

簡易局所耐寒性測定システムの開発

横山真太郎¹⁾ 久保まり¹⁾ 森本将平¹⁾ 佐藤麻希¹⁾ 前田享史¹⁾ 倉前正志¹⁾ 中島弘二²⁾石井勝³⁾ 小西一也⁴⁾ 菊地洋⁴⁾ 小林信次⁴⁾

1) 北海道大学・大学院工学研究科 2) 大成建設 3) 福岡教育大 4) コーナー札幌

Development of Practical Measuring System of Local Cold Tolerance

Shintaro YOKOYAMA¹⁾, Mari KUBO¹⁾, Shohei MORIMOTO¹⁾, Maki SATO¹⁾, Takafumi MAEDA¹⁾, Masashi KURAMAE¹⁾, Koji NAKAJIMA²⁾, Masaru ISHII³⁾, Kazuya KONISHI⁴⁾, Hiroshi KIKUCHI⁴⁾, Shinji KOBAYASHI⁴⁾*1) Graduate School of Engineering Sciences, Hokkaido University; 2) Taisei Corporation;**3) Fukuoka Education University; 4) Kona Sapporo Corporation*

Abstract: We participated in two research projects on health of children or elderly people, and investigated various measurement items. In those projects, we attempted to evaluate local cold tolerance of children and elderly people. The cold water immersion test with finger skin temperature measurement is used to assess vascular response on cold exposure and local cold tolerance. However, application of that measuring method to children and elderly people is difficult because of very severe cold stress. Few papers on local cold tolerance of children and elderly people were reported. Therefore a new system of practical local cold tolerance test was developed and applied to those research projects. Furthermore, it was examined a comparison between the present test and the cold water immersion test.

Key Words: Local cold tolerance, Practical measuring system, Children, Elderly people

要旨: 従来から局所の耐寒性を評価する有効な方法として、冷水による指部冷却の方法が汎用されているが、その実験の被験者への負担が大きいことから、子どもや高齢者を対象としている報告は少ない。そこで、我々が対象とする子どもや高齢者にも測定が容易であり、また、フィールドワーク調査においても対応できるペルチェ素子を用いた簡易測定法を開発し測定を行ってきた。本報では、開発した簡易測定法の概要とその有効性についての検討結果について報告する。

キーワード: 局所耐寒性、簡易測定装置、子ども、高齢者

1. はじめに

2003年度より、東アジアの都市に居住する小中学生を対象とした「都市化と子どもの健康影響プロジェクト」、2006年度からは、北海道、東京の高齢者を対象とした「高齢者の生理的多型性プロジェクト」に参加する機会に恵まれ、子どもや高齢者を対象に多岐に渡る項目の測定調査を実施してきた。

本研究室では、両プロジェクトにおいて、ペルチェ素子を用いた局所冷却装置を使用し、簡易局所耐寒性の測定に取り組んできた。従来から局所の耐寒性を評価する有効な方法として、冷水による指部冷却の方法が多用されているが、その実験の被験者への負担が大きいことから、子どもや高齢者を対象としている報告は少ない。

そこで、我々が対象とする子どもや高齢者にも測定が容易であり、また、フィールドワーク調査においても対応できる簡易測定法を開発し測定を行ってきた。本報では、開発した簡易測定法の概要とその有効性についての検討実験

について、報告する。

2. 簡易局所耐寒性測定システムの概要

2.1 開発上の留意点

図1に最初に開発した局所耐寒性測定システム(M型)の外観を示す。本報では、子どもや高齢者への測定システムの適用が可能となるよう、以下の点に留意して開発を進めた。

- 1) 負荷する寒冷(暑熱)の強度という点において、できるかぎり被験者への負担を少なくすること
- 2) 耐寒及び耐暑の両方が測定可能であること
- 3) 特殊な設備及び器具をできる限り必要としないこと
- 4) 特殊な技術を必要としないこと
- 5) 可搬性に優れていること
- 6) 学校での体力測定等の一環として測定できるよう、時間的な効率がよく、短時間で多数の被験者に対する測定が可能であること

2.2 設定温度の範囲

Lewis の冷水に指部を浸漬させた実験より、5°Cの水温では全ての被験者に寒冷血管反応が認められたという報告がある。且つ、被験者への負担を最小限に抑えるためには、寒冷刺激の設定温度に関しては、5°Cが望ましいと考えた。また、暑熱刺激のための設定温度に関しては、人体の平均皮膚温が約 33°Cであること、タンパク質の変性が約 42°Cで発生することを考慮し、35°Cが望ましいと考えた。

