原著 手指の末梢循環機能検査法としての4°C-1分冷水浸漬法

石 竹 達 也*, 中 川 経 子*, 岩 元 二 郎*
森 智恵子*, 的 場 恒 孝*

A 4°C-1 MIN METHOD OF COLD WATER IMMERSION TEST FOR PERIPHERAL CIRCULATORY FUNCTION IN FINGERS

Tatsuya ISHITAKE,* Keiko NAKAGAWA,* Jiro IWAMOTO,*
Chieko MORI* and Tsunetaka MATOBA*

To assess the validity of a new simplified cold water immersion test (4°C-1 min method) for peripheral circulatory function, comparison was made with the conventional method (10°C-10 min method). These two different methods of cold immersion test were applied to 23 patients with vibration disease and 24 healthy men. Observation was made on finger skin temperature by a thermistor and complaints in the hand by a 5-step self-reported scale method every minute during the test. The patterns of recovery of skin temperature after cold immersion in each group were similar in both methods. Pain in the hand in the 4°C-1 min method was less than that in the 10°C-10 min method. The recovery rate at 5 min in the patients with Raynaud's phenomenon was lower than that in those without Raynaud's phenomenon in the 4°C-1 min method ($p<0.01$). However, no significant differences were noted in 10°C-10 min method. The results suggest that the new method is feasible in detecting the response of vasodilation after immersion. In the recovery rate at 5 min after immersion, near values of the sensitivity and specificity were observed between 50% cut-off values in the 4°C-1 min method and 30% value in the 10°C-10 min method. Thus, the 4°C-1 min method is considered to be more useful to evaluate the physiological response after cold immersion than the 10°C-10 min method.

Key words: cold water immersion test; peripheral circulatory function; recovery rate; screening test; Raynaud's phenomenon; vibration disease

I. は じ め に

削岩機やチェンソーなどの振動工具を職業性に長期間使用することによって発生する振動病には、手指のレイノー現象を主徴とする末梢循環障害のほか、末梢神経障害、筋肉・骨関節系障害、自律神経系障害などが認められる¹⁾。なかでも末梢循環障害は病初期より出現するので、その障害程度の評価は振動病診断にとってきわめて重要である。振動病における末梢循環機能検査法の一つとして、一側手の冷水浸漬法が広く採用されている²⁾。その方法には5°Cの冷水に10分間浸漬させる5°C-10分法、0°C-1分法など、種々の方法が提唱され使用され

てきた。しかし現在では、10°Cの冷水中に一側手を手関節まで10分間浸漬する方法(以下10°C-10分法)が広く用いられている³⁻⁵⁾。しかし、この10°C-10分法では被験者に与える苦痛は強く、その試験後に手指や腕にしびれや疼痛などの症状が増悪するということもあるので、より侵襲の少ない冷水浸漬法の開発が望まれている。

本研究では一側手冷水浸漬法の簡易法として、4°Cの冷水に1分間浸漬させる方法(以下4°C-1分法)を取り上げ、末梢循環機能検査法としての有用性を、従来法の10°C-10分法と比較検討した。

II. 対象と方法

対象は23名の健康男子学生(平均年齢 22.4 ± 2.7 歳)(以下「健常群」とする)と当教室で経過観察中の23名の男性振動病患者(平均年齢 59.0 ± 6.3 歳)(以下「患者群」とする)であった。患者群が使用した振動工具の

* 久留米大学医学部環境衛生学教室

平成3年11月5日受付

* Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine

Received for publication, November 5, 1991

Fig. 1. Changes in finger skin temperature in the two different methods of cold water immersion test in healthy subjects (A) and patients (B). Open circles and closed circles show the mean values in the 4°C-1 min method and 10°C-10 min method, respectively. Vertical bars indicate the standard errors.

種類は、チェンソーとチップングハンマーで、その使用従事年数は平均 14.2 ± 2.7 年であった。23 名の患者中、レイノー現象陽性者は 14 名 (61%) であった。患者群の中に、心血管系疾患や糖尿病を持つ者は認められなかった。

冷水浸漬試験は、対象者を検査室に 30 分以上安静に待機させたのち開始した。冷水浸漬試験の手順は次のようであった：① 10°C-10 分法と 4°C-1 分法による検査は、同一被験者に同一日の午前と午後それぞれ施行した。まず 4°C の冷水に一侧手を手首まで 1 分間浸漬する (4°C-1 分法) 検査を行った。② 次の検査までに 4 時間のインターバルをおき、この間飲食は軽い昼食のみとし、外出、運動は極力避けてもらった。その後 ③ 同側手を 10°C の冷水に 10 分間浸漬する (10°C-10 分法) 検査を行った。なお、喫煙は検査が開始される 2 時間前より、その日の一連の検査が終了するまで禁止した。検査中の手指皮膚温の測定は、健常群では右第 3 指中節背側に、患者群では最も症状の強い指の中節背側にサーミスター温度計端子を装着させて行った。皮膚温の測定は浸漬前、浸漬終了直後、終了後 1 分ごとに 10 分間行った。

