

常の有無を診断するうえで有効であることが示唆された。

これまでの委託研究における検討から、本検査法で捉えられる冷水浸漬試験中の手指皮膚血流については、他の末梢循環機能検査と同様に、加齢の影響を少なからず受けることが示唆されているため<sup>9)</sup>、50~60歳代の年齢層では今回のカットオフ値をそのまま応用することが可能であるが、その他の幅広い年齢層の集団を対象に本検査を実施する場合には、ある程度年齢を加味して検査結果を評価する必要があるものと考えられる。

#### エ まとめと今後の展望

- (ア) 冷水浸漬試験は、室温を24~25℃に安定させた静寂な検査室にて、専用の負荷装置を用い、10℃10分法に準拠して行った。皮膚血流は、浸漬前の常温下5分、浸漬中10分、浸漬後の回復期10分の計25分間、示指、中指、環指に及ぶ手掌側全体を含む範囲にて2分間隔で測定した。また、撮像した画像イメージからは、末節部領域と指全体領域を解析部位としてその範囲の皮膚血流量を算出した。
- (イ) VWFの有症者では、無症者や対照群に比べて冷水浸漬前の常温下から皮膚血流が低値を示し、また、浸漬中は血流の増加をほとんど観察せず一貫して低いレベルを推移した。さらに、その傾向は浸漬終了後に至っても持続し、血流の回復が著しく遅延するという特徴的な変化のパターンを認めた。
- (ウ) 冷水浸漬試験中の常温下、浸漬中、回復期の各測定段階における代表値として、常温下は1・3・5分の3点の中央値、浸漬中は5・7・9分の3点の平均値、回復期は1・3・5・7・9分の5点の平均値を示指、中指、環指の指ごとに算出した。また、浸漬中から浸漬後の皮膚血流の回復を端的に示す指標として回復比（回復期の5点の平均値／浸漬中の3点の最低値）を算出した。
- (エ) 対照群の測定値の「平均-1.5標準偏差」の値を基にカットオフ値を求め、各個人の検査値がそれ未満であれば「異常」、それ以上であれば「正常」とした。そのうえで、異常とされる数の合計（最小0~最大12）が3未満である場合に「所見なし」、3以上である場合を「所見あり」と判定した。さらに、異常数が3~6未満を「クラス1」、6~9未満を「クラス2」、9以上を「クラス3」として分類を行った。
- (オ) 検査結果から判定された末梢循環障害の所見レベルは、SWS-Rや厚生労働省VS区分を用いた臨床的な症度と比較的強い相関を示し、本検査法が振動ばく露による末梢循環障害の客観的検査法として十分に妥当性を有することが確認された。
- (カ) VWFの有症者と無症者を区分したときのVWF有症者の敏感度は70.0%、VWF無症者と対照群の特異度はそれぞれ89.5%、100%となり、今回の評価基準が末梢循環機能の異常の有無を診断するうえで有効であることが示唆された。
- (キ) これまでの検討から本検査法で捉えられる手指皮膚血流は加齢の影響を少なからず受けることが示唆されるため、今回対象とした50~60歳代以外の幅広い年齢層の集団を対象に本検査を実施する場合には、ある程度年齢を加味して検査結果を評価する必要があるものと考えられる。
- (ク) 血流画像上の所見として、VWF有症者では対照群とは異なる特徴的な血流分布の

パターンがみられることから、各指の任意の領域における平均血流量を指標とするだけでなく、これらの付加的情報も加味しながら総合的に判断することで、振動ばく露に起因した末梢循環障害をよりの確に捉えられる可能性が示唆された。

(文献)

