

# 振動障害の検査指針検討会報告書

平成18年3月

振動障害の検査指針検討会

本検討会の実証検査において、徳島健康生活協同組合徳島健生病院並びに独立行政法人労働者健康福祉機構岩見沢労災病院及び美唄労災病院の関係者の方々に多大なご尽力をいただいたところであり、ここに記して感謝の意を表します。

振動障害の検査指針検討会

## 目 次

I	はじめに	1
1	1 検討会の趣旨、目的	1
2	2 主な検討事項	1
3	3 検討会の開催状況	2
II	振動障害の検査手技に係る検討経過	4
1	1 平成13年報告書	4
2	2 委託研究	5
III	(独)労働者健康福祉機構振動障害研究センターの研究成果	6
1	1 研究目的及び結果	6
2	2 まとめ	7
IV	振動障害の検査手技に係る国際標準化の動向	9
1	1 国際標準化の現状	9
2	2 末梢循環系検査の国際標準化作業	9
3	3 末梢神経系検査の国際標準化作業	10
V	現行検査手技の医学的妥当性と有効性の限界	11
1	1 特殊健康診断と現行検査手技	11
2	2 現行検査手技に係る指摘事項	11
VI	新たな検査手技に係る評価基準の策定	14
1	1 実証検査の実施状況	14
2	2 分析対象者の属性	15
3	3 実証検査結果	17
4	4 各検査の相関等	90
VII	検査手技別評価基準	99
1	1 検査条件及び診断基準	99
2	2 鑑別すべき疾患	107
VIII	新たな検査体系の在り方	108
1	1 各検査の位置づけ	108
2	2 検査精度を上げるための各種検査手技の組み合わせ	108

IX まとめ .....111

【参考資料】 .....113

「振動障害の検査指針検討会」 参集者名簿（五十音順）

氏 名 所 属 等

木村 彰男 慶應義塾大学月が瀬リハビリテーションセンター所長  
 重松 宏 東京医科大学外科学第二講座主任教授  
 高山真一郎 国立成育医療センター整形外科医長  
 樋端 規邦 徳島健康生活協同組合名誉理事長  
 原田 規章 山口大学医学部教授  
 本間 浩樹 岩見沢労災病院健康診断センター診断部長  
 ◎ 宮下 和久 和歌山県立医科大学医学部長  
 梁井 俊郎 九州労災病院勤労者予防医療センター所長  
 ◎：座長

（オブザーバー）

宮井 信行 和歌山県立医科大学医学部講師

（検査・分析協力者）

慶應義塾大学医学部整形外科学

中村 俊康 佐藤 和毅 菊池 淑人 山部 英行

慶應義塾大学月が瀬リハビリテーションセンター

水野 勝弘 大田 哲生

東京大学血管外科

赤木 大輔 小野塚温子

山口大学医学部衛生学教室

Shawkatuzzaman Md. Laskar 横山健治郎 Hossain Md. Mahbub

徳島健生病院

津田 年子 神野 高朗 尾崎 真弓 吉野 孝子 村上真理子

竹田 修治 菅野 佳秀 岩野 晃明 江川 英志 池村 和男

小出 洋子 佃 美樹 勝野美佐子 大西 雅代 吉田ノブ子

岩見沢労災病院

加治 浩 川村 博和 阿波加正弘 高桑 宏智 藤井 史郎

高島 由衣 船越 亮太 高田 貢子

美唄労災病院

藤原 豊 吉野 聡 山田 篤志 高橋真二郎



## I はじめに

### 1 検討会の趣旨、目的

さく岩機、チェーンソー等の振動工具を取り扱う労働者に発生する振動障害の医学的検査は、昭和52年5月28日付け基発第307号「振動障害の認定基準について」の別添1「振動障害に関する検査項目及び検査手技について」及び別添2「検査成績の評価について」に基づき行われている。

しかしながら、認定基準に示された検査手技は、冷水浸漬皮膚温検査（5℃10分法）では「強い疼痛を伴う」、「心血管系に悪影響を及ぼす」等、痛覚検査、振動感覚閾値検査、握力検査等では主観性を排除できない等の問題点が指摘されてきた。また、末梢循環障害、末梢神経障害及び運動機能障害を病像とする疾病は振動障害のみではないため、加齢による影響や他疾患との鑑別診断が重要となっている。さらに、近年、労災請求を行う労働者が高齢化していること、振動業務離脱後長期間経過者が増加していること等、振動障害の労災認定を巡る変化にも対応する必要がある。このようなことから、実務に携わる医師等から、よりの確な精密検査や鑑別診断を行うため、認定基準に示されている検査手技以外で診断に有効な手法を示してほしいという要望が寄せられている。

このため、平成11年10月に「振動障害の検査手技に係る技術専門検討会」が設置され、平成13年11月には「振動障害の検査手技に係る技術専門検討会報告書」（以下「平成13年報告書」という。）が取りまとめられ新たな検査手技が示されたが、その際、現行の検査手技に代わり得る実用化が可能な検査手技、測定条件、評価基準等について、さらに継続的な検討が必要とされたところである。

この報告を踏まえ、平成14年度から16年度にかけて有用な検査手技としての可能性が示唆された複数の検査手技について厚生労働省の委託研究等において実証検査を実施し、現行の検査手技に代わり得る安全でより客観的な新たな検査手技の可能性が示されたことから、振動障害に係るこれまでの医学的知見の集積と診断機器等の進歩に応じた検査体系の在り方等の検討を行うため、平成16年7月5日、振動障害の検査指針検討会（以下「検討会」という。）が設置された。

### 2 主な検討事項

検討会には、基礎医学、臨床医学等の専門家が参集した。主な検討事項は、①現行の検査手技の医学的妥当性及び有効性の限界について、②新たな検査手技に係る評価基準の策定について、③新たな検査体系の在り方について、④その他関連する医学的事項についてである。

なお、検討会では②の新たな検査手技に係る評価基準を策定するため、平成13年報告書等に示された検査手技及びISOにおける国際標準化作業が進められている検査手技のうちから、末梢循環機能検査として、冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査、局所冷却による指動脈血圧（FSBP%）検査、末梢神経機能検査として、振動感覚閾値検査、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査、運動機能検査として、MRIによる筋の機能評価検査の7

検査を選定し、実証検査を実施した。

### 3 検討会の開催状況

検討会は、平成16年7月から合計15回開催された。検討経過は以下のとおりである。

なお、検討会は、原則公開で行ったが、実証検査結果の個別検討は非公開で行った。

第1回 平成16年7月5日（公開）

- ・ 振動障害の検査手技等について

第2回 平成16年9月13日（公開）

- ・ 実証検査の実施について

第3回 平成16年12月2日（公開）

- ・ 実証検査の実施状況報告
- ・ 現行の検査手技の医学的妥当性及び有効性の限界について

第4回 平成17年2月17日（公開）

- ・ 徳島健生病院における実証検査の結果報告
- ・ 岩見沢及び美唄労災病院における実証検査実施状況の中間報告
- ・ 実証検査結果の分析方法

第5回 平成17年3月25日（前半公開・後半非公開）

（前半）

- ・ 労災病院における実証検査の結果報告
- ・ 実証検査結果の分析方法

（後半）

- ・ 実証検査結果の個別検討

第6回 平成17年4月22日（非公開）

- ・ 実証検査結果の個別検討

第7回 平成17年5月27日（前半公開・後半非公開）

（前半）

- ・ 実証検査結果に係る検討の経過報告
- ・ 今後の検討会のスケジュール

（後半）

- ・ 実証検査結果の個別検討

第8回 平成17年7月1日（前半非公開・後半公開）

（前半）

- ・ 実証検査結果の個別検討に係る最終確認

（後半）

- ・ 実証検査結果分析に係る結果報告

第9回 平成17年8月26日（公開）

- ・ 実証検査分析結果報告
- ・ 現行検査手技以外の検査手技に係る検討

- ・ 平成16年度委託研究結果の報告等
- 第10回 平成17年9月26日（公開）
- ・ 実証検査分析結果報告
  - ・ 現行検査手技以外の検査手技に係る検討
  - ・ 今後の検討会のスケジュール等
- 第11回 平成17年10月27日（公開）
- ・ 実証検査分析結果報告
  - ・ 振動障害研究センターの研究成果報告
  - ・ 検討会の取りまとめに係る検討
- 第12回 平成17年12月15日（公開）
- ・ 報告書（たたき台）に係る検討
- 第13回 平成18年1月5日（公開）
- ・ 報告書（素案）に係る検討
  - ・ 検査のあり方に係る検討
- 第14回 平成18年2月17日（公開）
- ・ 報告書（案）に係る検討
- 第15回 平成18年3月3日（公開）
- ・ 報告書（案）に係る検討

なお、第10回検討会では、医療法人防治会勤労クリニック院長の近藤真一氏から「人工気候室による全身空冷負荷検査」について、また、第11回検討会では独立行政法人労働者健康福祉機構振動障害研究センター長の那須吉郎氏から「振動障害研究センターにおける研究成果」についてそれぞれヒアリングを行った。

## II 振動障害の検査手技に係る検討経過

### 1 平成13年報告書

平成13年報告書は、認定基準に基づいて業務上外を決定する際に使用している検査手技以外で、振動障害の診断を行う際に利用すれば、よりの確な診断が可能となると思われる検査手技を、その検査手法の特徴を踏まえて、スクリーニング、精密検査、鑑別診断の3種に分類した上で紹介している。

#### (1) 末梢循環障害に係る検査

- ① スクリーニングとして有用な検査手技
  - ・ 皮膚温検査
  - ・ サーモグラフィー
  - ・ 指尖容積脈波
- ② 精密検査として有用な検査手技
  - ・ 局所冷却による指動脈血圧検査
  - ・ レーザードップラー
- ③ 鑑別診断として有用な検査手技
  - ・ 血管造影
  - ・ 血管超音波

#### (2) 末梢神経障害に係る検査

- ① スクリーニングとして有用な検査手技
  - ・ 神経伝導検査（感覚神経、運動神経）
- ② 精密検査として有用な検査手技
  - ・ 針筋電図検査
  - ・ 神経伝導検査（インチング法）
- ③ 鑑別診断として有用な検査手技
  - ・ 後期応答（F波、H波）
  - ・ 誘発電位（運動誘発電位、体性感覚誘発電位）

なお、平成13年報告書は運動機能障害の検査手技については、客観性及び再現性という観点から導入を薦める検査手技とはいえないが、そうした問題点を十分認識した上で、運動機能障害に係る検査手技、知覚（感覚）障害に係る検査手技の2つについても検討を加えている。

#### (1) 運動機能障害に係る検査

- ① スクリーニングとして有用な検査
  - ・ 徒手筋力検査（MMT）

- ・ 関節可動域測定
- ・ 深部反射検査
- ② 精密検査及び鑑別診断として有用な検査手技
  - ・ レントゲン検査
  - ・ MRI 及び CT スキャン

(2) その他の検査手技

- ・ 各種感覚別検査（温覚、痛覚、触覚、振動覚）

## 2 委託研究

厚生労働省では、振動障害の検査手技に関して、平成 14 年度から 16 年度にかけて委託研究を実施した。すなわち、平成 14 年度には「振動障害に係る各種検査結果の事例収集等に関する研究」、平成 15 年度には「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」、平成 16 年度には「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」である。

平成 14 年度では、末梢循環障害、末梢神経障害、運動機能障害のそれぞれの領域ごとに、客観性の高い検査法についての事例収集及び知見の集積が行われ、末梢循環機能検査法として、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査が、末梢神経機能検査法として、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査が、運動機能検査法では、MRI による筋の機能評価検査が新しい検査法として期待される可能性が示された。

平成 15 年度では、上記の各種検査について、振動障害患者を含む同一の被検者に対して同一条件下で実施し、それぞれの検査の有効性、相互の検査方法の間での関連性、通達に示されている既存の検査方法との関連性等について検討がなされ、平成 14 年度に選定された各検査が、振動障害における末梢循環機能、末梢神経機能、運動機能を客観的に診断することが可能であることが示された。

平成 16 年度では、これまでの委託研究成果等を踏まえ、上記の各種検査について、室温や冷却温度等の検査条件との関係、加齢による検査値への影響、振動障害以外の類似疾患との鑑別、さらにそれらを加味した診断のための評価基準の設定等についての検討が行われた。

これらの研究成果は、検討会の実証研究に引き継がれた。

### Ⅲ (独) 労働者健康福祉機構振動障害研究センターの研究成果

厚生労働省は、前記委託研究とは別に、独立行政法人労働者健康福祉機構（以下「機構」という。）に対し、局所冷却による指動脈血圧検査に係る診断基準を提出するよう協力を求めたところ、平成17年12月14日、「末梢循環障害の他覚的評価法としてのFSBP%」を研究テーマとした中間報告書による研究成果が機構から厚生労働省に提出された。その概要は以下のとおりである。

#### 1 研究目的及び結果

平成7年度から平成10年度にかけて、労災病院グループ研究（6施設参加）においてFSBP%の診断精度に関する研究を行ったが、今回、更に多くの症例を集積することを目的に、平成16年度から2年計画で6施設（美唄、岩見沢、山陰、愛媛、九州、熊本の各労災病院）によるFSBP%の診断精度に関してのプロジェクト研究として計画した。研究は同年11月に研究開発計画書を機構業績評価委員会医学研究評価部会に提出し、同年12月、機構医学研究倫理審査委員会の審査を経て研究開発に着手した。

対照群におけるFSBP%の分布を各年代別に見ると、症例数が少なかった70歳代を除くと、20歳代から60歳代までは、Bovenziの研究結果と同様で、年代による差はなかった。対照群、振動ばく露群を全体としてみた時の比較では、両群間にFSBP%の平均値には有意差が認められたが、振動ばく露群のなかで過去にレイノー現象のなかったグループのFSBP%の平均値と対照群のそれとの間には有意差はなかった。対照群と振動障害者群のサブグループとの間でのFSBP%の平均値の比較では、対照群のFSBP%の平均値に対して有意の差があったのは、過去レイノー現象あり群と現在レイノー現象あり群であった。一方振動障害者群のサブグループ間でのFSBP%の平均値の比較では、レイノー現象なし群と比較し、過去レイノー現象あり群との間では有意差はなく、現在レイノー現象あり群との間でのみ有意差を認めた。

検査室でのレイノー現象ありと認める世界的な合意事項であるFSBP%がゼロの症例は、室温が20℃台で65例中6例（9.2%）、室温が21℃台で35例中5例（14.3%）、室温が22℃台で64例中6例（9.4%）、室温が23℃台で38例中2例（5.3%）、室温が24℃台で47例中2例（4.3%）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、11名と8名がFSBP%ゼロを示し、全例が現在レイノー現象あり群であった。

振動ばく露群で、室温21℃群（20.0～21.9℃）と室温23℃群（22.0～23.9℃）で測定されたFSBP%の間には有意な相関関係が認められ、縦軸に室温21℃群のFSBP%値、横軸に室温23℃群のFSBP%値をとり、相関をみると、普通の回帰式では $Y=0.01+0.88X$ （ $R^2=0.572$ ）、関数関係解析では $Y=4.33+0.82X$ （ $R^2=0.504$ ）で、いずれも有意相関を認めた。室温管理の困難な施設も考えられ、室温23±1℃で測定されたFSBP%の値を回帰式により室温21℃群の値に換算することが可能になると考えられた。

室温が変わると、FSBP%の同一cut-off値では敏感度、特異度が大きく変化する。こ

では、室温 21℃群で検討する。

FSBP%の cut-off 値を 70%にすると、対照群における特異度は 92.7%、振動ばく露群の感度率は 72.5%となる。

cut-off 値を 65%にすると、対照群における特異度は 97.1%、振動ばく露群の感度率は 68.1%となる。

cut-off 値を 60%にすると、対照群における特異度は 98.6%、振動ばく露群の感度率は 60.4%となる。

Bovenzi は室温 20～23℃で、冷却温度 10℃、5 分間のクーリングでの FSBP%の測定を対照群 455 例、振動ばく露群 847 例で測定し、FSBP%の cut-off 値 60%を提案している。また、EU 諸国では今後 FSBP%の cut-off 値に対して基準値を決定する方向にあると聞いている。フィンランド、スウェーデン、イギリスでは cut-off 値 60%を採用しており、レイノー現象の臨床症状と一致しない時には、つまり、レイノー現象があるにも関わらず、FSBP%が異常値を示さない場合には、半年、1 年後、2 年後に再検査を行なって判断するとしている。

## 2 まとめ

- (1) 対照群 87 例、振動ばく露群 112 例の FSBP%を 6 施設で測定した。
- (2) 振動ばく露群をレイノー現象が過去もなし群 11 例、過去はあったが現在は出現しない群 31 例、現在も出現する群 70 例のサブグループに分類した。
- (3) 測定室温は施設により 2 種類 (21℃、23℃)、または 3 種類 (21℃、23℃、24℃) の室温で測定した。
- (4) 測定時間間隔は最低 30 分以上の間隔をあけた。
- (5) 対照群 (非振動ばく露群) では施設間の FSBP%の測定値に有意差はなかった。
- (6) 対照群と振動ばく露群を全体として比較すると、室温 21℃群、室温 23℃群のいずれにおいても有意差があり、後者の値が小さかった。
- (7) 対照群と過去レイノー現象あり群との間、対照群と現在レイノー現象あり群との間には FSBP%の平均値に有意差を認めたが、対照群とレイノー現象なし群の間では FSBP%の値に有意差はなかった。
- (8) 振動ばく露群のサブグループ間では現在レイノー現象あり群と過去レイノー現象あり群及びレイノー現象なし群との間には有意差があり、いずれも現在レイノー現象あり群の FSBP%値が小さかった。しかしながら過去レイノー現象あり群とレイノー現象なし群の間には有意差はなかった。
- (9) 検査室でのレイノー現象ありと認める世界的な合意事項である FSBP%がゼロの症例は、室温が 20℃台で 65 例中 6 例 (9.2%)、室温が 21℃台で 35 例中 5 例 (14.3%)、室温が 22℃台で 64 例中 6 例 (9.4%)、室温が 23℃台で 38 例中 2 例 (5.3%)、室温が 24℃台で 47 例中 2 例 (4.3%) あった。
- (10) 室温 21℃群と 23℃群で測定された FSBP%の間には有意相関が認められた。
- (11) 診断精度は FSBP%の cut-off 値は 70～60%の値にあると考えられたが、EU 諸国の動

きから cut-off 値 60%を提案する。

## IV 振動障害の検査手技に係る国際標準化の動向

### 1 国際標準化の現状

国際標準化機構（ISO/TC 108/SC 4、機械衝撃と衝撃の人体への影響）において、検査手技の国際標準化作業の取り組みが行われ、知覚機能検査法については2001年に国際標準が示され、2003年には評価法も示されており、また、末梢循環機能評価法についても2005年に国際標準が示されている。

### 2 末梢循環系検査の国際標準化作業

#### (1) 冷水浸漬皮膚温検査

ISOでの検討では、両手を冷水に浸漬し、手指皮膚温の変動を測定して末梢循環機能を評価する方法が採用されており、その変動の測定は、手指に装着したsensor若しくは赤外線による非接触式のpoint thermometry又は一定の面積の皮膚温を測定する非接触式のthermographyにより行うこととされている。

冷水浸漬検査に用いる冷水温度については12°C、浸漬時間については5分とすることが標準として示されている。

冷水浸漬中は薄い手袋を装着し、浸漬後の水分付着による蒸散熱の影響の除去、浸漬時の冷水刺激による苦痛の軽減を図ることが提案されており、また、少なくとも浸漬前2分から浸漬中（非接触式測定の場合は除く）、浸漬終了後少なくとも15分まで全10指の皮膚温測定を1分以下の間隔で測定し評価することとされている。

なお、評価指標については、手指皮膚温実値、浸漬前値に対する回復率、一定皮膚温値までの回復時間等が文献的に検討されているが、ISOの検討では、まだ特定されていない。

#### (2) 局所冷却による指動脈血圧検査

局所冷却による指動脈血圧検査は、Segmental coolingによる指動脈血圧の変化の測定（FSBP%）により末梢循環機能を評価する方法であるが、その方法としては主に二つあり、一つは、冷水環流カフを検査指の中節に装着し冷却して血圧を測定し、かつ、空気カフを基準となる同側非冷却指（対照指）の中節に装着し血圧を測定する方法である。

もう一つは、同側の4本の検査指（通常、人差指から小指）と対照指1本を検査する方法で、母指と小指では基節、他の3指は手指中節にカフを装着する。通常、母指は対照指であり空気カフを用いて血圧を測定し、他の4指には冷水環流カフを用いて冷却し血圧を測定する方法である。

手指血圧の検出には、手指末節に装着したplethysmography sensor（strain-gauge、photocell、doppler-shift等）を用い、手指に装着したカフの圧力を暫減し、血流再開時のカフ圧から求める。

ISOでは、冷却負荷に用いる環流水の温度として30°C、15°C、10°Cが挙げられ、冷却時間は5分とされている。また、室温については21±1°Cの条件が採用されている。

検査は両手で行うことが原則とされているが、片手のみしか検査できない場合は症状の強い手を選択して検査することとされている。

また、測定は母指を非冷却の対照指、他4指を冷却指として同時に行うこと（上記後者の方法）が望ましいとしているが、検査装置の制限があれば利き手において症状が最も強い手指を冷却測定すること（上記前者の方法）が適当とされている。

負荷は冷水温度の高い順から行ない、15℃の負荷で vasospasm が観察された場合、10℃の負荷は不要であるとされている。

なお、FSBP%法で現在、国際的に合意されている事項としては、1994年の Stockholm Workshop において、レイノー現象の客観的診断方法の一つとして、国際的に冷却負荷時の FSBP がゼロの場合にはレイノー症状の存在を確認できるとされている。

### 3 末梢神経系検査の国際標準化作業

ISO では、「振動感覚閾値検査」の標準化が行われており、測定法及び評価法について国際規格が示されている。測定対象は手指尖であり、他の身体部位は対象にしていない。

また、一過性の閾値変動の測定も対象にされていない。ISO 規格の指尖における振動感覚閾値の測定では、手指尖に分布するとされる SA I (Merkel disks)、FA I (Meissner corpuscles)、FA II (Pacini corpuscles) の3種類の機械受容器の機能を測定するために、代表的な検査周波数を 4 Hz、31.5 Hz、125 Hz としている。その際、振動子の周囲に対照板 (surround) を設置せず測定する方法 (A 法)、対照板 (surround) を設置して測定する方法 (B 法) が示されている。

測定方法については、刺激強度を上昇させて閾値を測定する方法 (上昇法) と刺激強度を減じて閾値を測定する方法 (下降法) があるが、各測定値間の差は 10 dB 以内で、両方法における平均値の差は 6 dB 以内であることが求められている。

検査室温は、20℃から 30℃の範囲とされ、検査部位の皮膚温は、27℃から 36℃であることが要求されている。

評価法については、同一被検者に対して異なる日に繰り返し測定された振動感覚閾値を用いての再現性や測定結果の表示法が示されている。後者については、同一被検者の知覚鈍麻の進行や回復過程を経時的に追跡するための「相対閾値変動」 (relative threshold shift) と健常者の閾値からの差を評価するための「基準閾値変動」 (reference threshold shift) を、検査周波数と「閾値変動」の図 (tactogram) で表す様式が示されている。

さらに、SA I、FA I、FA II の3種類の機械受容器それぞれについて、対応する検査周波数における「相対閾値変動」 (relative threshold shift) 又は「基準閾値変動」 (reference threshold shift) の平均値を用いて表す「総合閾値変動」 (population threshold shift) の表示方法が示されている。

なお、参考として 30 歳の健常者における振動感覚閾値が、2.5、15、50、85、97.5 percentile で示されており、50 percentile 値を「基準閾値変動」 (reference threshold shift) の算出・評価に用いることが推奨されている。

## V 現行検査手技の医学的妥当性と有効性の限界

### 1 特殊健康診断と現行検査手技

さく岩機、チェーンソー等の振動工具を取り扱う労働者に発生する振動障害の業務上外の判断は、昭和52年5月28日付け基発第307号「振動障害の認定基準について」に基づき行われることとされており、末梢循環障害、末梢神経障害及び運動機能障害の把握は、原則として、当該認定基準の別添1「振動障害に関する検査項目及び検査手技について」に掲げる検査によるものとされている。

なお、サーモグラフィー、血管撮影、筋電図、神経伝導速度等個々の事案に応じて医師が有効であると判断する方法により、末梢循環障害、末梢神経障害及び運動機能障害の検査を行っているときは、その結果を参考とすることとされている。

ところで、現行の検査方法は、振動障害の予防のための検査方法「振動障害の取扱い業務に係る特殊健康診断の実施手技について」（昭和50年10月20日付け基発第609号）をほとんど採用したものとなっている。

チェーンソー等手持ち振動工具を取扱う作業者に生じる振動障害の予防対策としては、低振動工具の選定、点検整備、作業時間の制限、保護具の着用等の作業環境及び作業の管理に加え、振動障害特殊健康診断及びその結果に基づく事後措置等の健康管理が行われている。

健康診断の項目は、多くの研究から末梢循環障害、末梢神経障害及び運動機能障害の病態把握に有効な検査項目が採択されたのであるが、多数の振動工具取扱い作業者を対象とする健康診断であること、振動による身体影響の有無をスクリーニングする健康診断であること等から、比較的手技が簡易で、被検者の協力を前提とした検査が大部分を占めている。

したがって、振動障害の業務上外の認定、すなわち、振動障害の病態の把握、診断、治療の要否を判定する際において、これらの検査方法の中には、その有効性の限界が存在する項目も含まれている。

### 2 現行検査手技に係る指摘事項

現行の振動障害に係る検査項目、検査手技の問題点として、従来から医療関係者や成書等により指摘がなされていた下記の内容について検討したが、検討会は指摘内容が概ね妥当であると考える。

#### (1) 末梢循環機能検査

##### ア 皮膚温（常温・冷水浸漬（5℃））

###### (ア) 検査手技

常温、冷水浸漬中（6分から1分毎に）、冷水浸漬直後、5分後、10分後に皮膚温計により手指の皮膚温を測定する。

###### (イ) 指摘事項

冷却刺激が強く全身血圧の著明な上昇が起こる場合があり、心血管系に危険を及ぼす可能性がある。

##### イ 爪圧迫（常温・冷水浸漬（5℃））

(ア) 検査手技

常温、冷水浸漬直後、5分後、10分後に、被検者の爪の部分を検者の手の母指と示指で挟み10秒間強く押さえ、離れた後、爪の退色が元に戻るまでの時間を測定する。その際、被検者の手の高さは心臓の高さとする。

(イ) 指摘事項

検者の肉眼で判定しているため、客観性に欠ける。検者の巧緻に左右される。測定値の再現性に問題があり、精度管理の困難さが指摘されている。

(2) 末梢神経機能検査

ア 痛覚（常温・冷水浸漬（5℃））

(ア) 検査手技

常温、冷水浸漬直後、5分後、10分後に、手指の皮膚の薄い部位の小範囲について痛覚計の先で軽く4～5回突き、痛覚の有無を検査する。その際、被検者に軽く目を閉じさせる。

(イ) 指摘事項

被検者の応答に依存する等客観性に乏しい。また、被検者の皮膚の角質層の厚さ、角化の程度や加齢により痛覚閾値への影響が生じる。なお、強く突いた場合には痛覚計の針を交換する等、感染症対策に留意すべきである。

イ 指先の振動覚（常温・冷水浸漬（5℃））

(ア) 検査手技

常温、冷水浸漬直後、5分後、10分後に、指先を軽く振動子に接触させて振動感覚を検査する。その際、被検者に軽く目を閉じさせる。

(イ) 指摘事項

被検者の応答に依存する。振動子への指の圧迫力等の測定条件等、検査の客観性に乏しい。加齢による閾値の上昇が生じる。

(3) 運動機能検査

ア 握力（最大握力、瞬発握力）

(ア) 検査手技

直立し、腕を伸ばした状態で左右とも最大努力させ、5秒間隔で2回測定する（5回法の最初の2回値を採用する。）。

(イ) 指摘事項

被検者の最大努力が評価の前提となり、検査結果の客観性が問題視される。

イ 維持握力（5回法）

(ア) 検査手技

直立し、腕を伸ばした状態で左右とも最大努力させ、5秒間隔で左右交互にこれを5回繰り返し、1回目及び2回目の値のうち大きい方の値と4回目及び5回目の値のうち小さい方の値との差を測定する。

(イ) 指摘事項

被検者の最大努力が評価の前提となり、検査結果の客観性が問題視される。

ウ 維持握力（60%法）

(ア) 検査手技

椅座位で握力計を机の上にのせ、肘を約 90° に曲げた姿勢で手掌を上に向け、瞬発握力の 60%の値を被検者に針を見せながら保持させ、維持できる時間を測定する。

なお、検査は 5 回法の実施後、10 分以上の時間をあけて行うこと。

(イ) 指摘事項

被検者の握力の大小により、負荷握力に差が生じ、検査値として測定される維持握力時間が必ずしも筋の持久力を反映しない。

エ つまみ力

(ア) 検査手技

母指を下に測定指を上にし、測定指の遠位指節関節を伸展させ、他の指を軽く伸ばした状態で母指と示指及び中指間のつまみ力を測定する。

(イ) 指摘事項

被検者の最大努力が評価の前提となり、検査結果の客観性が問題視される。

オ タッピング

(ア) 検査手技

タッピング測定器を用い、椅座位で左手、右手を交互に示指及び中指を 1 指ずつ 30 秒間できるだけ早く打たせ、30 秒値を測定する。

(イ) 指摘事項

本人の意思、指機能の器用さ等に左右される。

## VI 新たな検査手技に係る評価基準の策定

### 1 実証検査の実施状況

#### (1) 実証検査の実施計画

検討会では、平成13年報告書により労災認定において現行の検査手技に代わり得る有用な検査手技としての可能性が示唆された検査手技及びISOにおける国際標準化作業が進められている検査手技について、同一の被検者に対して実証検査を実施し、その結果の分析と評価を行った上で検査体系について検討することとした。このため、「振動障害検査手技に係る実証検査実施計画」が策定された。