2.3 局所冷却装置の機構

最初に開発した局所耐寒性測定システム (M型) の特徴は、2枚のペルチェ素子の配置と伝熱機構を考慮することにより、耐寒性及び耐暑性双方の現場測定に適合したコンパクトなシステムに仕上げた点にある。すなわち、Panel-1(暑熱刺激)において、Panel-2(寒冷刺激)で発生した熱量を効率的に吸熱させることで、Panel-1の過剰な温度上昇を防ぎ、各Panelの上面温度の安定化を可能にしたことである。これにより、電圧の調節のみによる表面温度の制御が可能となり、Feed back 制御を組み込むことで表面温度の安定化を図った。また、本体の大きさは 100×100×75mm と小さく、可搬性にも優れているといえる。

その後、システムの低廉化を目指し、システム要素に検討を加えた。図2に示すのは、その努力の成果の一例で、普及型の局所耐寒性測定システム (CS型) である。CS型の大きな特徴は、サーモグラフィの代替として比較的最新の赤外線センサーを採用し、システムを小型一体化の仕様にしたことである。これによって、「可搬性に優れていること」などの開発上の留意事項の性能が向上した。

2.4 簡易局所耐寒性測定法における代表的な指標

中指を 5°Cに設定した冷却面に 5秒間接触させ、一時的な冷刺激を与え、赤外線放射カメラを活用し、中指表面皮膚温の回復時間(以降 Recovery Time: RT とする)を測定した。その背景の考え方は、体温調節機能の血管収縮または拡張反応の回復過程における血流量調節の機能特性を簡便に評価しようとするものである。

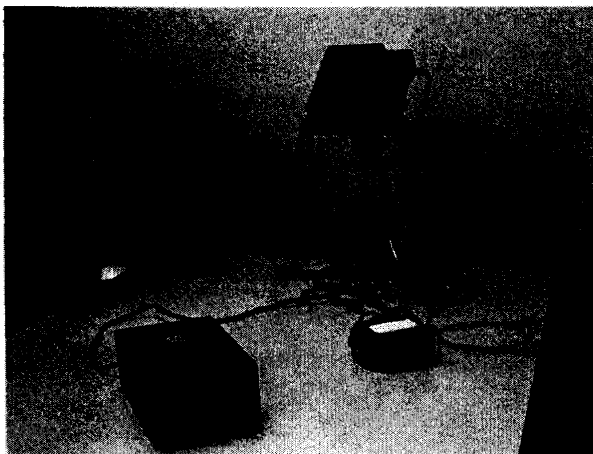


図1 簡易局所耐寒性測定システム (M型)

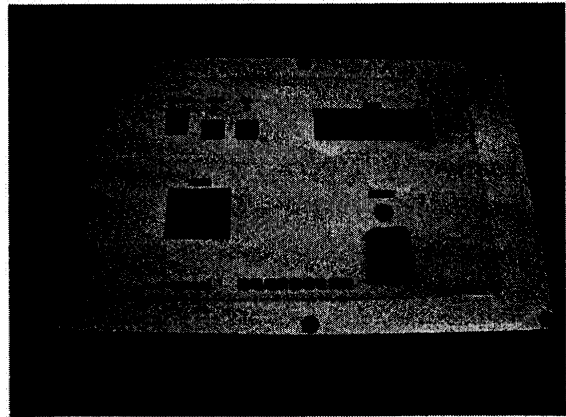


図2 簡易局所耐寒性測定システム (CS型)

3. 簡易局所耐寒性測定法の再現性の検討

3.1 冷却面への接触圧の影響

冷却面への接触圧に個人差が生じるため、その影響を実験的に検討した。

局所冷却装置の下部に秤を設置し、被験者3名に3段階の重量で冷却面を接触させ RT を測定した。そして、各接触圧にて複数回ずつ測定し、測定条件などが安定した測定値の平均値を各被験者の RT とした。尚、接触圧は、指部の接触面積を 2.5cm² とし、加えた 3段階の重量より① 0.4N/cm²、② 1.2N/cm²、③ 2.0N/cm² と概算した。