- 1 Saravanamuthu J, Seifalian AM, Reid WM, Maclean AB: A new technique to map vulva microcirculation using laser Doppler perfusion imager. *Int J Gynecol Cancer*, 13(6); 812-8, 2003.
- 2 Fullerton A, Rode B, Serup J: Studies of cutaneous blood flow of normal forearm skin and irritated forearm skin based on high-resolution laser Doppler perfusion imaging (HR-LDPI). *Skin Res Technol*, 8(1); 32-40, 2002.
- 3 Wardell K, Jakobsson A, Nilsson GE: Laser Doppler perfusion imaging by dynamic lightscattering, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 40; 309-16, 1993.
- 4 Fullerton A, Serup J: Laser Doppler image scanning for assessment of skin irritation, *Curr Probl Dermatol*, 23; 159-68, 1995.
- 5 宮下和久、宮井信行、寺田和史、山本博一：末梢循環障害の検査に係る事例の収集について。－レーザー血流画像化装置による末梢循環機能評価－平成14年度災害科学に関する委託研究報告書、平成15年3月。
- 6 宮下和久、宮井信行、寺田和史、山本博一：振動障害診断のための新たな検査体系の確立に関する研究。－レーザー血流画像化装置による末梢循環機能評価－。平成15年度災害科学に関する委託研究報告書、平成16年3月。
- 7 宮下和久、宮井信行、寺田和史、山本博一：振動障害診断のための新たな検査体系の確立とその応用に関する研究。－新たな循環機能検査法の確立とその応用に関する研究 レーザー血流画像化装置による末梢循環機能評価－。平成16年度災害科学に関する委託研究報告書、平成17年3月。
- 8 Gemne G, Pyykko I, Taylor W, Pelmeur PL: The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmeur scale). *Scand J Work Environ Health*. 13(4); 275-8, 1987.
- 9 Stoyneva Z, Lyapina M, Tzvetkov D, Vodenicharov E.: Current pathophysiological views on vibration-induced Raynaud's phenomenon. *Cardiovasc Res*. 57(3); 615-24, 2003.
- 10 Olsen N: Diagnostic aspects of vibration-induced white finger. *Int Arch Occup Environ Health*. 75; 6-13, 2002.

(4) 局所冷却による指動脈血圧検査

振動障害群及び対照群に対し、ISO/DIS 14835-2 (現在: ISO 14835-2) に準じた局所冷却による指動脈血圧検査を HVLab 社製 Multi-channel Plethysmograph を用いて実施

した。

#### ア 対象

本検査は全被検者に実施できたが、前記2の(1)に示された分析対象者からさらに技術的な理由で対照指である母指の測定値を得ることができずFSBP%を算出できなかった被検者を除いて、振動障害群 29 名、対照群 22 名を分析対象とした。

#### イ 方法

ISO/DIS 14835-2 (現在: ISO 14835-2) に準じた局所冷却による指動脈血圧検査を実施した。検査室温は  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  に維持し、室内部位による温度差をなくすために緩徐な気流を得ることとした。被検者は上下2枚の着衣と靴下を着用することとし、室温下で椅座位にて30分間安静にした後、検査を行った。

測定装置としてHVLab社製 Multi-channel Plethysmograph を用いた。冷水還流カフにより第2指～第5指の温度を調整した上で同カフによる圧迫によって血管を閉塞し、plethysmography 法によって手指の収縮期血圧 (finger systolic blood pressure: FSBP) を測定、第1指は温度調節を行わない対照指として測定した。還流水温は  $30^\circ\text{C}$ 、 $15^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$  としてその順で各5分間の負荷検査を行った。当初は両手の検査を行ったが、検査時間を短縮するためその後は原則として利き手、有症者の場合は症状の強い側のみを検査した。

#### ウ 成績

振動障害群と対照群において分析対象者の中で、両手の検査が行われたものはそれぞれ10名、0名、右手のみ11名、22名、左手のみ8名、0名であった。なお、検査は実施できたがストレインゲージ装着上の問題で手指血圧が検出できない事例が一定数みられ、手指レイノー症状有症者のうち1名は  $15^\circ\text{C}$  負荷で「0 pressure」を示唆する結果であったが、 $10^\circ\text{C}$  負荷で  $40.8 \text{ mmHg}$  (FSBP% で  $51.4\%$ ) が得られ、技術的問題の可能性が排除できないとして解析から除外した。

##### (ア) 基礎統計

表 D1～D3 に冷却負荷温度  $15^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$  におけるFSBP% の平均±標準偏差及び検定結果を示した。対照群は右手のみが検査されており、振動障害群は右手のみ症状・症度別の値を算出し検定を行った。参考に振動障害群の左手の値を示したが検定は行っていない。表 D1 のように、手指レイノー症状有症者は対照群に比べてFSBP% が低い値を示した。測定・評価できた全指でみると、 $15^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$  冷却負荷時とも統計的に有意な差が示されている。表 D2 の SWS-R による分類では、 $10^\circ\text{C}$  冷却負荷時において症度 1-2 の示指及び環指、症度 3 及び症度 1-2 の全指で有意な差がみられた。ただし、これらの症度において測定・評価できた指数は各指で3または4指と少なかった。表 D3 の厚生労働省 VS 分類では症度 3 において、測定・評価できた全指で  $10^\circ\text{C}$  冷却負荷時に統計的に有意な差が示されている。