実証検査を行う検査手技は、末梢循環機能検査として、冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）（ISO基準）、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査、局所冷却による指動脈血圧検査（ISO基準）、末梢神経機能検査として、振動感覚閾値検査（ISO基準）、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査、運動機能検査として、MRIによる筋の機能評価検査の7検査である。

#### (2) 実施医療機関及び実施時期

実証検査は、機構岩見沢労災病院及び美唄労災病院（以下「労災病院」という。）並びに徳島健康生活協同組合徳島健生病院（以下「徳島健生病院」という。）で実施することとした。

また、実証検査の実施時期は、労災病院は平成16年12月～平成17年2月、徳島健生病院は平成16年11月～12月に実施することとした。

#### (3) 被検者の選定基準

被検者（検査対象者）は、50歳以上70歳未満の男性とした。

また、振動障害療養者（以下「振動障害群」という。）については、振動障害の治療歴が10年未満（可能な限り短期間）であって鑑別すべき疾患の認められない者、コントロール（以下「対照群」という。）については、振動業務の従事歴がなく鑑別すべき疾患の認められない者とした。

#### (4) 被検者数

実証検査の予定被検者数については、選定基準に基づいた被検者の確保等を考慮して総数で80名～100名とし、振動障害群55名～65名、対照群25名～35名とした。

また、医療機関別では、労災病院は45名～55名とし、振動障害群30名～35名、対照群15名～20名とした。また、徳島健生病院では35名～45名とし、振動障害群25名～30名、対照群10名～15名とした。

#### (5) 被検者への説明と健康状態等の把握

実証検査の実施に際して、被検者には事前に説明書を用いて検査目的、検査方法、予想

される健康影響、個人情報取扱い等について説明し、実証検査への参加の同意を得た上で検査を実施した。

検査の実施に先だって、被検者の健康状態等を把握するため、診察、血圧測定等を実施するとともに、振動障害群に対しては、振動業務従事歴、振動業務の内容、傷病等の有無とその状態、喫煙や飲酒の有無等について、対照群に対しては、業務内容、振動工具の使用の有無、傷病等の有無とその状態、喫煙や飲酒の有無等について、調査票を用いた調査を実施した。振動障害群に対しては、少なくとも検査日の3日前から検査に影響する可能性のある薬剤治療を中止するよう求めた。

また、振動障害群については、診察所見、自覚症状、振動工具使用歴等から末梢循環障害、末梢神経障害、運動機能障害についての症度分類を行うこととし、末梢循環障害及び末梢神経障害については、厚生労働省労働基準局の「振動障害の治療指針」(昭和61年10月)の自覚症状・身体所見及び検査成績の症度区分表の自覚症状・身体所見(S)のS<sub>0</sub>～S<sub>3</sub>を用いることとした。これと同時にストックホルム・ワークショップスケールによる症度分類とも比較することとした。

## (6) 実施状況と実施結果

徳島健生病院における実証検査は、平成16年11月13日～12月12日の間に振動障害群30名、対照群10名の計40名に実施した。

また、労災病院における実証検査は、美唄労災病院では、平成16年12月20日～平成17年1月28日の間に振動障害群13名、対照群10名の計23名に実施し、岩見沢労災病院では、平成17年2月5日～2月26日の間に振動障害群16名、対照群12名の計28名に実施した。

これにより、実証検査における総被検者数は、振動障害群59名、対照群32名の計91名となった。

なお、一部の検査において被検者の健康状態や検査機器の不具合により実施できないものがあった。

## 2 分析対象者の属性

### (1) 分析対象者

実証検査は、振動障害群59名、対照群32名の計91名に対して実施されたが、投薬、年齢、振動障害以外の疾患等による被検者の検査数値への影響を排除するため、個別症例ごとに投薬、年齢、他疾患等の影響について精査し、最終的に①検査当日に服薬のないこと、②振動障害類似の疾患がないこと、③振動障害群と対照群の平均年齢を集団マッチングさせるために当初の年齢条件(50歳～69歳)を満足することを分析対象者の選定要件とした。

この結果、分析対象者は、振動障害群31名、対照群25名となった。すなわち、振動障害群59名のうち、検査に影響すると考えられる合併症が認められたもの、検査に影響すると判断される薬剤を検査当日に服用したもの及び年齢又は治療歴が選定基準を満たさな

表VI-1 実証検査実施医療機関別の分析対象者数

区分	分析対象者等	年齢 ( $m \pm S D$ )	医療機関別内訳		
	人数 (人)		徳島健生病院	美唄労災病院	岩見沢労災病院
振動障害群	31	60.3 $\pm$ 5.1	28	0	3
手指レイノー症状(+)	10	59.9 $\pm$ 5.6	7	0	3
手指レイノー症状(-)	21	60.4 $\pm$ 5.0	21	0	0
対照群	25	59.5 $\pm$ 5.1	9	9	7

かったもの計 28 名についてはこの分析対象者から除外した。同様に対照群 32 名からは、検査に影響すると判断される薬剤を検査当日に服用したもの、症状はなかったが過去に職業的な振動ばく露があったもの及び年齢が選定基準を満たさなかったもの計 7 名を分析対象者から除外した。ただし、丸鋸や草刈機など職業的な使用が累積 1000 時間以内の 3 名は対照群に含めた。

振動障害群及び対照群に係る実証検査実施医療機関別の分析対象者は表VI-1 に示すとおりである。

(2) 振動障害群の年齢、振動工具使用年数、症度区分等

分析対象とした振動障害群 31 名の年齢、業種、振動工具使用年数、使用した主な振動工具、治療期間、症度区分等は以下のとおりである。

なお、症度区分等とは、厚生労働省による末梢循環障害及び末梢神経障害の自覚症状・身体所見に係る症度区分（以下「厚生労働省 VS 区分」及び「厚生労働省 NS 区分」という。）並びにストックホルム・ワークショップスケールによる末梢循環障害（レイノー現象）（以下「SWS-R」という。）及び末梢神経障害（知覚神経機能）（以下「SWS-N」という。）に係る症度分類を示すものである。

振動障害群の年齢については、50 歳～67 歳であり、平均±標準偏差は 60.3 $\pm$ 5.1 歳となっている。

業種等については、建設業 21 名、林業 7 名、その他として鉋業など 3 名となっている。

振動工具の使用年数については、15 年～43 年であり、平均は 32 年となっている。

使用した主な振動工具については、バイブレーター、ピックハンマー、チェンソー、さく岩機等となっている。

治療期間については、6 か月～5 年であり、平均は 2 年 3 か月となっている。

症度区分等については、厚生労働省 VS 区分では、S<sub>1</sub>が 9 名、S<sub>2</sub>が 16 名、S<sub>3</sub>が 6 名となっており、厚生労働省 NS 区分では、S<sub>1</sub>が 4 名、S<sub>2</sub>が 13 名、S<sub>3</sub>が 14 名となっている。一方、SWS-R では、症度 0 が 21 名、症度 1 が 1 名、症度 2 が 6 名、症度 3 が 3 名となっており、SWS-N では、症度 1 が 4 名、症度 2 が 20 名、症度 3 が 7 名となっている。

なお、分析対象とした振動障害群の年齢階層別症状区分等については、表VI-2 及び表VI-3 のとおりである。

表VI-2 振動障害群の年齢階層別症度区分（厚生労働省の症度区分）

(人)

年齢階層	VS				NS			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
50～54歳	—	2	3	1	—	1	2	3
55～59歳	—	2	4	1	—	1	4	2
60～64歳	—	2	5	3	—	2	3	5
65～69歳	—	3	4	1	—	—	4	4
合計	—	9	16	6	—	4	13	14

注 VSは末梢循環障害の自覚症状・身体所見の症度、NSは末梢神経障害の自覚症状・身体所見の症度を示している。

表VI-3 振動障害群の年齢階層別症度分類

(ストックホルム・ワークショップスケールの症度分類)

(人)

年齢階層	SWS-R					SWS-N			
	症度0	症度1	症度2	症度3	症度4	症度0	症度1	症度2	症度3
50～54歳	4	1	—	1	—	—	—	5	1
55～59歳	5	—	1	1	—	—	3	3	1
60～64歳	6	—	3	1	—	—	1	6	3
65～69歳	6	—	2	—	—	—	—	6	2
合計	21	1	6	3	—	—	4	20	7

注 SWS-Rは末梢循環障害（レイノー現象）の症度、SWS-Nは末梢神経障害（知覚神経機能）の症度を示している。

### (3) 対照群の年齢、職種等

分析対象とした対照群25名の年齢については、50歳～68歳であり、平均±標準偏差は59.5±5.1歳となっている。

また、職種については、事務職、医療従事者のほか、運転手、農業従事者等が含まれている。

## 3 実証検査結果

### (1) 冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）

振動障害群及び対照群に対して、ISO/DIS 14835-1（現在：ISO 14835-1）に準じた冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）を実施した。

#### ア 対象

本検査を実施できた被検者は振動障害群55名、対照群32名であった。このうち、分析対象者として採用された者は、前記2の(1)と同一の振動障害群31名と対照群25名である。

#### イ 方法

ISO/DIS 14835-1（現在：ISO 14835-1）に準じた冷水浸漬皮膚温検査を実施した。

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る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、冷水浸漬皮膚温検査を行なった。冷水温度は  $12 \pm 0.5^\circ\text{C}$  に維持し持続的に攪拌することとした。両手関節まで浸漬して浸漬時間は5分間とし、浸漬直前に薄い防水手袋を着用し浸漬終了後に外した。手指皮膚温は全10指尖にサーミスタを装着し1分間隔で測定した。測定は安静5分間、浸漬5分間、浸漬終了後15分間の計25分間行った。

#### ウ 結果

振動障害群のうち1名は外傷のため右手のみ検査を実施したので、分析対象数は左右で1名分異なっている。また、ごく少数の測定値に欠損がみられたが、主要な分析対象である冷水浸漬前5分目、浸漬中5分目、浸漬終了後5分、10分、15分目には欠損値はなかった。従って表A1を除いてその影響は含まれていない。手指皮膚温の動態は母指と他の4指で若干異なり、また、振動障害者のレイノー症状は母指に出現することが少ないことから、解析は、母指を除いた4指と母指のみに分けて行った。

#### (ア) 基礎統計

表A1に手指レイノー症状有無別の振動障害群及び対照群の冷水浸漬前から浸漬終了後までの25分間の手指皮膚温値を比較して示した。ここでは、左右の手毎に母指を除いた4指を合わせたものについて、それぞれ中央値 (median) と4分位範囲 (IQR) を用いて示し、各群間と指間及びその交互作用に関する2元配置分散分析の結果を示している。左右の母指についても同様に示したが検定は行っていない。母指を除く4指の皮膚温は、冷水浸漬前において左右とも手指レイノー症状有症者が低い傾向にあり、右手において群間要因の一部は統計的に有意であった ( $P < 0.05$ )。しかし、群間の差は冷水浸漬中から減少し冷水浸漬終了後にかけてみられなくなった。

#### (イ) 分析結果

表A2～A4に冷水浸漬前5分目、浸漬中5分目、浸漬終了後5、10、15分目の手指皮膚温の敏感度と特異度を示した。ここでも左右の手毎に母指を除いた4指を合わせたものと、参考として母指についても示している。基準値 (cut-off value) としては対照群の各測定時点における左右の母指を除いた8指の皮膚温に基づいて、表内に示すような5%値と25%値に近く区切りのよい値を設定した。

表A2に示すように、母指を除く4指における対照群の特異度は、「5%基準値」で90～95%程度、「25%基準値」で65～75%程度であった。手指レイノー症状を有する振動障害群の敏感度は、冷水浸漬前5分において「5%基準値」で30～35%、「25%基準値」で40～50%であり、手指レイノー症状を有しない振動障害群の敏感度は、「5%基準値」で12%前後、「25%基準値」で30%前後であった。しかし、冷水浸漬中及び浸漬終了後は手指レイノー症状を有する振動障害群も有しない振動障害群も敏感度は低下した。一方、母指における対照群の特異度は、「5%基準値」で100%、「25%基準値」で75～100%であった。手指レイノー症状を有する振動障害群の敏感度は冷水浸漬前5分において「5%基準値」で30%前後、「25%基準値」で35～50%であ

表A1 手指レイノー症状有無別の手指皮膚温の比較 (分散分析は母指を除く4指について)

	右 手												2元配置分散分析		
	振動障害群 VWF (+)(n=8)				振動障害群 VWF (-)(n=23)				対照群 (n=25)						
	4指		母指		4指		母指		4指		母指		Factors & interaction		
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Group	Finger	Grp.Fng
BE1RT	28.39	11.41	28.55	10.07	30.29	7.43	30.17	6.52	29.11	7.49	30.63	6.03	0.091	0.093	1.000
BE2RT	28.23	11.64	28.62	10.44	30.25	7.77	29.94	6.84	30.45	7.22	30.92	6.34	0.098	0.992	1.000
BE3RT	28.28	11.44	28.72	10.50	30.26	8.13	29.78	6.53	30.89	7.45	31.42	6.68	0.078	0.991	1.000
BE4RT	28.30	11.39	28.60	10.46	30.34	8.13	29.69	6.53	31.13	7.52	31.76	6.41	0.073	0.995	1.000
BE5RT	28.28	11.38	28.87	10.20	30.33	8.32	29.91	7.10	31.40	7.74	31.85	6.40	0.067	0.994	0.999
DU1RT	18.90	4.45	20.29	6.08	20.03	4.06	20.83	3.09	20.10	4.30	21.63	3.47	0.279	0.329	0.994
DU2RT	16.63	3.95	17.98	5.25	17.09	2.94	18.53	2.42	16.70	2.77	18.92	2.48	0.788	0.143	1.000
DU3RT	15.14	4.03	16.34	4.83	15.18	2.10	17.04	2.24	14.90	1.81	17.20	2.05	0.276	0.117	1.000
DU4RT	14.07	3.11	15.27	4.62	14.17	1.59	15.84	2.06	14.00	1.40	16.10	1.43	0.144	0.209	1.000
DU5RT	13.46	2.48	14.52	4.10	13.65	1.34	15.00	2.07	13.50	1.03	15.40	1.41	0.202	0.279	1.000
AF1RT	14.68	3.20	16.24	5.73	14.84	1.98	16.81	2.36	14.94	1.59	17.00	2.04	0.175	0.227	0.999
AF2RT	15.31	3.94	16.55	5.94	15.58	2.64	17.37	2.47	15.40	1.82	17.50	2.51	0.358	0.375	0.999
AF3RT	15.57	4.19	16.97	6.83	16.06	3.14	17.89	3.82	15.75	2.27	17.90	3.42	0.408	0.475	0.998
AF4RT	15.85	4.54	17.34	8.67	16.44	3.71	18.25	6.95	16.18	2.61	18.30	4.52	0.526	0.509	0.998
AF5RT	16.30	5.13	17.78	10.63	16.91	3.90	18.62	7.58	16.51	3.06	18.60	5.36	0.646	0.552	0.999
AF6RT	16.55	5.78	18.17	11.83	17.16	4.40	18.85	8.82	16.78	3.44	18.90	5.75	0.645	0.566	1.000
AF7RT	16.84	6.41	18.56	12.22	17.42	5.29	19.07	10.94	17.01	3.60	19.00	7.19	0.702	0.543	1.000
AF8RT	17.15	6.65	18.99	12.11	17.62	5.56	19.31	10.83	17.30	4.37	19.06	10.28	0.796	0.573	1.000
AF9RT	17.32	7.57	19.44	12.17	17.85	6.73	19.51	11.46	17.88	5.20	19.23	10.98	0.885	0.574	1.000
AF10RT	17.54	7.93	19.77	12.13	18.04	7.94	19.77	12.32	18.20	6.66	19.60	11.69	0.982	0.635	1.000
AF11RT	17.76	10.06	20.17	12.26	18.40	10.02	20.03	12.87	18.58	8.60	20.32	12.20	0.975	0.653	1.000
AF12RT	18.02	10.36	20.48	12.74	18.64	11.34	20.18	12.73	18.78	8.63	20.81	12.24	0.959	0.707	0.999
AF13RT	18.15	10.71	20.85	13.08	19.12	11.78	20.38	13.26	19.24	9.94	22.56	12.27	0.991	0.740	0.999
AF14RT	18.31	10.74	21.09	13.34	19.28	12.97	20.55	13.61	19.35	9.07	24.00	11.91	0.937	0.791	0.999
AF15RT	18.53	10.77	21.40	12.81	19.32	13.79	20.64	13.21	19.53	10.04	24.20	12.22	0.975	0.809	0.998

(注) BE1RT 冷水浸漬前1分、DU1RT 冷水浸漬中1分、AF1RT 冷水浸漬後1分

	左 手												2元配置分散分析		
	振動障害群 VWF (+)(n=9)				振動障害群 VWF (-)(n=21)				対照群 (n=25)						
	4指		母指		4指		母指		4指		母指		Factors & interaction		
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Group	Finger	Grp.Fng
BE1LT	28.49	10.66	31.41	10.60	31.82	8.17	31.79	6.15	28.82	7.66	29.47	7.11	0.042	0.985	1.000
BE2LT	28.56	10.89	31.68	10.87	31.82	8.44	31.79	6.24	30.15	8.22	31.10	7.62	0.047	0.992	1.000
BE3LT	28.70	11.13	31.98	10.88	31.65	8.79	31.62	5.83	31.16	8.42	32.10	7.89	0.058	0.990	1.000
BE4LT	28.70	11.24	31.73	10.99	31.85	9.13	31.53	6.20	31.03	8.34	32.22	7.55	0.068	0.992	1.000
BE5LT	28.69	11.28	31.83	11.02	31.92	9.46	31.70	6.52	31.22	8.58	32.20	7.73	0.075	0.990	1.000
DU1LT	18.55	5.73	19.89	4.92	19.88	4.29	21.90	4.23	19.15	4.00	20.70	4.86	0.495	0.614	0.963
DU2LT	16.21	4.54	18.04	4.56	16.57	2.82	18.92	3.66	16.38	2.42	17.90	3.64	0.511	0.375	0.986
DU3LT	14.80	2.90	17.04	4.20	14.93	1.83	17.05	3.23	14.81	1.83	16.28	3.30	0.210	0.524	0.994
DU4LT	13.91	2.18	16.19	3.55	13.97	1.50	15.82	2.57	13.96	1.38	15.10	2.45	0.134	0.651	0.995
DU5LT	13.26	1.80	15.37	3.32	13.40	1.28	15.06	2.17	13.40	1.06	14.43	1.99	0.146	0.755	0.998
AF1LT	15.11	3.27	17.55	4.74	14.74	2.02	16.90	1.74	14.70	1.40	16.60	2.06	0.118	0.734	0.999
AF2LT	15.77	4.10	18.27	5.41	15.54	2.59	17.12	2.21	15.38	1.83	17.12	2.33	0.247	0.750	0.997
AF3LT	16.31	4.27	18.81	5.81	16.17	3.00	17.31	2.97	15.93	2.48	17.49	3.12	0.480	0.855	0.999
AF4LT	16.70	4.59	19.96	6.28	16.84	3.72	17.80	3.59	16.29	2.69	17.74	3.67	0.715	0.917	1.000
AF5LT	17.02	4.56	20.71	7.04	17.39	4.24	18.41	3.77	16.63	3.02	17.87	4.02	0.839	0.922	1.000
AF6LT	17.29	5.04	21.30	7.97	17.80	4.96	18.52	3.93	17.00	3.67	18.30	4.53	0.809	0.923	1.000
AF7LT	17.58	5.02	21.90	8.67	18.11	5.08	18.71	4.37	17.26	3.84	18.48	6.07	0.816	0.895	0.999
AF8LT	17.72	5.17	22.46	9.20	18.32	5.57	19.01	4.55	17.58	4.15	18.87	7.28	0.797	0.882	0.999
AF9LT	18.02	5.17	22.86	9.21	18.60	6.46	19.22	5.68	18.03	4.71	18.90	8.62	0.796	0.855	0.999
AF10LT	18.12	5.31	23.31	9.34	18.82	7.08	19.34	8.05	18.25	5.50	19.34	9.80	0.661	0.875	0.999
AF11LT	18.35	5.22	23.88	9.04	19.18	8.18	19.53	8.41	18.53	6.88	19.69	10.47	0.608	0.866	0.999
AF12LT	18.40	5.60	24.27	9.66	19.86	8.41	19.90	8.59	18.89	8.38	19.79	11.08	0.577	0.868	0.998
AF13LT	18.59	5.49	24.74	10.09	20.28	10.43	20.20	8.59	19.29	10.17	21.02	11.24	0.520	0.848	0.997
AF14LT	18.73	5.78	24.88	10.09	20.49	12.67	20.46	9.08	19.43	10.02	21.55	11.12	0.368	0.869	0.997
AF15LT	19.02	5.63	25.16	10.05	20.68	13.35	20.76	10.51	19.62	10.72	21.70	11.73	0.272	0.889	0.998

表A 2 手指皮膚温検査における敏感度(Sn)と特異度(Sp)、手指レイノー症状有無による比較

		右 手								対 照 群											
Time	point	5%基準値				25%基準値				Cut-off 値		5%基準値				25%基準値					
		振動障害群 VWF(+)		振動障害群 VWF(-)		振動障害群 VWF(+)		振動障害群 VWF(-)		Percentile		4指 (N=100)		母指 (N=25)		4指 (N=100)		母指 (N=25)			
		n	Sn (%)	n	Sn (%)	5th	25th	n	Sp (%)	n	Sp (%)	n	Sp (%)	n	Sp (%)						
Be5Rt	10	31.3	25.0	2	8.7	10	50.0	2	50.0	16	27.2	26.00	23.00	25	100.0	25	100.0	78	84.0	21	84.0
Du5Rt	3	9.4	0.0	0	0.0	3	37.5	0	0.0	12	23.9	13.00	12.50	25	100.0	25	100.0	74	74.0	25	100.0
Af5Rt	3	9.4	12.5	1	0.0	2	37.5	2	25.0	12	30.4	16.00	15.00	25	100.0	25	100.0	70	70.0	23	92.0
Af10Rt	3	9.4	12.5	1	0.0	1	40.6	2	25.0	13	25.0	17.00	16.00	25	100.0	25	100.0	78	78.0	23	92.0
Af15Rt	4	12.5	12.5	1	0.0	7	28.1	2	25.0	9	29.3	18.00	17.00	25	100.0	25	100.0	73	73.0	23	92.0

		左 手								対 照 群											
Time	point	5%基準値				25%基準値				Cut-off 値		5%基準値				25%基準値					
		振動障害群 VWF(+)		振動障害群 VWF(-)		振動障害群 VWF(+)		振動障害群 VWF(-)		Percentile		4指 (N=100)		母指 (N=25)		4指 (N=100)		母指 (N=25)			
		n	Sn (%)	n	Sn (%)	5th	25th	n	Sp (%)	n	Sp (%)	n	Sp (%)	n	Sp (%)						
Be5Lt	12	33.3	33.3	3	4.8	11	38.9	3	33.3	14	34.5	26.00	23.00	25	100.0	25	100.0	66	66.0	19	76.0
Du5Lt	9	25.0	0.0	0.0	0.0	7	33.3	1	11.1	12	29.8	13.00	12.50	25	100.0	25	100.0	69	69.0	25	100.0
Af5Lt	5	13.9	0.0	0.0	0.0	1	38.9	2	22.2	14	33.3	16.00	15.00	25	100.0	25	100.0	61	61.0	25	100.0
Af10Lt	5	13.9	0.0	0.0	0.0	1	30.6	1	11.1	11	23.8	17.00	16.00	25	100.0	25	100.0	74	74.0	25	100.0
Af15Lt	6	16.7	0.0	0.0	0.0	5	33.3	1	11.1	12	29.8	18.00	17.00	25	100.0	25	100.0	72	72.0	24	96.0

表A 3 手指皮膚温検査における敏感度(Sn)と特異度(Sp)、SWS-Rによる比較

		右 手																								
Time point	5%基準値												25%基準値						Cut-off 値							
	St 0				St 1+2				St 3				St 0			St 1+2			St 3			Percentile				
	4指 (N=92)		母指 (N=23)		4指 (N=20)		母指 (N=5)		4指 (N=12)		母指 (N=3)		4指 (N=92)		母指 (N=23)		4指 (N=20)		母指 (N=5)		4指 (N=12)		母指 (N=3)		5th	25th
n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)			
Be5Rt	10	10.9	2	8.7	8	40.0	2	40.0	2	16.7	0	0.0	25	27.2	6	26.1	8	40.0	2	40.0	8	66.7	2	66.7	23.00	26.00
Du5Rt	3	3.3	0	0.0	3	15.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	22	23.9	0	0.0	8	40.0	0	0.0	4	33.3	0	0.0	12.50	13.00
Af5Rt	2	2.2	0	0.0	3	15.0	1	20.0	0	0.0	0	0.0	28	30.4	2	8.7	8	40.0	2	40.0	4	33.3	0	0.0	15.00	16.00
Af10Rt	1	1.1	0	0.0	3	15.0	1	20.0	0	0.0	0	0.0	23	25.0	1	4.3	8	40.0	2	40.0	5	41.7	0	0.0	16.00	17.00
Af15Rt	7	7.6	0	0.0	4	20.0	1	20.0	0	0.0	0	0.0	27	29.3	3	13.0	6	30.0	2	40.0	3	25.0	1	33.3	17.00	18.00

		左 手																								
Time point	5%基準値												25%基準値						Cut-off 値							
	St 0				St 1+2				St 3				St 0			St 1+2			St 3			Percentile				
	4指 (N=84)		母指 (N=21)		4指 (N=24)		母指 (N=6)		4指 (N=12)		母指 (N=3)		4指 (N=84)		母指 (N=21)		4指 (N=24)		母指 (N=6)		4指 (N=12)		母指 (N=3)		5th	25th
n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)			
Be5Lt	11	13.1	1	4.8	8	33.3	2	33.3	4	33.3	1	33.3	29	34.5	4	19.0	8	33.3	2	33.3	6	50.0	1	33.3	23.00	26.00
Du5Lt	7	8.3	0	0.0	6	25.0	0	0.0	1	8.3	0	0.0	25	29.8	0	0.0	8	33.3	1	16.7	4	33.3	0	0.0	12.50	13.00
Af5Lt	1	1.2	0	0.0	5	20.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	28	33.3	1	4.8	10	41.7	2	33.3	4	33.3	0	0.0	15.00	16.00
Af10Lt	1	1.2	0	0.0	5	20.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	20	23.8	0	0.0	8	33.3	1	16.7	3	25.0	0	0.0	16.00	17.00
Af15Lt	5	6.0	0	0.0	6	25.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	25	29.8	0	0.0	8	33.3	1	16.7	4	33.3	0	0.0	17.00	18.00

表A 4 手指皮膚温検査における敏感度(Sn)と特異度(Sp)、厚生労働省VS区分による比較

		右 手																								
Time point	5%基準値												25%基準値												Cut-off 値	
	S <sub>1</sub>				S <sub>2</sub>				S <sub>3</sub>				S <sub>1</sub>				S <sub>2</sub>				S <sub>3</sub>				Percentile	
	4指(N=36)		母指(N=9)		4指(N=64)		母指(N=16)		4指(N=24)		母指(N=6)		4指(N=36)		母指(N=9)		4指(N=64)		母指(N=16)		4指(N=24)		母指(N=6)		5th	25th
n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)			
Be5Rt	0	0.0	0	0.0	12	18.8	2	12.5	8	33.3	2	33.3	0	0.0	0	0.0	26	40.6	6	37.5	15	62.5	4	66.7	23.00	26.00
Du5Rt	0	0.0	0	0.0	3	4.7	0	0.0	3	12.5	0	0.0	1	2.8	0	0.0	20	31.3	0	0.0	13	54.2	0	0.0	12.50	13.00
Af5Rt	0	0.0	0	0.0	2	3.1	0	0.0	3	12.5	1	16.7	2	5.6	0	0.0	24	37.5	2	12.5	14	58.3	2	33.3	15.00	16.00
Af10Rt	0	0.0	0	0.0	1	1.6	0	0.0	3	12.5	1	16.7	1	2.8	0	0.0	21	32.8	1	6.3	14	58.3	2	33.3	16.00	17.00
Af15Rt	0	0.0	0	0.0	7	10.9	0	0.0	4	16.7	1	16.7	4	11.1	1	11.1	22	34.4	2	12.5	10	41.7	2	33.3	17.00	18.00

(注)S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>は厚生労働省VS区分を表す。

		左 手																								
Time point	5%基準値												25%基準値												Cut-off 値	
	S <sub>1</sub>				S <sub>2</sub>				S <sub>3</sub>				S <sub>1</sub>				S <sub>2</sub>				S <sub>3</sub>				Percentile	
	4指(N=36)		母指(N=9)		4指(N=64)		母指(N=16)		4指(N=20)		母指(N=5)		4指(N=36)		母指(N=9)		4指(N=64)		母指(N=16)		4指(N=20)		母指(N=5)		5th	25th
n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)	n	Sn (%)			
Be5Lt	0	0.0	0	0.0	18	28.1	3	18.8	5	25.0	1	20.0	0	0.0	0	0.0	33	51.6	5	31.3	10	50.0	2	40.0	23.00	26.00
Du5Lt	0	0.0	0	0.0	12	18.8	0	0.0	4	20.0	0	0.0	2	5.6	0	0.0	27	42.2	1	6.3	8	40.0	0	0.0	12.50	13.00
Af5Lt	0	0.0	0	0.0	3	4.7	0	0.0	3	15.0	0	0.0	3	8.3	0	0.0	29	45.3	2	12.5	10	50.0	1	20.0	15.00	16.00
Af10Lt	0	0.0	0	0.0	3	4.7	0	0.0	3	15.0	0	0.0	1	2.8	0	0.0	20	31.3	0	0.0	10	50.0	1	20.0	16.00	17.00
Af15Lt	0	0.0	0	0.0	7	10.9	0	0.0	4	20.0	0	0.0	2	5.6	0	0.0	25	39.1	0	0.0	10	50.0	1	20.0	17.00	18.00

り、手指レイノー症状を有しない振動障害群の敏感度は、「5%基準値」で5%程度、「25%基準値」で20~25%程度であった。他の4指と同様に、冷水浸漬中及び浸漬終了後は手指レイノー症状を有する振動障害群も有しない療養者も敏感度は低下した。