図2に被験者3名の3段階の接触圧による RT の平均値を示した。①0.4N/cm²に対し、②、③はそれぞれ3倍、5倍の接触圧であるが、それらの結果の間に有意差は認められなかった。接触圧が大きいほど接触熱抵抗が小さく、指部の冷却がより進行することを懸念していたが、本実験結果からはそのような傾向はみられず、5秒間の接触且つ、本実験の接触圧の範囲においては、接触圧による被験者間の影響はそれほど大きくないといえる。

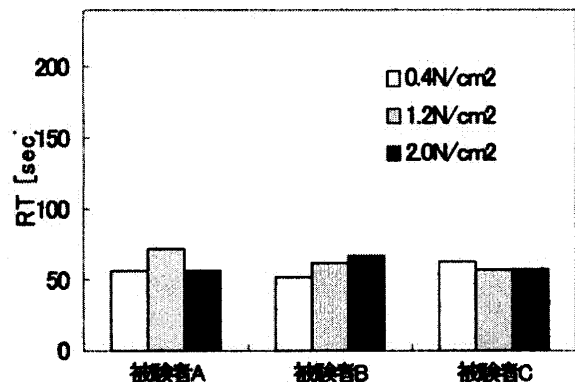


図3 冷却面への接触圧の影響

3.2 測定室温の影響

次に、簡易局所耐寒性測定法に対する測定室温の影響が考えられるため、それについて実験的に検討した。

実験は人工気候室で設定気温 21°C~29°Cの5条件について行った。被験者は前節と同様の3名である。各被験者

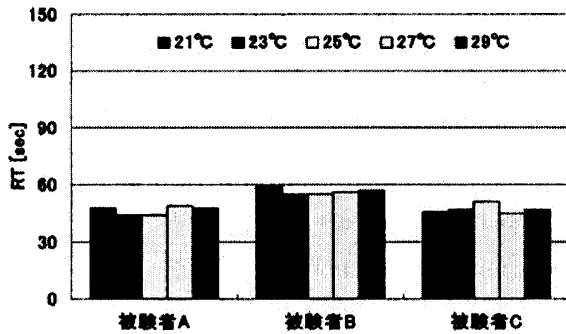


図4 測定室温の影響

は各気温条件での至適着衣状態を決定した後、少なくとも20分以上滞在後にRTの測定を行った。

その結果を図4にまとめた。各被験者での系統的な室温の影響は見られなかった。

すなわち一般的な室内環境条件では着衣条件を適切に設定すれば、簡易局所耐寒性測定法により信頼性のある結果をもたらされることが示された。

4. 簡易局所耐寒性測定法の有効性の検討

4.1 実験概要

本実験においては、今回開発した簡易局所耐寒性測定法の有効性を検討することを目的とし、簡易法の測定と、冷水への指部浸漬による寒冷血管反応の測定をそれぞれ実施し、両測定結果を比較した。図5に両測定方法の概要を示した。

被験者は成人男性(大学生)8名、成人女性(大学生)4名、60歳前後の男性4名の計16名(表1)であり、25°C、50%に設定した本研究室の人工気候室にて、30分以上椅座安静の後、各測定を実施した。その際、着衣については、これまで測定を行ってきた子どもや高齢者の設定を考慮し、統一した衣服を使用した。

指部冷水浸漬実験では右手中指末節腹部にサーミスタを取り付け、5分間初期皮膚温を測定したのち、約0°Cの氷水に右手中指第二関節までを30分間浸漬した。その後15分間の指部皮膚温回復過程も測定した。

この実験においては多くの指標が提案されている。図6に示すように、指部冷水浸漬後、急激に血管収縮が生じ、指部皮膚温が大きく低下する。



図5 有効性の検討実験の概要

(左：簡易局所耐寒性実験 右：指部冷水浸漬実験)

表1 被験者概要

	年齢	身長 [cm]	体重 [kg]
成人男性	22.6±1.3	173.8±6.7	64.6±5.8
成人女性	22.5±0.6	159.5±9.3	51.0±7.3
60歳前後男性	58.5±2.5	167.3±4.8	70.9±7.4