##### (イ) 分析結果

表 D4～D12 に  $15^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$  それぞれの冷却負荷における各指の敏感度と特異度、同様に各手単位で基準値を下回るFSBP% を有するか否かで判定した敏感度と特異度、

さらに 15℃、10℃のいずれかの冷却負荷で基準値を下回るFSBP%を有するか否かで判定した各手単位の敏感度と特異度を示した。ここでの基準値としては、対照群の15℃、10℃それぞれの冷却負荷における右手FSBP%の平均-2SD (56.8%、56.2%)、平均-1.65SD (63.0%、61.8%)、平均-1SD (74.6%、72.2%)を求め、さらにこれらを用いて15℃、10℃の冷却負荷に共通の区切りのよい基準値として、FSBP%として55%、65%、75%を設定した。

表D4~D6では手指レイノー症状の有無別に比較している。15℃、10℃のいずれかの冷却負荷で基準値を下回るFSBP%を有する者は、基準値55%では、対照群において22手中2手(特異度90.9%)、手指レイノー症状有症者では10手中6手(敏感度60.0%)、同症状を有しない振動障害群では29手中6手(敏感度20.7%)、基準値65%では、対照群において22手中8手(特異度63.6%)、手指レイノー症状有症者では10手中7手(敏感度70.0%)、同症状を有しない振動障害群では29手中8手(敏感度27.6%)、基準値75%では、対照群において22手中13手(特異度45.5%)、手指レイノー症状有症者では10手中9手(敏感度90.0%)、同症状を有しない振動障害群では29手中14手(敏感度48.3%)であった。

表D7~D9はSWS-R分類による比較である。15℃、10℃のいずれかの冷却負荷で基準値を下回るFSBP%を有する者は、基準値55%では、症度3で3手中1手(敏感度33.3%)、症度1-2で7手中5手(敏感度71.4%)、同様に、基準値65%では、症度3で3手中2手(敏感度66.7%)、症度1-2で7手中5手(敏感度71.4%)、基準値75%では、症度3で3手中2手(敏感度66.7%)、症度1-2で7手中7手(敏感度100%)であった。

表D10~D12は厚生労働省VS区分による比較である。15℃、10℃のいずれかの冷却負荷で基準値を下回るFSBP%を有する者は、基準値55%では、症度3で7手中2手(敏感度28.6%)、症度2で23手中7手(敏感度30.4%)、症度1で9手中3手(敏感度33.3%)、基準値65%では、症度3で7手中2手(敏感度28.6%)、症度2で23手中9手(敏感度39.1%)、症度1で9手中4手(敏感度44.4%)、基準値75%では、症度3で7手中5手(敏感度71.4%)、症度2で23手中13手(敏感度56.5%)、症度1で9手中5手(敏感度55.6%)であった。

#### (ウ) 評価区分

表D13にスコアを用いた評価成績を示した。これは、ウ(イ)に示した、対照群におけるFSBP%の平均-2SD、平均-1.65SD、平均-1SDから得られた基準値、55%、65%、75%を下回る測定値にスコアとしてそれぞれ3, 2, 1を与え、各手における平均スコアを算出したものである。

対照群では右(左の測定はない)22手中21手(95.5%)が平均スコア1.0未満であり、レイノー症状を有する振動障害群は左右10手中5手(50.0%)、同症状を有しない振動障害群は左右29手中4手(13.8%)が1.0以上であった。SWS-Rでは、症度3の振動障害群は左右3手中1手(33.3%)、症度1-2では左右7手中4手(57.1%)、症度0では左右29手中4手(13.8%)が平均スコア1.0以上であった。厚生労働省