表A3にはSWS-Rの症度による比較を示した。症度3の振動障害群における母指を除く4指における敏感度は、冷水浸漬前5分において「5%基準値」で15~35%、「25%基準値」で50~65%であり、症度1-2の振動障害群の敏感度は、「5%基準値」で30~40%、「25%基準値」でも30~40%であった。症度0はレイノー症状を有しない振動障害群であり、その敏感度は上述したとおりである。また、冷水浸漬中及び浸漬終了後の敏感度の低下も上述のレイノー症状の有無による分類の場合と同様であった。母指における症度3の療養者の敏感度は、冷水浸漬前5分において「5%基準値」で20~40%、「25%基準値」で40~60%であり、症度1-2の振動障害群の敏感度は、「5%基準値」、「25%基準値」とも30~40%程度であった。症度0はレイノー症状を有しない振動障害群と同様であった。冷水浸漬中及び浸漬終了後は各症度において敏感度は低下した。

厚生労働省VS区分による比較を表A4に示した。症度3の振動障害群における母指を除く4指における敏感度は、冷水浸漬前5分において「5%基準値」で30%前後、「25%基準値」で50~60%程度であり、症度2の振動障害群の敏感度は、「5%基準値」で20~25%程度、「25%基準値」でも40~50%程度、症度1は「5%基準値」、「25%基準値」とも0%であった。冷水浸漬中及び浸漬終了後の敏感度は症度1を除いて低下傾向であった。母指における症度3の振動障害群の敏感度は、冷水浸漬前5分において20~30%程度、「25%基準値」で50~60%前後であり、症度2の振動障害群の敏感度は、「5%基準値」で15%前後、「25%基準値」で35%前後、症度1は「5%基準値」、「25%基準値」とも0%であった。冷水浸漬中及び浸漬終了後の敏感度は症度1を除いて低下した。

#### (ウ) 評価区分

表A5に、冷水浸漬前5分目、浸漬中5分目、浸漬終了後5、10、15分目の母指を除く4指の皮膚温のスコア合計値の分布を示した。スコアは表内に示したように、前述の「5%基準値」(cut-off value)未満を2点、それ以上で「25%基準値」(cut-off value)未満を1点、それ以上を0点とした。4指の5測定時点を合計したスコアが20点以上は、レイノー症状有症者では左右17手中5手(32.4%)、レイノー症状を有しない振動障害群は44手中7手(15.9%)、対照群は50手中5手(10.0%)であり、レイノー症状有症者はスコア合計値が高い傾向にあったが、レイノー症状を有しない振動障害群及び対照群との差は大きくなかった。別に、浸漬前5分目値の母指を除く4指の皮膚温のスコア合計値の分布を示した。ここでは、4指を合計したスコアが5点以上は、レイノー症状有症者では左右17手中6手(35.3%)、レイノー症状を有しない振動障害群は44手中8手(18.2%)、対照群は50手中3手(6.0%)であり、レイノー症状有症者のスコア合計値が高く、レイノー症状を有しない振動障害群、対照群の順で続いた。

表A5 手指皮膚温検査におけるスコア評価 (拇指を除く4指について)

手指レイノー症状の有無別比較

	Total	スコア合計値								スコア合計値(浸漬5分目)			
		≥20		≥10 to <20		≥5 to <10		<5		≥5		<5	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>右手</b>													
レイノー有	8	2	25.0	1	12.5	1	12.5	4	50.0	3	37.5	5	62.5
レイノー無	23	3	13.0	3	13.0	3	13.0	14	60.9	4	17.4	19	82.6
対照群	25	3	12.0	3	12.0	3	12.0	16	64.0	2	8.0	23	92.0
<b>左手</b>													
レイノー有	9	3	33.3	0	0.0	1	11.1	5	55.5	3	33.3	6	66.7
レイノー無	21	4	19.0	2	9.5	2	9.5	13	61.9	4	19.0	17	81.0
対照群	25	2	8.0	8	32.0	1	4.0	14	56.0	1	4.0	24	96.0

SWS-Rによる比較

	Total	スコア合計値								スコア合計値(浸漬5分目)			
		≥20		≥10 to <20		≥5 to <10		<5		≥5		<5	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>右手</b>													
St 0	23	3	13.0	3	13.0	3	13.0	14	60.9	4	17.4	19	82.6
St 1+2	5	2	40.0	0	0.0	0	0.0	3	60.0	2	40.0	3	60.0
St 3	3	0	0.0	1	33.3	1	33.3	1	33.3	1	33.3	2	66.7
<b>左手</b>													
St 0	21	4	19.0	2	9.5	2	9.5	13	61.9	4	19.0	17	81.0
St 1+2	6	2	33.3	0	0.0	1	16.7	3	50.0	2	33.3	4	66.7
St 3	3	1	33.3	0	0.0	0	0.0	2	66.7	1	33.3	2	66.7

厚生労働省VS区分による比較

	Total	スコア合計値								スコア合計値(浸漬5分目)			
		≥20		≥10 to <20		≥5 to <10		<5		≥5		<5	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>右手</b>													
S <sub>1</sub>	9	0	0.0	0	0.0	1	11.1	8	88.9	0	0.0	9	100.0
S <sub>2</sub>	16	2	12.5	4	25.0	2	12.5	8	50.0	5	31.3	11	68.7
S <sub>3</sub>	6	3	50.0	0	0.0	1	16.7	2	33.3	2	33.3	4	66.7
<b>左手</b>													
S <sub>1</sub>	9	0	0.0	0	0.0	1	6.3	8	88.9	0	0.0	9	100.0
S <sub>2</sub>	16	5	31.3	2	12.5	1	6.3	8	50.0	5	31.3	11	68.8
S <sub>3</sub>	5	2	40.0	0	0.0	1	20.0	2	40.0	2	40.0	3	60.0

Score 0: 25%基準値以上  
 1: 5%~25%基準値  
 2: 5%基準値未満

同様に、4指の5測定時点におけるスコア合計値が20点以上は、SWS-Rでは、症度3の振動障害群は左右6手中1手(16.7%)、症度1-2では左右11手中4手(36.4%)、症度0では左右44手中7手(15.9%)、厚生労働省VS区分では、症度3の振動障害群は左右11手中5手(45.5%)、症度2では左右32手中7手(21.9%)、症度1では左右18手中0手(0%)であった。浸漬前5分目値の母指を除く4指のスコア合計値が5点以上は、SWS-Rでは、症度3の振動障害群は左右6手中2手(33.3%)、症度1-2では左右11手中4手(36.4%)、症度0では左右44手中8手(18.2%)、厚生労働省VS区分では、症度3の振動障害群は左右11手中4手(36.4%)、症度2では左右32手中10手(31.3%)、症度1では左右18手中0手(0%)であった。

#### (c) 評価基準

評価基準としては、上述した対照群の各測定時点における左右の母指を除いた8指の皮膚温から5%値と25%値に近い区切りのよい値として概算された、表A2~A4に基準値(cut-off value)として示した値、すなわち「5%基準値」及び「25%基準値」を使用することが考えられる。この場合の母指を除く4指における対照群の特異度は、「5%基準値」で90~95%程度、「25%基準値」で65~75%程度であった。

しかし、手指レイノー症状を有する振動障害群の敏感度は冷水浸漬前5分において「5%基準値」で35%、「25%基準値」で40~50%であったが、冷水浸漬中及び特に冷水浸漬終了後においては敏感度が極めて低い値を示した。過去の関連文献や検査経験では、冷水浸漬により振動障害群と対照群の差が増加することが期待されるが、今回は逆に両者の差が冷水浸漬により減少するとの結果であった。このことから、現段階ではこの「5%基準値」と「25%基準値」は参考に留めるもので確定した判定基準ではない。

#### エ 問題点と課題

振動障害における冷水浸漬皮膚温検査について多くの検討が行われ報告されている。しかし、冷水温度や浸漬時間によりその診断意義は報告間で差があるものの、冷水浸漬前にみられた振動障害群と対照群の手指皮膚温の差が冷水浸漬中から減少し、冷水浸漬終了後に消失していく報告はみられない。今回の調査における問題点を改善し、今後、さらに多数例での検討を行う必要がある。

#### オ まとめ

ISOで標準化された方法に準じて行った冷水浸漬皮膚温検査結果を、振動障害群31名(うち手指レイノー症状有症者10名)及び対照群25名について分析した。対照群に比べ、特に手指レイノー症状有症者において手指皮膚温が低いことが認められ、特異度90%、敏感度30%程度が示された。しかし、冷水浸漬前にみられた振動障害群と対照群の差は冷水浸漬によりかえって減少する傾向がみられた。これは、国内外の関連報告と矛盾するものであり、さらに検討が必要と考えられた。

### (2) レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査

閉塞性動脈硬化症・バージャー病などの四肢末梢循環障害症例に対する評価法の一つと

して皮膚灌流圧 (skin perfusion pressure : SPP) 測定が導入され、皮膚の循環動態及び viability を表す臨床に即した指標として利用されている<sup>1,2)</sup>。

また、これまでの研究で、寒冷刺激法を用いた皮膚灌流圧測定がレイノー症状の評価に有効であることが報告されている<sup>3,4)</sup>。今回、振動工具取扱者における皮膚灌流圧を寒冷刺激法を用いて測定し、振動ばく露による末梢循環障害の評価法としての本法の利用法について検討した。

#### ア 対象

分析対象者は、前記 2 の(1)と同一であるが、本検査法の検討において皮膚灌流圧 (SPP) が 200 mmHg 以上となった症例が対照群に 1 例 2 肢あり、これは測定限界を超えたと判断し除外した。

レイノー症状については、被検者の問診票を参考にした上、実証検査時に SWS-R による症度分類において症度 1 以上と医師が判断した例及び患肢 (明らかな例のみ) をレイノー症状を示す群とした (8 例 14 肢、年齢  $61.0 \pm 5.0$  歳)。

#### イ 方法

皮膚灌流圧測定は兼高らの報告した測定方法に従い、Vasamedics 社製の Laser Dopp PV-2000 を用い、室温 25 °C の検査室で仰臥位にて測定を行った。まず左右第 3 指の安静時皮膚灌流圧を測定し、続いて右手関節以遠を 0 °C の氷水に 1 分間ばく露、ばく露終了 5 分後に右第 3 指の皮膚灌流圧を測定した。左側も同様の手順で測定を行ったのち、両側の上腕動脈血圧を測定した。

以下の 10 項目につき分析・検討した。なお、SPP は皮膚灌流圧、BP は上腕動脈血圧 (体血圧) を示す。

- ① 振動障害群における寒冷刺激前後 SPP 絶対値変化
  - ② 対照群における寒冷刺激前後 SPP 絶対値変化
  - ③ BP 絶対値の比較
  - ④ 左右いずれか高い方の BP 比較
  - ⑤ 寒冷刺激前 SPP 絶対値の比較
  - ⑥ 寒冷刺激後 SPP 絶対値の比較
  - ⑦ 寒冷刺激前 SPP/BP の比較
  - ⑧ 寒冷刺激後 SPP/BP の比較
  - ⑨ 寒冷刺激後 SPP/寒冷刺激前 SPP の比較
  - ⑩ 寒冷刺激後 SPP 絶対値変化量 (低下量) の比較
- ①と②においては各群における寒冷刺激前後の SPP 値を比較検討した。  
③～⑩においては振動障害群と対照群を比較検討した。

さらに、③～⑩について振動障害群のうちレイノー症状を示すとされた症例と対照群を比較検討した。

#### ウ 結果

##### (ア) 基礎統計

統計学的検討については有意水準  $\alpha = 0.05$  とし、等分散性を検討した後 t 検定にて

評価した。

(イ) 分析結果

表B1～B3に示す。

表B 1 寒冷刺激前後におけるSPP絶対値変化(振動障害と対照群各群における)

	振動障害群		対照群		p value
	平均 (標準偏差)		平均 (標準偏差)		
(1) 寒冷刺激前後における振動障害群SPP絶対値変化	129.52	(19.54)	121.45	(22.75)	0.001105
(2) 寒冷刺激前後における対照群SPP絶対値変化	135.00	(21.44)	129.79	(25.05)	0.08676

表B 2 振動障害群と対照群の比較

	振動障害群		対照群		p value
	平均 (標準偏差)		平均 (標準偏差)		
(3) BP絶対値の比較(mmHg)	135.548	(14.01)	134.15	(19.53)	0.6751
(4) 左右いずれか高い方のBP比較(mmHg)	138.13	(13.80)	137.88	(19.76)	0.9392
(5) 寒冷刺激前SPP絶対値の比較(mmHg)	129.52	(19.54)	135.00	(21.44)	0.1646
(6) 寒冷刺激後SPP絶対値の比較(mmHg)	121.45	(22.75)	129.79	(25.05)	0.0709
(7) 寒冷刺激前SPP/BPの比較	0.96	(0.15)	1.02	(0.16)	0.597
(8) 寒冷刺激後SPP/BPの比較	0.90	(0.16)	0.97	(0.15)	0.0288
(9) 寒冷刺激後SPP/寒冷刺激前SPPの比較	0.94	(0.14)	0.97	(0.15)	0.3896
(10) 寒冷刺激後SPP絶対値変化量の比較(mmHg)	8.06	(18.54)	5.21	(20.63)	0.4472

表B 3 レイノー症状群と対照群の比較

	レイノー症状群		対照群		p value
	平均 (標準偏差)		平均 (標準偏差)		
(3) BP絶対値の比較	140.43	(16.92)	134.15	(19.53)	0.2806
(4) 左右いずれか高い方のBP比較	142.00	(17.91)	137.88	(19.55)	0.4822
(5) 寒冷刺激前SPP絶対値の比較	131.43	(19.56)	135.00	(21.44)	0.5784
(6) 寒冷刺激後SPP絶対値の比較	115.00	(30.06)	129.79	(25.05)	0.0682
(7) 寒冷刺激前SPP/BPの比較	0.94	(0.12)	1.02	(0.16)	0.1005
(8) 寒冷刺激後SPP/BPの比較	0.81	(0.17)	0.97	(0.15)	0.0017
(9) 寒冷刺激後SPP/寒冷刺激前SPPの比較	0.87	(0.17)	0.97	(0.15)	0.0437
(10) 寒冷刺激後SPP絶対値変化量の比較	16.42	(22.05)	5.21	(20.63)	0.0829

a 振動障害群と対照群の比較について

有意差を持って違いが示されたのは振動障害群における寒冷刺激前後 SPP 絶対値変化、寒冷刺激後 SPP/BP の比較であった。また、寒冷刺激後 SPP 絶対値の比較については有意水準  $\alpha = 0.05$  とした場合  $p = 0.0709$  のため、統計学的有意とは言えないものの違いがある傾向が示唆された。

寒冷刺激後 SPP 絶対値変化量の比較については有意差を認めなかった。

b レイノー症状を示す振動障害群と対照群の比較について

有意差を持って違いが示されたのは寒冷刺激後 SPP/BP の比較、寒冷刺激後 SP P/寒冷刺激前 SPP の比較であった。

寒冷刺激後 SPP 絶対値変化量の比較については  $p=0.0829$  のため、統計学的有意とは言えないものの違いがある傾向が示唆され、振動障害群全体と対照群の比較の場合に比べ  $p$  値は低下し、ほぼ有意水準と同様の水準に近づいている。

#### (ウ) 評価基準

兼高らは寒冷刺激を併用した皮膚灌流圧測定により、2 次性レイノー現象、1 次性レイノー現象及び正常肢を鑑別できることを報告しているが、今回の実証検査では振動障害群は兼高らの報告の 1 次性レイノー現象の群とほぼ同様の検査結果を示しており、寒冷刺激により皮膚灌流圧は有意に低下していた。この結果は、本法が振動ばく露による末梢循環障害の客観的評価法としての有用性を示唆するものと考えられた。

振動障害を診断する指標として A：器質的な血流障害がないこと、B：寒冷負荷により血管攣縮が誘発されることが挙げられる。

そこで、それぞれに対し、閾値の設定について検討した。閾値の設定方法として、

- 1) 対照群の最大値（最小値）を閾値とする方法
- 2) 対照群の平均値の 95%信頼区間を参考に閾値を設定する方法

を検討した。

A：器質的な血流障害がないことの指標として寒冷刺激前皮膚灌流圧（SPP）/上肢血圧（BP）を用いた。

1) については、対照群における寒冷刺激前 SPP/BP の最小値が 0.714 であるためカットオフ値を 0.7 とし、左右いずれも 0.7 以上のものを A を満たすとした。この場合 31 例のうち 29 例（94%）が A を満たすこととなる。

2) については、対照群の平均値の 95%信頼区間は 1.06~0.970 である。この値をもとにして 0.970 より低い例を器質的疾患ありとすると、振動障害群において 20 例が除外される。すなわち、11 例（35%）が適合する。

1) 及び 2) を併せ、A については 1) により 0.7 と設定することが考えられる。

B：寒冷負荷により血管攣縮が誘発されること

1) については、寒冷刺激による SPP 絶対値変化量に注目する。対照群の SPP 変化量の最大値は 50 mmHg である。これにより 50 mmHg をカットオフ値とする（すなわち左右いずれか 50 mmHg 以上の変化となるもの）と振動障害に適合するのは 2 例となり、敏感度は 6.5%、特異度は 91.7%となるが、この閾値設定法は敏感度が低く、振動障害の判定基準としては不適切と考えられる。

2) については、対照群の平均値の 95%信頼区間は 0.78~11 となっている。カットオフ値を 10 mmHg とした場合、25 例が適合し、敏感度は 77.4%、特異度は 20.8%となる。20 mmHg とした場合 15 例が適合し、敏感度は 51.6%、特異度は 54.2%となる。末梢循環障害が軽度な振動障害群を別に評価することとすれば、10 mmHg 若くは 20 mmHg をカットオフ値とすることが考えられる。

他の方法として、寒冷刺激後 SPP/BP を用いることが考えられる。この平均の 95

%信頼区間は振動障害群 0.8606~0.9498、対照群 0.9282~1.033 であり、これをもとにカットオフ値を 0.9 に設定すると 21 例が振動障害に適合し、敏感度は 67.7%、特異度は 45.8%となる。また、0.95 とすると 24 例が適合し、敏感度は 77.4%、特異度は 33.3%となる。しかし、この指標の採用に当たっては寒冷刺激前より SPP/BP の低下が軽度存在し、寒冷刺激により皮膚灌流圧の低下が極めて少ない例を振動障害とする可能性があり注意が必要と考えられる。

A と B を総合し、寒冷刺激前 SPP/BP>0.7 を満たし、かつ 10 mmHg 以上の寒冷刺激による SPP 低下を認める症例とすると、31 例中 22 例が振動障害に適合し、敏感度は 77.4%、特異度は 20.8%となる。

#### (四) 評価区分

以上を踏まえ、簡便性も考慮し以下のように評価区分を定義する。すなわち SPP 低下が 30 mmHg 以上をクラス 3、20 mmHg 以上をクラス 2、10 mmHg 以上をクラス 1、10 mmHg 未満をクラス 0 とする。この分類に従うとクラス 0 が 7 例、クラス 1 が 8 例、クラス 2 が 6 例、クラス 3 が 10 例となる。

#### エ 考察

##### (ア) 今回の実証検査について

実証検査時にレイノー症状を示すとされた例は、今回検討対象となった振動障害群において 8 例 14 肢であり、症例数にして振動障害群 31 例の 26%であった。これらの検討では、寒冷刺激後 SPP 絶対値、寒冷刺激後 SPP/BP 及び寒冷刺激後 SPP/寒冷刺激前 SPP といった寒冷刺激後 SPP に関わる因子は統計学的有意差を持って小さく、臨床的にレイノー症状を認める例は SPP の低下が大きいと考えられる。レイノー症状を示すとされた例のうち SPP 変化が両側共 10 mmHg 未満の症例は 10 例のうち 2 例のみであった。また、SWS-R 症度 0 (過去にレイノー症状を示したが現在は発作なし) とされた例が 2 例存在したが、SPP 絶対値変化量がともに 10 mmHg 以上 (1 例 10 mmHg、1 例 40 mmHg) であった。また、自覚的にレイノー症状を示すと問診票に記入したが現在発作を認めないとされた例 (SWS-R 症度 0) が 4 例あったが、これらについても 10 mmHg 以上の SPP 低下を認めた。SPP 変化量は簡便であり、これらの考察も踏まえ、寒冷刺激による SPP 変化量は振動ばく露による末梢循環障害の評価の基準となると考える。

##### (イ) 平成 14 年度～平成 16 年度の委託研究成果

平成 14 年度～平成 16 年度の委託研究では、レーザードップラーによる皮膚灌流圧測定に関して以下の点において有用性が示された。すなわち、レーザードップラーによる皮膚灌流圧測定は、レイノー症候群の存在診断、1 次及び 2 次レイノー病と正常指との鑑別、器質的動脈閉塞を有する肢との鑑別診断、糖尿病などのために足関節部動脈圧測定値の信頼性が低下した虚血肢における虚血重症度評価、虚血性潰瘍例における治癒可能性の予測などに極めて有用な非侵襲的診断法と考えられる。

##### (ウ) まとめ

今回、実証検査において上記検討を行い、寒冷刺激による SPP 変化量が振動障害

の認定において有用であることが示された。しかし、高血圧症や狭心症などの併存疾患を有する例においては、測定結果の解釈に注意を要することが考えられた。

オ まとめと今後の課題

今回、振動障害群に対し、寒冷刺激を併用した皮膚灌流圧測定を行い、これまでの報告と矛盾しない結果が得られた。皮膚灌流圧測定は比較的簡便な点で特に有用であると考えられる。一定の閾値（カットオフ値）を用いた上で、他の検査方法と併せて評価することにより、振動ばく露による末梢循環障害の障害評価のために有用であると考えられる。振動障害の評価法として現在種々の検査法が考案、検証されており、本法をそれらと同時に用いることで、より正確な評価が可能になるものとする。

(文献)

- 1 重松邦広、小野塚温子. 脈管の機能的診断：進歩と現況 組織灌流圧 (SPP) . 脈管学, 45: 294-8,2005.
- 2 Castronuovo JJ Jr, Pabst TS, Flanigan DP et al : Noninvasive determination of skin perfusion pressure using a laser Doppler. J Cardiovasc Surg (Torino) ,28 : 2 53-7,1987.
- 3 Kanetaka T, Komiyama T, Onozuka A, Miyata T, Shigematsu H. Laser Doppler skin perfusion pressure in the assessment of Raynaud's phenomenon. Eur J Vasc Endovasc Surg.27 : 414-6,2004.
- 4 Herrick AL, Clark S. Quantifying digital vascular disease in patients with primary Raynaud's phenomenon and systemic sclerosis. Ann. Rheum. Dis.57 : 70-8,1998.

(3) レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査

レーザー血流画像化装置 (Laser Doppler Perfusion Imager : LDPI) は、皮下の微小循環動態を2次元的な画像として可視化できる皮膚血流測定装置であり、すでに様々な領域で利用されている<sup>1,2)</sup>。この装置はレーザードップラー法の原理を応用したものであるが、レーザー光を照射して皮膚の任意の測定領域をスキャンすることにより、組織に非接触・非侵襲で広範囲の血流分布を捉えられるという特徴がある<sup>3,4)</sup>。したがって、従来の一点型のレーザー血流計での制約であった皮膚の限局されたごく一部の血管における循環動態しか観察できないという欠点を解決でき、どの指に障害があるのか、またその障害がどのような程度でどの範囲にまで及んでいるかを判別し得る可能性がある。さらには、水上からレーザー照射を行うことで冷水浸漬中も測定可能であるため、寒冷刺激に伴って著しく変化する手指の皮膚血流動態をリアルタイムにモニターできるといった利点もあることから、振動障害における末梢循環障害の診断に際して有益な情報を提供するものと考えられる。実際に、昨年度までの委託研究のなかで、チェンソーを取り扱う民有林の林業労働者や、道路環境の整備などの作業で刈払い機を低頻度使用する者を対象に行った検討からも、手指への振動曝露の程度やそれに伴う末梢循環障害の臨床所見を反映した特徴的な皮膚血流の反応が、冷水浸漬中やその後の回復過程で認められること、特に、2次元血

流画像の解析からは、レイノー現象（VWF）の有症者が無症者とは明らかに異なる特異的な血流分布のパターンを呈し、寒冷誘発性に血流障害を起こす部位の同定が可能であることを示唆する結果を得ている<sup>5-7)</sup>。

これらの研究成果をもとに、本検査法の末梢循環機能検査としての有効性をさらに精査・検証することを目的として、振動障害群並びに対照群を対象とした実証検査を行った。

#### ア 対象と方法

##### (ア) 対象者

分析対象者は、前記 2 の(1)と同一であるが、検査を実施しなかった対照群の 1 名と、測定不備のため撮像した画像イメージからの解析が困難であった振動障害群の 2 名を除外し、最終的に振動障害群 29 名（年齢：59.9±5.0 歳、50～67 歳）と対照群 24 名（年齢：59.3±5.1 歳、50～68 歳）を分析に用いた。また、対照群で環指末節部の欠損を認めた 1 名については当該指の解析から除外した。

##### (イ) 方法

冷水浸漬試験は 10℃10 分法により施行した。冷水に浸漬する手指は症状の比較的強い側とし、症状が同程度あるいは認められない場合は、原則として利き手側とした。冷水浸漬に際しては本検査専用の負荷装置を使用した。被検者の前腕及び手指を装置の手指固定台に乗せ、なるべく安定した肢位を保つようにするとともに、冷水槽を昇降させることで手指を移動させずに固定した状態で連続的に測定できるようにした。なお、検査は室温を 24～25℃に保った静寂な室内で十分に安静をとった後に実施した。

手指皮膚血流の測定には LDPI（Perimed 社製 Periscan PIM-II）を用い、浸漬前 5 分、浸漬中 10 分、終了後の回復期 10 分の計 25 分間、2 分間隔で連続的に撮像した（常温下 3 枚、浸漬中 5 枚、回復期 5 枚の計 13 枚）。撮像部位は示指から環指に及ぶ手掌側全体を含む 45×45 ポイント（約 10 cm×10 cm）の範囲とし（図 C 1）、レーザー光はスキャナーヘッド部を測定部位から約 15 cm の距離で平行になるように固定したうえで、Resolution Low モードで撮像 1 回に約 1 分を要するスピード設定にてスキャニングさせた。測定中は、レーザー光があらかじめ設定した手掌部のスキャン領域から外れないようにするために、その中心点にマークを付けることによ



図 C 1 レーザー血流画像化装置による手指皮膚血流の画像イメージと平均血流量の解析部位測定部位の写真(左)と血流画像(右)、示指、中指、環指の末節部領域(A)と指全体領域(B)を解析

てレーザー光のズレを常に修正できるようにした。また、冷水浸漬中は、レーザー光の水面での屈折を少なくするため、測定部位を水面から約5 cmの位置に固定するように冷水槽の高さを調節した。さらに、検査室内の照明をできるだけ暗く保つとともに、レーザーヘッド部から測定部位にかけて黒い布で覆うことでレーザー光への干渉をできるだけ避けるようにした。

#### (ウ) 画像解析とデータ処理

撮像した画像イメージは、専用の画像解析ソフト LDPI Win.ver.2.6 を用い、示指、中指、環指の各指について、末節部領域 (A) と基節から末節部までを含む指全体領域 (B) を解析部位として、その範囲における平均血流量 (V) を算出した (図 C1)。また、個人の検査結果の評価に際して、冷水浸漬試験中の常温下、浸漬中、回復期の各測定段階について、A、B の解析範囲における皮膚血流の代表値を求めた。すなわち、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点の平均値とした。さらに、浸漬終了後の皮膚血流の回復過程を評価するために、次式により回復比を算出した。

$$* \text{皮膚血流回復比} = (\text{回復期の5点の平均値}) / (\text{浸漬中の5点の最低値})$$

#### (エ) 統計解析

冷水浸漬試験中の手指皮膚血流について、振動障害群における VWF 有症者及び無症者と対照群での比較を行うとともに、SWS-R の症度並びに厚生労働省 VS 区分による症度との関係を検討した。各群の比較には一元配置分散分析を用い、多重比較は Bonferroni の方法で行った。統計学的有意水準は5%とした。

### イ 結果

#### (ア) 基礎統計

##### a 振動障害群と対照群の比較

振動障害群と対照群における冷水浸漬試験中の手指末節部領域 (A) 及び指全体領域 (B) の皮膚血流を比較して表 C1-(1)、表 C1-(2) に示した。まず、末節部領域における皮膚血流からみると、冷水浸漬前の常温下の測定では、示指、中指、環指のいずれにおいても対照群 > VWF 無症者 > VWF 有症者の順に高値を示した。続いて、冷水浸漬中を比較すると、VWF 有症者では著しい皮膚血流の減少がみられ、中指と環指においては、浸漬直後を除く全ての測定点で対照群よりも有意に低かった。また、VWF 無症者と対照群を比較すると、浸漬の前半では対照群で低いものの、後半になると VWF 無症者の方が徐々に低値となる傾向がみられた。さらに、浸漬終了後の回復期では、浸漬前や浸漬中よりも差が顕著に認められ、VWF 有症者では血流の回復が著しく遅延し、VWF 無症者や対照群に比べて有意に低値となっていた。なお、VWF 無症者と対照群の間にはすべての測定点で有意な差は認められなかった。一方、指全体領域を解析対象とした場合も、冷水浸漬中及びその前後での皮膚血流の変化は概ね末節部領域と同様であり、VWF 有症者では、他の2群に比べて明らかに低値を示す傾向にあった。

次に、冷水浸漬試験中の各測定段階における手指皮膚血流の代表値並びに浸漬終

表 C 1 - (1) 振動障害群と対照群における冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の比較