mean±SD

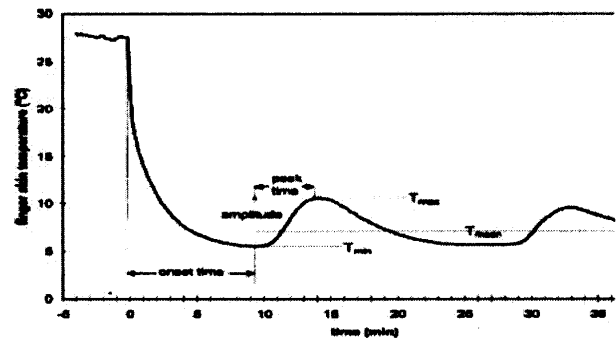


図6 指部冷水浸漬実験の各指標

H.A.M. Daanen (2003) 89 p413 Fig. 1.¹⁾ より作成

その最低温度(Tmin)までの時間を Onset time、寒冷誘発血管拡張反応(CIVD)が生じ、その最高温度(Tmax)と最低温度の差を Amplitude、Onset time 以降の浸漬中平均指部皮膚温は Tmean と呼ぶ。また回復過程においては、初期皮膚温に対する浸漬後5、10、15分時の指部皮膚温の回復率を算出した。

図7には今回の全被験者16名の測定結果を示した。それぞれの指標に個体間変動のあることがわかる。

4.2 結果と考察

両測定による指標の比較の中から、図8にRT(回復時間)とOnset timeの関係を示した。図9はRTとTminの関係のまとめである。さらに、図10には、RTと5分回復率の関係を示した。

図8のRTとOnset timeの結果は相関係数 $r=0.73$ を示した。また、RT(回復時間)と指部冷水浸漬測定法のその他のTmin、5分回復率を含めた多くの指標についても $r=\pm 0.6$ 程度($p \leq 0.05$)の相関が示された。