表D1 レイノー症状有無別の右手FSBP%

冷却負荷温度	対象指	Grouping	指数	平均±標準偏差
15°C	示指	振動障害群VWF(+)	4	80.6 ± 18.6
		振動障害群VWF(-)	16	95.5 ± 14.2
		対照群	22	89.6 ± 18.2
		左手	18	83.8 ± 19.8
	中指	振動障害群VWF(+)	5	69.2 ± 29.4
		振動障害群VWF(-)	15	93.2 ± 17.3
		対照群	22	91.3 ± 21.4
		左手	17	84.5 ± 24.6
	環指	振動障害群VWF(+)	5	78.0 ± 25.2
		振動障害群VWF(-)	16	94.0 ± 12.4
		対照群	22	92.7 ± 17.1
		左手	18	84.9 ± 17.3
	小指	振動障害群VWF(+)	4	88.2 ± 11.0
		振動障害群VWF(-)	16	97.1 ± 15.9
		対照群	22	95.6 ± 14.3
		左手	18	95.7 ± 13.3
	四指計	振動障害群VWF(+)	18	78.4 ± 22.0**
		振動障害群VWF(-)	63	95.0 ± 14.7
		対照群	88	92.3 ± 17.7
		左手	71	87.2 ± 19.4
10°C	示指	振動障害群VWF(+)	5	52.6 ± 10.3**
		振動障害群VWF(-)	15	85.1 ± 15.4
		対照群	22	86.1 ± 15.6
		左手	16	77.4 ± 16.5
	中指	振動障害群VWF(+)	4	66.0 ± 13.2
		振動障害群VWF(-)	14	81.1 ± 19.6
		対照群	22	87.0 ± 19.2
		左手	15	76.3 ± 24.2
	環指	振動障害群VWF(+)	5	60.5 ± 24.7**
		振動障害群VWF(-)	14	83.9 ± 12.1
		対照群	22	88.9 ± 15.2
		左手	16	78.5 ± 17.7
	小指	振動障害群VWF(+)	5	78.6 ± 9.0
		振動障害群VWF(-)	15	90.4 ± 12.2
		対照群	22	90.7 ± 14.3
		左手	15	84.9 ± 11.7
	四指計	振動障害群VWF(+)	19	64.4 ± 17.5**
		振動障害群VWF(-)	58	85.2 ± 15.1
		対照群	88	88.2 ± 16.0
		左手	63	79.3 ± 17.8

\*\*p<0.01。振動障害群の左手の値の検定は行っていない。表D2同じ。

表D2 スtockホルムワークショップスケール(レイノー)別の右手FSBP%

冷却負荷温度	対象指	Grouping	指数	平均±標準偏差
15°C	示指	SW3	1	86.1 ±
		SW1-2	3	78.8 ± 22.3
		SW0	16	95.5 ± 14.2
		対照群	22	89.6 ± 18.2
		左手	18	83.8 ± 19.8
	中指	SW3	1	26.5 ±
		SW1-2	4	79.9 ± 19.8
		SW0	15	93.2 ± 17.3
		対照群	22	91.3 ± 21.4
		左手	17	84.5 ± 24.6
	環指	SW3	1	88.4 ±
		SW1-2	4	75.4 ± 28.3
		SW0	16	94.0 ± 12.4
		対照群	22	92.7 ± 17.1
		左手	18	84.9 ± 17.3
	小指	SW3	1	87 ±
		SW1-2	3	88.5 ± 13.5
		SW0	16	97.1 ± 15.9
		対照群	22	95.6 ± 14.3
		左手	18	95.7 ± 13.3
四指計	SW3	4	72.1 ± 30.4	
	SW1-2	14	80.2 ± 20.1	
	SW0	63	95.0 ± 14.7	
	対照群	88	92.3 ± 17.7	
	左手	71	87.2 ± 19.4	
10°C	示指	SW3	1	54.0 ±
		SW1-2	4	52.3 ± 11.9
		SW0	15	85.1 ± 15.4
		対照群	22	86.1 ± 15.6
		左手	16	77.4 ± 16.5
	中指	SW3	4	66.0 ± 13.2
		SW1-2	14	81.1 ± 19.6
		SW0	22	87.0 ± 19.2
		対照群	22	87.0 ± 19.2
		左手	15	76.3 ± 24.2
	環指	SW3	1	71.8 ±
		SW1-2	4	57.7 ± 27.5
		SW0	14	83.9 ± 12.1
		対照群	22	88.9 ± 15.2
		左手	16	78.5 ± 17.7
	小指	SW3	1	76.1 ±
		SW1-2	4	79.3 ± 10.3
		SW0	15	90.4 ± 12.2
		対照群	22	90.7 ± 14.3
		左手	16	84.9 ± 11.7
四指計	SW3	3	67.3 ± 11.7	
	SW1-2	16	63.8 ± 18.6**	
	SW0	58	85.2 ± 15.1	
	対照群	88	88.2 ± 16.0	
	左手	63	79.3 ± 17.8	