手指皮膚温の各時間の回復率は、次に示す等式を用いて算出した。

$$\text{回復率} = \frac{T_x - T_0}{T_B - T_0} \times 100 (\%)$$

T_B : 浸漬前の皮膚温

T_0 : 浸漬終了直後の皮膚温

T_x : 浸漬終了 x 分後の皮膚温

冷水浸漬に伴う手指の苦痛度は、被験者による 5 段階自己評価法によって浸漬前と浸漬中および浸漬終了後

10 分まで、1 分ごとに評価させた。5 段階法の評価尺度は、1 (なし)、2 (ややある)、3 (ある)、4 (強い)、5 (きわめて強い)、とし、手指の疼痛の程度を点数化して評価した。また手指以外の胸の重苦しさなどの自覚症状は、適宜、被験者自身で記録するようにした。検査終了後に、どちらの方法が好ましいかという二者択一法による質問を行い、その理由についての回答を得た。すべての検査は 10 月から 11 月にかけて、室温 $21 \sim 23^\circ\text{C}$ の条件下で行った。統計学的処理は一標本 t 検定法および二標本 t 検定法を用い、ともに統計的有意水準は危険率 5% とした。

III. 結 果

1. 手指皮膚温の回復過程

Fig.1 は 4°C-1 分法と 10°C-10 分法の冷水浸漬試験における手指皮膚温平均値の時間的推移を示している。健常群、患者群ともに浸漬前値を除いて、すべての測定時点で 4°C-1 分法のほうが 10°C-10 分法よりも有意に皮膚温が高かった ($p < 0.01$)。しかし回復過程における手指皮膚温の分散は両群とも 4°C-1 分法のほうが大きかった。浸漬終了 1 分以降の平均手指皮膚温 ($y^\circ\text{C}$) と経過時間 (x 分) との回帰式を求めると、健常群では $y = 1.03x + 20.5$ (4°C-1 分法)、 $y = 0.98x + 12.6$ (10°C-10 分法) であり、患者群では $y = 0.61x + 20.7$ (4°C-1 分法)、 $y = 0.67x + 12.5$ (10°C-10 分法) であった。同一群内における回帰直線の傾きは、両法で類似していた。しかし両群間の回帰直線の傾きは、健常群が患者群に比して有意に大きかった ($p < 0.01$)。

Fig. 2. Changes of pain in the hand in the two different methods of the cold water immersion test in healthy subjects (A) and patients (B). Open and closed circles show the mean values in the 4°C-1 min method and the 10°C-10 min method, respectively. Scales of pain in the hand are as follows: 1: none, 2: slight, 3: fair, 4: severe and 5: extreme.

2. 苦痛度の比較

Fig. 2 は二つの冷水浸漬試験による手指の疼痛の経時的变化を5段階評点法の平均値として示したものである。健常群において、4°C-1 分法では冷水浸漬直後より急速に手指の疼痛は増強しており、1 分後には最大レベルまで達した。浸漬終了とともに急速に減少し、約6 分後には疼痛は完全に消失した。10°C-10 分法では、同じく冷水浸漬直後より急速に疼痛は増大した。浸漬3 分目ごろより急速に中等度まで減少し、その後は中等度の疼痛が持続した。浸漬終了後は徐々に減少して、浸漬終了6 分目にはほぼ浸漬前値に戻った。手指以外の症状の訴えは両方法ともに認めなかった。

患者群においては、4°C-1 分法は健常群とほぼ同一傾向を示した。すなわち浸漬直後より疼痛は増強して1 分後に最大レベルに達した。浸漬終了とともに減少し、8 分目には前値に戻った。一方、10°C-10 分法では浸漬中の疼痛の推移は健常群のそれと類似していたが、浸漬終了後は軽度の疼痛が測定時間中持続した。さらに10°C-10 分法においてのみ肘・肩の疼痛、しびれ感などの手指以外の自覚症状が半数以上の被験者で認められた。

「どちらの方法が好ましいか」の質問に対して、被験者の全員が、負荷時間が短いので苦痛が小さいという理由で、「4°C-1 分法を選ぶ」と答えた。

3. レイノー現象と皮膚温回復率の関係

患者群において、手指のレイノー現象の既往がある者(既往有群; 14 名)とない者(既往無群; 9 名)に分けて、5 分回復率を比較した (Fig. 3)。10°C-10 分法ではレイノー現象の既往有群と既往無群別の5 分回復率の平

Fig. 3. Comparison of the recovery rate at 5 min between the patients with Raynaud's phenomenon (R+) and those without Raynaud's phenomenon (R-) in the two different methods of the cold water immersion test. N.S. indicates no statistical significance. ** $p < 0.01$.

