば便利であり、その可能性を探るためには頸損者の深部体温と様々な生理指標との関連性を調べる必要がある。

頸損者の深部体温または深部体温の代替温度と、皮膚温、心拍数、血圧などの様々な生理指標を並行して測定を行っている研究報告としては、安静時の自律性体温調節反応の特徴を把握することを目的とした人工気候室及び病室での測定報告と²⁻¹¹⁾、運動時の自律性体温調節反応の特徴を把握することを目的とした人工気候室及び競技現場での測定報告¹⁴⁻¹⁶⁾がある。これらの報告では、前述したように頸損者は健康者に比べて深部体温が環境温度の影響を受けやすいこと、そして運動を行う場合は運動による熱産生に対して熱放散が追いつかず深部体温が著しく上昇しやすい傾向にあることを主に述べており、深部体温と他の測定生理指標との関連性については全く触れていない。

そこで、頸損者の深部体温の状態を簡易に精度良く推定することができる技術の開発を目指して、頸損者の深部体温と関連性が強く、かつ測定が容易な生理指標を把握することを目的とした研究を開始した。本研究では、まず頸損者の口腔温と皮膚温の関連性に着目した。著者らが頸損者の自律性体温調節反応の特徴を把握するために長年にわたり行ってきた人工気候室実験^{10, 11)}では、頸損者の深部体温の指標として口腔温を、体温調節効果器の指標として複数箇所の皮膚温を測定してきている。皮膚温は一般的に熱電対の接点またはサーミスタ測温体の感温部を皮膚に密着させて測定する方法が用いられており¹⁷⁾、皮膚温の継続的なモニタリングは技術的に容易である。その容易性を利用して、頸損者の皮膚温の状態から口腔温を推定できる可能性

について検討を行い、既報¹⁸⁻²¹⁾で結果の一部を報告しているが、改良した方法で再分析を行ったので、その結果を報告する。

2. 分析対象のデータについて

本研究では、これまでに行ってきた人工気候室実験で最もデータが蓄積されている相対湿度 50% (以下 50%RH) 条件下の実験データを分析に用いることにした。実験では、1 人の頸損者に対して 3 から 6 設定の温度条件に曝露した。曝露時間は 1 設定温度条件につき 90 分間で、この中で口腔温と皮膚温を含む様々な生理指標の測定を並行して行った。

そこで、同時刻に測定を行った口腔温と皮膚温の組み合わせを抽出し、それらの相関関係を分析することで、皮膚温から口腔温を推定できる可能性について検討が可能と判断した。

2.1 対象者及び実験施設

50%RH の温度条件に曝露された被験者のプロフィールを Table 1 に示す。コントロールとして比較するために、頸損者と同温度条件に曝露された健康な男子大学生 24 名 (以下 control) の実験データも分析に用いた。両群間で年齢と体重に有意差が認められた ($P < 0.01$)。頸損者の詳細プロフィールを Table 2 に示す。18 名の頸損者のうち 2 名 (頸損者 D と F) は 2 年連続で実験に参加していることから、延べ被験者数は 20 名である。実験を行った年度によって、曝露された温度の組み合わせが異なっており、室温 23, 25, 27°C に曝露された頸損者が 8 名、室温 19, 21, 23, 25, 27, 29°C への曝露が 4 名、室温 21, 25, 29°C への曝露が 7 名、室温 21, 24, 27°C への曝露が 1 名となっている。control の曝露温度条件組み合わせ別の被験者数は Table 3 の通りである。

実験を行った人工気候室が設置されていた施設を Table 4 に

Table 1 Physical characteristics of subjects

	Number of subjects	Age (Mean $\pm$ SD)	Height[cm] (Mean $\pm$ SD)	Weight[kg] (Mean $\pm$ SD)
CSCI	18	32.5 $\pm$ 7.0	170.7 $\pm$ 6.4	57.4 $\pm$ 9.4
Control	24	23.3 $\pm$ 1.9	171.7 $\pm$ 5.6	65.5 $\pm$ 6.3

※CSCI: Cervical Spinal Cord Injuries

Table 2 Detailed physical characteristics of patients with cervical spinal cord injuries

