

原 著

末梢循環障害の他覚的評価法としての局所冷却による 指動脈血圧の変化の測定

那須 吉郎¹⁾, 藤原 豊²⁾, 本間 浩樹³⁾, 梁井 俊郎⁴⁾
 豊永 敏宏⁵⁾, 木戸 健司⁶⁾, 池田 天史⁷⁾, 橋口 浩一⁸⁾
 黒沢 洋一⁹⁾

¹⁾労働者健康福祉機構・振動障害研究センター（山陰労災病院内）

²⁾美唄労災病院（嘱託医）

³⁾岩見沢労災病院・振動障害センター

⁴⁾九州労災病院・健康診断部

⁵⁾九州労災病院・リハビリテーション科

⁶⁾愛媛労災病院・整形外科

⁷⁾熊本労災病院・整形外科

⁸⁾山陰労災病院・整形外科

⁹⁾鳥取大学医学部・健康政策医療分野

（平成 20 年 2 月 29 日受付）

要旨：振動障害のレイノー現象の診断に対する、局所冷却による指動脈血圧の変化（FSBP%）の診断精度を 6 労災病院からなる多施設共同研究で検討した。

対象は振動曝露歴がなく、末梢循環障害及び代謝性疾患のない 190 例の男性を対照群（A 群）、振動曝露群 117 例であった。この 117 例を過去にレイノー現象の既往歴のない 17 例（B 群）、検査前の 1 年間にその出現を見なかった 23 例（C 群）、現在も出現する 77 例（D 群）に分類した。測定には DM 2000（Medimatic）または Multichannel plethysmograph（HvLab）を使用し、ISO14835-2 に従って、室温条件は $23 \pm 1^\circ\text{C}$ と $21 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、温室条件 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ でも測定することとした。

A 群では、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ で 60 歳以上の症例の FSBP% 値は、それ以下の症例と比し有意に低い値であり、（FSBP% を挿入）室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ で 70 歳以上の症例は、それ以下の症例と比し有意に低い値であった。群間比較では、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ で、A 群と C 群、A 群と D 群、B 群と D 群との間でそれぞれ FSBP% 値に有意差を認めたが、A 群と B 群との間には有意差はなかった。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ では A 群と D 群、B 群と D 群との間で、それぞれ FSBP% 値に有意差を認めた。いずれの室温下でも D 群の値が一番小さかった。室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ではそれぞれ、13 名と 8 名が FSBP% 値「ゼロ」を示し、全例が D 群であった。室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ と $23 \pm 1^\circ\text{C}$ で測定された FSBP% 値間には有意な相関関係が認められた。ROC 曲線から求めた室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での FSBP% の cut-off 値は敏感度と特異度のバランスから、全症例、60 歳以上の症例でも、共に 70% であったが、前者での敏感度は 71.9%、特異度は 85.5% で、後者のそれらは 62.3%、73.6% であった。EU 諸国で採用されている cut-off 値 60% と比較し約 10% 高い値であった。この差は今回の振動曝露対象者が振動曝露から離脱後、11 年から 20 年と相当期間が経過していることが原因と考えられた。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ と $21 \pm 1^\circ\text{C}$ との間での診断精度には統計学的には有意差はなかった。

（日職災医誌，56：13—27，2008）

—キーワード—

振動障害，レイノー現象，FSBP%，診断精度

I はじめに

振動障害は末梢循環機能障害, 末梢神経機能障害, 骨・関節系の運動機能障害の三障害である. その中で最も特徴的の症状は末梢循環機能障害としてのレイノー現象 (vibration-induced white finger, VWF) であり, かつ, VWF の確認は職業病としての業務上認定では重要なポイントである. しかしながら, VWF の持続時間は長くても 15 分以内であり, 多くの場合は数分で自然に消退すること, 同じような寒冷環境下においても常に VWF が出現するとは限らないこと等から, 医師が直接視認できる例は極めて稀である. また, カラー写真で VWF の確認が出来る症例もごく少数例である. ゆえに, VWF の直接的な確認が困難なため, VWF の存在の傍証として各種の検査が行われている.

振動障害の末梢循環障害の診断に関して, Nielsen と Lassen は指の血流遮断中に, 指の segmental local cooling 直後の指の収縮期血圧の変化 (changes of finger systolic blood pressure, FSBP%) の測定が VWF の診断に有効であると報告した¹⁾. その後, FSBP% に関する報告が多くなり, いずれの報告も FSBP% の測定は VWF の診断に有効であるとしている^{2)~12)}. 従来, 本邦で行われている末梢循環機能障害の診断法は安静時皮膚温測定, 10℃, 10 分の片手冷水浸漬による冷水負荷皮膚温テスト, 安静時および冷水負荷後の爪圧迫テスト等が主体で, この他に熱画像の撮影, 指尖容積脈波検査が広く行われている. 中でも冷水負荷皮膚温テストが重要視されているが, VWF の診断に対する敏感度が低いことが問題である¹⁰⁾¹¹⁾.

1994 年に開催された Stockholm-workshop で, 疫学調査上での振動工具使用者の VWF の確認方法として, 医師が顔と同時に撮影されたカラー写真を含め直接的に VWF を視認できた時, または FSBP% 値がゼロの場合には VWF ありと判定し, これらの条件以外では訴えがあるも未確認とする世界的取り決めがなされた¹³⁾. このことも FSBP% の高い信頼性が裏付けていると考えられる. 上記会議を主催した Gemne は振動工具使用者の診断に関するレビューの中で, 末梢循環障害の客観的評価で FSBP% に優るものは無いとしている¹⁴⁾. さらに, Finland では振動障害の業務上認定では, 問診で VWF が確認でき, FSBP% の値が 60% 以下であることが必要条件となっている. Sweden でもほぼ同様であった. Bovenzi は冷水皮膚温テストと FSBP% を比較し, 補償目的での検査法は FSBP% の測定を採用すべきであり, VWF に対する敏感度の低い冷水負荷皮膚温テストは screening test としての位置づけをしている¹⁵⁾. 以上のことから, FSBP% の信頼性は高いと考えられる.

II 目的

振動障害の症状の中で最も特徴的な振動曝露起因性のレイノー現象 (VWF) の診断に対する FSBP% の有用性を検討すること.

III 方法

1. 室温条件

FSBP% の測定値は室温の影響を強く受ける¹⁶⁾. 振動障害の検査時の室温条件は, 従来の日本の労働省 (現厚生労働省) の勧告が 20~23℃, 2004 年の室温に関する ISO の勧告¹⁷⁾が 21±1℃ であることから, ISO の勧告 21±1℃ を基本として, 各施設に出来るだけ複数の室温での測定を行うこととした. 施設ごとの室温条件は, 美唄労災病院では室温 21℃ と 23℃, 岩見沢労災病院では室温 20℃ と 22℃, 愛媛労災病院では室温 21℃ と 23℃, 九州労災病院では室温 20℃ と 22℃, 熊本労災病院では室温 21℃ と 23℃, 山陰労災病院では室温 20, 21, 22, 23℃ とした. 測定順序は高い室温で測定し, 次いで低い室温で測定した.

各室温で 30 分の安静待機後に測定した. 両測定間には最低 60 分間の時間間隔をおくものとした. 着衣量は ISO の勧告に従い, 上下 2 枚の着衣量 (靴下は着用), つまり, 下半身はパンツ, 長ズボン, 靴下の状態で, 上半身は長袖シャツ, ワイシャツの状態の前腕中央部からやや中脛まで腕を圧迫しないように袖をめくり上げた状態とした. なお, エアコンの風は衝立, カーテン等により乱気流を作り直接被検者に当たらないように工夫した. 室温の記録は, 被検者の手の周囲の室温を温度計で連続記録し, PC に記録した後, 平均室温を求めた.

2. 測定機器

今回の研究はわが国における装置の普及度から Medimatic 社製の 2 チャンネルの DM2000 で行うこととした. やむを得ず, HvLab 社製の 5 チャンネルの Multi-channel plethysmograph で測定せざるを得ない時は, 最も悪い値を, その症例の値とした.