A. 末節部領域

測定指	測定点	振動障害群 VWF(+) (n=10)	振動障害群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)		
示指	常温	1分値	1.66 (0.63)	1.93 (0.51)	2.02 (0.50)	
		3分値	1.69 (0.69)	1.98 (0.50)	2.16 (0.44)	
		5分値	1.69 (0.69)*	2.01 (0.44)	2.17 (0.46)	
	浸漬	1分値	1.14 (0.29)	1.34 (0.32)	1.25 (0.29)	
		" 3分値	1.14 (0.20)	1.42 (0.35)	1.33 (0.29)	
		" 5分値	1.15 (0.21)	1.40 (0.32)	1.33 (0.27)	
		" 7分値	1.18 (0.20)	1.39 (0.26)	1.38 (0.25)	
		" 9分値	1.18 (0.17)	1.39 (0.28)	1.40 (0.26)	
	回復	1分値	1.22 (0.29)**††	1.67 (0.46)	1.67 (0.34)	
		" 3分値	1.38 (0.49)*	1.73 (0.48)	1.81 (0.42)	
		" 5分値	1.42 (0.57)	1.81 (0.53)	1.86 (0.46)	
		" 7分値	1.49 (0.64)	1.81 (0.60)	1.89 (0.47)	
		" 9分値	1.52 (0.64)	1.89 (0.51)	1.96 (0.44)	
	中指	常温	1分値	1.54 (0.57)*	1.93 (0.44)	2.15 (0.61)
			3分値	1.56 (0.60)**	1.98 (0.45)	2.27 (0.53)
5分値			1.59 (0.56)**	2.02 (0.39)	2.30 (0.53)	
浸漬		1分値	1.14 (0.36)	1.34 (0.38)	1.29 (0.32)	
		" 3分値	1.14 (0.34)*	1.48 (0.41)	1.46 (0.35)	
		" 5分値	1.14 (0.31)*	1.46 (0.40)	1.48 (0.35)	
		" 7分値	1.13 (0.31)*	1.40 (0.31)	1.48 (0.33)	
		" 9分値	1.13 (0.26)**†	1.41 (0.27)	1.50 (0.32)	
回復		1分値	1.11 (0.28)**††	1.65 (0.44)	1.77 (0.44)	
		" 3分値	1.18 (0.41)**†	1.70 (0.47)	1.80 (0.47)	
		" 5分値	1.21 (0.50)**†	1.77 (0.55)	1.87 (0.55)	
		" 7分値	1.24 (0.56)†	1.76 (0.56)	1.88 (0.55)	
		" 9分値	1.28 (0.58)**††	1.83 (0.55)	1.96 (0.50)	
環指 <sup>#</sup>		常温	1分値	1.63 (0.65)	2.03 (0.57)	2.17 (0.58)
			3分値	1.63 (0.64)**	2.08 (0.56)	2.32 (0.48)
	5分値		1.65 (0.61)**	2.14 (0.47)	2.33 (0.53)	
	浸漬	1分値	1.15 (0.36)	1.31 (0.37)	1.26 (0.30)	
		" 3分値	1.19 (0.29)*	1.45 (0.41)	1.53 (0.33)	
		" 5分値	1.18 (0.28)*	1.48 (0.37)	1.57 (0.32)	
		" 7分値	1.16 (0.24)**†	1.45 (0.28)	1.58 (0.29)	
		" 9分値	1.18 (0.25)**	1.43 (0.31)	1.57 (0.28)	
	回復	1分値	1.20 (0.27)**††	1.72 (0.46)	1.83 (0.37)	
		" 3分値	1.28 (0.37)**†	1.78 (0.51)	1.87 (0.50)	
		" 5分値	1.32 (0.49)†	1.85 (0.57)	1.89 (0.55)	
		" 7分値	1.38 (0.57)	1.81 (0.60)	1.89 (0.59)	
		" 9分値	1.45 (0.59)*	1.90 (0.57)	2.01 (0.51)	

平均 (標準偏差)

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  (vs. 対照群), † $p < 0.05$ , †† $p < 0.01$  (vs. VWF(-)群): Bonferroni の多重比較。

<sup>#</sup>対照群 24 名のうち末節部の欠損を認めた 1 名を除外した 23 名を解析。

表C 1-(2) 振動障害群と対照群における冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の比較

B. 指全体領域

測定指	測定点	振動障害群 VWF(+) (n=10)	振動障害群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)		
示指	常温	1分値	1.41 (0.53)	1.59 (0.43)	1.61 (0.38)	
		3分値	1.44 (0.56)	1.66 (0.44)	1.69 (0.36)	
		5分値	1.42 (0.56)	1.69 (0.36)	1.71 (0.33)	
	浸漬	1分値	1.03 (0.25)	1.14 (0.26)	1.04 (0.19)	
		" 3分値	1.04 (0.21)	1.18 (0.26)	1.10 (0.22)	
		" 5分値	1.05 (0.21)	1.19 (0.24)	1.11 (0.20)	
		" 7分値	1.06 (0.20)	1.17 (0.23)	1.13 (0.20)	
		" 9分値	1.08 (0.22)	1.18 (0.23)	1.16 (0.18)	
	回復	1分値	1.14 (0.28) <sup>†</sup>	1.43 (0.36)	1.40 (0.24)	
		" 3分値	1.22 (0.39)	1.47 (0.38)	1.47 (0.31)	
		" 5分値	1.24 (0.44)	1.53 (0.45)	1.48 (0.32)	
		" 7分値	1.27 (0.48)	1.56 (0.51)	1.50 (0.33)	
		" 9分値	1.30 (0.48)	1.61 (0.46)	1.53 (0.33)	
	中指	常温	1分値	1.24 (0.38)	1.49 (0.35)	1.56 (0.37)
			3分値	1.27 (0.41) <sup>*</sup>	1.54 (0.37)	1.64 (0.34)
5分値			1.27 (0.39) <sup>*</sup>	1.57 (0.34)	1.66 (0.31)	
浸漬		1分値	0.99 (0.26)	1.07 (0.23)	1.05 (0.19)	
		" 3分値	0.98 (0.22)	1.12 (0.23)	1.13 (0.21)	
		" 5分値	1.00 (0.22)	1.13 (0.23)	1.14 (0.20)	
		" 7分値	1.00 (0.22)	1.12 (0.21)	1.16 (0.18)	
		" 9分値	1.01 (0.23)	1.13 (0.20)	1.18 (0.18)	
回復		1分値	1.00 (0.24) <sup>**†</sup>	1.31 (0.30)	1.41 (0.26)	
		" 3分値	1.04 (0.31) <sup>**†</sup>	1.34 (0.33)	1.40 (0.29)	
		" 5分値	1.05 (0.34) <sup>†</sup>	1.40 (0.39)	1.42 (0.32)	
		" 7分値	1.05 (0.38) <sup>†</sup>	1.40 (0.44)	1.42 (0.32)	
		" 9分値	1.08 (0.38) <sup>†</sup>	1.44 (0.41)	1.46 (0.30)	
環指 <sup>#</sup>		常温	1分値	1.30 (0.43)	1.58 (0.42)	1.63 (0.34)
			3分値	1.30 (0.44) <sup>*</sup>	1.63 (0.45)	1.70 (0.31)
	5分値		1.32 (0.42) <sup>*</sup>	1.65 (0.40)	1.72 (0.31)	
	浸漬	1分値	0.99 (0.25)	1.09 (0.26)	1.06 (0.20)	
		" 3分値	1.02 (0.23)	1.18 (0.28)	1.20 (0.20)	
		" 5分値	1.04 (0.23)	1.18 (0.26)	1.22 (0.20)	
		" 7分値	1.03 (0.21)	1.18 (0.23)	1.21 (0.18)	
		" 9分値	1.04 (0.24)	1.18 (0.24)	1.24 (0.17)	
	回復	1分値	1.08 (0.25) <sup>**†</sup>	1.41 (0.35)	1.48 (0.23)	
		" 3分値	1.12 (0.31) <sup>†</sup>	1.43 (0.34)	1.48 (0.32)	
		" 5分値	1.13 (0.36) <sup>†</sup>	1.49 (0.42)	1.48 (0.34)	
		" 7分値	1.14 (0.39)	1.48 (0.45)	1.47 (0.37)	
		" 9分値	1.19 (0.39)	1.51 (0.42)	1.51 (0.34)	

平均 (標準偏差)

<sup>\*</sup>p<0.05, <sup>\*\*</sup>p<0.01(vs.対照群), <sup>†</sup>p<0.05, <sup>††</sup>p<0.01(vs.VWF(-)群): Bonferroniの多重比較。

<sup>#</sup>対照群24名のうち末節部の欠損を認めた1名を除外した23名を解析。

表 C 2 振動障害群と対照群における冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の代表値と回復比の比較

A. 末節部領域

測定指	測定点	振動障害群 VWF(+) (n=10)	振動障害群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.69 (0.68)	1.97 (0.47)	2.14 (0.44)
	浸漬中	1.17 (0.18)	1.39 (0.28)	1.37 (0.25)
	回復期	1.41 (0.52)	1.78 (0.50)	1.84 (0.41)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.31 (0.41)	1.41 (0.30)	1.57 (0.31)
中指	常温下	1.56 (0.60)**	1.98 (0.42)	2.27 (0.53)
	浸漬中	1.13 (0.29)**†	1.42 (0.30)	1.49 (0.33)
	回復期	1.21 (0.46)**†	1.74 (0.50)	1.86 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.16 (0.38)**	1.37 (0.25)	1.54 (0.39)
環指	常温下	1.64 (0.65)**	2.07 (0.54)	2.30 (0.51)
	浸漬中	1.17 (0.25)**†	1.46 (0.32)	1.57 (0.29)
	回復期	1.32 (0.45)*†	1.81 (0.53)	1.90 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.25 (0.30)*	1.43 (0.27)	1.58 (0.44)

B. 指全体領域

測定指	測定点	振動障害群 VWF(+) (n=10)	振動障害群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.43 (0.55)	1.65 (0.43)	1.68 (0.34)
	浸漬中	1.06 (0.21)	1.18 (0.23)	1.13 (0.18)
	回復期	1.23 (0.41)	1.52 (0.42)	1.49 (0.29)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.23 (0.32)	1.39 (0.28)	1.47 (0.27)
中指	常温下	1.26 (0.40)*	1.54 (0.36)	1.63 (0.32)
	浸漬中	1.01 (0.22)	1.13 (0.21)	1.16 (0.18)
	回復期	1.05 (0.33)**†	1.38 (0.36)	1.42 (0.28)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.12 (0.29)*	1.33 (0.25)	1.42 (0.29)
環指	常温下	1.31 (0.40)*	1.62 (0.43)	1.70 (0.31)
	浸漬中	1.04 (0.22)	1.18 (0.24)	1.23 (0.18)
	回復期	1.31 (0.33)*†	1.46 (0.39)	1.49 (0.30)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.17 (0.25)*	1.37 (0.24)	1.45 (0.30)

平均 (標準偏差)

<sup>#</sup>回復比は次式による: 回復比=(回復期 5 点の平均値)/(浸漬中 5 点の最低値)

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ (vs.対照群)、† $p < 0.05$ , †† $p < 0.01$ (vs.VWF(-)群): Bonferroni の多重比較。

了後の皮膚血流の回復の程度を示す回復比を振動障害群と対照群で比較して表 C 2 に示した。末節部領域での結果をもとに各群の違いをみると、指によって若干の傾向の違いはあるものの、皮膚血流は常温下、冷水浸漬中、浸漬後の回復期のいずれにおいても対照群に比べて振動障害群で低値を示しており、特に、VWF 有症者では、中指と環指において VWF 無症者や対照群よりも有意に低くなっていた。また、回復比についても対照群との間に有意な差が認められた。

b SWS-R 及び厚生労働省 VS 区分による症度との関連

手指皮膚血流の代表値と回復比の 4 指標について、SWS-R の症度分類別に比較

表 C-3 SWS-R の症度による冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の代表値と回復比の比較

A. 末節部領域

測定指	測定点	SWS-3 (n=3)	SWS-2・1 (n=7)	SWS-0 (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.93 (0.32)	1.59 (0.79)	1.97 (0.47)	2.14 (0.44)
	浸漬中	1.23 (0.13)	1.15 (0.21)	1.39 (0.28)	1.37 (0.25)
	回復期	1.28 (0.31)	1.46 (0.60)	1.78 (0.50)	1.84 (0.41)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.14 (0.39)	1.38 (0.43)	1.41 (0.30)	1.57 (0.31)
中指	常温下	1.87 (0.48)	1.42 (0.62)*	1.98 (0.42)	2.27 (0.53)
	浸漬中	1.17 (0.31)	1.11 (0.30)*	1.42 (0.30)	1.49 (0.33)
	回復期	1.01 (0.20)*	1.29 (0.52)*	1.74 (0.50)	1.86 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	0.92 (0.11)*	1.27 (0.41)	1.37 (0.25)	1.54 (0.39)
環指	常温下	1.89 (0.43)	1.53 (0.73)*	2.07 (0.54)	2.30 (0.51)
	浸漬中	1.20 (0.28)	1.16 (0.26)*	1.46 (0.32)	1.57 (0.29)
	回復期	1.22 (0.23)*	1.37 (0.53)	1.81 (0.53)	1.90 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.11 (0.17)*	1.31 (0.33)	1.43 (0.27)	1.58 (0.44)

B. 指全体領域

測定指	測定点	SWS-3 (n=3)	SWS-2・1 (n=7)	SWS-0 (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.61 (0.34)	1.35 (0.63)	1.65 (0.43)	1.68 (0.34)
	浸漬中	1.09 (0.17)	1.05 (0.23)	1.18 (0.23)	1.13 (0.18)
	回復期	1.13 (0.15)	1.28 (0.49)	1.52 (0.42)	1.49 (0.29)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.11 (0.32)	1.28 (0.33)	1.39 (0.28)	1.47 (0.27)
中指	常温下	1.48 (0.25)	1.16 (0.43)*	1.54 (0.36)	1.63 (0.32)
	浸漬中	1.03 (0.24)	1.00 (0.23)	1.13 (0.21)	1.16 (0.18)
	回復期	0.92 (0.12)	1.10 (0.38)	1.38 (0.36)	1.42 (0.28)
	(回復比) <sup>#</sup>	0.95 (0.14)*	1.19 (0.31)	1.33 (0.25)	1.42 (0.29)
環指	常温下	1.55 (0.34)	1.20 (0.46)*	1.62 (0.43)	1.70 (0.31)
	浸漬中	1.07 (0.29)	1.02 (0.21)	1.18 (0.24)	1.23 (0.18)
	回復期	1.09 (0.20)	1.15 (0.39)	1.46 (0.39)	1.49 (0.30)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.10 (0.19)	1.21 (0.28)	1.37 (0.24)	1.45 (0.30)

した結果を表 C3 に示した。なお、ここでは SWS-1 に該当する者が 1 名であったため、SWS-2 の区分にまとめて解析を行った。冷水浸漬前の常温下と浸漬中については、SWS-2・1 が SWS-0 に比べていずれも低値となっていたが、SWS-3 ではむしろ SWS-2 よりも高値となっており、一定の傾向はみられなかった。しかし、浸漬終了後の回復期における皮膚血流とその回復比については、SWS-0、SWS-2・1、SWS-3 と症度が進行するにつれて連続的に低値となる傾向が明確に認められた。続いて、厚生労働省 VS 区分別に比較した結果を表 C4 に示した。冷水浸漬試験の手指皮膚血流は、すべての測定段階において症度が S<sub>1</sub> から S<sub>3</sub> と進行するにつれて低値となっており、その傾向は示指、中指、環指のいずれにも同様に認められた。

表 C 4 厚生労働省 VS 区分の症度による冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の代表値と回復比の比較

A. 末節部領域					
測定指	測定点	S <sub>3</sub> (n=6)	S <sub>2</sub> (n=15)	S <sub>1</sub> (n=8)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.50 (0.68)*	1.85 (0.52)	2.19 (0.35)	2.14 (0.44)
	浸漬中	1.12 (0.22) <sup>†</sup>	1.29 (0.19)	1.50 (0.33)	1.37 (0.25)
	回復期	1.22 (0.50) <sup>††</sup>	1.65 (0.47)	1.98 (0.48)	1.84 (0.41)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.20 (0.31)	1.43 (0.37)	1.42 (0.28)	1.57 (0.31)
中指	常温下	1.32 (0.42) <sup>**††</sup>	1.84 (0.46)*	2.20 (0.38)	2.27 (0.53)
	浸漬中	1.09 (0.30) <sup>††</sup>	1.29 (0.23)	1.56 (0.35)	1.49 (0.33)
	回復期	1.09 (0.41) <sup>**††</sup>	1.52 (0.46)	1.98 (0.49)	1.86 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.11 (0.35)*	1.33 (0.31)	1.38 (0.25)	1.54 (0.39)
環指	常温下	1.47 (0.57) <sup>††</sup>	1.86 (0.59)	2.36 (0.38)	2.30 (0.51)
	浸漬中	1.11 (0.24) <sup>**††</sup>	1.31 (0.21)*	1.63 (0.38)	1.57 (0.29)
	回復期	1.18 (0.42) <sup>**††</sup>	1.59 (0.44)	2.08 (0.51)	1.90 (0.48)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.16 (0.20)*	1.42 (0.30)	1.43 (0.27)	1.58 (0.44)
B. 指全体領域					
測定指	測定点	S <sub>3</sub> (n=6)	S <sub>2</sub> (n=15)	S <sub>1</sub> (n=8)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.32 (0.43) <sup>†</sup>	1.54 (0.43)	1.86 (0.41)	1.68 (0.34)
	浸漬中	1.00 (0.23)	1.11 (0.15)	1.27 (0.28)	1.13 (0.18)
	回復期	1.02 (0.33) <sup>†</sup>	1.41 (0.38)	1.69 (0.42)	1.49 (0.29)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.10 (0.18)*	1.38 (0.32)	1.40 (0.27)	1.47 (0.27)
中指	常温下	1.14 (0.36) <sup>**††</sup>	1.39 (0.31)	1.75 (0.36)	1.63 (0.32)
	浸漬中	0.96 (0.24) <sup>†</sup>	1.05 (0.16)	1.24 (0.23)	1.16 (0.18)
	回復期	0.96 (0.31) <sup>**††</sup>	1.22 (0.31)	1.56 (0.36)	1.42 (0.28)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.09 (0.28)*	1.27 (0.28)	1.36 (0.25)	1.42 (0.29)
環指	常温下	1.18 (0.38) <sup>**††</sup>	1.44 (0.38) <sup>†</sup>	1.87 (0.41)	1.70 (0.31)
	浸漬中	0.98 (0.21) <sup>**††</sup>	1.08 (0.17) <sup>†</sup>	1.33 (0.26)	1.23 (0.18)
	回復期	1.01 (0.30) <sup>**††</sup>	1.30 (0.29) <sup>†</sup>	1.69 (0.40)	1.49 (0.30)
	(回復比) <sup>#</sup>	1.10 (0.20)*	1.34 (0.26)	1.39 (0.24)	1.45 (0.30)

(イ) 分析結果

a. 評価区分

冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の測定結果から、振動障害群における末梢循環障害の所見レベルを判定するために、対照群における示指、中指、環指それぞれについての冷水浸漬前、浸漬中、浸漬後の回復期の皮膚血流の代表値とその回復比の4指標を用いて「平均値-1.5標準偏差」の値を求め、これを基準値（カットオフ値）として採用した（表C5）。そのうえで、検査値がそれ未満である場合を「異常」、それ以上である場合を「正常」とし、個人ごとに異常と判定される個数の合計（総異常数）を求めた（最小値0～最大値12：3指×4指標）。また、図C2に振動障害群でのVWF有症者とVWF無症者並びに対照群における総異常数の分布を示したが、対照群の総異常数は最大で2であったため、今回は、総異常数が3未満の場合を「所見なし：クラス0」と判定することにした。また、総異常数3以上では、最大12までを均等に区分して、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」とした。表C 6-(1)、表C 6-(2)には各個人の総異常数とそれによる所見レベル(クラス)の判定結果の一覧を示した。

次に、検査結果から判定された末梢循環障害の所見レベルと、SWS-R及び厚生労働省VS区分における症度との関係について表C 7に示した。末節部領域を指標とした場合について、まず、SWS-Rとの関係からみると、SWS-0では19名中「クラス0」が17名、「クラス1」と「クラス2」が各1名、SWS-1・2では7名中「クラス0」が3名、「クラス1」と「クラス2」が各1名、「クラス3」が2名となった。また、SWS-3では3名中「クラス1」が2名、「クラス2」が1名となった。一方、厚生労働省VS区分との関係をみると、S<sub>1</sub>では8名すべてが「クラス0」であり、S<sub>2</sub>では15名中「クラス0」が10名、「クラス1」が4名、クラス2が1名であった。また、S<sub>3</sub>の6名は「クラス0」、「クラス2」、「クラス3」にそれぞれ2名ずつが区分された。なお、指全体領域を解析対象とした場合にも検査結果から判定

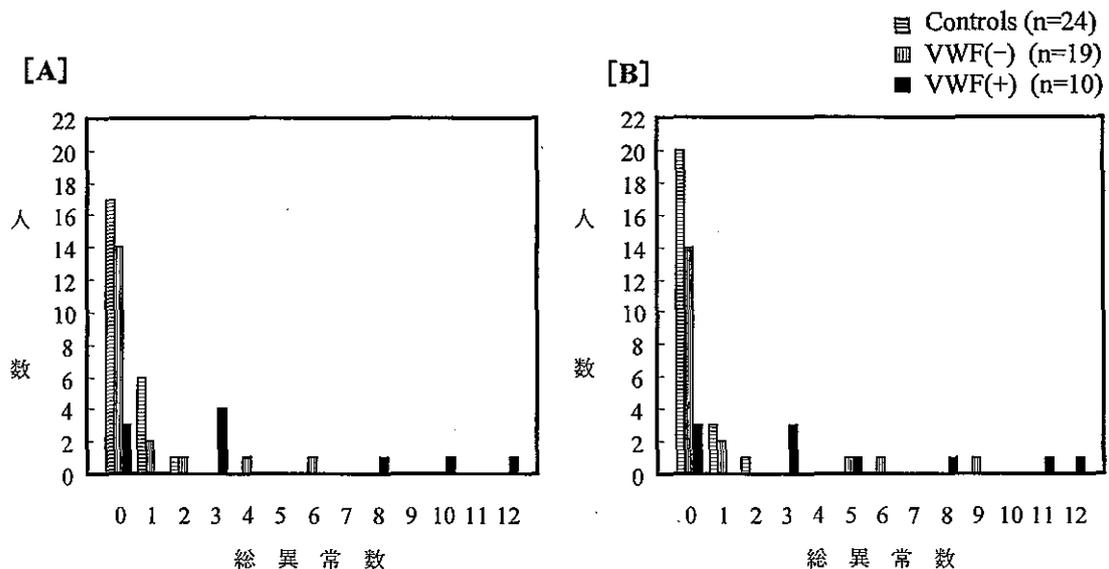
表C 5 対照群における手指皮膚血流の代表値から求めたカットオフ値

A. 末節部領域				
	常温下	浸漬中	回復期	回復比
示指	1.47	0.99	1.23	1.10
中指	1.48	0.99	1.14	0.93
環指	1.54	1.14	1.18	0.90

B. 指全体領域				
	常温下	浸漬中	回復期	回復比
示指	1.17	0.85	1.04	1.05
中指	1.15	0.88	1.00	0.97
環指	1.23	0.96	1.03	1.00

カットオフ値には、対照群の冷水浸漬試験中の各測定段階における手指皮膚血流の代表値と回復比についての「平均-1.5標準偏差」を採用した。



図C 2 振動障害群と対照群における総異常数の分布 (A:末節部領域、B:指全体領域)

表C6-(1) 個人の総異常数と判定結果の一覧表

A. 末節部領域

ID	被験側	SWS-R 症度 <sup>#1</sup>		厚生労働省 VS 区分	総異常 数	所見 区分
		右	左			
1101T	R	0	0	2	0	0
1102T	R	0	0	2	4	1
1103T	R	2 (II-V)	0	3	10	3
1104T	L	0	0	2	0	0
1105T	R	0	0	1	0	0
1106T	L	0	0	2	0	0
1107T	R	0	0	2	2	0
1109T	R	0	0	2	1	0
1110T	L	0	0	2	0	0
1111T	R	0	0	1	0	0
1112T	R	0	0	2	1	0
1113T	R	0	0	3	6	2
1114T	R	0	0	1	0	0
1115T	L	0	0	1	0	0
1116T	L	0	0	1	0	0
1117T	L	0	0	1	0	0
1118T	R	1 (II-V)	1 (II-V)	3	12	3
1120T	R	3 (II-V)	3 (II-V)	2	3	1
1121T	R	0	0	2	0	0
1122T	R	0	0	1	0	0
1123T	L	2 (II-V)	2 (II-V)	3	0	0
1124T	R	2 (II-IV)	2 (II-IV)	2	0	0
1125T	L	0	0	1	0	0
1126T	L	0	2(III-V)	2	3	1
1127T	L	0	2 (II-V)	3	0	0
1128T	R	0	0	2	0	0
1130I	L	3 (I-V)	3 (I-V)	3	8	2
1131I	L	3 (II-V)	3 (II-V)	2	3	1
1133I	R	2 (II-V)	2 (II-V)	2	8	2

<sup>#1</sup> SWS-R:ストックホルム・ワークショップスケールによる症度欄の( )はVWF 有症指を示す。VWF 有症指と無症指の判別は問診票への記入による。

した末梢循環障害の所見レベルとSWS-R並びに厚生労働省VS区分による症度との関係は概ね同様であった。

b 検査の敏感度と特異度

冷水浸漬試験における手指皮膚血流の測定結果から、VWF 有症者とVWF 無症者を区分したときの敏感度と特異度をまとめて表C8に示した。まず、手指の末節部領域の皮膚血流を指標とした場合には、VWF 有症者10名中7名が「所見あり(クラス1以上)」と判定され、敏感度は70.0%であった。一方、VWF 無症者で「所見なし(クラス0)」と判定された者は19名中17名で、特異度は89.5%となった。また、指全体領域を指標とした場合には、VWF 有症者の7名が「所見あり」、

表C6-(2) 個人の総異常数と判定結果の一覧表

## B. 指全体領域

ID	被験側	SWS-R 症度		厚生労働省 VS 区分	総異 常数	所見 区分
		右	左			
1101T	R	0	0	2	0	0
1102T	R	0	0	2	6	2
1103T	R	2 (II-V)	0	3	11	3
1104T	L	0	0	2	1	0
1105T	R	0	0	1	0	0
1106T	L	0	0	2	0	0
1107T	R	0	0	2	5	1
1109T	R	0	0	2	0	0
1110T	L	0	0	2	0	0
1111T	R	0	0	1	0	0
1112T	R	0	0	2	1	0
1113T	R	0	0	3	9	3
1114T	R	0	0	1	0	0
1115T	L	0	0	1	0	0
1116T	L	0	0	1	0	0
1117T	L	0	0	1	0	0
1118T	R	1 (II-V)	1 (II-V)	3	12	3
1120T	R	3 (II-V)	3 (II-V)	2	3	1
1121T	R	0	0	2	0	0
1122T	R	0	0	1	0	0
1123T	L	2 (II-V)	2 (II-V)	3	0	0
1124T	R	2 (II-IV)	2 (II-IV)	2	0	0
1125T	L	0	0	1	0	0
1126T	L	0	2(III-V)	2	3	1
1127T	L	0	2 (II-V)	3	0	0
1128T	R	0	0	2	0	0
1130I	L	3 (I-V)	3 (I-V)	3	5	1
1131I	L	3 (II-V)	3 (II-V)	2	3	1
1133I	R	2 (II-V)	2 (II-V)	2	8	2

VWF 無症者の 16 名が「所見なし」となり、敏感度と特異度はそれぞれ 70.0%、84.2%となった。なお、対照群では末節部と指全体のいずれの領域を指標としたときも 24 名すべてが「所見なし」であり、特異度は 100%となった。

続いて、VWF の有無を示指、中指、環指の指ごとに評価したうえで、VWF 有症指と無症指を区分するときの敏感度と特異度を求めて表 C9 に示した。なお、有症指と無症指の判別は、被検者の問診票への記載によった。末節部領域について各々の指をまとめた全体での結果をみると、振動障害群において、VWF 有症指 29 指中、「異常」と判定されたのは 19 指（敏感度 65.5%）であり、VWF 無症指 58 指中、「正常」とされたのは 48 指（特異度 82.8%）となった。また、対照群では 71 指中 63 指が「正常」とされた（特異度 88.7%）。次に、指全体領域での結果をみると、振動障害群における VWF 有症指のうちの 19 指が「異常」（敏感度 65.5%）、VWF 無症指のうちの 46 指が「正常」（特異度 79.3%）と判定された。また、対照群では 66 指が「正常」となった（特異度 93.0%）。なお、これらの結果を指ごと

表C7 SWS-R と厚生労働省 VS 区分による症度と検査結果による所見レベルとの関係

A: 末節部領域

		被験者数	クラス0	クラス1	クラス2	クラス3
SWS-R	SWS-0	19	17	1	1	0
	SWS-1・2	7	3	1	1	2
	SWS-3	3	0	2	1	0
VS	S <sub>1</sub>	8	8	0	0	0
	S <sub>2</sub>	15	10	4	1	0
	S <sub>3</sub>	6	2	0	2	2

B: 指全体領域

		被験者数	クラス0	クラス1	クラス2	クラス3
SWS-R	SW0	19	16	1	1	1
	SW1-2	7	3	1	1	2
	SW3	3	0	3	0	0
VS	S <sub>1</sub>	8	8	0	0	0
	S <sub>2</sub>	15	9	4	2	0
	S <sub>3</sub>	6	2	1	0	3