Year	Sub	Sex	Age	Injured level	Paralysis	Year after injured	Height [cm]	Weight [kg]	Exposure temperatures (50%RH)
1985	A	M	39	C5	Incomplete	18	162	55	23, 25, 27°C
	B	F	29	C6	Incomplete	6	152	44	
1988	C	M	40	C6	Complete	20	170	56	
1989	D	M	32	C4	Incomplete	15	176	55	
1990	D'	M	33			16	178	56	
1989	E	M	23	C5	Complete	4	165	58	
1990	F	M	23	C5	Complete	5	171	43	19, 21, 23, 25, 27, 29°C
1991	F'	M	24			6	171	43	
1990	G	M	23	C6	Incomplete	6	170	50	23, 25, 27°C
1991	H	M	28	C5	Complete	12	180	60	19, 21, 23, 25, 27, 29°C
	I	M	22	C6	Complete	6	180	48	
2004	J	M	39	C5	Incomplete	13	170	72	21, 25, 29°C
	K	M	32	C4	Incomplete	12	177	75	
	L	M	37	C6	Incomplete	6	170	72	
	M	M	28	C6	Complete	5	167	51	
	N	M	43	C7	Complete	28	175	58	
	O	M	44	C6	Incomplete	24	172	70	
	P	M	35	C6	Incomplete	11	170	62	
	Q	M	39	C4	Complete	18	173	55	
2008	R	M	37	C7	Incomplete	1	165	64	21, 24, 27°C

示す。実験を行った年度によって使用した人工気候室も異なっている。

Table 3 Number of normal control subjects by combination of exposure temperatures

Exposure temperatures	Number of normal control subjects
23, 25, 27°C	10
19, 21, 23, 25, 27, 29°C	3
21, 25, 29°C	6
21, 24, 27°C	5

Table 4 Year of experiment and place of experiment

Year	Place
1985	National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
1988	National Institute of Public Health
1989	National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities Bunka Woman's University
1990	National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
1991	National Institute of Public Health
2004	Bunka Woman's University
2008	

2.2 実験手順

被験者は、人工気候室に隣接する準備室で 0.6clo (中間期の衣服の断熱性能に相当)の実験用の衣服に着替え、皮膚温などの測定装置類を取り付けた後、人工気候室に入室した。被験者の着衣状態を Fig.1, 1 設定温度条件の測定の流れを Fig.2 に示す。

準備室の温湿度は、どの実験場所でも厳密に制御できなかったため、人工気候室入室直後から 30 分間は準備室の温湿度による影響を取り除くための馴化時間とし、入室後 30 分経過してから実験を開始した。実験中、被験者には椅座安静状態をとらせ、読書、軽い雑談は自由とした。実験は前述の通り、1 設定温度条件につき 90 分間行った。実験終了後、人工気候室を退室し、30 分以上の休憩をとってから次の設定温度条件の実験を同様に行い、1 日に 1 から 3 設定の実験を行った。

なお、頸損者の深部体温のサーカディアンリズムは健常者と比べて著しく不規則を示すとの報告⁸⁾があることから、一連の実験では深部体温のサーカディアンリズムの影響については考慮しなかった。

Fig.1 Clothing condition of subjects

2.3 測定方法

本研究では、口腔温と皮膚温の関連性に注目しているため、これらの測定方法のみを記す。その他の測定項目の詳細などについては既報^{10, 11)}を参照されたい。前述の通り、これまでの実験では深部体温の指標として口腔温を測定してきている。本来なら深部体温そのものである直腸温を測定すべきであるが、それは行ってこなかった。意識がある状態での直腸温測定は、頸損者に精神的苦痛を与えることになってしまい、また直腸温測定は人の尊厳に関係すると主張されていることも考慮したためである²²⁾。