3. 測定方法

対照群では左右のいずれかの中指を測定指とし, 同側の母指を対照指とした. 振動曝露群では, 症状の強い指で測定し, 対照指は同側の母指とした. 測定は ISO14835-2¹⁷⁾に従い, 測定指の基節部に阻血用カフ, 中節に冷却用カフを, 末節に指の容積変化を検出する strain-gauge を装着した. 阻血用のカフには上腕血圧以上の圧を瞬時に加え, 指の血流を 5 分間遮断する. 血流遮断中に冷却用のカフに 10℃ の冷水を還流し指を冷却した. 5 分間の冷却直後に阻血用のカフ圧を 2mm±1mmHg/sec の割合で下げ, strain-gauge で血流再開時を感知し, その時の圧を読み取った. FSBP% は Nielsen et al¹⁾の式により求めた. 測定は仰臥位で行った. ベットには毛布を敷き体

表1 施設別の症例数

	合計	岩見沢	美唄	山陰	愛媛	九州	熊本
対照者	190	24	22	33	19	37	55
振動曝露労働者	117	30	13	46	0	0	28
合計	307	54	35	79	19	37	83

表2 対照者の特性

グループ	例数	年齢	chain-saw (%)	rock drill (%)	曝露期間 (年)	工具中止後の期間 (年)	喫煙率 (%)
A	190	47.9±16.7	—	—	—	—	39.5
B	17	63.2±12.0	23.5	47.1	24.7±12.8	11 (1～50)	23.5
C	23	72.8±6.8	76.4	17.3	16.4±12.6	20 (3～47)	17.3
D	77	68.8±8.7	49.3	42.8	21.2±12.2	16 (1～53)	44.1

表中の Group A は対照群、Group B、C、D は振動工具使用者群であり、Group B は過去においてレイノー現象 (VWF) の出現がなかった例、Group C は検査前の 1 年間に VWF の出現がなかった例、Group D は今でも VWF の出現がある例を示す。年齢と曝露期間は平均値と標準偏差値、工具使用期間は中央値とその範囲を示す。

表3 対照群における FSBP% からみた地域間の差の比較

地域	例数	FSBP% at 21±1℃	例数	FSBP% at 23±1℃
北海道	46	83.6 (35.3～121.7)	32	95.7 (43.2～127.6)
中国・四国	33	86.1 (45.7～123.0)	47	91.7 (49.1～113.6)
九州	85	94.6 (10.0～130.0)*	25	100 (77.0～125.0)

FSBP% 値は中央値とその範囲で示す。*印は、他の群と比較した時の有意差 (P < 0.10) を示す。

温の低下を防いだ。測定時間は午前 9 時から午後 5 時までの間とし、食後 1 時間は測定を避けた。また、FSBP% の測定間隔は少なくとも 60 分以上の間隔をあけた。

4. 測定期間

データ集積期間は平成 16 年 10 月から 17 年 4 月、17 年 10 月から 18 年 4 月、18 年 10 月から 19 年 3 月の期間とした。夏季を避けた理由は、年間通じて同一症例で FSBP% を測定した結果、FSBP% 値が夏季には高くなる傾向にあるからである¹⁸⁾。

IV 対 象

(1) 対照群

過去振動工具の使用歴がなく、末梢循環障害、代謝性疾患のない例を対照群 (非曝露コントロール群、Group A) とした。60 歳以下の対象群は一部のボランティアを除くと大部分が男性病院職員であった。60 歳以上の対象群は全員がボランティアであり、代謝性疾患がなく、かつ動脈硬化症等による末梢循環障害の臨床症状の無い例とした。総数 190 例であった。

(2) 振動曝露群

振動曝露群は総数 117 例であった。各施設での認定後の定期健診受診者および新規受診者を対象としたが、認定後の患者の占める割合が圧倒的に多かった。認定後の定期健診受診者には検査施行日から逆算し 3 日間の振動

障害治療目的および血圧治療薬のフラッシュアウトを要請した。各被検者には検査の趣旨と、口答および文章による説明を行い、同意書の提出を求めた。

振動曝露群は VWF の出現頻度により、VWF を過去に経験していない群 (Group B) 17 例、検査前の 1 年間に VWF の出現を見なかった例 23 例 (Group C)、現在も VWF が出現する群 (Group D) 77 例に分類した。

表 1 は施設別の検査例数を示す。表 2 は VWF の出現頻度別に 3 群に分類した症例数、平均年齢、使用工具の種類、振動曝露期間 (mean±SD)、工具使用中止後の期間 (中央値と範囲)、喫煙率を示している。

V 統計分析

統計処理上、室温を細かく分類すると症例数が少なくなるため、室温 20.0～21.9℃ の範囲で測定された例は室温 21±1℃ 群、室温 22.0～24.0℃ の範囲で測定された例は室温 23±1℃ 群と分類した。この室温範囲を外れている症例は統計処理から除外したため、結果の分析での症例数の総和が対象例の総数に一致しない現象が生じた。Group A は 190 人であるが、分析では、室温 21±1℃ での測定は 164 人、室温 23±1℃ では 104 人、両室温で測定されたのは 83 人であった。振動工具使用者は 117 人であるが、室温 21±1℃ での測定は 102 人、室温 23±1℃ では 87 人、両室温で測定されたのは 72 人であった。

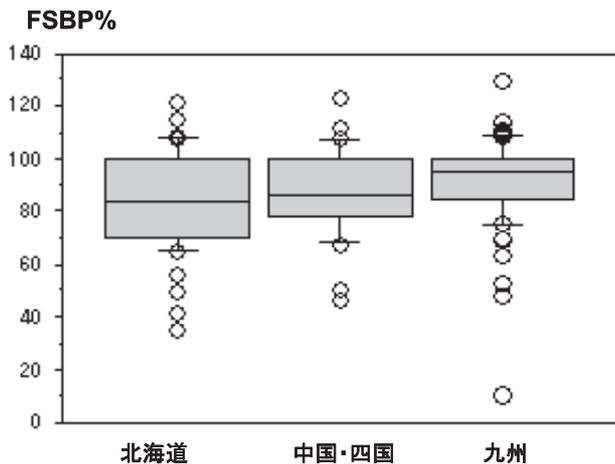


図1 対照群における室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ における地域別にみた FSBP% 値

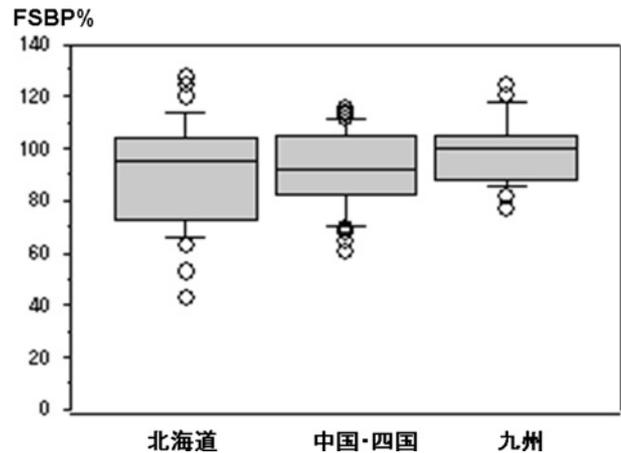


図2 対照群における室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ における地域別にみた FSBP% 値

図1, 2共に、縦軸に FSBP% 値、横軸に地域別を示す。FSBP% 値の散布状態を箱ひげ図として示す。

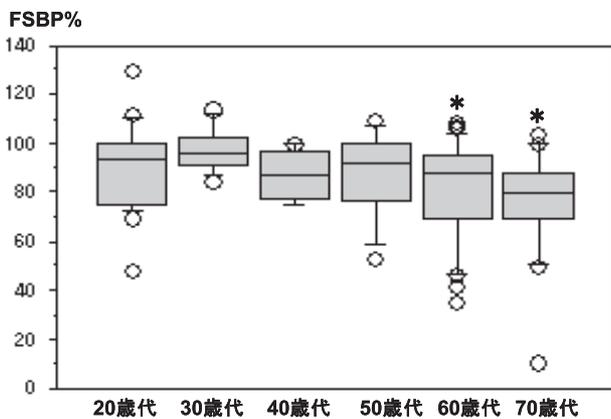


図3 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ における対照群の年代別にみた FSBP% 値

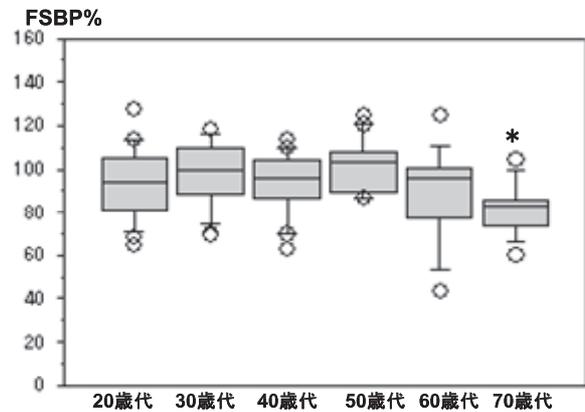


図4 室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ における対照群の年代別にみた FSBP% 値

図3, 4ともに、縦軸に FSBP% 値、横軸に年代を示し、各年代ごとの FSBP% 値の分布を箱ひげ図として示す。有意差は*印で示す。*印はそれよりも若い年代に比し有意な低下を示す ($P < 0.05$)。図3では60歳代、70歳代はそれよりも若年者群の FSBP% 値よりも有意に低く、図4では70歳代はそれよりも若年者群の値よりも有意に低いことを示す。

グループ間の差は analysis of variance でチェックし、有意差があるときは、Sheffe の方法で2群間の比較を行い、P 値が0.05以下の時に有意差ありとした。異なった2種類の室温で測定できた症例について得られた値間の相互関係について関数関係解析¹⁹⁾、線形回帰分析を行った。

VI 結 果

1. 対象者の特性

表1に示した施設別の症例数、表2に対象者の特性をみると、振動曝露群のほとんどが認定患者であることを反映し、平均年齢が 71.0 ± 9.6 歳と高齢であった。平均工具使用期間 17.6 ± 11.8 年であった。対照群の中での喫煙者の占める割合は振動工具使用者群と比較し有意差はなかった。振動工具使用者群の中の sub-groups 間でも喫煙

率には差はなかった。また、振動工具使用者群の中で、振動曝露年数を比較すると、過去1年間 VWF の出現を見ない Group C の曝露期間が Group B, D と比較し短かった。