所見レベルは示指、中指、環指の各指について常温下、浸漬中、回復期の各段階での手指皮膚血流の代表値と回復比において認められた総異常数から判定した。

に比較すると、中指と環指における特異度、敏感度は同程度でともに高い傾向にあったが、示指では相対的に低くなっていた。

ウ 考察

(ア) 振動障害の末梢循環機能検査としての本検査法の有効性

平成14～16年度の委託研究では、和歌山県下の民有林においてチェーンソーや刈り払い機などの振動工具を取り扱う作業に従事する林業労働者、あるいは道路環境の整備等に従事する現業作業員を対象に本検査を施行し、種々の検討を重ねた<sup>5,7)</sup>。その主な成果として、手指に白指やしびれなどの症状を持つ者では、振動ばく露の影響のない対照群に比べて、冷水浸漬前の常温下からすでに皮膚血流が少なく、また、浸漬中には対照群のような血流の増加をほとんど認めず、一貫して低値を推移した。さらに、浸漬終了後は対照者に比べて明らかに回復が遅延する傾向がみられた。このことから、本検査法は振動工具の取扱いに起因する手指の末梢循環機能の個人差を的確に評価し得ることが示唆された。一方、現行検査法で行われている皮膚温測定や爪圧迫テストとの関連性についても検討したが、本検査で測定される手指皮膚血流は、寒冷刺激に伴う末梢血管の応答を即時的に捉えることに適しており、それによって皮膚温では捉えにくい微小な循環障害を感度よく検出し得る可能性が示された。さらに、手指の複数指にわたる解析から、白指やしびれ等の有症者では、指ごとに、あるいは部位によって冷水浸漬に伴う反応に差違があることが示されたことから、手指に振動ばく露の影響を認める者では、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ものと推察された。このような一連の研究結果から、本検査法が振動障害における末梢循環障害の新たな評価法として有用である可能性が示されたが、今回の実証検査

表C8 冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の検査結果による敏感度と特異度  
 -VWF有症者とVWF無症者の判別-

A:末節部領域

	被験者数	検査結果		敏感度 (sensitivity)	特異度 (specificity)
		所見あり <sup>#</sup> (+)	所見なし (-)		
振動障害群 VWF[+]	10	7	3	70.0	—
" VWF[-]	19	2	17	—	89.5
対照群	24	0	24	—	100.0

B:指全体領域

	被験者数	検査結果		敏感度 (sensitivity)	特異度 (specificity)
		所見あり <sup>#</sup> (+)	所見なし (-)		
振動障害群 VWF[+]	10	7	3	70.0	—
" VWF[-]	19	3	16	—	84.2
対照群	24	0	24	—	100.0

<sup>#</sup> 検査の判定結果がクラス1以上である場合を「所見あり」とした。

では、振動障害群と対照群を対象として、SWS-Rや厚生労働省VS区分との関連や、敏感度や特異度からみたVWFに対する診断的価値の検討も含め、その有効性を精査・検証した。

その結果、これまでに得られた知見と同様に、振動障害群では対照群に比べて、冷水浸漬試験中の皮膚血流が一貫して少ない傾向にあり、なかでも手指にVWFの症状を認める患者では明らかに低値を示し、特に、浸漬終了後の回復期における変化のパターンに他の群との著しい差違を認めた。また、冷水浸漬試験中の各測定段階での皮膚血流の代表値と、浸漬終了後の回復の程度を表す回復比を指標として、本検査から末梢循環障害の所見レベルを判定した結果、SWS-Rや厚生労働省VS区分に基づく臨床的な症状の程度と比較的強い相関を示した。よって、本検査法は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。なお、今回の検討において、SWS-Rよりも厚生労働省VS区分の症度との間により強い関連を認めた点については、SWS-Rによる症度分類が、本人の訴えによるレイノー現象の発症頻度と出現範囲を判定の根拠としている<sup>9)</sup>のに対して、厚生労働省VS区分は、身体所見と自覚症状をもとに、レイノー現象だけではなく、手指の冷えやしびれ等の程度を加味して総合的に判断するものであるといった違いが一因と考えられる。

(i) 検査のプロトコルと結果の評価

これまでの委託研究のなかでは、検査に係る被験者の測定肢位、浸漬中の測定に際しての水の物理的介在、検査室の環境温度や冷水浸漬に使用する水温など様々な検査条件が測定値に及ぼす影響、あるいは、血流画像の最適な撮像方法などについての検討も行ってきた。そして、今回の実証検査においては、これらの基礎的な検討に基づいて確立された方法を採用した。まず、冷水浸漬試験は、室温を24~25℃に安定さ

表C9 冷水浸漬試験中の手指皮膚血流の検査結果による敏感度と特異度  
 -VWF有症指とVWF無症指の判別-

A:末節部領域

		被験 指数	検査結果		敏感度 (sensitivity)	特異度 (specificity)
			異常 <sup>#</sup> (+)	正常 (-)		
示指	VWF[+]	9	5	4	55.6	—
	VWF[-]	20	5	15	—	75.0
	対照群	24	4	20	—	83.3
中指	VWF[+]	10	7	3	70.0	—
	VWF[-]	19	2	17	—	89.5
	対照群	24	1	23	—	95.8
環指	VWF[+]	10	7	3	70.0	—
	VWF[-]	19	3	16	—	84.2
	対照群	23	3	20	—	87.0
(計)	VWF[+]	29	19	10	65.5	—
	VWF[-]	58	10	48	—	82.8
	対照群	71	8	63	—	88.7

B:指全体領域

		被験 指数	検査結果		敏感度 (sensitivity)	特異度 (specificity)
			異常 <sup>#</sup> (+)	正常 (-)		
示指	VWF[+]	9	5	4	55.6	—
	VWF[-]	20	5	15	—	75.0
	対照群	24	2	22	—	91.7
中指	VWF[+]	10	7	3	70.0	—
	VWF[-]	19	3	16	—	84.2
	対照群	24	1	23	—	95.8
環指	VWF[+]	10	7	3	70.0	—
	VWF[-]	19	4	15	—	78.9
	対照群	23	2	21	—	91.3
(計)	VWF[+]	29	19	10	65.5	—
	VWF[-]	58	12	46	—	79.3
	対照群	71	5	66	—	93.0

<sup>#</sup> 示指、中指、環指について、常温下、浸漬中、回復期の手指皮膚血流の代表値と回復比のいずれかがカットオフ値未満である場合とした。有症指と無症指の判別は被験者の問診票への記載によった。

せた静寂な検査室にて、専用の負荷装置を用い、10°C10分法に準拠して行った。皮膚血流は、冷水浸漬試験中の浸漬前の常温下5分、冷水浸漬中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。この方法は、これまで採用してきたある特定の単一指の末節部のみの皮膚血流を数10秒間隔で連続的に測定する方法に比べ測定回数は少なくなるが、撮像エリアを複数指に広げることによって血流障害がどの指

のどの範囲にまで及んでいるかが確認でき、それらの情報を総合的に判断することで、個々の症例における末梢循環障害の重症度をより適切に判定し得る方法といえる。

さらに、今回の検討では末節部と指全体の2つの領域の皮膚血流を分析対象に設定したが、いずれを指標としたときもVWFの有症者と無症者あるいは対照群との差違はほぼ同じ程度に認められ、また、SWS-Rや厚生労働省VS区分を用いた臨床所見による症度との関連についても同様であった。したがって、末節部領域と指全体領域のどちらを採用しても手指の血流障害についての情報を概ね等しく提供するものと考えられた。その一方で、撮像された血流画像をもとにこの2領域の皮膚血流を比較すると、対照群においては基節から末節部までの指全体の中で、特に末節部の血流が多いという特徴が一貫してみられるのに対して、VWF有症者の場合には、このような血流勾配が比較的小さく、とりわけ冷水浸漬中とその後の回復期ではその傾向が顕著に認められた。一般に、手指の末梢部分は振動工具の把持による振動ばく露や寒冷刺激の影響を受けやすく、また、振動障害におけるレイノー現象の大部分が手指の末節部より出現することから<sup>9)</sup>、VWF有症者ではこのような血流分布のパターンを示したものと推察される。このVWF有症者での血流画像の特徴的な所見を踏まえると、今回のように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、手指の血流分布のパターンについて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する末梢循環障害をよりの確に捉え得ると考えられ、ひいては他疾患によって発現する類似症状と鑑別できる可能性が期待される。

#### (ウ) 評価基準と結果判定

前述したように、VWFの有症者では無症者や対照群と比べ、冷水浸漬前の常温下から皮膚血流が低値を示し、冷水浸漬中は一貫して低いレベルを推移する。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がある。したがって、本検査法から各症例の末梢循環障害の所見レベルを判定するに当たっては、このようなVWF有症者にみられる皮膚血流の変化のパターンを総合的に評価するのが適切であると考えられる。そこで、今回は冷水浸漬試験中の常温下、浸漬中、回復期の各段階における代表値並びに冷水浸漬中から浸漬後にかけての特徴的な変化を指標として取り入れるために回復比を算出した。そして、対照群の測定値から求めたカットオフ値と比較して、各指の測定値がそれ未満である場合を「異常」、それ以上である場合を「正常」とし、異常の認められる個数が3未満の場合に「所見なし」、3以上の場合に「所見あり」とする評価基準を作成した。この評価基準をもとにVWFの有症者と無症者を区分したときの敏感度と特異度を末節部領域の皮膚血流を指標として算出すると、VWF有症者の敏感度は70.0%、VWF無症者と対照群における特異度はそれぞれ89.5%、100%となり、これまでに報告されている種々の末梢循環機能検査と比較しても遜色ない敏感度と特異度が得られた<sup>10)</sup>。また、末梢循環障害の重症度を評価するために、異常数の個数に応じて「クラス0」～「クラス3」を設定したが、これらはSWS-Rや厚生労働省VS区分のいずれとも良く関連していた。したがって、今回作成した評価基準は、振動ばく露による末梢循環機能の異

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。

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D 1 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D 2 同じ。

表D 2 スtockホルムワークシヨップスケール (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

表D 3 厚生労働省 VS 区分別の右手FSBP%

冷却負荷温度	対象指	Grouping	指数	平均±標準偏差
15°C	示指	VS <sub>3</sub>	2	80.0 ± 28.8
		VS <sub>2</sub>	13	95.5 ± 15.8
		VS <sub>1</sub>	5	89.9 ± 11.1
		対照群	22	89.6 ± 18.2
		左手	18	83.8 ± 19.8
	中指	VS <sub>3</sub>	2	76.4 ± 27.1
		VS <sub>2</sub>	13	89.1 ± 25.6
		VS <sub>1</sub>	5	86.7 ± 15.0
		対照群	22	91.3 ± 21.4
		左手	17	84.5 ± 24.6
	環指	VS <sub>3</sub>	3	75.3 ± 25.6
		VS <sub>2</sub>	13	92.7 ± 16.5
		VS <sub>1</sub>	5	92.6 ± 10.7
		対照群	22	92.7 ± 17.1
		左手	18	84.9 ± 17.3
	小指	VS <sub>3</sub>	2	96.2 ± 0.4
		VS <sub>2</sub>	13	95.5 ± 18.9
		VS <sub>1</sub>	5	94.4 ± 5.5
		対照群	22	95.6 ± 14.3
		左手	18	95.7 ± 13.3
四指計	VS <sub>3</sub>	9	81.2 ± 20.8	
	VS <sub>2</sub>	52	93.2 ± 19.2	
	VS <sub>1</sub>	20	90.9 ± 10.6	
	対照群	88	92.3 ± 17.7	
	左手	71	87.2 ± 19.4	
10°C	示指	VS <sub>3</sub>	3	63.5 ± 20.1
		VS <sub>2</sub>	13	80.1 ± 22.6
		VS <sub>1</sub>	4	77.1 ± 6.4
		対照群	22	86.1 ± 15.6
		左手	16	77.4 ± 16.5
	中指	VS <sub>3</sub>	3	63.4 ± 13.2
		VS <sub>2</sub>	11	82.6 ± 20.8
		VS <sub>1</sub>	4	75.3 ± 14.4
		対照群	22	87.0 ± 19.2
		左手	15	76.3 ± 24.2
	環指	VS <sub>3</sub>	3	66.2 ± 37.6
		VS <sub>2</sub>	13	80.9 ± 15.5
		VS <sub>1</sub>	3	75.5 ± 6.4
		対照群	22	88.9 ± 15.2
		左手	16	78.5 ± 17.7
	小指	VS <sub>3</sub>	3	86.1 ± 1.9
		VS <sub>2</sub>	13	89.4 ± 13.7
		VS <sub>1</sub>	4	82.4 ± 13.0
		対照群	22	90.7 ± 14.3
		左手	16	84.9 ± 11.7
四指計	VS <sub>3</sub>	12	69.8 ± 21.5**	
	VS <sub>2</sub>	50	83.3 ± 18.2	
	VS <sub>1</sub>	15	77.7 ± 10.2	
	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D4 レイノー症状有無別のFSBP%検査における敏感度和特異度

検査条件	室温 °C	振動障害群 VWF(+)	振動障害群 VWF(-)	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 振動障害群 VWF(+) %	敏感度 振動障害群 VWF(-) %	特異度 対照群 %		
右手 (振動障害群、対照群)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	5	16	22	55.0	100.0	12.5	90.9
15°C	右手	30, 15°C	21±1	5	16	22	55.0	40.0	0.0	100.0
10°C	右手	30, 10°C	21±1	5	15	22	55.0	100.0	13.3	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	4	16	22	55.0	0.0	0.0	100.0
	中指	30, 15°C	21±1	5	15	22	55.0	20.0	0.0	100.0
	環指	30, 15°C	21±1	5	16	22	55.0	20.0	0.0	100.0
	小指	30, 15°C	21±1	4	16	22	55.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	18	63	88	55.0	11.1	0.0	100.0
10°C	示指	30, 10°C	21±1	5	15	22	55.0	80.0	0.0	100.0
	中指	30, 10°C	21±1	4	14	22	55.0	25.0	14.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	5	14	22	55.0	50.0	0.0	100.0
	小指	30, 10°C	21±1	5	15	22	55.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	19	58	88	55.0	36.8	3.4	97.7
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	5	13	22	55.0	20.0	30.8	90.9
15°C	左手	30, 15°C	21±1	5	13	22	55.0	20.0	7.7	100.0
10°C	左手	30, 10°C	21±1	4	12	22	55.0	25.0	33.3	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	5	13	22	55.0	20.0	0.0	100.0
	中指	30, 15°C	21±1	5	12	22	55.0	20.0	8.3	100.0
	環指	30, 15°C	21±1	5	13	22	55.0	20.0	0.0	100.0
	小指	30, 15°C	21±1	5	13	22	55.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	20	51	88	55.0	15.0	2.0	100.0
10°C	示指	30, 10°C	21±1	4	12	22	55.0	0.0	16.7	100.0
	中指	30, 10°C	21±1	4	11	22	55.0	25.0	18.2	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	4	12	22	55.0	25.0	8.3	100.0
	小指	30, 10°C	21±1	4	12	22	55.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	16	47	88	55.0	12.5	10.6	97.7

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D5 レイノー症状有無別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	振動障害群 VWF(+)	振動障害群 VWF(-)	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 振動障害群 VWF(+) %	敏感度 振動障害群 VWF(-) %	特異度 対照群 %		
右手 (振動障害群、対照群)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	5	16	22	65.0	100.0	25.0	63.6
15°C	右手	30, 15°C	21±1	5	16	22	65.0	80.0	12.5	86.4
10°C	右手	30, 10°C	21±1	5	15	22	65.0	100.0	20.0	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	4	16	22	65.0	25.0	0.0	90.9
	中指	30, 15°C	21±1	5	15	22	65.0	40.0	6.7	90.9
	環指	30, 15°C	21±1	5	16	22	65.0	40.0	6.3	95.5
	小指	30, 15°C	21±1	4	16	22	65.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	18	63	88	65.0	27.8	3.2	94.3
10°C	示指	30, 10°C	21±1	5	15	22	65.0	80.0	6.7	90.9
	中指	30, 10°C	21±1	4	14	22	65.0	50.0	14.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	5	14	22	65.0	50.0	7.1	90.9
	小指	30, 10°C	21±1	5	15	22	65.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	19	58	88	65.0	42.1	6.9	93.2
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	5	13	22	65.0	40.0	30.8	63.6
15°C	左手	30, 15°C	21±1	5	13	22	65.0	40.0	23.1	86.4
10°C	左手	30, 10°C	21±1	4	12	22	65.0	25.0	33.3	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	5	13	22	65.0	40.0	7.7	90.9
	中指	30, 15°C	21±1	5	12	22	65.0	20.0	8.3	90.9
	環指	30, 15°C	21±1	5	13	22	65.0	20.0	7.7	95.5
	小指	30, 15°C	21±1	5	13	22	65.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	20	51	88	65.0	20.0	5.9	94.3
10°C	示指	30, 10°C	21±1	4	12	22	65.0	25.0	16.7	90.9
	中指	30, 10°C	21±1	4	11	22	65.0	25.0	27.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	4	12	22	65.0	25.0	16.7	90.9
	小指	30, 10°C	21±1	4	12	22	65.0	0.0	8.3	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	16	47	88	65.0	18.8	17.0	93.2

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D 6 レイノー症状有無別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件			室温 °C	振動障害群 VWF(+)	振動障害 群 VWF(-)	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 振動障害群 VWF(+) %	敏感度 振動障害群 VWF(-) %	特異度 対照群 %
右手 (振動障害群、対照群)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	5	16	22	75.0	100.0	43.8	40.9
15°C	右手	30, 15°C	21±1	5	16	22	75.0	80.0	12.5	45.5
10°C	右手	30, 10°C	21±1	5	15	22	75.0	100.0	40.0	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	4	16	22	75.0	50.0	12.5	72.7
	中指	30, 15°C	21±1	5	15	22	75.0	60.0	13.3	68.2
	環指	30, 15°C	21±1	5	16	22	75.0	40.0	6.3	77.3
	小指	30, 15°C	21±1	4	16	22	75.0	25.0	6.3	95.5
	合計	30, 15°C	21±1	18	63	88	75.0	44.4	9.5	78.4
10°C	示指	30, 10°C	21±1	5	15	22	75.0	100.0	26.7	68.2
	中指	30, 10°C	21±1	4	14	22	75.0	75.0	35.7	77.3
	環指	30, 10°C	21±1	5	14	22	75.0	100.0	21.4	72.7
	小指	30, 10°C	21±1	5	15	22	75.0	20.0	13.3	90.9
	合計	30, 10°C	21±1	19	58	88	75.0	68.4	24.1	77.3
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)										
手単位の評価 (基準値以下の割合)										
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	5	13	22	75.0	80.0	53.8	40.9
15°C	左手	30, 15°C	21±1	5	13	22	75.0	60.0	38.5	45.5
10°C	左手	30, 10°C	21±1	4	12	22	75.0	75.0	58.3	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)										
15°C	示指	30, 15°C	21±1	5	13	22	75.0	60.0	30.8	72.7
	中指	30, 15°C	21±1	5	12	22	75.0	40.0	16.7	68.2
	環指	30, 15°C	21±1	5	13	22	75.0	40.0	15.4	77.3
	小指	30, 15°C	21±1	5	13	22	75.0	0.0	0.0	95.5
	合計	30, 15°C	21±1	20	51	88	75.0	35.0	15.7	78.4
10°C	示指	30, 10°C	21±1	4	12	22	75.0	50.0	50.0	68.2
	中指	30, 10°C	21±1	4	11	22	75.0	25.0	27.3	77.3
	環指	30, 10°C	21±1	4	12	22	75.0	40.0	33.3	72.7
	小指	30, 10°C	21±1	4	12	22	75.0	25.0	16.7	90.9
	合計	30, 10°C	21±1	16	47	88	75.0	37.5	31.9	77.3

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

VS 区分では、症度 3 の振動障害群は左右 7 手中 2 手 (28.6%)、症度 2 では左右 23 手中 6 手 (26.1%)、症度 1 では左右 9 手中 1 手 (11.1%) が平均スコア 1.0 以上であった。

#### (エ) 評価基準

評価基準としては、上述した対照群におけるFSBP%の平均 $-2$ SD、平均 $-1.65$ SD、平均 $-1$ SDから区切りのよい値として得られた55%、65%、75%を基準値として各指の評価を行い、さらに手としての評価のために、それぞれの基準値を下回る測定値に3、2、1のスコアを与えて、平均スコア0.5未満、0.5以上1.0未満、1.0以上で評価することが考えられる。平均スコア1.0以上の場合、特異度として95%、手指レイノー症状を有する振動障害群における敏感度として50%程度が得られている。

#### エ 問題点と課題

振動障害における局所冷却による指動脈血圧検査について欧米では多くの検討が行われてきた。冷却負荷温度や検査時の全身冷却の有無などの検査方法、得られらた判別性には報告間で差があるものの、振動障害患者の特に手指レイノー症状の有無を反映できる検査として報告されている。局所冷却による指動脈血圧検査で0 mmHg (いわゆる'0 pressure') が認められた場合、手指レイノー症状の客観的な検査所見として一般に見なされている。ただし、手指レイノー症状を有していても、局所冷却による指動脈血圧検査で把握できない事例 (偽陰性例) が相当数あることに注意を要する。今回の検討では、これまでの文献報告と比べ、対照群におけるFSBP%の低い事例がやや多くみられた。今回の検討は、50歳から69歳の比較的高齢な健常者の検討によるものことから、今後、さらに多数例での検討を行う必要がある。

#### オ まとめ

ISOで標準化された方法に準じて行った局所冷却による指動脈血圧検査結果を、振動障害群29名 (うち手指レイノー症状有症者10名) 及び対照群22名について分析した。対照群に比べ、特に手指レイノー症状有症者においてFSBP%が低いことが認められ、特異度95%、敏感度50%程度が期待できる可能性が示された。今後、さらに多数例での検討が必要と考えられた。

#### (5) 振動感覚閾値検査

振動障害群及び対照群に対し、ISO 13091-1に準拠した振動感覚閾値検査をHVLab社製のTactile Vibrometer (以下「HVLab」という。) を用いて実施した。また、わが国で広く使用されるRION社製振動感覚計AU-02B (以下「RION」という。) を用いて比較測定した。

#### ア 対象

本検査を実施できた被検者は振動障害群55名、対照群27名であった。最終的な分析対象者は、前記2の(1)からレイノー症状を有さない振動障害者5名を除いた、振動障害群26名、対照群25名となった。

表D7 ストックホルムワークショップスケール (RP) 別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	SW3	SW1-2	SW0	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 SW3 群 %	敏感度 SW1-2 群 %	敏感度 SW0 群 %	特異度 対照群 %		
右手 (振動障害群、対照群)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	1	4	16	22	55.0	100.0	100.0	12.5	90.9
15°C	右手	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	55.0	100.0	25.0	0.0	100.0
10°C	右手	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	55.0	100.0	100.0	13.3	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	中指	30, 15°C	21±1	1	4	15	22	55.0	100.0	0.0	0.0	100.0
	環指	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	55.0	0.0	25.0	0.0	100.0
	小指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	4	14	63	88	55.0	25.0	7.1	0.0	100.0
10°C	示指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	55.0	100.0	75.0	0.0	100.0
	中指	30, 10°C	21±1	0	4	14	22	55.0		25.0	14.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	1	4	14	22	55.0	0.0	50.0	0.0	100.0
	小指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	3	16	58	88	55.0	33.3	37.5	3.4	97.7
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	2	3	13	22	55.0	0.0	33.3	30.8	90.9
15°C	左手	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	55.0	0.0	33.3	7.7	100.0
10°C	左手	30, 10°C	21±1	2	3	12	22	55.0	0.0	25.0	33.3	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	55.0	0.0	33.3	0.0	100.0
	中指	30, 15°C	21±1	2	3	12	22	55.0	0.0	33.3	8.3	100.0
	環指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	55.0	0.0	33.3	0.0	100.0
	小指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	8	12	51	88	55.0	0.0	25.0	2.0	100.0
10°C	示指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	55.0	0.0	0.0	16.7	100.0
	中指	30, 10°C	21±1	2	2	11	22	55.0	0.0	33.3	18.2	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	55.0	0.0	25.0	8.3	100.0
	小指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	8	8	47	88	55.0	0.0	13.3	10.6	97.7

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D 8 SWS-R別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	SW3	SW1-2	SW0	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 SW3 群 %	敏感度 SW1-2 群 %	敏感度 SW0 群 %	特異度 対照群 %		
右手 (振動障害群、対照群)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	1	4	16	22	65.0	100.0	100.0	25.0	63.6
15°C	右手	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	65.0	100.0	75.0	12.5	86.4
10°C	右手	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	65.0	100.0	100.0	20.0	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	65.0	0.0	33.3	0.0	90.9
	中指	30, 15°C	21±1	1	4	15	22	65.0	100.0	25.0	6.7	90.9
	環指	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	65.0	0.0	50.0	6.3	95.5
	小指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	4	14	63	88	65.0	25.0	28.6	3.2	94.3
10°C	示指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	65.0	100.0	75.0	6.7	90.9
	中指	30, 10°C	21±1	0	4	14	22	65.0		50.0	14.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	1	4	14	22	65.0	0.0	50.0	7.1	90.9
	小指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	3	16	58	88	65.0	33.3	43.8	6.9	93.2
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	2	3	13	22	65.0	50.0	33.3	30.8	63.6
15°C	左手	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	65.0	50.0	33.3	23.1	86.4
10°C	左手	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	65.0	0.0	25.0	33.3	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	65.0	50.0	33.3	7.7	90.9
	中指	30, 15°C	21±1	2	3	12	22	65.0	0.0	33.3	8.3	90.9
	環指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	65.0	0.0	33.3	7.7	95.5
	小指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	合計	30, 15°C	21±1	8	12	51	88	65.0	12.5	25.0	5.9	94.3
10°C	示指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	65.0	0.0	25.0	16.7	90.9
	中指	30, 10°C	21±1	2	2	11	22	65.0	0.0	33.3	27.3	90.9
	環指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	65.0	0.0	25.0	16.7	90.9
	小指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	65.0	0.0	0.0	8.3	100.0
	合計	30, 10°C	21±1	8	8	47	88	65.0	0.0	20.0	17.0	93.2

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D9 SWS-R別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	SW3	SW1-2	SW0	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 SW3 群 %	敏感度 SW1-2 群 %	敏感度 SW0 群 %	特異度 対照群 %		
右手 (振動障害群、対照群)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	右手	30, 15, 10°C	21±1	1	4	16	22	75.0	100.0	100.0	43.8	40.9
15°C	右手	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	75.0	100.0	75.0	12.5	45.5
10°C	右手	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	75.0	100.0	100.0	40.0	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	75.0	0.0	66.7	12.5	72.7
	中指	30, 15°C	21±1	1	4	15	22	75.0	100.0	50.0	13.3	68.2
	環指	30, 15°C	21±1	1	4	16	22	75.0	0.0	50.0	6.3	77.3
	小指	30, 15°C	21±1	1	3	16	22	75.0	0.0	33.3	6.3	95.5
	合計	30, 15°C	21±1	4	14	63	88	75.0	25.0	50.0	9.5	78.4
10°C	示指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	75.0	100.0	100.0	26.7	68.2
	中指	30, 10°C	21±1	0	4	14	22	75.0		75.0	35.7	77.3
	環指	30, 10°C	21±1	1	4	14	22	75.0	100.0	75.0	21.4	72.7
	小指	30, 10°C	21±1	1	4	15	22	75.0	0.0	25.0	13.3	90.9
	合計	30, 10°C	21±1	3	16	58	88	75.0	66.7	68.8	24.1	77.3
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)												
手単位の評価 (基準値以下の割合)												
15 and/or 10°C	左手	30, 15, 10°C	21±1	2	3	13	22	75.0	50.0	100.0	53.8	40.9
15°C	左手	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	75.0	50.0	66.7	38.5	45.5
10°C	左手	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	75.0	50.0	50.0	58.3	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)												
15°C	示指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	75.0	50.0	66.7	30.8	72.7
	中指	30, 15°C	21±1	2	3	12	22	75.0	50.0	33.3	16.7	68.2
	環指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	75.0	50.0	33.3	15.4	77.3
	小指	30, 15°C	21±1	2	3	13	22	75.0	0.0	0.0	0.0	95.5
	合計	30, 15°C	21±1	8	12	51	88	75.0	37.5	33.3	15.7	78.4
10°C	示指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	75.0	50.0	25.0	50.0	68.2
	中指	30, 10°C	21±1	2	2	11	22	75.0	0.0	33.3	27.3	77.3
	環指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	75.0	0.0	50.0	33.3	72.7
	小指	30, 10°C	21±1	2	2	12	22	75.0	0.0	25.0	16.7	90.9
	合計	30, 10°C	21±1	8	8	47	88	75.0	12.5	33.3	31.9	77.3

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D10 厚生労働省 VS 区分、P別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	VS <sub>3</sub>	VS <sub>2</sub>	VS <sub>1</sub>	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 VS <sub>3</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>2</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>1</sub> 群 %	特異度 対照群 %	
右手 (振動障害群、対照群)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 右手	30, 15, 10°C	21±1	3	13	5	22	55.0	66.7	30.8	20.0	90.9
15°C 右手	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	55.0	33.3	7.7	0.0	100.0
10°C 右手	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	55.0	66.7	30.8	25.0	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
中指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	55.0	0.0	7.7	0.0	100.0
環指	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	55.0	33.3	0.0	0.0	100.0
小指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 15°C	21±1	9	52	20	88	55.0	11.1	1.9	0.0	100.0
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	55.0	66.7	15.4	0.0	100.0
中指	30, 10°C	21±1	3	11	4	22	55.0	33.3	9.1	25.0	90.9
環指	30, 10°C	21±1	3	13	3	22	55.0	33.3	7.7	0.0	100.0
小指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 10°C	21±1	12	50	15	88	55.0	33.3	8.0	6.7	97.7
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 左手	30, 15, 10°C	21±1	4	10	4	22	55.0	0.0	30.0	50.0	90.9
15°C 左手	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	55.0	0.0	20.0	0.0	100.0
10°C 左手	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	55.0	0.0	33.3	50.0	90.9
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	55.0	0.0	10.0	0.0	100.0
中指	30, 15°C	21±1	4	9	4	22	55.0	0.0	22.2	0.0	100.0
環指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	55.0	0.0	10.0	0.0	100.0
小指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 15°C	21±1	16	39	16	88	55.0	0.0	10.3	0.0	100.0
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	55.0	0.0	0.0	50.0	100.0
中指	30, 10°C	21±1	3	8	4	22	55.0	0.0	37.5	0.0	90.9
環指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	55.0	0.0	22.2	0.0	100.0
小指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	55.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 10°C	21±1	12	35	16	88	55.0	0.0	14.3	12.5	97.7