口腔温は電子体温計(テルモ(株)製—C51, C202, C502)により 15 分間隔で測定を行い、測定中は室温の影響を受けないように唇を閉じて、静かに鼻で呼吸することを徹底した。皮膚温は Hardy-Dubois²³⁾の 7 点法に従い、額部、上腕部、手背部、胸部、大腿部、下腿部、足背部にサーミスタ測温体の感温部を透湿性テープで貼付し、環境体温計(横浜国立大学温熱研究班製—YM-1)または自動記録式環境温度計データロガー(株ジェイエムエス製—SMART READER Plus 8)により 1 分または 5 分間隔で測定を行った。

2.4 倫理的配慮について

被験者になった頸損者及び大学生には実験に先立ち、実験の目的及び方法、危険性、いつでも自分の意志で実験を止められること、個人が特定できない形で研究成果を公開することなどに

Fig.2 Flow to measure condition of temperature established

ついて十分な説明を行い、実験の被験者になることの同意を得た。なお、2008 年度の実験については、国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受けて行った。

3. 分析方法

Fig.2 に示すように、頸損者及び control 共に、90 分間の環境温度への曝露の中で、0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 分時に深部体温の代替温度である口腔温を測定していることから、まず被験者ごとに口腔温と同時刻に測定した 7 部位皮膚温(額部, 上腕部, 手背部, 胴部, 大腿部, 下腿部, 足背部)を抽出した。ここで著者らは、口腔温との相関係数が 0.5 以上を示した皮膚温を、口腔温との関連性が認められるものと判断し、既報^{18, 19)}でその結果を報告している。しかし、この方法では口腔温との関連性の有無を判断する基準が極めて曖昧であることから、本論文では被験者ごとに口腔温と 7 部位皮膚温間で無相関検定を行い、有意水準 1% 以下で「相関あり」と判定された皮膚温を、口腔温と関連性が認められるものと判断した。

なお、分析の過程で行ったその他の統計処理として、平均値の差の有意性是对応のない t 検定を、比率の差の有意性はカイ二乗検定を用い、有意水準はいずれも 5%未満とした。

本分析では、測定年度、測定で使った人工気候室、曝露温度条件が同一ではない被験者のデータを同列に扱い、比較する方法をとっている。これまでの全ての実験で、被験者近傍の床上

10, 60, 110, 170cm の乾球温度、床上 110cm のグローブ温度及び相対湿度の測定を行い、被験者周囲の温湿度が設定通りに維持されていたことを確認してきているため、測定年度及び測定で使った人工気候室の違いが分析結果に及ぼす影響は無いと考えている。分析の正確性という観点では、分析対象の被験者の曝露温度条件が同一であることが望ましいが、それは出来ない。本分析の結果は曝露温度条件にばらつきのある被験者のデータより得られたものとして位置づけられる。

4. 結果及び考察

4.1 環境温度に対する口腔温と皮膚温の反応

皮膚温は、人体と環境が接する境界面の温度であるため、人体と環境との間の熱交換量を規定する体温調節効果器の一つである。皮膚温は皮膚血流量を反映し、皮膚血流量の増減には皮膚血管の収縮と拡張といった血管運動が関与している。

環境温度に対する頸損者の口腔温と皮膚温の反応を把握するために、各室温における実験終了時の部位別温度を Fig.3、実験開始時の温度を基準とした口腔温変化量の経時変化を Fig.4 に示す。室温 21℃以下での頸損者の手背及び足背部皮膚温は、control よりも有意に高かった。また、室温 24℃以下での control の四肢温度分布が、上肢、下肢共に末梢へゆくほど温度が低くなっていたのに対して、頸損者の四肢にその様な温度勾配はみられなかった。これらは皮膚血管収縮障害の影響と考えられる。

(a) Control

(b) CSCI

Fig.3 Each section of temperature upon completion of the experiment at each room temperature

(a) Control

(b) CSCI

Fig.4 Time-dependent changes in the amount of changes in oral temperature at each room temperature

頸損者の四肢末梢部の皮膚温は、低室温環境下でも高いままに保たれていることから、周囲の環境温度が低い時は過剰放熱による深部体温の低下を起こしやすい状態にあることがわかる。室温 25℃以上では、control、頸損者共に部位間の温度差は小さくなっていた。