2. 対照群の FSBP% 値からみた地域の差

VWF の出現および末梢循環機能は気候による影響を受ける。わが国は北海道から九州まで南北に細長く気候も異なる。そのため対照群で測定された FSBP% の値に地域差があるか否かの検討を行った。北海道 (岩見沢・美唄労災病院)、中国四国 (山陰・愛媛労災)、九州 (九州・熊本労災) の3地域に分けた検討結果を表3、図1, 2に示す。室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ で測定された FSBP% 値では、九州地区の値が高い傾向がみられた。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ では FSBP% の値には地域差はなかった。

表4 対照群における室温 21±1℃と 23±1℃で測定した年代別のFSBP%

年代	例数	FSBP% at 21±1℃	例数	FSBP% at 23±1℃
20～29	32	94.5 (48.0～130.0)	18	94.5 (65.0～127.3)
30～39	25	100.0 (67.6～123.5)	22	100.0 (68.9～166.0)
40～49	28	91.7 (56.4～108.0)	22	95.8 (63.7～114.0)
50～59	27	96.0 (52.2～110.0)	16	103.1 (86.3～125.0)
60～69	34	88.5 (35.3～108.3)*	15	95.6 (43.2～125.0)
70～	18	81.3 (10.0～103.0)*	11	83.8 (60.2～105.6)*

表中の*印は、より若い年齢群と比較した時の有意差 (P<0.05) を示す。FSBP%値は表3と同様である。室温 21±1℃では60歳代、70歳以上の両群が、それよりも若い年齢群よりも有意な低値を示す (P<0.05)。また、室温 23±1℃では70歳以上群が、それよりも若い年齢群よりも有意な低値を示す (P<0.05)。

表5 室温別にみた各群のFSBP%の比較

グループ	例数	FSBP% at 21±1℃	例数	FSBP% at 23±1℃
A	164	92.0 (10.0～130.0)	104	95.8 (43.2～166.0)
B	16	97.2 (38.4～107.7)	9	81.9 (49.1～113.6)
C	18	69.6 (22.9～108.3)*	20	82.6 (13.4～107.8)
D	66	59.4 (0.0～107.7)*#	58	64.4 (0.0～101.2)*#

FSBP%の値は表3と同様である。*:印はGroup Aと比較した時の有意差P<0.05を、#はGroup Bと比較した時の有意差P<0.05を示す。

3. 対照群の年代別に見たFSBP%値

対照群の年代別、室温別にFSBP%の測定可能であった症例数、それらのFSBP%の値(中央値とその範囲)を表4に、箱ひげ図として図3、4に示す。室温 21±1℃では60歳代、70歳以上の両群が、それよりも若い年齢群よりも有意な低値を示した(P<0.05)。また、室温 23±1℃では70歳以上群が、それよりも若い年齢群よりも有意な低値を示した (P<0.05)。

4. 対照者群と振動工具使用者のFSBP%値の比較

対照群(Group A)、振動曝露群を Group B、C、Dと分類し、各群ごとの室温 21±1℃と 23±1℃で測定された症例数と各群のFSBP%の中央値とその範囲を表5、箱ひげ図として図5、6に示す。室温 21±1℃ではGroup Aと比較し、Group C、Dの値が有意に低かった (P<0.05)。振動曝露群ではGroup B、C、Dの順でFSBP%値は小さくなり、Group BとGroup Dとの間では後者の値が有意に低かった(P<0.05)。室温 23±1℃ではGroup DがGroup AおよびGroup Bよりも有意に低い値を示した(P<0.05)。なお、室温 21±1℃、室温 23±1℃では、それぞれ8名と3名がFSBP%=0を示した。全例がVWFが現在もありのGroup D群の症例であった。

5. 60歳以上を対象とした時の、対照者と振動工具使用者のFSBP%値の比較

研究対象とした振動工具使用群は高齢であり、対照者に比較して年齢の偏りがみられる。表4に示すように60歳以上では60歳未満の人に比較してFSBP%値が低い傾向がみられるので、年齢の因子を考慮する必要がある。そのため、FSBP%の60歳以上の症例を対象とした時の

対照者と振動工具使用者のFSBP%値の比較を表6、図7、8に示す。室温 21±1℃と 23±1℃のいずれにおいても、Group DがGroup A、Bと比較し有意に低い値を示した。

6. 喫煙がFSBP%に及ぼす影響

対照群(Group A)の中で、データーの揃っている例は室温 21±1℃では137例、室温 23±1℃では79例であった。この症例で喫煙がFSBP%に及ぼす影響を調べ、その結果を表7、図9、10に示す。喫煙習慣のある例(smoker)、喫煙習慣を中止した例(ex-smoker)、非喫煙者(non-smoker)に分類し、各群ごとのFSBP%の値を示した。対照群ではsmokersのFSBP%値がいずれの室温下でも一番低く、次いでex-smoker、non-smokerの順であったが、これらの値間には有意差はなかった。

7. 異なる室温間でのFSBP%値の相関関係

室温 21±1℃と室温 23±1℃の2種類の室温下で測定されたFSBP%値を、横軸に室温 21±1℃の時の値、縦軸に室温 23±1℃の時の値をとり、両室温でのFSBP%値をプロットした散布図を図11に示す。○印は対照者、▲印は振動曝露者を示す。

室温 21±1℃と 23±1℃におけるFSBP%値の関連を回帰式で求めた。関数関係式による推計を丹後ら¹⁹⁾の方法によりおこなった。Bootstrap samplingを繰り返し回数2,000回で実施した。測定誤差の分散比λ=1と仮定した。関数関係分析と線形回帰分析(最小二乗法による)による回帰式を表8に示す。

8. FSBP%の診断精度

VWFに対するFSBP%の診断精度を求めるために、振

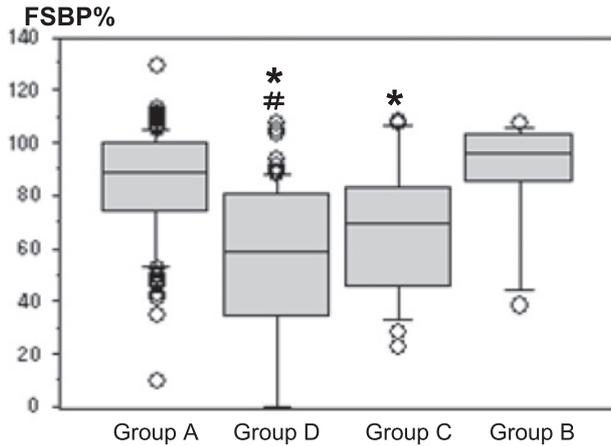


図5 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ における各群の FSBP% 値

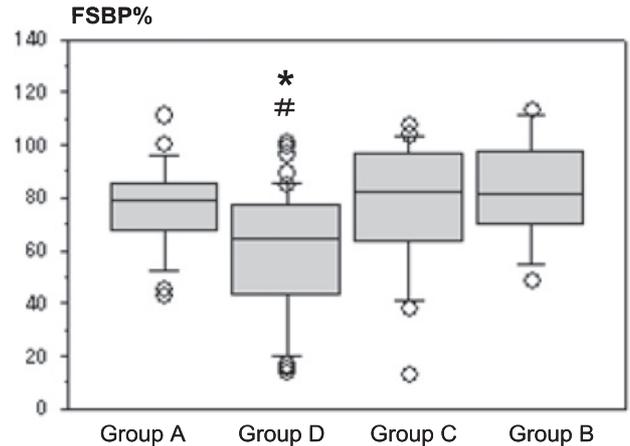


図6 室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ における各群の FSBP% 値

図5, 6 共に, Group A (非曝露対照群), Group B (振動曝露群で VWF の出現を経験していない群), Group C (検査前の 1 年間に VWF の出現を見なかった群), Group D (現在も VWF が出現する群) について FSBP % 値を箱ひげ図として示す. 有意差は*, #印で示す. *印は A 群と比較した時の有意差 ($P < 0.05$) を, #印は振動曝露群の中で VWF のない C 群と比較した時の有意差 ($P < 0.05$) を示す.

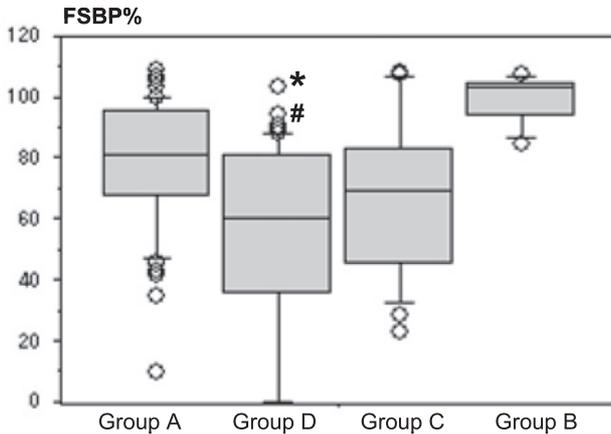


図7 60 歳以上を対象とした時の室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ における各群の FSBP% 値

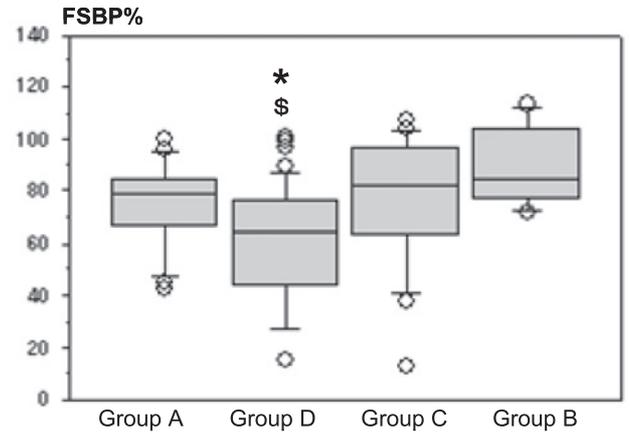


図8 60 歳以上を対象とした時の室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ における各群の FSBP% 値

図7, 8 の縦軸, 横軸の関係は図6 と同様である. 図7 の*印は Group A と比較して $p < 0.05$, #の*印は Group B と比較して $p < 0.05$ の有意差を示し, 図8 の*印は Group A と比較して $p < 0.05$, \$ の*印は Group C と比較して $p < 0.05$ の有意差を示す.