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D11 厚生労働省 VS区分別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	VS <sub>3</sub>	VS <sub>2</sub>	VS <sub>1</sub>	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 VS <sub>3</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>2</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>1</sub> 群 %	特異度 対照群 %	
右手 (振動障害群、対照群)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 右手	30, 15, 10°C	21±1	3	13	5	22	65.0	66.7	38.5	40.0	63.6
15°C 右手	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	65.0	66.7	23.1	20.0	86.4
10°C 右手	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	65.0	66.7	38.5	25.0	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	65.0	50.0	0.0	0.0	90.9
中指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	65.0	50.0	7.7	20.0	90.9
環指	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	65.0	33.3	15.4	0.0	95.5
小指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 15°C	21±1	9	52	20	88	65.0	33.3	5.8	5.0	94.3
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	65.0	66.7	23.1	0.0	90.9
中指	30, 10°C	21±1	3	11	4	22	65.0	66.7	9.1	25.0	90.9
環指	30, 10°C	21±1	3	13	3	22	65.0	33.3	15.4	0.0	90.9
小指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 10°C	21±1	12	50	15	88	65.0	41.7	12.0	6.7	93.2
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 左手	30, 15, 10°C	21±1	4	10	4	22	65.0	0.0	40.0	50.0	63.6
15°C 左手	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	65.0	0.0	40.0	25.0	86.4
10°C 左手	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	65.0	0.0	33.3	50.0	72.7
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	65.0	0.0	20.0	25.0	90.9
中指	30, 15°C	21±1	4	9	4	22	65.0	0.0	22.2	0.0	90.9
環指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	65.0	0.0	20.0	0.0	95.5
小指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	65.0	0.0	0.0	0.0	100.0
合計	30, 15°C	21±1	16	39	16	88	65.0	0.0	15.4	6.3	94.3
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	65.0	0.0	11.1	50.0	90.9
中指	30, 10°C	21±1	3	8	4	22	65.0	0.0	37.5	25.0	90.9
環指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	65.0	0.0	33.3	0.0	90.9
小指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	65.0	0.0	11.1	0.0	100.0
合計	30, 10°C	21±1	12	35	16	88	65.0	0.0	22.9	18.8	93.2

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D12 厚生労働省 VS 区分別のFSBP% 検査における敏感度と特異度

検査条件	室温 °C	VS <sub>3</sub>	VS <sub>2</sub>	VS <sub>1</sub>	対照群	FSBP% Cut-off 値	敏感度 VS <sub>3</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>2</sub> 群 %	敏感度 VS <sub>1</sub> 群 %	特異度 対照群 %	
右手 (振動障害群、対照群)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 右手	30, 15, 10°C	21±1	3	13	5	22	75.0	66.7	53.8	60.0	40.9
15°C 右手	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	75.0	66.7	23.1	20.0	45.5
10°C 右手	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	75.0	66.7	53.8	50.0	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	75.0	50.0	15.4	20.0	72.7
中指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	75.0	50.0	23.1	20.0	68.2
環指	30, 15°C	21±1	3	13	5	22	75.0	33.3	15.4	0.0	77.3
小指	30, 15°C	21±1	2	13	5	22	75.0	0.0	15.4	0.0	95.5
合計	30, 15°C	21±1	9	52	20	88	75.0	33.3	17.3	10.0	78.4
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	75.0	66.7	46.2	25.0	68.2
中指	30, 10°C	21±1	3	11	4	22	75.0	66.7	45.5	25.0	77.3
環指	30, 10°C	21±1	3	13	3	22	75.0	33.3	38.5	33.3	72.7
小指	30, 10°C	21±1	3	13	4	22	75.0	0.0	7.7	50.0	90.9
合計	30, 10°C	21±1	12	50	15	88	75.0	41.7	34.0	33.3	77.3
振動障害群 (左手)、対照群 (右手)											
手単位の評価 (基準値以下の割合)											
15 and/or 10°C 左手	30, 15, 10°C	21±1	4	10	4	22	75.0	75.0	60.0	50.0	40.9
15°C 左手	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	75.0	50.0	50.0	25.0	45.5
10°C 左手	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	75.0	66.7	66.7	50.0	59.1
指単位の評価 (基準値以下の割合)											
15°C 示指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	75.0	50.0	40.0	25.0	72.7
中指	30, 15°C	21±1	4	9	4	22	75.0	0.0	33.3	25.0	68.2
環指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	75.0	0.0	40.0	0.0	77.3
小指	30, 15°C	21±1	4	10	4	22	75.0	0.0	0.0	0.0	95.5
合計	30, 15°C	21±1	16	39	16	88	75.0	12.5	28.2	12.5	78.4
10°C 示指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	75.0	33.3	55.6	50.0	68.2
中指	30, 10°C	21±1	3	8	4	22	75.0	0.0	37.5	25.0	77.3
環指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	75.0	33.3	44.4	25.0	72.7
小指	30, 10°C	21±1	3	9	4	22	75.0	0.0	33.3	0.0	90.9
合計	30, 10°C	21±1	12	35	16	88	75.0	16.7	42.9	25.0	77.3

(注)被検者は椅座位にて実施。冷却の状態：指冷却のみ。

表D13 各症状分類による左右手のスコア評価

	右 手				左 手				左 右 手				
	<0.5 指数	≥0.5-<1.0 指数	≥1.0 指数	計 指数	<0.5 指数	≥0.5-<1.0 指数	≥1.0 指数	計 指数	<0.5 指数	≥0.5-<1.0 指数	左 右 手 指数	%	計 指数
レイノー													
あり	0	1	4	5	3	1	1	5	3	2	5	50.0	10
なし	12	3	1	16	9	1	3	13	21	4	4	13.8	29
対照群	16	5	1	22	0	0	0	0	16	5	1	4.5	22
SWS RP													
SW3	0	0	1	1	1	1	0	2	1	1	1	33.3	3
SW1-2	0	1	3	4	2	0	1	3	2	1	4	57.1	7
SW0	12	3	1	16	9	1	3	13	21	4	4	13.8	29
対照群	16	5	1	22	0	0	0	0	16	5	1	4.5	22
厚生労働省													
VS 区分													
VS <sub>3</sub>	1	0	2	3	4	0	0	4	5	0	2	28.6	7
VS <sub>2</sub>	8	2	3	13	5	2	3	10	13	4	6	26.1	23
VS <sub>1</sub>	3	2	0	5	3	0	1	4	6	2	1	11.1	9
対照群	16	5	1	22	0	0	0	0	16	5	1	4.5	22

%FSBP: >75.0 = 0, >65.0-≤75.0 = 1, >55-≤65.0 = 2, ≤55.0 = 3; cutoffs for average scores: <0.5, ≥0.5-<1.0, ≥1.0.

## イ 方法

HVLab を用いた。測定周波数は 31.5 Hz と 125 Hz、両手あるいは片手の全指尖を測定した。検査室は 50 dB (A) 以下の騒音レベルとし、室温を  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  (設定温度) に保った。被検者は上下 2 枚の着衣、靴下を着用し、設定室温下において検査前少なくとも 20 分間安静にした。振動感覚閾値測定前に、対象指尖の皮膚温を測定し  $30^\circ\text{C}$  未満である場合には、設定温度 ( $23 \sim 27^\circ\text{C}$ ) の範囲内で検査室温を上げた。振動感覚閾値測定開始前に、機器の取り扱いを習熟させるように被検者に練習を行わせた。本検査法では、振動子から検査指への圧力は自動的に一定に保たれ、振動子の周辺対照板 (サラウンド) への圧迫力は被検者が一定に保ち、振動の増減はパソコンにより自動的に増減される。閾値の測定は被検者のボタン操作により、上昇法と下降法の値を自動測定し平均値が算出される。

別に厚生労働省の通達に準じた RION を用いて、左右あるいは片手中指の閾値検査を行なった。この際、閾値の表示は HVLab と同一になるように ref を  $10^{-6}\text{m/s}^2$  に補正した。

## ウ 結果

分析対象者において、HVLab による測定は振動障害群と対照群それぞれ、両手で行われたもの 8 名、1 名、右手のみ 10 名、24 名、左手のみ 10 名、1 名であった。RION による測定は、両手 8 名、1 名、右手のみ 7 名、15 名、左手のみ 8 名、1 名、未測定 0 名、8 名であった。対照群のうち 1 名において、HVLab による右手小指の 125 Hz 検査の閾値が  $0\text{ m/s}^2$  と測定され明らかな誤りと判断されたので、当該測定値のみ分析から除外した。

### (ア) 基礎統計

表 E1 に手指レイノー症状有無別の振動障害群及び対照群の振動感覚閾値について平均と標準偏差を用いて示した。ここでは、HVLab による各指の測定値、右あるいは左における 5 指の測定値を併せたもの、RION による中指の測定値を用いている。また、対照群は左手における測定が 2 名と少数であったため、右手の測定値のみを示し比較対照とした。表 E1 に示すように、左右とも手指レイノー症状のない振動障害群、次いで手指レイノー症状を持つ振動障害群の順で閾値が高く対照群との間でそれぞれ統計的に有意な差 ( $p < 0.01$ ) がみられた。

同様に、表 E2 に SWS-N、表 E3 に厚生労働省 NS 区分により分類された振動障害群と対照群の振動感覚閾値を平均と標準偏差を用いて示した。SWS-N、厚生労働省 NS 区分ともに、症度の強い振動障害群、症度の弱い振動障害群の順で閾値が高く、対照群 (右手測定値) との間でそれぞれ統計的に有意な差 ( $p < 0.01$ ) がみられた。

### (イ) 分析結果

表 E4~表 E6 に、対照群の右手指の閾値における平均 + 1.65 SD を目安に区切りのよい基準値を設定し (HVLab 31.5 Hz は 117 dB、同 125 Hz は 130 dB、RION は 125 dB)、各閾値の敏感度と特異度を算出して示した。

表 E4 に示すように HVLab 31.5 Hz における敏感度は、手指レイノー症状有症者の全 65 指中 44 指が基準値以上を示して 67.7%、同症状を有さない振動障害群では

全 115 指中 92 指で 80.0%であった。対照群における特異度は全 130 指中 5 指で 96.2%であった。同様に、HVLab 125 Hz における敏感度は、手指レイノー症状有症者の全 65 指中 47 指が基準値以上を示して 72.3%、同症状を有さない振動障害群では全 115 指中 87 指で 75.7%、対照群における特異度は全 129 指中 5 指で 96.1%であった。RION における敏感度は、手指レイノー症状有症者の左右 8 指 6 指が基準値以上を示して 75.0%、同症状を有さない振動障害群では左右 23 指中 20 指で 87.0%、対照群における特異度は左右 18 指中 0 指で 100%であった。

同様に、表 E 5 に示すように HVLab 31.5 Hz における敏感度は、SWS-N で症度 3 の振動障害群における全 60 指中 57 指が基準値以上を示して 95.0%、症度 2 で全 100 指中 71 指で 71.0%、症度 0-1 で全 20 指中 8 指で 40.0%であった。HVLab 125 Hz における敏感度は、症度 3 の振動障害群における全 60 指中 59 指が基準値以上を示して 98.3%、症度 2 は全 100 指中 68 指で 68.0%、症度 0-1 は全 20 指中 7 指で 35.0%であった。RION における敏感度はそれぞれ、左右 11 指中 11 指で 100%、17 指中 14 指で 82.4%、3 指中 1 指で 33.34%であった。

厚生労働省 NS 区分では、表 E 6 に示すように、HVLab 31.5 Hz における敏感度は、症度 3 は全 85 指中 75 指が 88.2%、症度 2 は全 75 指中 44 指で 58.7%、症度 1 で全 20 指中 17 指で 85.0%であった。HVLab 125 Hz における敏感度は、症度 3 は全 85 指中 73 指で 85.9%、症度 2 は全 75 指中 49 指で 65.3%、症度 1 で全 20 指中 12 指で 60.0%であった。RION における敏感度はそれぞれ、左右 17 指中 15 指で 88.2%、10 指中 8 指で 80.0%、4 指中 3 指で 75.0%であった。

#### (ウ) 評価区分

表 E 7 にスコアを用いた評価成績を示した。HVLab 及び RION による測定値を対照群の 95%値 (3-3 に同じ、平均+1.65 SD) と 84%値 (平均+1 SD) を目安に設定した基準値を用いて、それぞれ、2 点と 1 点として評価した。「95%基準値」は「3-3」と同じで、HVLab 31.5 Hz は 117 dB、同 125 Hz は 130 dB、RION は 125 dB、「84%基準値」としては HVLab 31.5 Hz は 113 dB、同 125 Hz は 125 dB、RION は 121 dB とした。HVLab についてはさらに左右それぞれの 5 指及び 31.5 Hz と 125 Hz の測定値、すなわち 10 測定値による合計スコアを求めた。

HVLab における合計スコアでは、対照群は左右 23 手中 22 手 (95.7%) が 10 点未満、レイノー症状を有する振動障害群は左右 12 手中 11 手 (91.7%)、同症状を有しない振動障害群は左右 24 手中 20 手 (83.3%) が 10 点以上であった。RION におけるスコアでは、対照群は左右 18 指中 18 指 (100%) が 2 点未満、レイノー症状有症者は左右 8 指中 6 指 (75.0%)、同症状を有さない振動障害群は左右 23 指中 20 指 (87.0%) が 2 点以上であった。

SWS-N では、HVLab における合計スコアは、症度 3 の振動障害群は左右 12 手中 12 手 (100%)、症度 0-2 では左右 24 手中 22 手 (91.7%) が 10 点以上であった。RION におけるスコアではそれぞれ、左右 11 指中 11 指 (100%)、左右 20 指中 15 指 (75.0%) が 2 点以上であった。

表 E 1 振動障害群と対照群の振動感覚閾値 (dB, mean±SD, HVLab:ref=10<sup>-6</sup>m/s<sup>2</sup>, RION:ref=10<sup>-6</sup>m/s<sup>2</sup>)

	HVLab 31.5Hz							n	全指
	n	母指	示指	中指	環指	小指			
右手									
VWF(+)	5	118.3±10.4**	117.4± 8.1**	123.3± 8.2**	126.2± 8.1**	126.6±11.8**	25	122.3± 9.5**	
VWF(-)	11	126.0±11.2**	126.2±11.9**	130.2±11.8**	129.8±11.7**	132.9±10.5**	55	129.0±11.3**	
VWF(+)+VWF(-)	16	123.6±11.3**	123.5±11.4**	128.0±11.0**	128.7±10.6**	130.9±10.9**	80	126.9±11.2**	
左手									
VWF(+)	6	121.8±12.5**	122.5±12.6**	121.4±11.7**	123.1±11.3**	123.0±11.4**	30	122.3±11.1**	
VWF(-)	12	124.5± 9.5**	125.4±11.2**	127.0±10.4**	129.9±10.0**	129.4±11.3**	60	127.2±10.4**	
VWF(+)+VWF(-)	18	123.6±10.3**	124.4±11.4**	125.1±10.9**	127.6±10.6**	127.3±11.5**	90	125.6±10.8**	
右手 対照群	24	107.6± 6.5	104.9± 7.5	106.3± 5.3	107.3± 4.9	110.0± 5.1	120	107.2± 6.1	

	HVLab 125Hz						RION 125Hz			
	n	母指	示指	中指	環指	小指	n	全指	n	中指
右手										
VWF(+)	5	128.8±10.6**	133.8± 7.5**	134.5± 8.1**	138.7± 5.8**	138.2± 9.9**	25	134.8± 8.6**	4	128.8± 4.3**
VWF(-)	11	137.1±11.2**	139.6±11.4**	141.1± 8.1**	140.2± 9.6**	144.1± 7.6**	55	140.4± 9.6**	11	135.7± 7.0**
VWF(+)+VWF(-)	16	134.5±11.4**	137.8±10.5**	139.0± 8.4**	139.8± 8.4**	142.3± 8.5**	80	138.7± 9.6**	15	133.9± 7.0**
左手										
VWF(+)	6	134.5± 9.7**	134.0± 8.5**	132.3± 9.5**	136.1± 8.3**	134.1±10.4**	30	134.2± 8.8**	4	134.5± 8.2**
VWF(-)	12	132.5±12.0**	136.2±10.7**	136.5± 9.9**	138.9± 9.4**	138.4±11.3**	60	136.5±10.6**	12	134.6± 8.4**
VWF(+)+VWF(-)	18	133.1±11.1**	135.5± 9.8**	135.1± 9.7**	138.0± 8.9**	137.0±10.9**	90	135.7±10.0**	16	134.5± 8.1**
右手 対照群	24	115.3± 8.4	114.9± 7.5	116.9± 7.3	118.4± 6.0	122.1± 7.4	119	117.5± 7.7	16	116.3± 4.9

・RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用  
 ・HVLab 125Hz:の右手control小指のみn=23  
 ・\*:p<0.05; \*\*:p<0.01, Student t-test

表 E 2 振動障害群と対照群のストックホルムワークショップスケール(SN)における  
振動感覚閾値(dB, mean±SD, HVLab:ref=10<sup>-6</sup>m/s<sup>2</sup>, RION:ref=10<sup>-6</sup>m/s<sup>2</sup>)

	n	HVLab 31.5Hz					n	全指
		母指	示指	中指	環指	小指		
右手								
SN(0-2)	10	118.7± 9.1**	119.8± 9.2**	123.8±10.5**	124.4± 9.8**	125.2± 8.9**	50	122.4± 9.5**
SN(3)	6	131.7±10.3**	129.7±12.7**	135.1± 8.5**	135.7± 8.2**	140.5± 6.3**	30	134.5± 9.6**
左手								
SN(0-2)	13	120.8±10.5**	121.6±11.1**	122.5±10.8**	124.7±10.7**	123.3±10.6**	65	122.6±10.5**
SN(3)	5	130.9± 5.0**	131.7± 9.2**	131.9± 8.6**	135.3± 6.0**	137.6± 6.0**	25	133.5± 7.0**
右手 対照群	24	107.6± 6.5	104.9± 7.5	106.3± 5.3	107.3± 4.9	110.0± 5.1	120	107.2± 6.1

	n	HVLab 125Hz					n	全指	RION 125Hz	
		母指	示指	中指	環指	小指			n	中指
右手										
SN(0-2)	10	129.3± 9.3**	134.1± 9.6**	135.3± 7.2**	136.8± 8.5**	138.4± 8.1**	50	134.8± 8.8**	9	129.9± 4.8**
SN(3)	6	143.2± 9.6**	143.9± 9.7**	145.2± 6.7**	144.7± 6.2**	148.7± 4.3**	30	145.1± 7.3**	6	139.8± 5.5**
左手										
SN(0-2)	13	129.9±11.4**	132.5± 9.6**	132.7±10.1**	135.6± 9.1**	133.4±10.7**	65	132.8±10.1**	11	133.0± 8.8**
SN(3)	5	141.6± 2.1**	143.3± 5.5**	141.3± 5.5**	144.0± 4.7**	146.5± 2.9**	25	143.3± 4.4**	5	138.0± 5.6**
右手 対照群	24	115.3± 8.4	114.9± 7.5	116.9± 7.3	118.4± 6.0	122.1± 7.4	119	117.5± 7.7	16	116.3± 4.9

・RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用  
 ・HVLab 125Hzの右手control小指のみn=23  
 \*\*:p<0.05; \*:p<0.01, Student t-test

表 E 3 振動障害群と対照群の厚生労働省NS区分における振動感覚閾値 (dB, mean±SD, HVLab:ref=10<sup>6</sup>m/s<sup>2</sup>, RION:ref=10<sup>6</sup>m/s<sup>2</sup>)

	HVLab 31.5Hz							n	全指
	n	母指	示指	中指	環指	小指			
右手									
NS <sub>(1-2)</sub>	7	119.4± 9.6**	120.1±11.0**	125.8±11.8**	126.8±11.1**	127.6±10.2**	35	123.9±10.7**	
NS <sub>(3)</sub>	9	126.9±11.9**	126.1±11.6**	129.8±10.7**	130.1±10.6**	133.4±11.4**	45	129.3±11.0**	
左手									
NS <sub>(1-2)</sub>	10	119.0± 9.8**	119.0±10.8**	119.2± 9.7**	122.8±10.5**	121.4± 9.9**	50	120.3± 9.9**	
NS <sub>(3)</sub>	8	129.5± 8.0**	131.1± 8.3**	132.6± 7.1**	133.7± 7.7**	134.6± 9.0**	40	132.3± 7.8**	
右手 対照群	24	107.6± 6.5	104.9± 7.5	106.3± 5.3	107.3± 4.9	110.0± 5.1	120	107.2± 6.1	

	HVLab 125Hz							RION 125Hz		
	n	母指	示指	中指	環指	小指	n	全指	n	中指
右手										
NS <sub>(1-2)</sub>	7	130.1±11.3**	135.1±11.2**	135.5± 9.6**	137.5± 9.9**	139.2± 8.3**	35	135.5±10.0**	6	131.4± 6.2**
NS <sub>(3)</sub>	9	138.0±10.9**	139.8±10.1**	141.8± 6.7**	141.5± 7.2**	144.7± 8.3**	45	141.1± 8.7**	9	135.5± 7.4**
左手										
NS <sub>(1-2)</sub>	10	128.6±11.0**	130.5± 8.2**	129.3± 8.5**	133.4± 8.0**	131.7±10.6**	50	130.7± 9.1**	8	131.0± 7.3**
NS <sub>(3)</sub>	8	138.8± 8.7**	141.7± 8.2**	142.3± 5.3**	143.6± 6.6**	143.6± 7.4**	40	142.0± 7.2**	8	138.1± 7.6**
右手 対照群	24	115.3± 8.4	114.9± 7.5	116.9± 7.3	118.4± 6.0	122.1± 7.4	119	117.5± 7.7	16	116.3± 4.9

- ・RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用
- ・HVLab 125Hzの右手control小指のみn=23
- ・\*p<0.05; \*\*p<0.01, Student t-test

表 E 4 振動障害群と対照群の振動感覚閾値における敏感度と特異度

右手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB)
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	中指
VWF(+)													
n	5	5	5	5	5	25	5	5	5	5	5	25	4
positive/n	2/5	2/5	4/5	4/5	3/5	15/25	1/5	3/5	4/5	5/5	4/5	17/25	3/4
敏感度(%)	40	40	80	80	60	60	20	60	80	100	80	68	75
VWF(-)													
n	11	11	11	11	11	55	11	11	11	11	11	55	11
positive/n	8/11	7/11	9/11	9/11	10/11	43/55	8/11	8/11	9/11	9/11	10/11	44/55	10/11
敏感度(%)	72.7	63.6	81.8	81.8	90.9	78.2	72.7	72.7	81.8	81.8	90.9	80	90.9
VWF(+)+VWF(-)													
n	16	16	16	16	16	80	16	16	16	16	16	80	15
positive/n	10/16	9/16	13/16	13/16	13/16	58/80	9/16	11/16	13/16	14/16	14/16	61/80	13/15
敏感度(%)	62.5	56.3	81.3	81.3	81.3	72.5	56.3	68.8	81.3	87.5	87.5	76.3	86.7
対照群													
n	24	24	24	24	24	120	24	24	24	24	23	119	16
positive/n	1/24	1/24	1/24	0/24	2/24	5/120	0/24	0/24	1/24	0/24	4/23	5/119	0/16
特異度(%)	95.8	95.8	95.8	100	91.7	95.8	100	100	95.8	100	82.6	95.8	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

左手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB)
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	中指
VWF(+)													
n	6	6	6	6	6	30	6	6	6	6	6	30	4
positive/n	4/6	4/6	3/6	4/6	4/6	19/30	4/6	4/6	4/6	4/6	4/6	20/30	3/4
敏感度(%)	66.7	66.7	50	66.7	66.7	63.3	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	75
VWF(-)													
n	12	12	12	12	12	60	12	12	12	12	12	60	12
positive/n	9/12	10/12	10/12	11/12	9/12	49/60	7/12	8/12	9/12	9/12	10/12	43/60	10/12
敏感度(%)	75	83.3	83.3	91.7	75	81.7	58.3	66.7	75	75	83.3	71.7	83.3
VWF(+)+VWF(-)													
n	18	18	18	18	18	90	18	18	18	18	18	90	16
positive/n	13/18	14/18	13/18	15/18	13/18	68/90	11/18	12/18	13/18	13/18	14/18	63/90	13/16
敏感度(%)	72.2	77.8	72.2	83.3	72.2	75.6	61.1	66.7	72.2	72.2	77.8	70	81.3
対照群													
n	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	10	2
positive/n	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2
特異度(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

表 E 5. 振動障害群と対照群の振動感覚閾値における敏感度と特異度(ストックホルムワークショップスケールのSNで区分)

右手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB) 中指
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	
SN(0-1)													
n	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	10	2
positive/n	2/2	2/2	2/2	1/2	1/2	8/10	1/2	1/2	1/2	2/2	1/2	6/10	1/2
敏感度(%)	100	100	100	50	50	80	50	50	50	100	50	60	50
SN(2)													
n	8	8	8	8	8	40	8	8	8	8	8	40	7
positive/n	3/8	3/8	5/8	6/8	6/8	23/40	2/8	5/8	6/8	6/8	7/8	26/40	6/7
敏感度(%)	37.5	37.5	62.5	75	75	57.5	25	62.5	75	75	87.5	65	85.7
SN(3)													
n	6	6	6	6	6	30	3	6	6	6	6	30	6
positive/n	5/6	4/6	6/6	6/6	6/6	27/30	6/6	5/6	6/6	6/6	6/6	29/30	6/6
敏感度(%)	83.3	66.7	100	100	100	90	100	83.3	100	100	100	96.7	100
対照群													
n	24	24	24	24	24	120	24	24	24	24	23	119	16
positive/n	1/24	1/24	1/24	0/24	2/24	5/120	0/24	0/24	1/24	0/24	4/23	5/119	0/16
特異度(%)	95.8	95.8	95.8	100	91.7	95.8	100	100	95.8	100	82.6	95.8	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

左手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB) 中指
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	
SN(0-1)													
n	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	10	1
positive/n	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2	0/2	0/2	0/2	1/2	1/10	0/1
敏感度(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10	0
SN(2)													
n	11	11	11	11	11	55	11	11	11	11	11	55	10
positive/n	8/11	9/11	8/11	10/11	8/11	43/55	6/11	7/11	8/11	8/11	8/11	37/55	8/10
敏感度(%)	72.7	81.8	72.7	90.9	72.7	78.2	54.5	63.6	72.7	72.7	72.7	67.3	80
SN(3)													
n	5	5	5	5	5	25	5	5	5	5	5	25	5
positive/n	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	25/25	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	25/25	5/5
敏感度(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
対照群													
n	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	10	2
positive/n	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2
特異度(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

厚生労働省 NS 区分では、HVLab における合計スコアは、症度 3 の振動障害群は左右 17 手中 16 手 (94.1%)、症度 1-2 では左右 19 手中 15 手 (78.9%) が 10 点以上であった。RION におけるスコアでは、左右 17 指中 15 指 (88.2%)、左右 14 指中 11 指 (78.6%) が 2 点以上であった。RION におけるスコアでは、左右 13 指中 12 指 (92.3%)、左右 18 指中 14 指 (78.8%) が 2 点以上であった。

#### (イ) 評価基準

各指に対する評価基準として、上述した対照群の右手指の閾値における平均+1.65 SD を目安に区切りのよい値を設定した。HVLab 31.5 Hz : 117 dB、同 125 Hz : 130 dB、同様に平均+1 SD を目安に区切りのよい値を設定した。HVLab 31.5 Hz : 113 dB、同 125 Hz : 125 dB が参考となる。前者では特異度 95%程度が期待できる。後者では特異度 85%程度が期待できる。また、これらを用いて、「95%基準値」以上を 2 点、「84%基準値」を 1 点として 5 指の合計スコア (すなわち 10 測定値) を算出し、10 点以上で判定すれば、手の評価を特異度 95%、敏感度 86%で行える可能性がある。ただし、これらは 50 歳から 69 歳の比較的高齢な健常者 24 名の測定値によるものであり、被検者数を増やすとともに性差や年齢影響を考慮した検討、他の文献資料との比較検討がさらに必要である。

#### エ 問題点と課題

知覚機能検査における年齢影響は一般に認められる。一方、振動障害の治療に用いる薬剤内服が知覚機能検査結果に与える影響については大きくないと考えられるが、ここでは当日の薬剤内服者及び当初の年齢条件から外れる被検者は含めずに分析を行った。さらに 4 名の療養者については検査機器の故障のために検査が実施できず、最終的な分析対象者が振動障害群と対照群それぞれ 30 名弱にとどまった。

今回、使用した HVLab は、国際規格となった ISO 13091-1 に準拠したものである。被検者は、自身で振動子の周辺対照板 (サラウンド) への圧迫力を調節するとともに、自動的に増減する振動の知覚レベルをボタン操作で応答せねばならない。閾値測定開始前には被検者に機器の取り扱いの練習を行なわせたが、習熟度が十分でない状況が一部にあった。このことが測定された閾値の分散が大きい被検者が一定数みられたことの原因と考えられた。

今回使用した振動感覚閾値検査法では、異なる機械受容器が測定可能であること、検査部位への物理的圧迫力による閾値への影響を除去できること、被検者の操作による自動測定が可能であることなどの特徴があるが、被検者の検査への十分な習熟が必要である。また、知覚機能には年齢影響があることが明らかにされており、異なる年齢層における健常者を含めたより多数の振動感覚閾値の蓄積と検討が必要である。

#### オ まとめ

ISO で標準化された方法に準じて行った振動感覚閾値検査結果を、振動障害群 26 名 (うち手指レイノー症状有症者 10 名) 及び対照群 25 名について分析した。対照群に比べ、振動障害群では閾値の上昇が認められ、特異度 95%、敏感度 90%程度が期待できる可能性が示された。今後、今回の調査における問題点を改善し、さらに広い年齢層で