口腔温変化量の経時変化をみると、control の口腔温は室温 29℃では上昇していたが、それ以外の室温では実験開始時と終了時の差が±0.1℃の範囲に収まっていた。一方、頸損者の口腔温は時間経過に伴い、室温 24℃以下では下降する傾向、室温 25℃以上では上昇する傾向にあった。室温 24℃以下での口腔温の下降傾向は前述した四肢末梢部の皮膚血管収縮障害による過剰放熱などの影響、室温 25℃以上での口腔温の上昇傾向は、発汗障害を主とした湿性放熱能力不足と、後述する四肢末梢部の皮膚血管拡張障害による乾性放熱能力不足の影響と考えられる。

4.2 口腔温と皮膚温の関連性

頸損者のからだは障害により交感神経の支配を受けていないため²⁴⁾、ほぼ全身の血管運動が起こりにくくなっている。そのため、周囲の環境温度の状態に応じて、皮膚血管運動により皮膚温を変化させることが出来ない傾向にあり、それが特に低室温環境下での四肢末梢部の皮膚温反応に現れていた。

交感神経の支配を受けていない頸損者の皮膚温と口腔温の関連性を把握するために、延べ 20 名の頸損者と 24 名の control について、被験者ごとに口腔温と 7 部位皮膚温間で無相関検定を行った。皮膚温ごとに有意水準 1%以下で口腔温と「相関あり」と判定された者の割合を Fig.5、頸損者の検定結果の詳細を Table 5 に示す。

Fig.5 Proportion of patients who were determined as being "correlated with" oral temperature with significance level at 1% or less

頸損者と control の各群で、額部皮膚温と口腔温との間に関連性が認められた者の割合は、頸損者が 75% (15 名) に対して control は 38% (9 名) であった。以下、同様にその他の皮膚温についてみると、上腕部皮膚温は頸損者が 65% (13 名) に対して control は 38% (9 名)、手背部皮膚温は頸損者が 75% (15 名) に対して control は 38% (9 名)、胸部皮膚温は頸損者が 70% (14 名) に対して control は 46% (11 名)、大腿部皮膚温は頸損者が 65% (13 名) に対して control は 33% (8 名)、下腿部及び足背部皮膚温は頸損者が 65% (13 名) に対して control が 29% (7 名) であった。

control は全ての皮膚温で口腔温と関連性が認められた者の割合が頸損者より小さかった。これは、環境温度の状態に応じて、皮膚温が乾性放熱量を調節する反応を起こし、それが一因となって口腔温の安定が保たれている被験者が多かったことを示している。一方、頸損者は全ての皮膚温で口腔温と関連性が認められた者の割合が control より有意に大きかった。これは、環境温度の状態に対する皮膚温の反応が、交感神経機能の麻痺の影響により不十分であり、それが一因となって口腔温が大きく変化している被験者が多かったことを示している。また、それに加え交感神経の支配を受けていない頸損者の皮膚温が、口腔温と連動している傾向にあることも示している。よって、頸損者の口腔温の状態は皮膚温から推定できる可能性があることが示唆された。

部位別にみると、延べ 20 名の頸損者の 75% に当たる 15 名の額部及び手背部皮膚温と口腔温間に関連性が認められ、他の皮膚温に比べて口腔温との関連性を示す割合が大きかった。以降、この 2 部位の皮膚温と口腔温の関連性に着目する。

(1) 口腔温と手背部皮膚温の関連性

全頸損者の口腔温と手背部皮膚温の関係を Fig.6 に示す。なお各図中には、Table 3 に示す control の曝露温度条件組み合わせ別の被験者数に基づき作成した control 平均値^{注1)}を比較対照として示す。Fig.6 をみると、室温 19, 21℃に曝露された頸損者 F' と H~J、室温 21℃に曝露された頸損者 K~R の手背部皮膚温は、control 平均値と比べて低温側への分布が少なかった。また、その低温側の手背部皮膚温の状態に対応する口腔温は、control 平均値と比べて低く分布している傾向にあった。

人体の四肢末梢部は、乾性放熱量を調節する特に重要な体温調節効果器である。四肢末梢部の血管のほとんどは、交換神経の血管収縮神経により支配されており、低温刺激を受けると神経活動が増加して皮膚血管収縮を、高温刺激を受けると神経活動が減少して皮膚血管拡張を引き起こす。そのため、四肢末梢