動曝露労働者全体から得られた ROC 曲線を図 12 に, 60 歳以上の振動曝露労働者 ($21 \pm 1^\circ\text{C}$ の室温のみ示した) から得られた ROC 曲線を図 13 に示す. 図に示されているように室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での ROC 曲線が, 室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ での ROC 曲線より左上方に位置していることから, 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での診断精度が幾分高い傾向があるが, 2 つの曲線の下向の面積比では統計学的に差はなかった. 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$, $23 \pm 1^\circ\text{C}$ の時の cut-off 値と感度, 特異度を表 9 に示した.

9. 室温別にみた感度, 特異度の値

さらに室温の幅を狭めて, 21°C (対照者 74 人, 振動障害者 37 人), 22°C (対照者 56 人, 振動障害者 70 人), 23°C (対照者 42 人, 振動障害者 37 人), 24°C (対照者 42 人, 振動障害者 42 人) の時の全症例を対象とした時の ROC

曲線を図 14 に示す. 尚, 室温 20°C は例数が少ないため, 除外した. 各室温毎に cut-off 値と感度, 特異度の変化の度合いを表 9 に示す. ROC 曲線は測定室温が低くなるにつれて左上方に向かうことから, VWF に対する診断精度は測定室温が低くなるにつれ, 高くなる傾向があることを示している (図 14).

VII 考 察

1. FSBP% 測定の意義

現在, わが国で広く行われている振動障害の末梢循環機能障害に対する検査法は, 片手を手関節まで 10°C (初期の頃は 5°C) の冷水に 10 分間浸漬し, 浸漬後の皮膚温回復状態から末梢循環機能を評価する冷水負荷皮膚温テストである. これは冷却刺激後の血管拡張機能を皮膚温

表6 60歳以上を対象としたときの室温別にみた各群のFSBP%の比較

グループ	例数	FSBP% at 21±1℃	例数	FSBP% at 23±1℃
A	52	83.2 (10.0 ~ 130.0)	26	84.5 (43.2 ~ 125.0)
B	10	101.7 (85.2 ~ 107.7)	7	84.6 (72.6 ~ 113.6)
C	18	69.5 (22.9 ~ 108.3)	20	82.7 (13.4 ~ 107.8)
D	58	60.8 (0.0 ~ 103.6)* #	51	64.5 (0.0 ~ 101.2)* \$

*：印は Group A と比較した時の有意差 (P < 0.05) を、#：印は group B と比較した時の有意差 (P < 0.05) \$：印は group C と比較した時の有意差 (P < 0.05) を示す。他は表3と同様。

表7 グループ別にみた喫煙率

グループ	例数	年齢	chain-saw (%)	rock drill (%)	曝露期間 (年)	工具中止後の期間 (年)	喫煙率 (%)
A	190	47.9±16.7	—	—	—	—	39.5
B	17	63.2±12.0	23.5	47.1	24.7±12.8	11 (1 ~ 50)	23.5
C	23	72.8±6.8	76.4	17.3	16.4±12.6	20 (3 ~ 47)	17.3
D	77	68.8±8.7	49.3	42.8	21.2±12.2	16 (1 ~ 53)	44.1

somoker：喫煙習慣の在る例、ex-smoker：喫煙習慣を中止した例、non-smoker：非喫煙例、曝露期間は平均値と標準偏差、工具中止後の期間は工具使用期間は中央値とその範囲を示す。

の回復過程を通じて推察するものである。検査時には強い疼痛と全身血圧の上昇を伴い、時には胸内苦悶を訴える例もあり生体に強い侵襲を与える検査である。一方、FSBP%の測定は測定指の血流を遮断しながら、冷却操作を加えるので相当強い冷却刺激を指動脈に負荷することができる。この方法は冷却刺激による指動脈の収縮反応の程度を指血圧の測定を通じて推定する検査法である。振動障害の特徴的症狀であるVWFは、寒冷環境下で指動脈に強い血管収縮が生じた結果であると考えられているため、FSBP%の測定はVWFの診断方法として合目的な検査法であり、当然ながらVWFに対する診断精度は冷水負荷皮膚温テストと比較し、より高いことになる。VWFに対する冷水負荷皮膚温テストとFSBP%の診断精度を直接比較した報告は著者らの知る範囲ではNasuraらの論文¹²⁾だけである。この検査では疼痛があるものの冷水負荷皮膚温テストほどの疼痛はなく、全身血圧の上昇はなく安全な検査である。

2. 世界の流れ

VWFに対するFSBP%の敏感度は表9に示したように測定室温により変化する。振動障害の末梢循環障害の診断ではVWFを確認することが重要であり、著者の1人である那須は2005年9月に振動障害に対する研究等の先進国である北欧に出かけ、Finlandの職業病研究所を訪問した。Finlandでは振動障害の業務上認定には、VWFが問診で確認でき、さらにFSBP%値が60%以下であることを必須条件としている。従って、北欧諸国ではVWFの確認が認定上、極めて重要となっている。さらに、業務上外の認定では握力等の障害および末梢神経障害は考慮しないとしている。その理由は末梢神経障害に係わる感覚機能検査結果及び握力等の結果において客観性が劣ることを理由に挙げていた。Swedenでも同様に

あった。もちろん末梢神経機能検査も行っているが、その趣旨は振動曝露の早期影響が末梢循環障害よりも末梢神経に現われることから、予防に主眼点を置いているためである。

治療は日本の治療形態と大きく異なり、Finlandでは生活指導が根幹で薬物投与は鎮痛剤のみの投与であり、Swedenでも生活指導が根幹で血管拡張剤の使用は、ごく限られた期間のみにCa拮抗剤を投与する程度であるとのことであった。Finlandにおける補償は転職した時の賃金の差額である。さらに日本と大きく異なることは振動障害での休業加療はなく、VWFが出現していても職業を含む日常生活に及ぼす影響の度合いは小さく現職を続行しているとのことであった。

1994年のStockholm-workshopで、疫学的研究面でVWFの確認法の1つとして、FSBP%値がゼロであればVWFの存在を認めるとする国際的な取り決めがなされた。さらに、北欧諸国では振動障害の業務上認定でVWFの存在を重要視しているため、ItalyのBovenziと並びFSBP%のopinion leaderであるDenmarkのOlsenは、一度はFSBP%の値がゼロになることを確認することが補償上では重要であると主張している。そのために、彼は通常の室温下での測定以外に、極めて低い室温下での測定や、局所のみならず全身冷却の併用により、FSBP%値「ゼロ」を誘発するべきであると主張している。彼は一度、FSBP%値ゼロを確認すれば、次回からは通常の室温下の測定でよいとしている³⁾。上記の趣旨でFinlandの職業病研究所でも全身冷却を時に用いているが、全身冷却負荷に対する被検者の評判はよくないとの話を聞いた。山陰労災病院でも、初期の研究段階では全身冷却を併用していたが、被検者に与える負荷が強いため現在は行っていない⁸⁾。

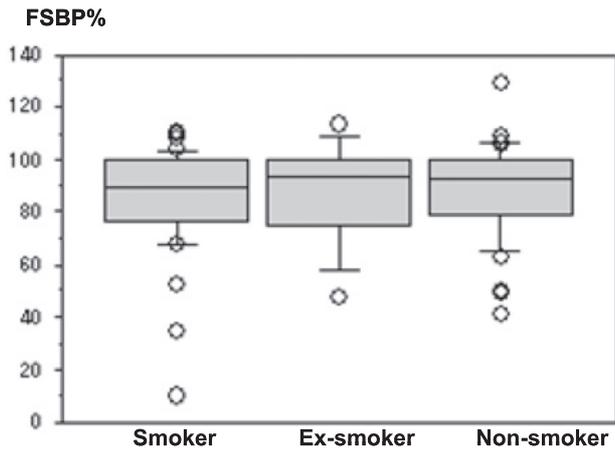


図9 室温 21±1°Cの時の喫煙がFSBP%に及ぼす影響

図9, 10 Group Aにおいて喫煙習慣を smoker, ex-smoker, non-smoker の3群に分けた時, 室温 21±1°Cおよび室温 23±1°Cで測定されたFSBP%値に群間差は見られない。