表 E 6 振動障害群と対照群の厚生労働省NS区分における振動感覚閾値の敏感度と特異度

右手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB) 中指
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	
NS <sub>1</sub>													
n	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	1
positive/n	1/1	1/1	1/1	0/1	0/1	3/5	0/1	0/1	0/1	1/1	0/1	1/5	0/1
敏感度(%)	100	100	100	0	0	60	0	0	0	100	0	20	0
NS <sub>2</sub>													
n	6	6	6	6	6	30	6	6	6	6	6	30	5
positive/n	2/6	2/6	5/6	5/6	5/6	19/30	3/6	4/6	5/6	5/6	6/6	23/30	5/5
敏感度(%)	33.3	33.3	83.3	83.3	83.3	63.3	50	66.7	83.3	83.3	100	76.7	100
NS <sub>3</sub>													
n	9	9	9	9	9	45	9	9	9	9	9	45	9
positive/n	7/8	6/8	7/8	8/8	8/8	36/45	6/9	7/9	8/9	8/9	8/9	37/45	8/9
敏感度(%)	87.5	75	87.5	100	100	80	66.7	77.8	88.9	88.9	88.9	82.2	88.9
対照群													
n	24	24	24	24	24	120	24	24	24	24	23	119	16
positive/n	1/24	1/24	1/24	0/24	2/24	5/120	0/24	0/24	1/24	0/24	4/23	5/119	0/16
特異度(%)	95.8	95.8	95.8	100	91.7	95.8	100	100	95.8	100	82.6	95.8	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

左手	HVLab 31.5Hz (基準値:117dB)						HVLab 125Hz (基準値:130dB)						RION (基準値:125dB) 中指
	母指	示指	中指	環指	小指	全指	母指	示指	中指	環指	小指	全指	
NS <sub>1</sub>													
n	3	3	3	3	3	15	3	3	3	3	3	15	3
positive/n	2/3	3/3	3/3	3/3	3/3	14/15	2/3	2/3	2/3	2/3	3/3	11/15	3/3
敏感度(%)	66.7	100	100	100	100	93.3	66.7	66.7	66.7	66.7	100	73.3	100
NS <sub>2</sub>													
n	7	7	7	7	7	35	7	7	7	7	7	35	5
positive/n	3/7	3/7	2/7	4/7	3/7	15/35	3/7	3/7	3/7	3/7	4/7	16/35	3/5
敏感度(%)	42.9	42.9	28.6	57.1	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	57.1	45.7	60
NS <sub>3</sub>													
n	8	8	8	8	8	40	8	8	8	8	8	40	8
positive/n	8/8	8/8	8/8	8/8	7/8	39/40	6/8	7/8	8/8	8/8	7/8	36/40	7/8
敏感度(%)	100	100	100	100	87.5	97.5	75	87.5	100	100	87.5	90	87.5
対照群													
n	2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	10	2
positive/n	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/10	0/2
特異度(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

\* RIONの中指は(上昇閾値+下降閾値)/2を使用

表 E7 振動障害群と対照群の振動感覚閾値におけるスコアを用いた評価

VWFの有無による区分

	n	右手 HVLab (%)			n	左手 HVLab (%)			n	右手 RION 125Hz (%)			n	左手 RION 125Hz (%)		
		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		2	1	0		2	1	0
VWF(+)	5	5 (100)	0	0	6	5 (83.3)	0	1 (16.7)	4	3 (75)	1 (25)	0	4	3 (75)	1 (25)	0
VWF(-)	11	9 (81.8)	2 (18.2)	0	12	10 (83.3)	2 (16.7)	0	11	10 (90.9)	1 (9.1)	0	12	10 (83.3)	2 (16.7)	0
対照群	24	1 (4.2)	2 (8.3)	21 (87.5)	2	0	0	2 (100)	16	0	5 (31.3)	11 (68.8)	2	0	0	2 (100)

ストックホルムワークショップスケールSN区分

	n	右手 HVLab (%)			n	左手 HVLab (%)			n	右手 RION 125Hz (%)			n	左手 RION 125Hz (%)		
		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		2	1	0		2	1	0
SN(0-2)	10	8 (80)	2 (20)	0	13	11 (84.6)	1 (7.7)	1 (7.7)	9	7 (77.8)	2 (22.2)	0	11	8 (72.7)	3 (27.3)	0
SN(3)	6	6 (100)	0	0	5	5 (100)	0	0	6	6 (100)	0	0	5	5 (100)	0	0
対照群	24	1 (4.2)	2 (8.3)	21 (87.5)	2	0	0	2 (100)	16	0	5 (31.3)	11 (68.8)	2	0	0	2 (100)

厚生労働省NS区分

	n	右手 HVLab (%)			n	左手 HVLab (%)			n	右手 RION 125Hz (%)			n	左手 RION 125Hz (%)		
		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		10 $\leq$	5 $\leq$ , <10	<5		2	1	0		2	1	0
NS <sub>1-2</sub>	7	6 (85.7)	1 (14.3)	0	10	7 (70)	2 (20)	1 (10)	6	5 (83.3)	1 (16.7)	0	8	6 (75)	2 (25)	0
NS <sub>3</sub>	9	8 (88.9)	1 (11.1)	0	8	8 (100)	0	0	9	8 (88.9)	1 (11.1)	0	8	7 (87.5)	1 (12.5)	0
対照群	24	1 (4.2)	2 (8.3)	21 (87.5)	2	0	0	2 (100)	16	0	5 (31.3)	11 (68.8)	2	0	0	2 (100)

- HVLab: 31.5Hzと125Hzにおける片手5指(母指、示指、中指、環指、小指)のスコア合計  
31.5Hz: 117dB以上を2、113dB以上117dB未満を1、113dB未満を0  
125Hz: 130dB以上を2、125dB以上130dB未満を1、125dB未満を0
- RION: 125Hzの片手1指(中指)のスコア  
125dB以上を2、121dB以上125dB未満を1、121dB未満を0

の検討が必要と考えられた。

#### (6) 正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査

振動障害の末梢神経系の障害に関する電気生理学的な報告は数多く見られるが、さまざまな検査方法が採用されているため、標準となる検査方法が確立されていない。また、神経障害の病態についても解明されていないのが現状である。

末梢神経障害に対する電気生理学的検査としては、運動・感覚神経伝導検査と針筋電図検査が広く採用され普及している。末梢神経障害の中でも、絞扼性末梢神経障害（エントラップメント・ニューロパチー）や多発性末梢神経炎（ポリニューロパチー）は、日常しばしば遭遇する疾患であるが、電気生理学的検査が最も有効な診断法といわれている。検査機器の進歩とともに、より精密に、より正確に、安定して検査を行うことが可能となり、最近はいわゆるインチング法をはじめとして様々な検査法が導入され、運動・感覚神経伝導検査の研究と報告が数多くなされている。インチング法とは、病変部をいくつかの区域（segment）に分け検査を施行する方法で、病変の局在診断をするために有用であり、手根管症候群、肘部管症候群、足根管症候群などの絞扼性末梢神経障害（エントラップメント・ニューロパチー）の診断に用いられている。

##### ア 目的

振動障害によって生ずる末梢神経障害について、電気生理学的に評価するため神経伝導検査を行い、健常者・変形性頸椎症や振動障害以外の絞扼性神経障害患者・振動障害患者に対してそれぞれ比較検討した。これらの結果の一部は、昨年度までの委託研究報告書として報告した<sup>1,6)</sup>。これまでの研究結果から振動障害患者では末梢優位の末梢神経障害に加えて、手根管症候群・肘部管症候群などの絞扼性神経障害や頸部脊椎症などを合併している可能性が考えられたが、その中でも振動障害患者の特徴として正中神経、尺骨神経の両方で異常が認められることが多く、特に重度の患者では、絞扼されやすい部位以外の神経伝導速度にも異常が認められることが示唆された。

今回の研究はこれらの結果を検証するために、振動障害群と対照群に対し、神経伝導検査を行い、両者を比較した。また、神経伝導検査の結果を元にしたクラス分類を考案し、これまでに用いられてきた臨床的な症度分類と比較し、その診断的価値について検討した。

##### イ 対象と方法

分析対象者は前記2の(1)と同一である。

検査には筋電計としてニューロパックΣ（日本光電、東京）を使用し、記録電極に塩化銀（AgCl）皿電極を用いた。検査時、室温は $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ に設定した。検査前には皮膚温度が30度以上であることを確認してから検査を開始した。皮膚温度の測定に際し、皮膚温度が30度未満であった場合には、手指を温水に浸し、その後、適宜、皮膚温度を測定し、30度以上になったことを確認してから検査を開始した。検査は、正中神経の運動及び感覚神経伝導検査、尺骨神経の運動及び感覚神経伝導検査の順で進行した。

##### (ア) 正中神経伝導検査

a 運動神経

記録電極は、陰極を母指球の短母指外転筋の筋腹上に置き、陽極を同じ筋の末梢での腱の付着部に設置した。接地は手掌に設置した。刺激部位は、手掌刺激（手掌中央付近で最も大きな電位の得られる所）、手関節部の手根管より中枢で橈側手根屈筋と長掌筋の二つの腱の間（刺激点と記録間電極間の距離は7 cm）の遠位部刺激、肘関節前内側で上腕二頭筋の付着部より内側の3ヶ所とした。評価として、手掌刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節部刺激の間の立ち上がり潜時の差と距離から求めた運動神経伝導速度を用いた。

b 感覚神経

逆行性感覚神経伝導検査による測定を施行した。記録電極は陰極を示指の近位部、陽極を示指の遠位部、接地は手掌に設置した。刺激は、運動神経伝導検査と同様に手掌部、手関節部及び肘関節部で行った。手掌部では刺激点と記録電極間の距離は7 cm、手関節部では刺激点と記録電極間の距離は14 cmとした。評価として、手掌刺激での頂点潜時、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節部刺激の立ち上がり潜時の差と距離から求めた感覚神経伝導速度を用いた。

(i) 尺骨神経伝導検査

a 運動神経

記録電極は、陰極を小指外転筋の筋腹上に、陽極を同じ筋の末梢の腱の付着部に設置した。接地は手掌に設置した。刺激部位は、遠位部では尺側手根屈筋の腱の上（刺激点と記録間電極間の距離は7 cm）、肘部では、肘関節の尺骨神経溝を挟んで尺骨神経溝より上部5 cmの部位（above elbow: AE）と尺骨神経溝より下部5 cmの部位（below elbow: BE）の合計3ヶ所として測定を行った。評価として、遠位部刺激での立ち上がり潜時、遠位部刺激と肘関節上部及び下部刺激各々の間の立ち上がり潜時の差と距離から求めた運動神経伝導速度（MCV、AE-BE）を用いた。

b 感覚神経

逆行性感覚神経伝導検査を施行した。記録電極は陰極を小指の近位部、陽極をその遠位部に置き、接地は手掌に設置した。刺激は、運動神経伝導検査と同様に、遠位部では手関節部とし、肘部では尺骨神経溝を挟んだ肘関節の上下2ヶ所（AE、BE）で行った。手関節部では刺激点と記録間電極間の距離は14 cmとした。評価として、遠位部刺激での立ち上がり潜時（遠位潜時）、遠位部刺激と肘関節部上部及び下部の間の各々の立ち上がり潜時の差と距離から求めた感覚神経伝導速度（SCV、AE-BE）を用いた。

ウ データの解析

記録された正中神経・尺骨神経伝導検査の結果を、振動障害群と対照群で比較した（対応のないt検定、 $p < 0.05$ ）。さらに、振動障害群と対照群それぞれにおいて、年齢補正を施した正常値から、異常値を判定した。これらの解析に用いる数値は、一般的に行われており、年齢を加味した正常値が算出できることから、正中神経では運動神経の

遠位潜時、前腕での運動神経伝導速度 (MCV)、感覚神経の手関節刺激での遠位潜時、前腕での感覚神経伝導速度 (SCV)、尺骨神経では運動神経の遠位潜時、肘上から肘下までの MCV、感覚神経の手関節刺激での遠位潜時、肘上から肘下までの SCV とした。

なお、年齢補正された正常値は、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査において用いられている Oh らによる電気診断学の教科書<sup>7)</sup>に記載された年齢層別の健常者の平均値と標準偏差 (SD) より平均 $\pm 2$ SD を算出し、それを正常上限・下限とした。

各対象者において、年齢補正された正常値 (表 F 1) との比較で異常と判定されるパラメータがいくつあるかにより、クラス分類を行った (表 F 2)。この神経伝導検査のクラス区分と、振動障害群の SWS-N 及び厚生労働省 NS 区分との相関をスピアマンの順位相関係数により分析した。

神経伝導検査上の異常の有無と振動障害の関連性について Fisher の直接確率法で検定し、神経伝導検査上の異常の有無により振動障害を診断した場合の敏感度と特異度を計算した。

## エ 結果

### (ア) 振動障害群と対照群の比較

振動障害群と対照群の各パラメータの比較を表 F 3 に示した。振動障害群と対照群で有意差を認めた項目は、左右の正中神経 MCV、左右の正中神経 SCV、右正中神経の運動神経遠位潜時、左右の尺骨神経の運動神経遠位潜時であった。また、左尺骨神経の感覚神経遠位潜時、右尺骨神経の SCV でも有意な傾向があった。

### (イ) 年齢補正した正常値との比較

各パラメータに対して年齢補正した正常値 (表 F 1) を作成し、振動障害群、対照群それぞれについて、年齢を補正した正常値と比較した。異常と判定されたものの数とその割合について表 F 4 に示した。左正中神経の感覚神経遠位潜時のみ、対照群の方が異常と判定される割合がわずかに大きかったが、その他はすべて振動障害群の方が、対照群より異常と判定される割合が大きかった。振動障害群では左正中神経の SCV、左尺骨神経の感覚神経遠位潜時以外のすべてのパラメータで異常を認め、各パラメータの間に大きな偏りはなかった。

### (ウ) 振動障害の末梢神経伝導検査によるクラス分類と SWS-N 及び厚生労働省 NS 区分との比較

各対象者において、年齢補正された正常値との比較で異常と判定されるパラメータがいくつあるかにより、クラス分類を行った (表 F 2)。振動障害群、対照群において各クラスに分類される患者の数を表 F 5 に示した。振動障害群においては異常を認めないもの (クラス 0) が 9 人 (29.0%)、1~4 個の異常を認めるもの (クラス 1) が 14 人 (45.2%)、5~8 個の異常を認めるもの (クラス 2) が 6 人 (19.4%)、9 個以上の異常を認めるもの (クラス 3) が 2 人 (6.5%) であった。一方、対照群ではクラス 0 が 10 人 (40.0%)、クラス 1 が 12 人 (48.1%)、クラス 2 が 3 人 (12.0%)、クラス 3 は 0 人であった。

振動障害群において、今回行ったクラス分類と SWS-N、厚生労働省 NS 区分の相

表 F 1 年齢補正した正常値

年齢	正中神経				尺骨神経			
	運動神経		感覚神経		運動神経		感覚神経	
	遠位潜時	MCV (前腕部)	遠位潜時	SCV (前腕部)	遠位潜時	MCV (AE-BE)	遠位潜時	SCV (AE-BE)
	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値
45-54	4.3	52	2.8	55	3.1	50	3.0	49
55-64	4.4	51	2.9	53	3.2	43	3.2	44
65-74	4.5	50	3.0	51	3.2	43	3.3	44
75-	4.6	50	3.2	49	3.3	43	3.5	44

表 F 2 神経伝導検査によるクラス分類

クラス	異常値の数
0	0個
1	1-4個
2	5-8個
3	9個以上

関をスピアマンの順位相関係数で分析した結果、クラス分類と SWS-N では相関係数  $r=0.55$ 、 $p<0.01$  で有意な相関を認めた。クラス分類と NS 区分の間でも、相関係数  $r=0.38$ 、 $p<0.05$  で有意な相関を認めた。

(エ) 神経伝導検査での振動障害の診断

今回用いたクラス分類により、クラス 0 を異常なし、クラス 1 以上を異常ありとし、振動障害と神経伝導検査上の異常の有無との関連性を Fisher の正確確率計算法で検定したところ、有意な関連性はなかった (表 F 6)。神経伝導検査のみで振動障害を診断した場合、感度は 71.0%、特異度は 40.0% となった。

オ 考察

(ア) 振動障害の末梢神経障害

振動障害の末梢神経障害の病態に関しては、種々の議論があり未だ定説がないのが現状である。原因としては、振動による直接的な侵襲によるものだとする意見と末梢循環障害による 2 次的な障害であるとする意見の 2 つが考えられている<sup>8-9)</sup>。動物実験からは、振動ばく露によって引き起こされた神経内浮腫により、神経の内圧が上昇、静脈うっ血と神経虚血をもたらす、線維芽細胞の活性の亢進によって引き起こされる神経鞘の硬化をもたらすという機序も考えられている<sup>10-11)</sup>。病理学的には、末梢神経における軸索変性及び節性脱髄が報告され<sup>12-13)</sup>、また、循環器系では組織の小動脈の変性が指摘されている<sup>12)</sup>。水野らは第 34 回臨床神経生理学学会において、振動障害患者の正中神経・尺骨神経の感覚神経伝導検査の遠位潜時と冷水負荷試験における皮膚温の回復と相関していることを報告した<sup>14)</sup>。このことは、振動障害患者において末梢神経障害と末梢循環障害が同時に存在している病理所見と矛盾しない。臨床的には、ポリニューロパチーを呈すると考えられていたが、現在では単一の神経が障害されるモノニューロパチーとなることが多いとする報告もある<sup>15)</sup>。

表 F 3 振動障害群と対照群の各パラメータの平均と標準偏差  
 MCV (運動神経伝導速度)、SCV (感覚神経伝導速度)、AE-BE (肘上 - 肘下)

				振動障害群		対照群		t検定
				平均	標準偏差	平均	標準偏差	
正中神経	運動	遠位潜時	左	4.1	0.5	4.0	0.6	NS
			右	4.1	0.6	3.8	0.5	<0.05
	MCV (前腕部)	左	54.1	3.3	56.7	4.3	<0.05	
		右	53.8	3.9	57.3	4.0	<0.01	
	感覚	遠位潜時	左	2.8	0.4	2.8	0.4	NS
			右	2.8	0.6	2.6	0.4	NS
SCV (前腕部)	左	59.4	3.9	61.9	3.3	<0.05		
	右	59.6	4.5	63.5	4.5	<0.01		
尺骨神経	運動	遠位潜時	左	3.2	0.4	2.9	0.3	<0.05
			右	3.1	0.4	2.9	0.3	<0.05
	MCV (AE-BE)	左	52.3	9.7	53.2	6.9	NS	
		右	49.4	10.6	53.5	7.4	NS	
	感覚	遠位潜時	左	2.7	0.5	2.5	0.2	NS
			右	2.8	0.6	2.6	0.5	NS
	SCV (AE-BE)	左	59.4	12.5	62.6	11.5	NS	
		右	55.5	13.8	62.0	12.5	NS	

表 F 4 振動障害群と対照群の各パラメータの異常者数とその割合

				異常者数		異常者%	
				振動障害	対象	振動障害	対象
正中神経	運動	遠位潜時	左	6	5	19.4	20.0
			右	8	4	25.8	16.0
	MCV (前腕部)	左	4	0	12.9	0.0	
		右	4	0	12.9	0.0	
	感覚	遠位潜時	左	11	10	35.5	40.0
			右	7	5	22.6	20.0
SCV (前腕部)	左	0	0	0.0	0.0		
	右	2	0	6.5	0.0		
尺骨神経	運動	遠位潜時	左	12	8	38.7	32.0
			右	11	4	35.5	16.0
	MCV (AE-BE)	左	4	3	12.9	12.0	
		右	7	1	22.6	4.0	
	感覚	遠位潜時	左	0	0	0.0	0.0
			右	4	1	12.9	4.0
SCV (AE-BE)	左	5	0	16.1	0.0		
	右	5	1	16.1	4.0		

表F 5 振動障害群と対照群のクラス分類 (各区分の人数と割合)

クラス	人数		%	
	振動障害群	対照群	振動障害群	対照群
0	9	10	29.0	40.0
1	14	12	45.2	48.0
2	6	3	19.4	12.0
3	2	0	6.5	0.0

表F 6 振動障害群、対照群における異常の有無と人数

	異常なし (クラス0)	あり (クラス1以上)	計
振動障害群	9	22	31
対照群	10	15	25
計	19	37	56

(イ) 神経伝導検査所見

神経伝導検査は、末梢神経障害を診断するために広く使われており、客観的な評価を行うことが可能である。また、末梢神経障害による自覚的な症状がまだ出現していない早期から異常を発見できるという利点があることから、振動障害の末梢神経障害に関する、多くの電気生理学的研究が報告されている<sup>16-19)</sup>。

一方、年齢と神経伝導速度の関係は、 $Y = -0.18X + 64.29$  (Y: 尺骨神経運動神経伝導速度、X: 年齢)、 $Y = -0.26X + 77.04$  (Y: 正中神経感覚神経伝導速度、X: 年齢)と、回帰直線で表されるという報告<sup>20-21)</sup>があり、加齢とともに低下してくるといわれている。潜時も加齢とともに遅延してくる傾向を示す。今回の実証検査において、明らかな末梢神経障害を認めない非振動障害患者でも同様の傾向が認められ、このような検査結果を詳細に検討するためには、年齢補正された正常範囲との比較が必要であると考えられる。

振動障害の末梢神経障害で、正中及び尺骨神経の遠位潜時 (distal latency) に関しては、運動、感覚神経ともに有意な遅延が認められていると報告されている<sup>9, 17-19)</sup>。久永ら<sup>19)</sup>と荒記ら<sup>17)</sup>は、運動神経よりも感覚神経で異常を示すことが多いと報告しており、久永ら<sup>19)</sup>は、236名の振動工具使用者において、正中神経及び尺骨神経のMCVの低下を示すものが6-13%、SCVの低下は前腕部で26-39%、手掌部で30-49%に認められたと報告している。また、椿原・木村ら<sup>9)</sup>と久永ら<sup>19)</sup>は、前腕部の神経伝導速度の低下も指摘しており、病変が手指だけでなく、近位側にも影響が及んでいることが考えられたと報告している。久永ら<sup>19)</sup>は、前腕部と手掌部において、振動工具使用者の感覚神経障害は、正中神経よりも尺骨神経のほうが強いと報告している。上腕部、前腕部については、MCV及びSCVに対照群と差がみられないという報告<sup>17-18)</sup>もある。Sakakibaraら<sup>22)</sup>は、正中神経及び尺骨神経のSCVを手指-手掌・手掌-手関節・手関節-肘で比較したところ、手指-手掌では50-70%、手掌-手関節では10-25%に伝導速度の異常を認めたことから、指神経の障害がより優位に起

こることを示した。以上の所見から、振動障害の末梢神経障害は、上肢の遠位末梢優位の障害であるとしたが、正中神経の手掌と手関節での伝導遅延<sup>23)</sup>、尺骨神経の肘関節部での伝導遅延<sup>24)</sup>の頻度も多いことから、一概に末梢優位の distal neuropathy と言い切れない点に注意が必要である<sup>22-26)</sup>。

振動工具を使用している者は、工具を強く把持しながら手関節や肘関節に負担のかかる姿勢をとる必要があり<sup>27-28)</sup>、しばしば、手根管症候群、肘部管症候群などの絞扼性末梢神経障害を生じることが報告されている<sup>29-31)</sup>。絞扼性末梢神経障害は、振動病患者に特異な所見ではないが、その発症には、骨・軟部組織の変化、圧迫など機械的な因子のほかに、局所的な血行障害が影響しているといわれている<sup>31-32)</sup>。振動障害患者では、末梢循環障害や末梢部優位の神経障害により脆弱になっている神経に、振動工具の使用による手掌、手関節部の物理的な衝撃が加わることにより、末梢神経障害と絞扼性末梢神経障害を合併しやすいのかもしれない。

#### (ウ) 委託研究成果と今回の実証検査に用いたクラス分類

平成 14 年度及び平成 15 年度振動障害に関する委託研究<sup>4-5)</sup>において振動障害患者の末梢神経伝導速度検査の特徴として遠位潜時の遅延や肘を介した伝導速度の遅延を多くの症例に認めたことから、遠位末梢優位の末梢神経障害と絞扼性神経障害が混在した病態である可能性があるとして報告した。また、平成 16 年度の委託研究<sup>6)</sup>では、振動障害以外の高齢者との比較により、振動障害に特徴的な障害パターンが存在するかを検討し、振動障害患者では特定の神経や絞扼部位だけでなく、正中神経・尺骨神経の両方にまたがる障害が多く、1つの神経の中でも多くの部位に障害を認めることが多いことが示唆された。このような結果を踏まえ、正中神経・尺骨神経それぞれで同数のパラメータを選択し、その中で異常値がいくつ認められるかによってクラス分類を行った。

#### (エ) 振動障害群と対照群の比較

振動障害群と対照群の各パラメータの値の比較では、左右の正中神経 MCV・SCV、右正中神経の運動神経遠位潜時のみに有意差を認めた。一方、絞扼性神経障害が起こりやすい手根管部や尺骨神経溝を挟んだ部位では有意差を認める部分が少なかった。これは、これら絞扼の起こりやすい部位では、振動障害以外の原因でも障害が起こりやすく、対照者でも異常が起こりやすいことが原因として考えられた。特に、正中神経の遠位潜時は運動神経・感覚神経ともに対照群の中でも高率に異常が認められ、潜在的な手根管症候群の存在が示唆された。

このように、単独のパラメータでは振動障害以外の原因で起こる障害を区別できないため、振動障害者の障害の程度を評価するためには、今回のように異常値の数を用いた方がよいと考えられた。

#### (オ) 振動障害診断における神経伝導検査の有用性と限界

神経伝導検査によるクラス分類は SWS-N、厚生労働省 NS 区分のいずれとも有意な相関を認め、神経障害の客観的指標として有用性があることが示唆された。神経伝導検査の異常値で振動障害を診断した場合、敏感度 71.0%、特異度 40.0%となり、

特異度がやや低かった。これは、振動障害以外の絞扼性神経障害などでも異常値が認められるためである。神経伝導検査は異常の有無を確かめることには優れているが、異常の原因についてはこの検査だけでは判定できないため、他の検査所見や併存疾患の有無、臨床所見などと組み合わせて総合的に診断することが望ましいと考えられた。

#### カ まとめと今後の展望

- (ア) 正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査では、振動障害群では、年齢補正した正常値と比較し、異常の数からクラス分類を行った。
- (イ) 神経伝導検査によるクラス分類はSWS-Nや厚生労働省NS区分と有意に相関し、有用性が示唆された。
- (ウ) 神経伝導検査は障害の存在を確認することには優れているが、原因を特定することは困難であるため、振動障害の診断にあたっては、他の検査や臨床所見などと合わせて総合的に判断することが必要である。
- (エ) 今後の課題として、この神経伝導検査によるクラス分類と他の検査とを組み合わせ、総合的な振動障害の評価基準の作成が必要である。

#### (文献)

- 1 木村彰男 他：振動ばく露による末梢神経障害の検査手法に関する調査研究.平成11年度振動障害に関する委託研究報告書,1999.
- 2 木村彰男 他：末梢神経障害の診断方法について.平成12年度振動障害に関する委託研究報告書,2000.
- 3 木村彰男 他：振動障害の末梢神経障害に対する電気生理学的研究—正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝道検査における各種疾患との比較—.平成13年度振動障害に関する委託研究,2001.
- 4 木村彰男 他：正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝道検査—年齢補正による正常値との比較—.平成14年度振動障害に関する委託研究,2002.
- 5 木村彰男 他：正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝道検査—年齢補正による正常値との比較—.平成15年度振動障害に関する委託研究,2003.
- 6 木村彰男 他：正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝道検査—振動障害以外の疾患との比較—.平成16年度振動障害に関する委託研究,2004.
- 7 Oh SJ : Clinical electromyography : Nerve conduction studies, 3rd Ed. Lippincott Williams & Wilkins, P.86-106,2003.
- 8 Alaranta H, et al : Neuropathy and the automatic analysis of electromyographic signals from vibration exposed workers. Scand J Work Environ Health 3 : 128-34, 1977.
- 9 椿原彰夫 他：振動障害患者の末梢神経障害.総合リハ 10 : 763-770,1982.
- 10 Lundborg G, et al : Intraneural edema following exposure to vibration. Scand J Work Environ Health 13 : 326-9,1987.

- 11 Gemne G :Diagnostics of hand-arm system disorders in workers who use vibrating tools. *Occup Environ Med.*54 : 90-95,1997.
- 12 武内忠男 他：振動症候群手指生検 30 例の病理組織学的観察.熊本医学会雑誌 58:56-70,1984.
- 13 落合淳：各種ニューロパチーにおける腓腹神経病変の病態の分析.岐阜大医紀 38 : 331-347, 1990.
- 14 水野勝広 他：振動障害患者における distal neuropathy と末梢神経障害との関係の検討 - 冷水負荷試験と神経伝導検査の比較 -. *臨床神経生理学* 38 : 562,2004.
- 15 岡田晃 他：最近における振動障害と類似疾病の鑑別診断方法について.平成 9 年度災害科学に関する委託研究報告書,1997.
- 16 斎藤和雄：職業病としての振動障害 173-187,南江堂,1980.
- 17 荒記俊一 他：チェーンソー取扱い労働者にみられた末梢神経伝導速度について.産業医学 18 : 516-520,1976.
- 18 田辺晃久 他：振動病患者の末梢神経伝導機能の研究.脳波と筋電図 7 : 148-155,1979.
- 19 久永孟：振動工具使用者の末梢神経伝導速度に関する研究.産業医学 24 : 284-293,1982.
- 20 Norris AH, et al : Age changes in the maximum conduction velocity of motor fibers of human ulnar nerves. *J Appl Physiol* 5 : 589,1953.
- 21 島健二：神経筋機能（老化とホメオスターシス）.老人科診療 7 : 157,1986.
- 22 Sakakibara H, et al : Digital nerve conduction velocity as a sensitive indication of peripheral neuropathy in vibration syndrome. *Am J Ind Med* 26 : 359-366,1994.
- 23 Sakakibara H, et al : Affected segments of the median nerve detected by fractionated nerve conduction measurement in vibration-induced neuropathy.*Ind Health* 36 : 155-159,1998.
- 24 大平信廣：振動障害者の末梢神経伝導速度.日災医誌 40 : 16-19,1992.
- 25 Giannini F, et al : Multifocal neural conduction impairment in forestry workers exposed and not exposed to vibration. *Clin Neurophysiol* 110 : 1276-1283,1999.
- 26 Lukas E : Lesion of the peripheral nerve system due to vibration. *Work Environ Health* 7 : 67-69,1970.
- 27 的場恒孝：振動病の病態生理学的研究.産業医学 17 : 11-18,1975.
- 28 Pelmeur PL : Clinical evaluation. Pelmeur et al (eds) : *Hand-Arm Vibration*, 2nd Ed. OEM press,P.73-94,1996.
- 29 寺山和雄 他：振動障害者の肘関節の X 線障害と愁訴. 日災医誌 29 : 211-220,1981.
- 30 四宮文男 他：振動病にみられる変形性肘関節症・肘部管症候群とその対策. 日災医誌 29 : 449-455,1981.
- 31 山本啓二 他：振動障害と肘部管症候群.骨・関節・靭帯 5 : 1395-1400,1992.
- 32 増田宗義：絞扼性神経障害の病態に関する電気生理学的研究.阪市医誌 46 : 283-297, 1997.