Table 5 Results of no correlation test between oral temperature and skin temperature of seven section

Subject	A	B	C	D	D'	E	F	F'	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Forehead	0.11	0.88**	0.64**	0.17	0.62**	-0.11	0.88**	0.63**	0.59**	0.73**	0.79**	0.10	0.91**	0.77**	0.95**	0.87**	0.18	0.81**	0.92**	0.72**
Upper arm	0.45	0.79**	0.52*	0.85**	0.53*	-0.09	0.75**	0.78**	0.44*	0.65**	0.77**	0.29	0.92**	0.70**	0.91**	0.94**	-0.20	0.91**	0.70**	0.75**
Hand	0.08	0.87**	0.80**	0.67**	0.71**	0.05	0.84**	0.77**	0.53*	0.59**	0.62**	0.23	0.62**	0.57**	0.94**	0.87**	-0.20	0.79**	0.75**	0.59**
Trunk	0.03	0.87**	0.68**	0.85**	0.64**	-0.16	0.88**	0.57**	0.66**	0.14	0.70**	0.19	0.93**	0.11	0.91**	0.86**	-0.26	0.80**	0.86**	0.59**
Thigh	0.03	0.90**	0.45*	0.89**	0.04	-0.10	0.91**	0.71**	0.71**	0.68**	0.70**	0.14	0.95**	0.82**	0.85**	0.74**	-0.16	0.77**	0.77**	0.37
Lower leg	0.16	0.91**	0.75**	0.89**	0.31	0.19	0.88**	0.72**	0.78**	0.41*	0.82**	0.08	0.81**	0.82**	0.91**	0.83**	-0.15	0.96**	0.76**	-0.35
Foot	0.21	0.89**	0.58*	0.86**	0.54*	0.26	0.79**	0.73**	0.54*	0.65**	0.57**	0.19	0.88**	0.64**	0.87**	0.81**	-0.33	0.96**	0.84**	0.68**

※Numbers in the table are indicating correlation coefficient. **P < 0.01 *P < 0.05

部の皮膚温は環境温度の影響を強く受けて、体幹部及び四肢体幹近接部の皮膚温よりも大きく変化する。

しかし、前述のように室温 19, 21℃に曝露された頸損者の手背部皮膚温が、control 平均値と比べて低温側への分布が少ない

傾向にあったのは、Fig.3 のところでも述べた交感神経支配からの離脱による四肢末梢部の皮膚血管収縮障害と、それに加えて皮膚の廃用性萎縮による上肢内部からの熱伝導の増加が原因と考えられる。低室温環境下でも高いままに保たれている手背部

Fig.6 Relation between oral temperature and hand skin temperature

(a) Control

(b) CSCI

Fig.7 Time-dependent changes in the amount of changes in hand skin temperature at room temperature above 25°C

皮膚温は乾性放熱を促進させ、それが一因となって口腔温が低くなる頸損者が多くなったと考えられる。

Fig.6より手背部皮膚温の高温側への分布は、頸損者とcontrol間で明らかな差はみられなかった。しかし、その高温側の手背部皮膚温の状態に対応する頸損者の口腔温は、control 平均値と比べて高く分布している傾向にあった。ここで室温 25°C以上の実験について、実験開始時の温度を基準とした手背部皮膚温変化量の経時変化を Fig.7 に示す。室温 25°C以上では control、頸損者共に手背部皮膚温は上昇していたものの、control はどの室温でも実験開始後約 40 分で熱平衡に達していたのに対して、頸損者はどの室温でも実験を通して上昇し続ける傾向にあった。これは、皮膚血管拡張障害の影響による乾性放熱量増進の遅れを示しており、発汗障害などによる湿性放熱量不足も加わり、口腔温が高くなる頸損者が多くなったと考えられる。

以上のことから、皮膚血管運動障害の影響により、乾性放熱量を調節する能力が失われている傾向にある手背部の皮膚温変化と、それが一因となってもたらされた口腔温の変化とが相まって、手背部皮膚温と口腔温間に関連性が出現する頸損者が多くなったと考えられる。