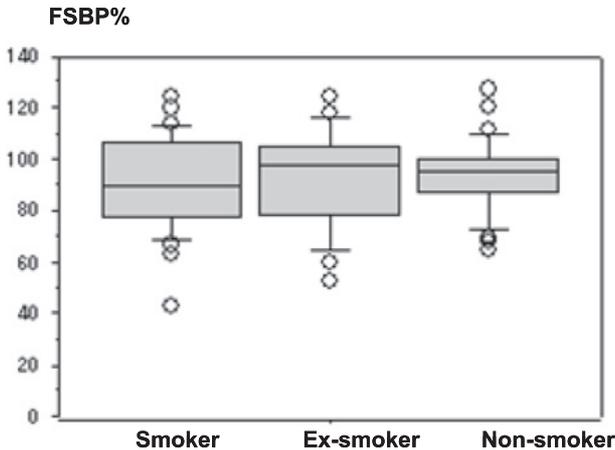


図10 室温 23±1°Cの時の喫煙がFSBP%に及ぼす影響

図9, 10 Group Aにおいて喫煙習慣を smoker, ex-smoker, non-smoker の3群に分けた時, 室温 21±1°Cおよび室温 23±1°Cで測定されたFSBP%値に群間差は見られない。

一方, VWF に対して敏感度の低い冷水負荷皮膚温テストも現在施行されている。その理由は誰でも、どこでも測定可能であり、かつ設備も安価で、検査費用も安価であることによるものである。この冷水負荷皮膚温テストに対し, Bovenzi は, その簡便さと費用の点から冷水負荷皮膚温テストに screening test としての価値を認めるが, 個々の症例の末梢循環機能評価には不適であり, 業務上外の決定にはFSBP%の測定が必要と述べている¹⁵⁾。

3. 労働者健康福祉機構としての振動障害プロジェクト研究

日本におけるFSBP%の診断精度については, 山陰労災病院⁸⁾⁹⁾を中心として研究が行われ, 1994年の

室温23±1°CのFSBP%値

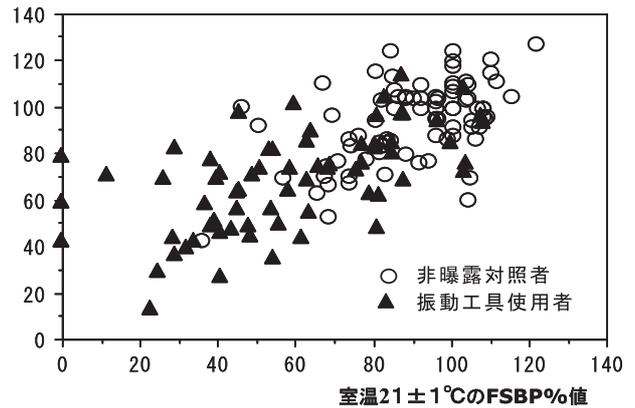


図11 室温 21±1°C と室温 23±1°C の2種類下で測定された対照者と振動曝露者のFSBP%の分布図

縦軸は室温 23±1°Cの時の値, 横軸は室温 21±1°Cの値をとり, 両者の関係からみた散布図を示す。○印は非振動曝露群(Group A), ▲印は振動曝露労働者群を示す。

Stockholm-workshop で冷水負荷皮膚温テスト (5°C 10分)との診断精度の比較を発表した¹⁰⁾。平成7年には労働福祉事業団での研究プロジェクトにFSBP%が採用された経緯もある。平成16年(2004年)に労働福祉事業団が労働者健康福祉機構に改組され, 労働者医療の推進活動に向けて, 外傷を含む12の職業性疾病で13分野の研究チームが結成された。その一環として, FSBP%の共同研究を行うこととなった。この論文は共同研究結果をまとめたものである。当初の計画では冷水負荷皮膚温テストとの間で診断精度を比較することも大きなテーマであったが, 振動曝露群の平均年齢から推察できるように被検者は振動障害の冷水負荷皮膚温テストに伴う疼痛など内容を熟知している方々がほとんどであり, 被検者の同意を得ることができず, 危険を伴う冷水負荷皮膚温テストが施行できた例は極めて少なく10数例に留まり, FSBP%との比較検討に至らなかった。

研究プロトコルで, 出来る限り2種類の室温での測定を依頼したのは, 室温とFSBP%との間での相関関係を調べ, 異なる室温下で測定された値を標準的な室温での測定値への換算が可能であるか否かを検証することであった。従来, わが国で規定された室温は20~23°Cであり, 一方, ISOの基準では室温 21±1°C が勧告されていることから, 室温 21±1°C, 室温 23±1°C で測定された症例群に, 大きく2群に分類し比較検討した。また, この研究に参加した6施設のなかで温度環境等のコントロールが比較的厳しく行える人工気候室を有している施設は3施設のみであること, 今後, FSBP%の測定が普及し, 人工気候室のない施設で検査が行われると仮定した場合, 厳しく室温コントロールすることを要求することは難しいと考えたからである。

表8 室温 21℃と 23℃における FSBP%値の関連（関数関係と線形回帰）

全対象者（対象者+振動曝露者）：N = 155 関数関係 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 1.128442 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) - 17.61025$ 線形回帰 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 0.821069 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) + 7.509032$
全対象者の中で 60 歳以上：N = 86 関数関係 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 1.192073 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) - 22.11603$ 線形回帰 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 0.7673442 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) + 8.181999$
振動曝露群：N = 72 関数関係 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 1.251253 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) - 26.29556$ 線形回帰 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 0.7857679 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) + 4.723627$
振動曝露群で 60 歳以上：N = 65 関数関係 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 1.238481 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) - 24.69424$ 線形回帰 $FSBP(21 \pm 1^\circ\text{C}) = 0.8057305 \times FSBP(23 \pm 1^\circ\text{C}) + 4.265677$

上段の N = 155 例は 2 種類の室温で測定できた。対照群と振動曝露群の症例を合計した数であり、2 段目の N = 86 は上記の 155 例中で 60 歳以上の症例からなる症例数である 3 段目の N = 72 は振動曝露群の中で、2 種類の室温で測定できた症例数を示し、再下段の N = 65 は上記の 72 例中で 60 歳以上の症例を示す。いずれの回帰式にも FSBP% がゼロを示した症例をも含めている。

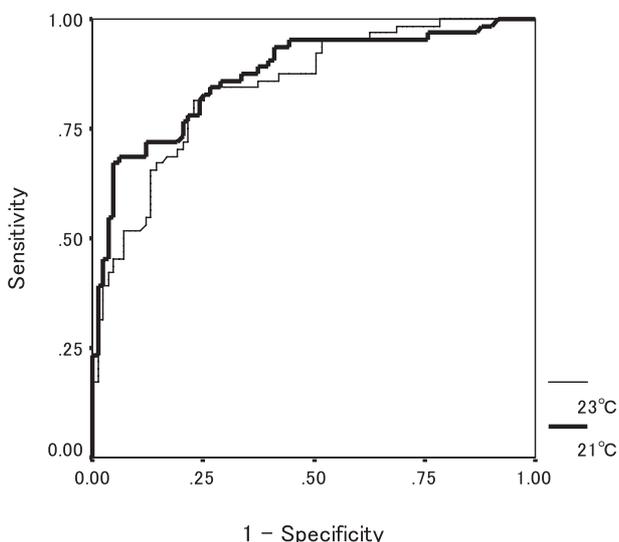


図12 振動曝露労働者全体から得られた室温 21±1℃、23±1℃時の VWF 診断における FSBP% の ROC 曲線

太線は室温 21±1℃で得られた ROC 曲線、細線は室温 23±1℃で得られた ROC 曲線を示す。

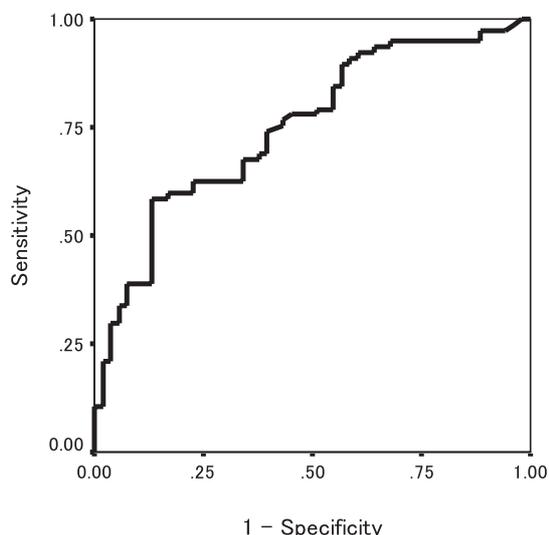


図13 室温 21±1℃時の 60 歳以上の対象者における VWF 診断のための FSBP% の ROCC 曲線

太線は室温 23±1℃で ROC 曲線を示す。

4. 研究結果についての考察

(1) 施設間差について

この研究は 6 施設で施行されており、統計処理に当たり施設間で測定値に有意差がないことが前提条件となる。対照群としての非振動曝露対照群 (Group A) では表 3、図 1、2 に示すように、室温 21±1℃では九州地区の値が高い傾向がみられ、室温 23±1℃では FSBP% 値には地域差は認められなかった。室温の精度は手の周囲の温度を測定しているので問題はないと考えられるので、同一室温幅の中でも、九州地区で比較的高い室温で測定された症例数が多かった可能性が考えられるが、測定室温分布に北海道、中四国と九州の各グループ間で有意差