均値は、それぞれ 26.0%, 31.4% であった。既往無群のほうの回復率のほうが高かったが、両群間に統計学的有意差は認められなかった。一方、4°C-1 分法における5 分回復率の平均値は、それぞれ既往有群 41.7%, 既往無群 64.4% で、無群が統計学的有意差をもって高かった ($p < 0.01$)。

4. 4°C-1 分法の評価基準

現在、10°C-10 分法による末梢循環機能障害の評価基準の一つとして、皮膚温の5 分回復率が 30% 以下という基準が使用されている²⁾。4°C-1 分法の評価基準を検討するために、今回の健常群と患者群を対象にこの 10

Fig. 4. Relationship between the sensitivity and specificity of disorders of peripheral circulation at several cut-off values of the recovery rate in the two different methods of the cold immersion test. Open circles show the cut-off values of 40%, 50%, 60% and 70% of the recovery rate at 5 min in the 4°C-1 min method, respectively. Closed circle shows the cut-off value of 30% of the recovery rate in the 10°C-10 min method.

°C-10 分法の評価基準を準用して、4°C-1 分法における 5 分回復率のカットオフ値を設定し、敏感度和特異度を比較した (Fig. 4)。

敏感度はカットオフ値が大きくなるにつれて増加したが、それに反し特異度はカットオフ値が 40% より大きくなると急激に減少した。異なるカットオフ値に対する特異度 (%) と敏感度 (%) との間の回帰式は $y = -0.47x + 83.5$ であった。4°C-1 分法において 10°C-10 分法の敏感度和特異度に最も近い値が得られたのは、カットオフ値を 50% に設定したときであった。

IV. 考 察

スクリーニングのための検査法としての評価は信頼性、簡易性、有効性の 3 点について行う必要がある。冷水浸漬法における浸漬前後の皮膚温は、室温を含む種々の外的環境因子の影響を受けやすく^{3,6)}、また個人における変動も大きいことが示されている⁷⁾。このような理由から冷水浸漬法自体の再現性はあまり良いとは考えられていない。4°C-1 分法については現在まで再現性についての報告はない。Miyashita らは⁸⁾ 4°C-1 分法と 10°C-10 分法を比較して、その皮膚温回復過程においては、4°C-1 分法のほうが変動が大きいことを指摘するとともに、浸漬前、浸漬終了 5 分、10 分後の皮膚温と回復率に、両者間で有意な相関を認めたと報告している⁸⁾。本実験結果では、健常群と患者群における皮膚温の回復過

程は、4°C-1 分法と 10°C-10 分法ともに回帰直線の傾きが同一群内ではほぼ一致していることから、両方法の皮膚温回復過程は類似していると考えられる。冷水浸漬中および終了後の皮膚温は、10°C-10 分法のほうが 4°C-1 分法より低いので、負荷としては 4°C-1 分法が弱いと考えられる。

両群間の比較は、対象の年齢差が大きいので年齢による影響を十分考慮する必要がある。しかし健常者についての 4°C-1 分法と 10°C-10 分法の年齢別 (20 歳未満, 20 歳代, 30 歳代, 40 歳代以上) に比較検討した報告⁸⁾ では、浸漬前皮膚温および皮膚温回復過程において差を認めていない。また健常群では年齢の影響はないとの結果を示した。この報告から考えると、本研究における両群の回帰直線の傾きの差は年齢の影響よりも末梢循環障害による皮膚温回復の遅延によることが大きいことが示唆される。したがって 4°C-1 分法は 10°C-10 分法と同程度に末梢循環障害度を検出できると考えられる。

4°C-1 分法の簡易性に関しては、被験者における苦痛の軽減および所要時間の短縮の両面から、10°C-10 分法より優れていると考える。手指の疼痛は、4°C-1 分法では主に浸漬手指にのみ出現し、かつ一過性であるのに反して、10°C-10 分法では疼痛が浸漬手指側の肘や肩にも波及して出現し、また浸漬終了後もしびれが持続するなど、被験者への侵襲は明らかに 4°C-1 分法が軽い。検査終了後の「どちらの方法が好ましいか」という総括的質問に対して、全被験者が 4°C-1 分法を好ましいと答えた。その主な理由は苦痛の程度が軽いことよりも測定時間が短いことであった。患者は毎年定期的に検査される現在の 10°C-10 分法の検査自体に対して、かなりの心理的負担を感じている。