(2) 口腔温と額部皮膚温の関連性

全頸損者の口腔温と額部皮膚温の関係を Fig.8 に示す。頸損者の額部皮膚温の分布は、頸損者 P を除いて control 平均値より高い傾向にあり、頸損者 C, D, E, F'~J, N, O, Q, R は control 平均値より低温側へ、頸損者 A, B, D', F は control 平均値より高温側へ広がっていた。頸損者 K~M については control 平均値より低温側及び高温側の両方へ広がっていた。額部の皮膚では、血管運動神経はほとんど作用が無く、恒常的に血流分布が大きいので、額部皮膚温は環境温度の影響を受けにくいと報告されている^{25, 26)}。しかし、頸損者の額部皮膚温はこれらの報告とは異なる傾向を示していた。

そこで、頸損者の額部皮膚温変化の特徴を把握するために、曝露された組み合わせ温度条件の中での最高皮膚温と最低皮膚温の差(最大額部皮膚温差^{注2)})を求めた(Fig.9)。その結果、室温 23, 25, 27°Cの組み合わせに曝露された被験者の最大額部皮膚温差は、頸損者が $1.59 \pm 0.39^\circ\text{C}$ に対して control は $1.22 \pm$

0.35°C 、室温 19, 21, 23, 25, 27, 29°Cの組み合わせに曝露された被験者については、頸損者が $3.02 \pm 0.19^\circ\text{C}$ に対して control は $2.43 \pm 0.15^\circ\text{C}$ 、室温 21, 25, 29°Cの組み合わせに曝露された被験者については、頸損者が $1.90 \pm 0.62^\circ\text{C}$ に対して control は $1.36 \pm 0.22^\circ\text{C}$ であり、各々有意差が認められた。室温 21, 24, 27°Cの組み合わせに曝露された頸損者は 1 名のみで、その 1 名の最大額部皮膚温差は 1.89°C に対して control は $1.21 \pm 0.31^\circ\text{C}$ であった。これらのことから、頸損者の額部皮膚温は、環境温度の影響を受けて変化しやすい傾向にあることが示された。

末梢神経障害であるハンセン病にみられる残存健常皮膚面からの代償性発汗亢進の報告²⁷⁾と同様に、頸損者についても唯一の健常面である顔面からの発汗過多に関する症例報告^{28, 29)}がある。これらの研究報告を踏まえると、頸損者は皮膚血管運動障害の影響により、環境温度の状態に応じて、主に四肢末梢部の皮膚温を変化させて乾性放熱量を調節することが困難であることを補うために、麻痺を免れた顔面の一部である額部の皮膚温を大きく変化させて、乾性放熱量の調節を図ろうとしている可能性がある。頸損者の額部を含む顔面の代償性皮膚血管反応については今後詳細な検討が必要であるが、環境温度への適応を図ろうとしている可能性のある額部皮膚温の大きな温度変化が、多くの頸損者の口腔温と額部皮膚温間に関連性を出現させる要因になったと考えられる。

5. 結言

重篤な体温調節障害を持つ頸損者の深部体温の状態を簡易に精度良く推定することができる技術の開発を目指す第一段階として、蓄積されている人工気候室実験のデータを用いて、頸損者の皮膚温から口腔温を推定できる可能性について検討を行った。その結果、延べ 20 名の頸損者の 75%に当たる 15 名の口腔温と額部及び手背部皮膚温との間に有意な正の相関 ($P < 0.01$) が認められ、頸損者の口腔温の状態は額部及び手背部皮膚温から推定できる可能性があることが示唆された。

但し、頸損者の口腔温と額部及び手背部皮膚温の関連性の強さは個人差が大きく、関連性が認められても相関係数の低い者や関連性が全く認められなかった者もいるので、額部または手

背部皮膚温から頸損者の口腔温を精度良く推定することが可能であると断言するまでには至らない。個人差の問題を検討するためには、被験者数を増やして損傷レベル別³⁾、麻痺別⁴⁾、性別、年齢別などのグループ別の分析を行う必要がある。また、本分析