はなかった。次に考えられることは、冷却温度の精度である。冷却水の温度は装置内蔵の温度コントロール装置により決定される仕組みになっている。カフ温度が厳密にコントロールされていたか否かの検証を行っていないので、この点の疑問が大きく残る。その理由は装置からカフまでの冷却水を還流するチューブの長さによりカフ内部の温度が変化する可能性があるからである。その他、地域による外気温が生体に及ぼす影響があるかもしれない。今後、さらなる詳細な検討が必要である。

(2) 年齢の影響

年齢が FSBP% に及ぼす影響について、Bovenzi は室温 22~23℃で 20 歳から 69 歳の合計 291 例について調べ、年齢による影響はないと報告した²⁰⁾。我々の今回の結

表9 室温別の cut-off 値と敏感度, 特異度

全体	室温 21±1℃		室温 23±1℃	
	cut-off 値 %	敏感度 (%) N = 134	特異度 (%) N = 96	敏感度 (%) N = 102
60.0	59.4	95.8	39.1	96.4
65.0	67.2	94.0	45.3	95.2
70.0	71.9	85.5	51.6	91.6
75.0	71.9	80.7	65.6	86.7
80.0	73.1	75.9	70.3	79.5
85.0	89.1	60.2	82.8	73.5
90.0	95.3	54.2	85.9	62.7
95.0	95.3	47.0	87.5	55.4
60 歳以上	室温 21±1℃		室温 23±1℃	
cut-off 値 %	敏感度 (%) N = 134	特異度 (%) N = 96	敏感度 (%) N = 102	特異度 (%) N = 99
60.0	48.1	86.8		
65.0	57.1	86.8		
70.0	62.3	73.6		
75.0	63.6	66		
80.0	72.7	60.4		
85.0	83.1	45.8		
90.0	92.2	35.8		
95.0	94.8	28.3		

全症例を対象とした時の、室温 21±1℃ および室温 23±1℃ で得られた cut-off 値、敏感度、得意度を表上段に、60 歳以上を対象にした時の、室温 21±1℃ で
の敏感度、特異度は表の下段に示す。

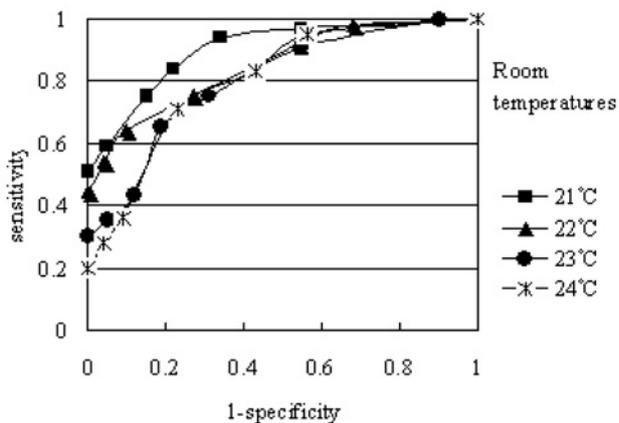


図 14 各室温別の VWF 診断のための FSBP% の ROC 曲線

果では、表 4、図 3、4 に示すように、室温 21±1℃ では Group A の中で 20 歳代から 50 歳代では年齢による FSBP% の値には有意差がなかったが、60 歳以上の年齢群では有意差があり、それよりも若い年代の FSBP% 値よりも有意に低かった。室温 23±1℃ では 70 歳以上の年齢群では有意差があり、それよりも若い年代の FSBP% 値よりも有意に低かった。Bovenzi の 291 例に比較し約半数の 154 例の対照群で年齢による FSBP% の差を認めたことになる。このことは、より低い室温になると、比較的高い室温では検出されない病態変化が検出される可能性があることを示唆するものと推定できる。したがって、Bovenzi の報告との差は測定室温の差が関与している可

能性があると推定している。

(3) 各群間の比較について

対照群、振動曝露群を VWF の出現により Group B, Group C, Group D と分類した時、表 5 に示すように室温 21±1℃ では、Group C は Group A との間で、Group D は Group A および Group B との間で、いずれも前者の FSBP% 値が有意 ($P < 0.05$) に低かった。室温 23±1℃ では Group D の FSBP% 値が Group A および Group B の値よりも有意 ($P < 0.05$) に低い値であった。60 歳以上を対象とした時は室温 21±1℃ と 23±1℃ のいずれにおいても、Group D の FSBP% 値は Group A, B の FABP% 値と比較し有意 ($P < 0.05$) に低い値を示した (表 6)。

(4) FSBP% ゼロ例について

検査室でのレイノー現象ありと認めても良いとする、世界的な合意事項である FSBP% がゼロの症例は (同一症例が複数の室温下で検査を受けている)、室温が 20℃ 台で 62 例中 6 例 (9.6%)、室温が 21℃ 台で 37 例中 7 例 (18.9%)、室温が 22℃ 台で 70 例中 6 例 (8.5%)、室温が 23℃ 台で 37 例中 2 例 (5.4%)、室温が 24℃ 台で 42 例中 2 例 (4.7%) で、室温が 24℃ 以上になると FSBP% のゼロ例の出現頻度は少なくなると考えられた。結論的に言えば、室温 21±1℃、室温 23±1℃ ではそれぞれ、13 名と 8 名が FSBP% のゼロを示した。また、全例がレイノー現象が現在ありの Group D 群であった。

(5) 喫煙の影響について

FSBP% に及ぼす喫煙の影響について Cherniak ら²¹⁾は

1988年から1994年にわたる横断的調査を行った。601例の造船所作業員の中で、199例の重症者に対してコホート調査を行い、喫煙者と非喫煙者のFSBP%を比較し、前者は後者と比較してFSBP%に及ぼす影響が明らかであったとしている。Bovenzi²²⁾は喫煙がFSBP%に及ぼす影響を調べ、喫煙者は非喫煙者と比較しFSBP%値は有意に低い値であったと報告している。今回の調査ではFSBP%に及ぼす喫煙の影響を明らかにすることはできなかったが、症例数が増せば有意差が認められる可能性があると考えられた。

(6) 室温の影響について

室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 群と室温 $23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 群の測定結果および各室温でのROC曲線の結果から、室温が低くなればなるほど、診断精度は高くなると推察できた。したがって、測定室温のコントロールを厳密にすることが要求されると考えられる。交感神経系への影響からみると、室温のみならず着衣量、気流等にも細心の注意が必要となることは言うまでもないことと考える。

人工気候室がなく室温管理の困難な施設も考えられ、室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ での測定されたFSBP%の値を回帰式により室温 21°C 群の値に換算することが可能になるか否かを検証するために、両者の室温下で得られた値間の関係を調べ、相関関係が確認できた。しかしながら、Group Dの症例ではcritical pointで突然にFSBP%値がゼロになることがあるので、換算式を用いる判定はあくまでもグローバルな評価に留めるべきであるとの結論に達した。理想的には測定室温幅を狭めた状態で、表9に示すような各室温毎のcut-off値を求めるべきであると考えられる。

(7) 診断精度およびcut-off値について

室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ と比較し、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の方の診断精度が高いことが示された(図12, 表9)。さらに図14に示すように室温が低いほど診断精度はよくなるが、現実的に厳密に室温および気流に強さをコントロールできる設備のある施設は少ないと考えられる。したがって、ある一定の室温幅のあるデータで診断精度を求めることが必要と思われる。

症例全体で見ると室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ でのROC曲線で、cut-off値を75%とした時、敏感度71.9%、特異度80.7%となり、cut-off値を70%とした時、敏感度71.9%、特異度85.5%であった。cut-off値を65%とした時、敏感度67.2%、特異度94.2%であった。特異度と敏感度のバランスからみると室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ では、cut-off値は70%が最適となった。60歳以上の症例では、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ でのROC曲線でcut-off値を75%とした時、敏感度63.6%、特異度66.0%であった。cut-off値を70%とした時、敏感度62.3%、特異度73.6%となり、cut-off値を65%とした時、敏感度57.1%、特異度86.8%となった。特異度と敏感度のバランスからみると室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ では、cut-off

値は症例全体と同様に60歳以上の群でも70%が最適となったが、上述のように敏感度、特異度には差が見られた。

レイノー現象の出現頻度は、気候条件、本人の着衣を含めた防寒への工夫により大きく変化する。今回、golden standardとして採用したVWFの出現にしても、論理的厳密さからみると完全なものとはいえない。厳正な判断を下すには健康者を誤って障害ありと判断する率を出来るだけ、押さえることが重要であり、自覚症状としてのVWFが出現しながら、その基準に満たない例には、後述するような追加検査が必要となることも考えるべきである。

(8) ヨーロッパ諸国のcut-off値との比較について

Bovenziは室温 $20 \sim 23^\circ\text{C}$ で、冷却温度 10°C 、5分間の冷却でのFSBP%測定を対照群455例、振動曝露群847例で測定し、FSBP%のcut-off値60%を提案している¹²⁾。また、EU諸国では今後FSBP%のcut-off値に対して統一基準値を決定する方向にあると聞いている。Finland, Sweden, United Kingdomではcut-off値60%を採用しており、VWFの臨床症状と一致しない時には、つまりFSBP%が異常値を示さない場合には、半年、1年後、2年後に再検査を行って判断するとしている。さらには全身冷却負荷を加えてFSBP%を測定し評価している。