開発した簡易測定法により測定したRT(回復時間)が、局所耐寒性を測るための概ね有効な指標として扱うことができると考えられた。

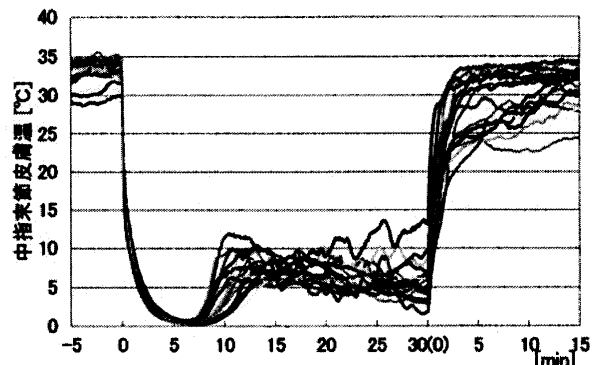


図7 冷水指部浸漬実験結果

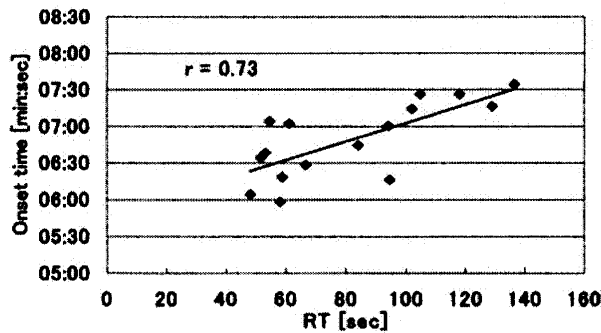


図8 RT—Onset time の関係

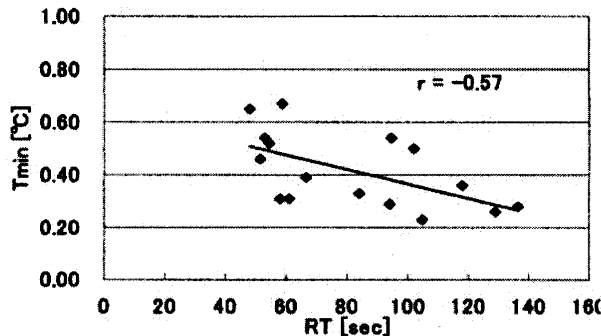


図9 RT—Tmin の関係

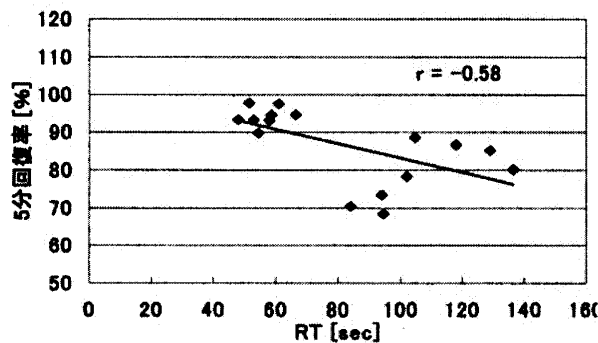


図10 RT—5分回復率の関係

5. 簡易局所耐寒性測定システムの適用

福岡教育大学附属体育研究センター、東京大学人類生態学教室と共に、これまで韓国春川市、中国大連市、台湾台中市、日本札幌市、日本北九州市の各都市において、小学4年生から中学3年生、各都市約600名以上、総計約3000名以上を対象として、開発した簡易局所耐寒性測定システムを用い、測定を実施してきた。さらに本プロジェクトでは、1)身長、体重、胸囲、皮脂厚、骨密度等の形態や体組成、2)握力、立ち幅跳び等の運動機能、3)生活習慣や生活環境に関するアンケート調査などの多岐にわたる測定調査を同時測定調査項目として実施した。ここでは、札幌市と北九州市の測定結果の一部を紹介する。

北九州の子どもの札幌の子どもとほぼ同程度の発育状態であった。また、共通して一代前の子ども(1975年全国値、文部科学省)と比較し高身長化傾向にあり、女子の中学生以降では体重の減少傾向もみられた。

図11に2都市の中学生のRT累積度数分布を示した。

尚、本測定においては限られた時間内の測定のため、測定時間を60秒までとしている。また、RT60秒以上の者の割合を都市ごと男女別みると、両都市の分布型が類似しており、女子に対し、男子のRTが短い傾向が示された。この性差は韓国春川市中国大連市の2都市にも共通する傾向であった。また、男子においては地域差がみられ、小中学生とも日本の北に位置する札幌の子どもが、南に位置する北九州の子どもよりRT60秒以上の割合が小さく、RTが短い傾向がみられた。しかし、女子には同様の傾向はみられなかった。

次に、RTと他の測定項目の関連について、全身の耐寒性に関連する体脂肪率などの形態学的な要素より、日常生活習慣との関連性が強く、睡眠時間や日常運動習慣が十分な子ども程RTが短い、つまり局所耐寒性が優れた傾向を示すことが報告されている。そこで、都市の子どもをRT「60秒未満」と「60秒以上」の2グループに分け、生活実態アンケート調査結果を用いて数量化II類により分析した。札幌、北九州の子どもの局所耐寒性の獲得に対する、主要な生活習慣の寄与である。それらの結果より、局所耐寒性の獲得に1)質の良い睡眠、2)日常の運動習慣、3)夜型でない生活様式が関連していると示された(図12参照)。

また、高齢者のRT測定調査からは、局所耐寒性と日常の生活様式が密接な関係にあるという結果が得られているが、これらの適用例とその意義については稿を改めて報告したい。

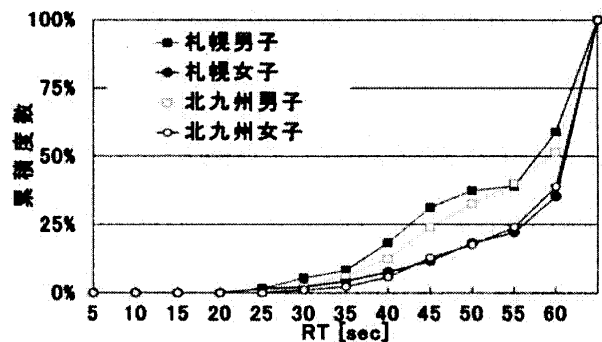


図11 日本の2都市の子ども(中学生)のRT累積度数

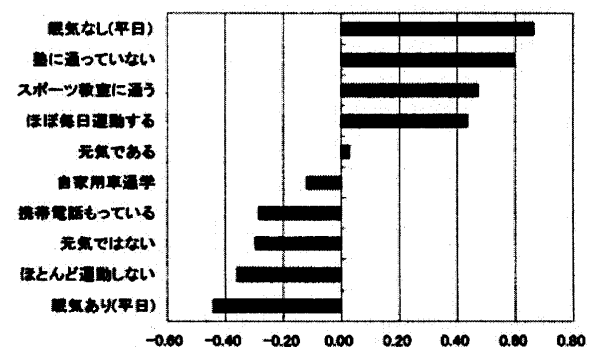


図12 RTに対する生活習慣の寄与(札幌市)