では顔部と手背部という露出部の皮膚温と口腔温間に関連性が認められる頸損者が多かったが、外気の直接的な影響を受けている露出部皮膚温と外気に接していない被覆部皮膚温のどちらをモニタリングするのが適当なのか、検討を重ねる必要がある。

Fig.8 Relation between oral temperature and forehead skin temperature

Fig.9 Difference between the two extreme values of forehead skin temperature at each combination of exposure temperatures

今後は顔部及び手背部皮膚温を重点調査生理指標に設定し、人工気候室内の温度をステップ変化させた非正常状態の実験などを行いながら、長期的視点で頸損者の深部体温を簡易に精度良く推定できる方法について検討を続けていく予定である。

謝 辞

人工気候室実験にご協力頂きました被験者及びその御家族の方々、人工気候室を快くお貸し下さった各研究機関の諸先生方に深く感謝の意を表します。また、2008年度の人工気候室実験を行うに際して、国立障害者リハビリテーションセンター研究所福祉機器開発部の井上剛伸先生に多大なご協力を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

注 1) 例えば、頸損者 A は室温 23, 25, 27°C に曝露されているので、同組み合わせ温度条件に曝露された学生 10 名の結果の平均値と比較している。頸損者 A の散布図内の control 平均値は、10 名の学生被験者個々の口腔温、手背部及び顔部皮膚温の経時変化を室内温度条件別に平均化し、それらを組み合わせて作成した。この方法をとったのは、既報¹⁸⁻²¹⁾では同組み合わせ温度条件に曝露された学生 1 名の結果と比較しており、その選出基準が曖昧だったためである。

注 2) 例えば、頸損者 A は室温 23, 25, 27°C の組み合わせに曝露された中で、顔部皮膚温は室温 23°C の時に最低値の 35.19°C、室温 27°C の時に最高値の 36.15°C 記録していることから、最大顔部皮膚温差は 0.96°C となる。

注 3) 頸髄は C1 から C8 の 8 つの髄節により構成されているため、損傷レベルも C1 から C8 で表現する。損傷レベルとは頭側から見て損傷を免れた最も下位の髄節のことを示している。

注 4) 麻痺の程度には完全麻痺と不完全麻痺があり、頸髄の損傷部位より下位で随意運動と感覚が完全に喪失している状態を「完全麻痺」、何らかの随意運動や感覚が残存している状態を「不完全麻痺」と言う。

参考文献

- 1) W.C.Randall, R.D.Wurster, R.J.Lewin, Responses of patients with high spinal transection to high ambient temperatures. *Journal of Applied Physiology* 1966; 21(3): 985-993.
- 2) K.E.Cooper, H.M.Ferres, L.Guttmann, Vasomotor responses in the foot to raising body temperature in the paraplegic patient. *Journal of Physiology* 1957; 136(3): 547-555.
- 3) L.Guttmann, J.Silver, C.H.Whyndham, Thermoregulation in spinal man. *Journal of Physiology* 1958; 142(3): 406-419.
- 4) J.A.Downey, H.P.Chiodi, R.C.Darling, Central temperature regulation in the spinal man. *Journal of Applied Physiology* 1967; 21(1): 91-94.
- 5) M.Attia, P.Engel, Thermoregulatory set point in patients with spinal cord injuries (spinal man). *Paraplegia* 1983; 21(4): 233-248.
- 6) H.J.Gerner, P.Engel, G.C.Gass, E.M.Gass, T.Hannich, G.Feldmann, The effect of sauna on tetraplegic and paraplegic subjects. *Paraplegia* 1992; 30(6): 410-419.
- 7) 緒方甫, 脊髄損傷患者の夏季における放熱障害. *総合リハビリテーション* 1973; 1(8): 32-40.
- 8) 緒方甫, 浅山滉, 脊髄損傷患者の暑気うつ熱障害に対する人工冷房の影響. *総合リハビリテーション* 1974; 2(10): 35-40.
- 9) 緒方甫, 浅山滉, 橋元隆, リハビリテーションにおける治療(5) 脊髄損傷に合併する体温調節障害と対策. *総合リハビリテーション* 1979; 7(5): 393-397.
- 10) 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* 2007; 14(2): 47-57.
- 11) 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* 2008; 73(633): 1233-1239.
- 12) 三上功生, 吉田燦, 青木和夫, 蜂巢浩生, 頸髄損傷者の温熱環境に対する意識・実態調査. *日本生気象学会雑誌* 2005; 42(2): 97-107.
- 13) K.Mikami, J.A.Yoshida, K.Aoki, H.Hachisu, A Survey on the Daily Needs and Actual Behavior of Quadriplegic Persons in Stressful Thermal Environments. *Proceeding of The Third International Conference on Human-Environment System* 2005; 206-209.
- 14) J.S.Petrofsky, Thermoregulatory stress during rest and exercise in heat in patients with a spinal cord injury. *European Journal of Applied Physiology* 1992; 64: 503-507.
- 15) 山崎昌廣, 深倉弘美, 脊髄損傷者の車椅子テニス実施時における体温調節反応に関する研究. *デサントスポーツ科学* 2001; 22: 59-66.
- 16) 山崎昌廣, 米重祐馬, 深倉弘美, 高取直志, 橋口大輔, 脇真司, 脊髄損傷者のバスケットボール試合時の体温変動に関する研究. *中村裕記念身体障害者福祉財団平成 11 年度助成研究報告書* 2000; 1-7.