わが国でも公平な判断を行うには、Finlandのような基準を用いるのが適切と考える。症例を重ねて基準を見直すことも必要であろうし、また、わが国の基準がEUの基準から大きくかけ離れた基準であれば国際間の比較にも支障が生じるであろう。

表10はKurozawaら²³⁾が諸外国の発表例をまとめたものであるが、これらの値と比較し、今回の調査結果による敏感度、特異度は全体に低い値である。この差を説明する因子として考えられるのは、表2に示すように、研究対象となった振動曝露労働者の大部分が振動曝露を離れてから、11年から20年と相当期間経過し、かつ、その期間、休業し薬物投与等の治療を受けている症例であることが考えられる。Bovenziは68例の林業労働者を1990年と1995年の2回に渡りFSBP%を測定し、1990年にはVWFがなかったが、1995年にはVWFが存在しanti-vibration chain sawを使用続行している27例(A群)、1990年にVWFはなく1995年以前に退職した29例(B群)、1990年にVWFがあった現役または退職した12例(C群)で 10°C 冷却によるFSBP%を比較した。A群では3例にVWFが出現し、B群ではFSBP%に有意の改善が、C群ではVWFの自覚症状の改善とFSBP%の改善を認め、退職した労働者ではFSBP%値はチェーンソー使用中止後の期間と有意に関係していたと報告している²⁴⁾。この報告からも今回の調査対象としての振動曝露労働者が、諸外国の報告例と異なり、振動曝露を離れ

表 10 振動障害のレイノー現象 (VWF) に対する FSBP% の測定条件と診断精度の報告例

Authors	Subjects	Finger cooling (reference temperature)	Body cooling	Room temperature	Cut off values of FSBP%	Sensitivity	Specificity
Olsen and Nielsen (1979)	20 controls 5 exposed controls 13 VWF patients	(30°C) 10°C 6°C	8 ~ 12°C 10min	15 ~ 19°C	FSBP = 0	100	87
Olsen et al (1982)	20 controls 26 exposed controls 13 VWF patients	(30°C) 10°C 6°C	8 ~ 12°C 10min	16 ~ 19°C 9 ~ 16°C	FSBP = 0	91	81
Ekenval and Lindblad (1982)	10 controls 10 exposed controls 10 VWF patients	(30°C) 15°C 10°C		23°C 17°C	< 60%	100	100
Pyykkö I, et al. (1986)	21 exposed controls 27 inactive VWF 12 active VWF	(30°C) 20°C 15°C 10°C		18 ~ 22°C		25	95
Ekenval and Lindblad (1986)	14 controls 15 exposed controls 111 VWF patients	(30°C) 15°C 10°C		16°C	< 60%	74	97
Bovenzi (1988)	30 controls 56 exposed controls 20 VWF patients	(30°C) 10°C		22°C	< 60%	100	87
Olsen (1988)	15 controls 56 exposed controls 23 VWF patients	(30°C) 15°C 6°C	8 ~ 12°C 10min	20 ~ 22°C	FSBP = 0	87	100
Virokannas and Rintamaki (1991)	37 unexposed controls 37 VWF patients	(30°C) 15°C 10°C		20 ~ 23°C	< 76%	50	84
Kurozawa et al (1991)	22 controls 40 exposed controls 60 VWF patients (mild 36 severe 24)	(35°C) 10°C	10 °C 10min	26°C	< 90%	82	90
Kurozawa et al (1992)	13 controls 40 exposed controls 59 VWF patients	(35°C) 10°C		26°C	< 80%	88	77
Allen et al (1992)	22 controls 8 exposed controls 26 VWF patients	15°C 10°C		16°C 20°C 24°C	FSBP = 0	81	100
Bovenzi (1993)	31 controls 46 exposed controls 19 VWF patients	(30°C) 15°C 10°C		22 ~ 23°C	< 60%	84	98
Bovenzi (2002)	455 controls 723 exposed controls 151 VWF patients	(30°C) 10°C		20°C ~ 23°C	< 60%	87	94

長期間経過していることが低い診断精度になった可能性が高いと考えられる。

5. 今後の課題について

(ア) cut-off 値に関して

この研究で得られた cut-off 値 70% の値は、ヨーロッパ諸国が採用また統一基準として採用しようとしている cut-off 値 60% と比べ 10% の開きがある。この差は上述したように対象例の特徴に由来している可能性が高いと想定でき、または民族差によるかもしれない。厚生労働省の通達改正が行われ、FSBP% の測定が採用になれば、振動曝露から離脱しあまり時間が経過していない症例のデータを全国的なプロジェクト研究として集積し、再度、新しい cut-off 値を決めれば、より理論的な cut-off 値となり、国際間の比較も可能となると考える。

(イ) 予後に関して

VWF の長期の予後に関する本邦の報告は黒沢らの論文のみである²⁵⁾²⁶⁾。それによると 15 年間の追跡調査で初診時 VWF の Stockholm scale の stage 3 であった 27 例が、15 年後に stage 0 つまり VWF が消失した例は 8 例、stage 1 に改善した例は 3 例、stage 2 に改善した例は 24 例、同じ stage 3 に留まっていた例は 13 例であり約 70% の症例に VWF が 15 年後でも出現していた。初診時 stage 2 であった 37 例は 15 年後に stage 0 例は 21 例、stage 1 に改善した例は 3 例、stage 2 に留まっていた例は 8 例、stage 3 と悪化した例は 5 例であり、初診時 stage 1 であった 2 例は 15 年後に全例が stage 0 つまり VWF が消失していた。初診時 stage 0 であった 33 例は 15 年

後に stage 0 に留まっていた例は 28 例、5 例が stage 2 と悪化していた。上記のように経験的に VWF の改善は得がたい、特に Stockholm scale の stage が進行した状態では改善が得がたいと考えられる。しかしながら、VWF の予後を理論的に予測する手段は今のところない。

第 11 回国際手腕振動会議で那須らは tendon sheath block による指神経ブロック前後で FSBP% を測定し、FSBP% 値の変化が大きければ、交感神経性の要素が大きく、変化の幅の小さい時は血管の器質的要素が大きく、前者の要因が大きい時は予後がよくなる可能性が高くなるであろうとの、予後に関する仮説を述べた²⁷⁾。振動曝露から離脱しあまり時間が経過していない症例を対象に tendon sheath block 前後で FSBP% を測定しデータを集積し時間をかければ、この方法は予後判定に有効になる可能性があると考えている。

VIII まとめ

(1) 対照群 190 例 (Group A)、振動曝露群 117 例の FSBP% を 6 施設で測定した。

(2) 振動曝露群をレイノー現象 (VWF) が過去もない群 17 例 (Group B)、過去はあったが現在は出現しない群 23 例 (Group C)、現在も出現する群 77 例 (Group D) に分類した。

(3) 測定室温は施設により 2 種類、または 3 種類の室温で測定した。

(4) 測定時間間隔は最低 60 分以上の間隔をあけた。

(5) Group A では室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での FSBP% の測定値

に関して九州地区の値が他の地区の値よりも高い傾向にあった。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ での FSBP% の測定値には差はなかった。

(6) Group A で年齢別、室温別に検討すると、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での 60 歳以上者の FSBP% 値は、それよりも若い例に比べ有意に低い値であり、室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ では 70 歳以上の値がそれよりも若い例の値に比べ有意に低かった。

(7) 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ では、Group A と Group C との間、Group A と Group D との間で、Group B と Group D との間それぞれ FSBP% 値に有意差を認めたが、Group A と Group B との間には FSBP% の値に有意差はなかった。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ では Group A と Group D との間、Group B と Group D との間で、それぞれ FSBP% 値に有意差を認めた。いずれの室温下でも Group D の値が一番小さかった。

(8) 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 、室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ではそれぞれ、13 名と 8 名が FSBP% のゼロを示した。また、全例が VWF が現在ありの Group D 群であった。

(9) 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 群と $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 群で測定された FSBP% の回帰式をもとめた。

(10) 室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ での FSBP% の cut-off 値は敏感度と特異度のバランスから、全症例、60 歳以上の症例でもともに 70% であったが、前者での敏感度は 71.9%、特異度は 85.5% であり、後者のそれらは 62.3%、73.6% である。

(11) 上記の cut-off 値は将来見直す必要があることを指摘した。

本研究は独立行政法人労働者健康福祉機構「労災疾病等の 13 研究分野医学研究・開発、普及事業」によるものである。研究に当たり、石垣宏之・米原晴子(山陰労災病院)、吉野 聡(美唄労災病院)、藤井史郎・船越亮太(岩見沢労災病院)、吉岡瑞穂(愛媛労災病院)、高原洋子・貴戸智美(九州労災病院)、的場正文・佐藤泰彦(熊本労災病院) の各検査技師の方々のご協力に感謝する。

文 献

- Nielsen SL, Lassen NA: Measurement of digital blood pressure after local cooling. *J Appl Physiol* 43: 907—910, 1977.
- Nielsen SL: Raynaud's phenomena and finger systolic pressure during cooling. *Scand J Clin Lab Invest* 38: 765—770, 1978.
- Olsen N, Nielsen SL: Diagnosis of Raynaud's phenomenon in quarrymen's traumatic vasospastic disease. *Scand J Work Environ Health* 5: 249—256, 1979.
- Olsen N, Nielsen SL, Voss P: Cold response of digital arteries in chain saw operators. *Br J Ind Med* 38: 82—88, 1982.
- Ekenvall L, Lindblad LE: Vibration white finger and digital systolic pressure during cooling. *Br J Ind Med* 43: 280—283, 1986.