患者群におけるレイノー現象の有無別の 5 分回復率に、10°C-10 分法では両者に有意差を認めなかったが、4°C-1 分法で有意差が検出できたことは、冷水浸漬試験の皮膚温回復過程、すなわち血管拡張反応性がレイノー現象の有無で異なり、その差異を 10°C-10 分法では見出せなかったのに対し、4°C-1 分法はその反応性の差を検出できたことを示すと考えられる。レイノー現象陽性者は陰性者に比べて局所寒冷負荷に対する血管収縮反応が亢進しているとの報告は数多くあるが、血管拡張反応性の異常に関する報告は少ない^{9,10)}。本研究の成績は、レイノー現象陽性者における血管拡張機能障害の存在を支持するものであろう。従来から用いられている冷水浸漬試験では、負荷後の血管拡張反応を観察するには負荷力が強すぎたのではないだろうか。このように血管の寒冷に対する血管反応性の観察には、4°C-1 分法のほうが有

用と考える。

検査の有効性を表わす指標として敏感度と特異度がある。両者がともに高率であることが理想であるが、スクリーニングの趣旨からは敏感度が高いことが優先されるべきである¹⁰⁾。本研究では 10°C-10 分法の 5 分回復率 30% を基準として検討を行ったところ、4°C-1 分法でそれと最も近い敏感度が得られたのは 5 分回復率 60% をカットオフ値としたときであった。しかしこのときはカットオフ値が 50% の場合と比較して、敏感度の上昇が小さいのに対して、特異度の低下が大きく、スクリーニング検査としての有効性が低下すると考えられる。このことから 4°C-1 分法の回復率の評価基準としては、5 分回復率 50% をカットオフ値とするのが妥当であると考えられる。

V. ま と め

末梢循環機能検査法の一つとして一側手冷水浸漬試験について、新しく試みた 4°C-1 分法を従来法の 10°C-10 分法と比較検討して、次の結果が得られた。

1) 健康群・患者群ともに、冷水浸漬後の皮膚温回復過程は両方法で類似していた。

2) 検査中の苦痛度は、4°C-1 分法のほうが明らかに軽かった。

3) レイノー現象既往有者の 5 分回復率は、既往無者のそれと比較して 4°C-1 分法では有意に低く、また 10°C-10 分法でも低かったが有意差は認められなかった。

4) 4°C-1 分法における 5 分回復率は、50% をカットオフ値とした場合に、10°C-10 分法と最も近い有効性が得られた。

5) 4°C-1 分法は、冷水負荷後の血管拡張反応性障害を観察するのに有用であることが示唆された。

以上のように 4°C-1 分法は手指の末梢循環機能検査法

として有用であり、5 分回復率 50% をカットオフ値とすることが妥当であることが結論づけられた。

文 献

- 1) Matoba T, Kusumoto H, Mizuki Y, Kuwahara H, Inanaga M, Takamatsu M. Clinical features and laboratory findings of vibration disease: a review of 300 cases. *Tohoku J Exp Med* 1977; 123: 57-65.
- 2) 的場恒孝, 桜井忠義. 振動病における末梢循環障害の診断. *日災医誌* 1985; 33: 357-367.
- 3) Chang CP. Cold water immersion test in patients with vibration disease. *Jpn J Ind Health* 1976; 18: 453-463.
- 4) 齊藤和雄, 新岡 正, 藤本 俊, 柴野信夫. 振動障害患者に対する 5°C および 10°C 冷水浸漬法の比較. *産業医学* 1981; 23: 33-41.
- 5) 榎原久孝, 宮尾 克, 金田誠一, 小林章雄, 中川武夫, 山田信也. 振動障害検診の冷水浸漬法について 5°C 浸漬法と 10°C 浸漬法の比較. *産業医学* 1982; 24: 672-686.
- 6) 原田規章, 広沢徹夫, 藤井美知子, 百々栄徳. 振動障害における冷水浸漬テストにおよぼす季節影響について. *産業医学* 1983; 25: 422-431.
- 7) Izumi T, Takemoto T, Ohkubo H, Moji, K. Intraindividual variation of skin temperature recovery rate after cold water immersion among Japanese bush-cutter operators. *Jpn J Ind Health* 1991; 33: 65-72.
- 8) Miyashita K, Takeda S, Kasamatsu T, Hashimoto T, Iwata H. Cold water immersion test (1 minute immersion in 4°C water) and its evaluation. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H, eds. *Hand-arm vibration*. Kanazawa: Kyoei Press, 1990: 211-213.
- 9) Magos L, Okos G. Cold dilatation and Raynaud's phenomenon. *Arch Environ Health* 1969; 7: 402-410.
- 10) Virokannas H, Rintamäki H. Finger blood pressure and rewarming rate for screening and diagnosis of Raynaud's phenomenon in workers exposed to vibration. *Br J Ind Med* 1991; 48: 480-484.

著者への通信先: 石竹達也, 〒830 久留米市旭町 67 久留米大学医学部環境衛生学教室 *Reprint requests to* Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine, 67 Asahi-machi, Kurume, 830 Japan (T. Ishitake)