- 17) 齋藤輝幸, 土川忠浩, 都築和代, 宮本政一, 生理反応の測定: 日本建築学会編, 温熱心理・生理測定法規準・同解説. 第1版: 生理測定編. 東京都港区: 一般社団法人 日本建築学会, 2014: 45-58.
- 18) 三上功生, 蜂巣浩生, 五十嵐博之, 脊髄損傷者の深部体温モニタリングに関する研究 その1 頸髄損傷者の口腔温と皮膚温の関係について. 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集(環境工学Ⅱ) 2012: 353-354.
- 19) 三上功生, 蜂巣浩生, 頸髄損傷者の深部体温モニタリングに関する研究 その1 頸髄損傷者の口腔温と皮膚温の関係について. 日本生理人類学会第67回大会要旨集 2012: 112-113.
- 20) 三上功生, 蜂巣浩生, 頸髄損傷者の深部体温モニタリングに関する研究. 日本人間工学会第54回大会講演集 2013: 372-373.
- 21) 三上功生, 蜂巣浩生, 今西理恵, 脊髄損傷者の深部体温モニタリングに関する研究 その2 頸髄損傷者の口腔温と皮膚温の相関有意性に基づいた分析. 日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集(環境工学Ⅱ) 2013: 381-382.
- 22) 入来正躬, 体温生理学テキスト. 第1版. 東京都文京区: 文光堂, 2003.
- 23) J.D.Hardy, E.F.DuBois, The technique of measuring radiation and convention. Nutrition 1938; 15(5): 461-475.
- 24) 二瓶隆一, 脊髄の解剖と病態生理: 二瓶隆一, 木村哲彦, 牛山武久, 陶山哲夫, 飛松好子編著, 頸髄損傷のリハビリテーション. 改訂第2版: 頸髄損傷の疫学. 東京都文京区: 協同医書出版社, 2007: 2-10.
- 25) 田村照子, 裸体健康成人女子の皮膚温分布. お茶の水医学雑誌 1983; 31(4): 225-241.
- 26) 田村照子, 皮膚血管反応の部位差: 田村照子編著, 衣環境の科学. 第3版: 自律性体温調節反応. 東京都文京区: 建帛社, 2005: 27-33.
- 27) 波田治, 癩患者の病変侵襲皮膚面積と汗量との関係に関する研究. 体質医学研究所報告 1954; 5(2): 201
- 28) 新宮彦助, 脊髄損傷における合併症. 総合リハビリテーション 1976; 4(5): 351-357
- 29) 小田嶋奈津, 市川忠, 古川哲雄, 頸髄および高位胸髄障害の上半身サーモグラム. BIOMEDICAL THERMOLOGY 1990; 10(2): 97-99.