- Bovenzi M: Vibration white finger, digital systolic blood pressure, and some biochemical findings on workers operating vibrating tools in the engine manufacturing industry. *Am J Ind Health* 14: 575—584, 1988.
- Olsen N: Diagnostic test in Raynaud's phenomena in workers exposed to vibration: a comparative study. *Br J Ind Med* 45: 426—430, 1988.
- Kurozawa Y, Nasu Y, Nose T: Diagnostic value of finger systolic blood pressure in the assessment of vasospastic reactions in the finger skin of vibration-exposed subjects after finger and body cooling. *Scand J Work Environ Health* 17: 184—189, 1991.
- Kurozawa Y, Nasu Y, Oshiro H: Finger systolic blood pressure measurement after finger cooling. Using the Laser-Doppler method for assessing vibration-induced white finger. *J Occup Med* 34: 683—686, 1992.
- Nasu Y, Kurozawa Y: Comparison of the diagnostic values among thermography and three kinds of provocation tests for vibration induced white finger. *Biomedical thermology* 15 (2): 157—162, 1995.
- Bovenzi M: Finger systolic blood pressure indices for the diagnosis of vibration-induced white finger. *Int Arch Occup Environ Health* 75: 20—28, 2002.
- Nasu Y, Kurozawa Y: Comparison of the diagnostic values of three kinds of provocation tests for vibration white finger. *Stockholm Work Shop 94 Hand-Arm Vibration Syndrome: Diagnostics and Quantitative Relationship to Exposure. Proceedings.* edited by Gemne G, et al. *Arbete Och Hälsa* 5: 109—116, 1995.
- Report of working group 1, Chairman: Olsen N and Hagberg M: Clinical and laboratory diagnostics of vascular symptoms induced by hand-arm vibration. *Stockholm Work Shop 94 Hand-Arm Vibration Syndrome: Diagnostics and Quantitative Relationship to Exposure. Proceedings.* edited by Gemne G, et al. *Arbete Och Hälsa* 5: 181—186, 1995.
- Gemne G: Diagnostics of hand-arm system disorders in workers who use vibrating tools. *Occupational and Environmental Medicine* 54: 90—95, 1997.
- Bovenzi M: Finger thermometry in the assessment of subjects with vibration-induced white finger. *Scand J Work Environ Health* 13: 348—351, 1987.
- 那須吉郎, 黒沢洋一: 振動障害の末梢循環障害. *整・災害* 36 (6): 665—671, 1993.
- International Organization for Standardization; Mechanical vibration and shock -Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function-Part 2 Measurement and evaluation of finger systolic blood pressure. *International Draft, ISO/DIS 14835-2.*
- 那須吉郎, 黒沢洋一, 石垣宏之, 篠原泰司: FSBP% の季節変動. *日本災害医学会雑誌* 46 (8): 465—470, 1998.
- 丹後俊郎: 統計モデル入門. 朝倉書店, 2000, 医学統計学シリーズ 2, pp 61—74. pp 230—231.
- Bovenzi M: Finger systolic blood pressure during local cooling in normal subjects aged 20 to 60 years: reference values for assessment of digital vasospasm in Raynaud's phenomenon of occupational medicine. *Int Arch Occup Environ Health* 61: 179—181, 1988.

- 21) Cerniack M, Clive J, Seidner A: Vibration exposure, smoking, and vascular dysfunction. *Occup Environ Med* 57: 341—347, 2000.
- 22) Bovenzi M: Digital arterial responsiveness to cold in healthy men, vibration white finger and primary Raynaud's phenomenon. *Scand J Work Environ Health* 19: 271—276, 1993.
- 23) Kurozawa Y, Nasu Y: Factors influencing finger systolic blood pressure test for diagnosis of vibration-induced white finger. *Environ Health Prev Med* 10: 366—370, 2005.
- 24) Bovenzi M, Alessandrini B, Mancini R, et al: A prospective study of the cold response of digital vessels in forestry workers exposed to saw vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 71: 493—498, 1998.
- 25) 黒沢洋一, 那須吉郎, 石垣宏之, 篠原泰司: 振動障害患者の血管と神経障害の15年間のFollow-up. *日災医誌* 49(5): 474—477, 2001.
- 26) Kurozawa Y, Nasu Y, Hosoda T, Nose T: Long-term follow-up study on patients with vibration-induced white finger (VWF). *JOEM* 44 (12): 1203—1206, 2002.
- 27) Nasu Y, Kurozawa Y: Influence of peripheral neural disturbances and cervical myelopathy on FSBP%: an experimental study, *Proceeding of 11th International Conference on Hand-Arm Vibration*. 2007, pp 81—86.

別刷請求先 〒683-0002 鳥取県米子市皆生新田1-8-1
山陰労災病院振動障害研究センター
那須 吉郎

Reprint request:

Yoshiro Nasu
Clinical Research Center for Hand-Arm Vibration syndrome,
San-in Rosai Hospital, 1-8-1, Kaike-Shinden, Yonago, 683-8605,
Japan

Multicentric study on finger systolic blood pressure test for diagnosis of vibration-induced white finger

Yoshiro Nasu¹⁾, Yutaka Fujiwara²⁾, Hiroki Honma³⁾, Toshiro Yanai⁴⁾, Toshiro Toyonaga⁵⁾,
Kenji Kido⁶⁾, Takashi Ikeda⁷⁾, Hirokazu Hashiguti⁸⁾ and Youichi Kurozawa⁹⁾

¹⁾Clinical Research Center for Hand-Arm Vibration Syndrome,
Japanese Labor, Health and Welfare Organization, San-in Rosai Hospital

²⁾Department of Internal Medicine, Bibai Rosai Hospital

³⁾Vibration Center, Iwamizawa Rosai Hospital

⁴⁾Center of Preventative Medicine for Workers, Kyushu Rosai Hospital

⁵⁾Center of Preventative Medicine for Workers, Kyushu Rosai Hospital

⁶⁾Department of Orthopedic Surgery, Ehime Rosai Hospital

⁷⁾Department of Orthopedic Surgery, Kumamoto Rosai Hospital

⁸⁾Department of Orthopedic Surgery, San-in Rosai Hospital

⁹⁾Division of Health Administration and Promotion, Department of Social Medicine, Faculty of Medicine, Tottori University

Objective: A multicentric study (six Rosai hospitals around Japan) was performed to investigate the diagnostic value of changes in finger systolic blood pressure (FSBP) after segmental local cooling for vibration-induced white finger (VWF).

Methods: Subjects were 190 men without exposure to vibration and 117 men with occupational vibration exposure. They were classified into four groups: Group A, 190 unexposed control cases; Group B, 17 exposed cases without VWF; Group C, 23 cases with a history of VWF but without any signs of VWF within the last year; and Group D, 77 cases with active VWF within the last year. FSBP% measurements were taken at room temperatures of 23 ± 1 and $21 \pm 1^\circ\text{C}$, using a strain-gauge Digimatic 2000 plethysmograph (Medimatic) or Multichannel plethysmograph (HvLab).

Results: Among Group A, at a room temperature of $21 \pm 1^\circ\text{C}$, cases with more than 60 years old showed significant low values of FSBP%, compared with younger cases with less than 60 years old. At a room temperature of $21 \pm 1^\circ\text{C}$, there was a significant difference between Groups A and C, A and D, and B and D. At a room temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$, there was a significant difference between Groups A and D, and B and D. The values in Group D were the lowest at both room temperatures. Between values obtained at a room temperature of $21 \pm 1^\circ\text{C}$ and at a room temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$, it was observed that there was correlation. A cut-off value of 70% at $21 \pm 1^\circ\text{C}$ was obtained from ROC curves in all cases and in cases with more than 60 years old. Assuming a cut-off value of 70% at $21 \pm 1^\circ\text{C}$ the sensitivity and specificity were 71.9 and 85.5%, respectively among all of cases. Among cases with more than 60 years old, assuming the same cut-off value at $21 \pm 1^\circ\text{C}$, the sensitivity and specificity were 62.3 and 73.6%, respectively. These values were high about 10%, compared with the cut-off value of 60% employed in EU countries. Most of the subjects with VWF in this study were retired and had not used vibratory tools for many years. The situation of the subjects may affect the results of the FSBP test. Our data did not confirm a difference statistically in diagnostic accuracy between room temperatures of 23 ± 1 and $21 \pm 1^\circ\text{C}$.

Conclusions: Our study showed that the sensitivity and specificity of the FSBP test at $21 \pm 1^\circ\text{C}$ were 71.9% and 85.5% among all of cases, and 62.3 and 73.6%, among cases with more than 60 years old, respectively, assuming a cut-off value of 70%.

(JJOMT, 56: 13–27, 2008)