(7) MRIによる筋の機能評価検査

ア 目的

振動障害における運動機能評価は関節機能と筋力評価を中心に行われる。しかし、従来の握力・徒手筋力テストなどの筋力評価法では、常に被検者自身の最大努力が測定的前提条件となっており、客観的な評価方法としては問題が多い。

末梢神経障害による骨格筋の脱神経状態の評価に関しては、MRIのT2強調画像が有用であることが判明しており、本法は検者の技量や被検者の状態に影響されることがなく、常に安定した客観的所見を得ることが可能である。振動障害の運動機能評価に関しても、前腕および手部のMRI検査で異常所見が評価できることを平成14年度～16年度の厚生労働省委託研究により報告してきたが、今回、本検査手技の実効性を評価・検討するため実証検査を実施した。

イ 対象及び方法

振動障害群及び対照群の前腕・手部のMRI検査を以下の要領で実施した。

徳島健生病院では、振動障害群30例、対照群10例について撮像を行った。撮像サイドは右14例、左26例であった。岩見沢労災病院では振動障害群15例、対照群11例について撮像を行った。撮像サイドは右17例、左9例であった。美唄労災病院では振動障害群13、対照群10例について撮像を行った。撮像サイドは右16例、左7例であった。

撮像部位は前腕中央部及び手掌中央部の2ヶ所で、それぞれ横断面での評価を行った。検査時間の関係で、MRIの撮像は振動障害群では患側（両側に訴えのある症例では利き手側）、対照群では利き手側の片側のみ施行した。代表的な筋肉として、1) 前腕伸筋群、2) 回外筋、3) 前腕屈筋群（尺側手根屈筋）、4) 骨間筋、5) 小指球筋に注目し、その他母指球筋、手指屈筋腱なども検討した。T2強調画像、脂肪抑制T2強調画像での輝度変化を（－）、（±）、（＋）、（++）の4段階のGrade分類を行い、定性的・定量評価を試みた。

徳島健生病院におけるMRIの検査条件は次のとおりである。

表G1 機種（GP flexL1）及び撮像条件

		撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	加算回数	スライス厚
前腕部	T1強調画像	SE	450	15	16×16cm	192×336	1	7mm
	T1強調脂肪抑制画像	SE	460	15	16×16cm	192×336	1	7mm
	T2強調画像	FSE	3000	100	16×16cm	224×256	2	7mm
	T2強調脂肪抑制画像	FSE	3000	100	16×16cm	224×256	2	7mm
手部	T1強調画像	SE	450	15	16×16cm	192×336	1	7mm
	T1強調脂肪抑制画像	SE	460	15	16×16cm	192×336	1	7mm
	T2強調画像	FSE	3000	100	16×16cm	192×256	3	7mm
	T2強調脂肪抑制画像	FSE	3000	100	16×16cm	192×256	3	7mm

岩見沢労災病院におけるMRIの検査条件は次のとおりである。

表 G 2 機種 (Signa 1.5 T) 及び撮像条件

		撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	加算回数	スライス厚
前腕部	T1 強調画像	SE	440	16	16×12cm	256×192	1	7mm
	T1 強調脂肪抑制画像	SE	440	16	16×12cm	256×192	1	7mm
	T2 強調画像	FSE	3000	105	16×12cm	256×192	5	7mm
	T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	105	16×12cm	256×192	5	7mm
手部	T1 強調画像	SE	440	16	16×8cm	256×192	1	7mm
	T1 強調脂肪抑制画像	SE	440	16	16×8cm	256×192	1	7mm
	T2 強調画像	FSE	3000	105	16×8cm	256×192	5	7mm
	T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	105	16×8cm	256×192	5	7mm

美唄労災病院における MRI の検査条件は次のとおりである。

表 G 3 機種 (Signa 1.5 T) 及び撮像条件

		撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	スライス厚
前腕部	T1 強調画像	SE	470	15	16×16cm	192×256	7mm
	T1 強調脂肪抑制画像	SE	654	15	16×16cm	192×256	7mm
	T2 強調画像	FSE	3000	96	16×16cm	182×256	7mm
	T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3040	96	16×16cm	182×256	7mm
手部	T1 強調画像	SE	470	15	16×16cm	192×256	7mm
	T1 強調脂肪抑制画像	SE	654	15	16×16cm	192×256	7mm
	T2 強調画像	FSE	3000	96	16×16cm	182×256	7mm
	T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3040	96	16×16cm	182×256	7mm

## ウ 結果及び考察

### (ア) 実証検査結果と分析

対象者は前記 2 の(1)と同一であるが、今回、同時に施行された種々の末梢循環障害・神経伝導速度など他の検査手技では、基礎疾患・投薬・年齢などの条件に問題のある症例は除外して検査結果を分析する必要があった。これらの除外症例を除くと振動障害群は 31 症例であったが、このうち 1 例では MRI 検査を行うことができなかったため振動障害群の対象症例は 30 例となった (徳島 28 例、岩見沢 2 例、美唄は全て除外症例)。MRI では、検査部位周辺に金属製の内固定材料や人工関節などが挿入されている場合には検査施行が禁忌となるが、これまでの研究から骨格筋の MRI の T2 強調像の輝度には加齢による変化は認められず、また検査直前の投薬などの影響は考えにくいことから、体動による影響や閉所恐怖症のため検査が不能であった症例以外は分析上問題ないと考えられた。まず、全ての検査症例の画像を評価し、その上で他の検査との比較の観点から除外症例を除いて検討を加えた。また、今回検査を施行した 3 病院での MRI 撮像条件は若干異なるものの、特に調整を行うことなく評価した。

T1 強調画像では、主として手内筋に萎縮を認めるものもあったが、輝度変化が明

らかなものはなかった。T1強調画像は筋肉の解剖学的な異常を同定するには得意であるが、質的な異常はなかなか描出することが難しく、今回の検討でも筋の質的变化に関する情報は得られなかった。

一方、T2強調画像及びT2強調画像脂肪抑制では、これまでの報告にも見られるように、筋肉の量的変化のみならず質的变化まで描出することが可能であり、今回の検討でもいくつかの異常所見が認められた。主として筋肉の輝度変化（周囲筋肉に対する高輝度変化）及び筋萎縮に着目して分析を行った。なお、今回の検査では両側の比較検討が行えないため、筋肉の萎縮については確実とは言い切れない。

個々の施設における結果を示すと次のとおりである。

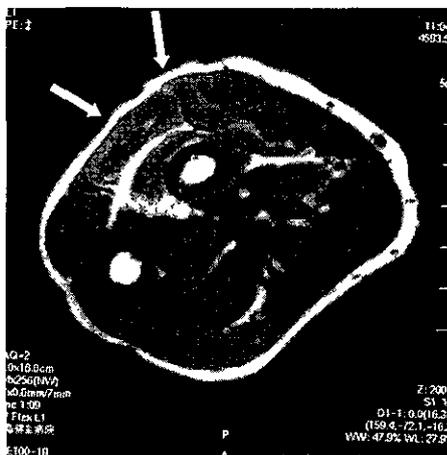
徳島：振動障害群でMRI上前腕あるいは手部の骨格筋に輝度変化を呈した症例は、30例中12例で、前腕伸筋群（+）2例、（±）1例、橈側手根屈筋（++）2例、（+）1例、母指球筋（+）2例、（±）1例、小指球筋（++）1例、（±）1例で、骨間筋の筋萎縮が見られた症例は（+）1例、（±）2例であった。一方、対照群でも軽度ながら異常所見が認められた。これらの内訳は、前腕伸筋群の高輝度変化（±）1例、小指球筋の高輝度変化（+）1例、（±）1例に、尺側の骨間筋の筋萎縮が1例であった。

岩見沢：振動障害群16例中陽性所見を認めたものは3例のみで、その内容は回外筋のT2強調画像での高輝度変化、回外筋のT1、T2強調画像での高輝度変化（これは脂肪抑制では等輝度となり、すなわち筋肉の脂肪変性が予想された）、骨間筋の筋萎縮であった。なお、対照群に異常所見を認めたものはなかった。

美唄：振動障害群13例中陽性所見を認めたものは4例で、3例では骨間筋の筋萎縮とT1、T2強調画像での高輝度変化を認めた、これらの症例では、脂肪抑制画像では等輝度を呈し、脂肪変性の状態であることが示唆された。また上記3例のうち、1例では前腕の屈筋群でも同様の所見（T1、T2強調画像での高輝度変化、筋萎縮）を認めた。1例では母指球筋の軽度高輝度変化を認めた。対照群では1例に回外筋の高輝度変化を認めたのみであった。

陽性所見の見られたMRI像の代表例は次のとおりである。

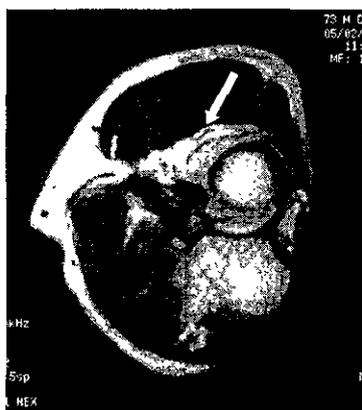
#### 1) 伸筋群の高輝度変化（前腕中央部の横断面）



2) 屈筋群の高輝度変化 (前腕中央部の横断面)



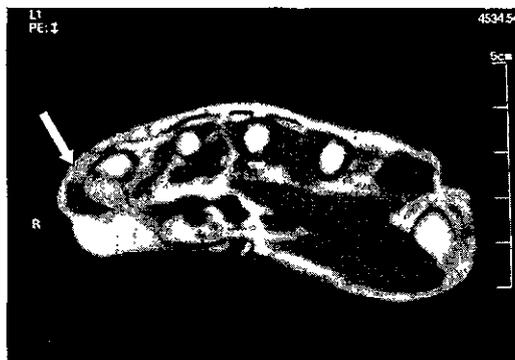
3) 回外筋の度変化 (前腕中枢部横断面)



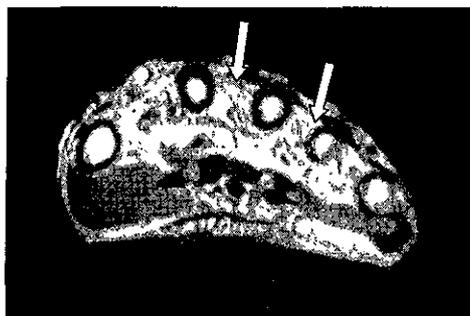
4) 母指球筋の高輝度変化、筋萎縮 (手掌部横断面)



5) 小指球筋の高輝度変化、筋萎縮 (手掌部横断面)



## 6) 骨間筋の高輝度変化、筋萎縮



今回の前腕及び手掌部の MRI 所見より、振動障害による運動機能障害の症度分類を試みた。今回の検査では、T2 強調画像における骨格筋輝度変化の程度とその変化がどの骨格筋にみられるかということが判定材料になるが、まず MRI の Grade 分類 (-)、(±)、(+)、(++) の 4 段階評価に対し、それぞれをクラス 0、1、2、3 とした。MRI で 2 ヶ所以上の骨格筋群に異常所見が見られた場合、輝度変化によるクラスを 1 段階上げる、即ち Grade 分類で (±) の所見であればクラス 1 とするところ、2 ヶ所の骨格筋群に (±) の所見が見られればクラス 2 と判定することにした。

この基準により、今回様々な条件で末梢循環障害評価より除外された症例を除く 30 症例の振動障害群を分析した結果、クラス 0 が 18 例、クラス 1 が 7 例、クラス 2 が 5 例と判定された。また、対照群 31 例中徳島での 3 例に MRI 上軽度の輝度変化が見られたが、入手された被検者の情報からはその原因は分析できなかった。

さらに運動機能評価として握力との相関関係を検討したが、振動障害群 30 例で MRI 検査側の握力 (維持握力 (5 回法): 初回と 2 回目の平均値で判定) 25 kg 未満であった症例は、クラス 0 では 18 例中 3 例、クラス 1 では 7 例中 2 例であった。一方、クラス 2 では 5 例中 4 例と、クラス 2 では握力低下症例が多い傾向が見られたが、症例数が少ないため統計学的有意差は得られなかった。今回の MRI 検査結果からは、握力低下が見られても MRI 検査によるクラスが 0 あるいは 1 と著しい所見が認められない症例が数例見られた。一方、MRI 検査でクラス 2 と判定された症例のほとんどに著明な握力低下が見られており、MRI によるクラス判定は運動機能評価として有用であると考えられた。

### (イ) MRI による運動機能評価に関する平成 14~16 年の委託研究の意義

振動障害による特有な運動機能障害というものには存在せず、運動機能検査は他の原因疾患も含め、筋力が正常より低下しているかどうかを評価する目的で行われる。機器を用いない検査方法は主に重症の麻痺患者が対象となり、實際上振動障害の検査として行うことは考えにくい。徒手筋力検査は、筋力検査の最も基本的なスクリーニングとして未だその価値は高いが、手指の筋力の評価は握力計・ピンチメーターなどの評価が簡便であり、上肢においては肘・肩などの筋力評価に限定して用いるべきであろう。その他の機器を用いた筋力測定は実際の普及度は低いため、現時点では振動障害の検査として不適當と考えられる。しかしながら、握力検査をはじめとする現行の

運動機能検査のもっとも重大な問題点は、常に被検者自身の最大努力が検査の前提となっていることで、被検者の「努力」に依存することのない客観的検査法の確立が望まれる。

客観的な運動機能検査方法のとしてMRIに注目し、これまで基礎的及び臨床的研究を行ってきた<sup>1-5)</sup>。末梢神経が損傷されるとその支配筋には脱神経により形態学的変化のみならず、代謝面の変化も生じる。組織学的には脱神経筋は筋線維径の減少・萎縮を呈するが、通常その変化は脱神経後急速に進行する。MRIは非侵襲的で、筋の異常をその大小・部位にかかわらず描出することが可能である。MRIでの脱神経筋の所見は、T1強調画像で等輝度、T2強調画像で高輝度を呈するとされ、臨床症状と照らし合わせることで脱神経範囲の同定が可能で、また、経時的なMRIでの変化を追跡することでその予後や回復過程まで予想できる可能性がある。過去の報告<sup>6-9)</sup>によると、脱神経筋のMRIでの輝度変化はT2強調画像での高輝度とT1強調画像での等輝度画像では正常筋には変化が生じず、麻痺と合致した所見が診断的根拠となる。

MRIでの脱神経筋の変化の理論的根拠に関し、Polak<sup>10)</sup>は脱神経後15日でのラットの脱神経筋のT1値・T2値、筋肉全水分量、細胞外水分量を検索し、筋肉の全水分量はほとんど変化しないにもかかわらず、細胞外水分量は急速に増大することを示した。また、細胞外水分量の増加とT1・T2値の増加の間に相関関係を認めたことから、輝度変化の原因は脱神経による細胞外水分量の増加によるものと推察した。ラット坐骨神経と下腿三頭筋を用いた実験的研究で、神経切断群では術後2週の時点でT2強調画像上高輝度変化を呈した。T1・T2値、細胞外水分量は神経切断後増加し、その対側比は経時的に高値を維持した。一方神経修復群では、一度T2強調画像で脱神経変化と同様に高輝度を呈した後、4週以降6週までに輝度の正常化を認めた。また、T2値は2週までは増加したがその後減少傾向を示し、細胞外水分量は4週までは増加したがその後減少した。細胞外水分量の変化とT2値の正常化開始時期は若干一致しないが、画像上の輝度変化の正常化と細胞外水分量の変化の時期はほぼ同様の傾向を示した。このことは画像上の輝度変化が細胞外水分量の増加と相関があることを示唆する結果である。さらに、画像上の輝度変化は6週以降に正常化した。8週までの期間ではT2値・細胞外水分量とも完全に正常のレベルまでは回復しなかった。

T1値・T2値は細胞内外の全水分量により決定される。高分子と結合する水は全水分量の約8%であり、細胞内の残りの水とは急速には交換しない。また全水分量の82%を占める筋形質の緩和時間は45msであり、残りの約10%が細胞外水分量と考えられ、その緩和時間は196msと筋形質の約4倍の緩和時間であり、T2値に影響を与えやすい。このことから、脱神経及び再神経支配過程での輝度変化が全水分量には影響を受けず、細胞外水分量と平行したと考えられる。また、脱神経筋のT2強調画像での高輝度変化はT2値の増加および細胞外水分量、すなわち自由水の増加により説明できる。一方、細胞外水分量の増加に伴いT1値も多少増加するが、脂肪の増加によるT1値の短縮の影響により相殺され、T1強調画像では脱神経筋はほぼ等輝

度を呈したと考えられた。このように、脱神経筋の細胞外水分量は全水分量の変化がほとんどないにもかかわらず経時的に急速に増加し、そのことが MRI 上の輝度変化に影響を与えることが明らかになった。また、再神経支配に伴い細胞外水分量は減少し、T1 値・T2 値も減少し、それに伴い MRI の輝度も正常化した。

このように MRI は脱神経及び再神経支配過程の検査法として有望であり、脱神経及び再神経支配過程における筋肉の質的な変化の客観的評価手段として期待される。

振動障害の運動機能評価に関し MRI 検査が応用可能かということについては、平成 15 年度の委託研究として実施した。和歌山県立医科大学において MRI 装置 Siemens MAGNETOM Vision Plus 1.5 T バージョン VB 33 G を使用し、コイルとして CP-flex-large を用い、22 名の振動障害療養患者の①前腕中央部での横断像と②手関節から中手骨中央部までの横断像をそれぞれ撮像した。

振動障害療養患者では尺骨神経障害が高率に見られ、これらの症例における尺側手根屈筋の変化は MRI で比較的明瞭に現れた。症例によっては診察時に気がつかない程度の萎縮が MRI で明瞭に描出される可能性もあり、MRI の有用性が示唆された。筋萎縮の評価は前腕では本来、健側との比較で明らかとなるものであり、輝度変化に比べると情報に乏しかった。一方、手内筋は筋肉のボリュームが小さいため、その評価はなかなか難しいが、小指球、母指球などのある程度の体積のある筋肉ではその輝度変化は評価可能であった。また、骨間筋は麻痺に伴い、臨床上でも筋肉の萎縮が明らかとなるが、MRI でもこれらの症例では評価が可能であった。しかし、軽度の萎縮まで評価できるかどうかは今後の検討を要すると思われた。

また、前腕伸筋群の高輝度変化を認めた症例があり、橈骨神経麻痺の存在が予測されたが、伸筋群の明らかな筋力低下を認めるものはなかった。同所見からは潜在性橈骨神経麻痺の存在が疑われたが、橈骨神経に関する筋電図検査は行われておらず、橈骨神経障害の確定診断はなされていない。

伝導速度をはじめとする電気生理学的検査は、神経の障害を直接評価しているが、MRI では筋肉を評価している。MRI で評価を行っている筋肉の変化は、末梢神経障害による脱神経所見のみならず、血行障害や筋肉そのものの加齢変化や変性などを含んでいるものと考えられ、このことが両者の結果が必ずしも一致しないひとつの理由であると推測された。

これらの点について検討する目的で、平成 16 年度の委託研究では対照群として、各年齢層の健常人の肘関節部～手部の MRI を撮像し、加齢により MRI の骨格筋所見に変化が見られるか否かの検討を行った。さらに、末梢神経麻痺（橈骨神経麻痺）30 症例の前腕・手部の MRI 検査との比較を行い、検査所見と予後との関係などについて検討した。明らかな上肢の外傷歴や手術歴がなく、頰椎症性の神経障害を持たない健常人ボランティア 19 人 19 肢（右 16 肢、左 3 肢）を対象とし、40 歳代 5 名、50 歳代 5 名、60 歳代 5 名、70 歳代 4 名の肘部から手部へかけての T1 強調画像、T2 強調画像、T2 脂肪抑制画像を撮像した。この結果、各年齢層で T1 強調画像、T2 強調画像、T2 脂肪抑制画像ともに、前腕屈筋群、伸筋群、手内筋ともに明らかな輝

度変化を認めず、脱神経を示唆するような所見はなく、加齢に伴うさまざまな関節症、筋肉の変性、萎縮は MRI 上の輝度変化に反映されなかった。橈骨神経麻痺例では全例で長・短橈側手根伸筋及び総指伸筋に T2 強調像及びその脂肪抑制像で高信号変化を、後骨間神経麻痺例では全例でその支配神経である総指伸筋に T2 強調像及びその脂肪抑制像で高信号変化を生じた。

MRI は神経麻痺例ではその支配領域のみに筋の信号変化を生じ、逆に神経麻痺のない場合、加齢のみではまったく輝度変化が見られなかったことより、false positive 及び false negative のない検査手段であることが判明した。MRI は加齢の影響をまったく受けず、末梢神経障害の検査方法として神経麻痺の要素のみを検討しうる方法と評価できたが、MRI の輝度変化と末梢神経障害の程度との相関関係などは、さらなる詳細な検討、分類が必要である。

(ウ) 振動障害における骨格筋の機能検査としての MRI の意義

現行の運動機能検査の問題点は、被検者自身の最大努力が検査の前提条件であることで、被検者の努力に依存しない客観的検査方法として、MRI の診断価値の評価が今回の検討目的であった。振動障害における運動機能障害の主な原因は、肘部管症候群や手根管症候群などの絞扼性神経障害と考えられているが、その他の末梢神経障害や骨格筋への直接的影響なども否定できない。今回の検討から前腕中央及び手掌中央横断面の MRI で、T2 強調画像の輝度変化や筋萎縮を評価することは可能と評価した。また、これまでの研究で骨格筋の MRI の T2 強調画像の輝度は加齢による影響を受けないこと、その輝度変化の程度と末梢神経障害の程度は強く相関することが判明している。今回検査を実施した振動障害群では高度な運動機能障害を呈する症例が見られなかったが、MRI によるクラス評価でクラス 2 と評価された症例のほとんどに著明な握力低下が認められたことは、MRI によるクラス判定は運動機能評価としての有用性を裏付けるものであった。

今回の実証検査の検討から、振動障害の運動機能評価に当たっては、まず筋力、握力などによるスクリーニングを行い、異常の見られる症例に対しては MRI による詳細な評価を行うことが望ましいと考えられた。

(文献)

- 1 Kikuchi Y , Nakamura T, Takayama S, et al:MR Imaging in the Diagnosis of Denervated and Reinnervated Skeletal Muscles : Experimental study in rats. Radiology 229: 861-867, 2003.
- 2 菊地淑人 高山真一郎 中村俊康 他：末梢神経麻痺の MRI -支配筋の輝度変化について-. 整形外科 47: 1243-1246, 1996.
- 3 菊地淑人 中村俊康 高山真一郎 他：脱神経筋と再神経支配筋の MRI に関する実験的研究. 日手会誌 13: 754-757, 1996.
- 4 菊地淑人 中村俊康 高山真一郎 他：脱神経筋の MRI に関する実験的研究 -輝度変化の原因について-. 日手会誌 15: 518-521, 1998.

- 5 中村俊康 菊地淑人 高山真一郎 他：肘関節近傍神経麻痺筋のMRI. 日肘会誌 4：1-2, 1997.
- 6 Shabas D, Gerard G, Rossi D : Magnetic resonance imaging examination of denervated muscle. Computerized Radiol 11 : 9-13, 1987.
- 7 Fleckenstein JL, Watumull D, Conner KE, Ezaki M, Greenlee RG Jr, Bryan WW, Chason DP, Parkey RW, Peshock RM, Purdy PD : Denervated human skeletal muscle: MR imaging evaluation. Radiology 187 : 213-218, 1993.
- 8 Uetani M, Hayashi K, Matsunaga N, Imamura K, Ito N : Denervated skeletal muscle: MR imaging; work in progress. Radiology 189 : 511-515, 1993.
- 9 West GA, Haynor DR, Goodkin R, Tsuruda JS, Bronstein AD, Kraft G, Winter T, Kliot M : Magnetic resonance imaging signal changes in denervated muscles after peripheral nerve injury. Neurosurgery 35 : 1077-1086, 1994.
- 10 Polak JF, Jolesz FA, Adams DF : Magnetic resonance imaging of skeletal muscle: prolongation of T1 and T2 subsequent to denervation. Invest Radiol 23 : 365-369, 1988.

#### 4 各検査の相関等

実証検査において有効性の検証が行われた検査手技、すなわち、末梢循環機能検査としての冷水浸漬皮膚温検査(12°C5分法)、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査、局所冷却による指動脈血圧検査、末梢神経機能検査としての振動感覚閾値検査、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査、運動機能検査としてのMRIによる筋の機能検査について、検査ごとに示された個人の所見レベルの判定結果の比較を中心に、相互の関連性を検討した。

末梢循環機能に係る4検査について、検査結果から判定された末梢循環障害の所見の程度を一覧表にして表IV-4に示した。各検査において、所見の程度を判定する際に用いられた検査の代表値及び指標についての単相関分析、年齢を調整した偏相関分析の結果は資料として最後に示した(表IV-9)。表中の振動障害群の症例に付けられた\*は、レイノー現象の有症者を示し、RとLは症状のある側を表す。なお、皮膚血流検査は、左右いずれかの症状がより強くみられる側で、指動脈血圧検査は、振動障害群では症例によって左右いずれかのみ、対照群では右側のみで検査が行われた。検査ごとに所見レベルの分類方法が異なるため単純な比較はできないものの、同一の個人内で判定結果は概ね一致しており、何らかの検査で異常所見が認められる場合には、他の検査においても同様に異常と判定される傾向にあった。また、レイノー現象の有症者であっても異常所見が認められない場合、あるいはレイノー現象の無症者であっても異常が認められる場合にも、ほとんどの検査で同じ判定結果が得られていた。

表IV-5には、各検査手技で示された所見の程度について、クラス0を「異常なし」、クラス1以上を「異常あり」とした場合の検査間での判定結果の一致度を示した。つまり、当該2検査において、判定結果がどちらとも「異常なし」または「異常あり」とされた例数が、

表IV-4 末梢循環機能に係る各検査手技での個人判定結果の一覧表

対象者	年齢	冷水浸漬 皮膚温検査		レーザードップラー 血流計による 皮膚灌流圧検査		レーザー血流画像化 装置による 皮膚血流検査		局所冷却による 指動脈血圧検査	
		R	L	R	L	R	L	R	L
振動障害群									
1101T	67	0	2	1	0	0	—	0	0
1102T	62	2	2	0	0	1	—	1	2
1103T *R	64	2	—	0	0	3	—	2	—
1104T	62	0	0	0	1	—	0	0	0
1105T	65	0	0	1	1	0	—	0	—
1106T	63	0	0	0	0	—	0	0	0
1107T	65	1	1	0	0	0	—	0	0
1108T	65	0	0	0	0	—	—	0	0
1109T	54	0	0	2	0	0	—	0	—
1110T	54	0	0	3	0	—	0	0	0
1111T	65	0	0	1	1	0	—	1	0
1112T	55	0	0	1	1	0	—	0	1
1113T	57	2	2	3	3	2	—	0	0
1114T	59	0	0	0	3	0	—	1	—
1115T	52	0	0	1	0	—	0	—	0
1116T	56	0	0	0	3	—	0	—	—
1117T	54	0	0	2	0	—	0	—	2
1118T *RL	52	2	2	2	3	3	—	2	—
1119T	67	1	2	1	3	—	—	—	2
1120T *RL	50	1	2	3	0	1	—	2	—
1121T	64	0	0	0	0	0	—	0	—
1122T	64	0	0	1	2	0	—	0	—
1123T *RL	65	0	0	1	1	0	—	—	0
1124T *RL	64	0	0	0	0	0	—	1	—
1125T	63	0	0	0	1	—	0	—	—
1126T *L	57	2	2	3	3	—	1	—	2
1127T *L	60	0	0	0	3	—	0	—	0
1128T	56	1	1	2	0	0	—	2	—
1130I *RL	61	0	0	2	0	—	2	—	0
1131I *RL	59	0	0	1	2	—	1	—	1
1133I *RL	67	0	0	3	0	2	—	2	—
対照群									
2101T	65	1	1	0	0	—	—	—	—
2102T	63	0	0	2	2	0	—	0	—
2103T	53	0	1	3	0	0	—	2	—
2104T	54	1	1	1	3	—	0	—	—
2105T	57	0	0	0	1	0	—	1	—
2106T	61	0	0	0	1	0	—	0	—
2107T	60	0	0	0	1	0	—	—	—
2108T	68	0	0	2	0	0	—	0	—
2109T	63	0	0	0	2	0	—	0	—
2110I	65	0	1	3	0	0	—	1	—
2111I	60	0	0	1	0	0	—	0	—
2112I	67	0	1	0	0	0	—	1	—
2113I	65	0	0	1	1	0	—	1	—
2114I	65	0	1	0	2	0	—	0	—
2115I	57	0	0	0	0	0	—	0	—
2116I	64	0	0	1	0	0	—	0	—
2117B	55	0	0	3	3	0	—	0	—
2118B	56	0	0	0	0	0	—	0	—
2119B	60	2	2	2	1	0	—	0	—
2120B	50	0	0	0	1	0	—	0	—
2121B	60	2	2	3	0	0	—	1	—
2122B	54	0	0	0	0	0	—	0	—
2123B	52	2	1	0	1	0	—	0	—
2124B	54	0	0	—	—	0	—	0	—
2125B	60	1	1	0	3	0	—	0	—

注) 対象者欄の\*はレイノー現象の有症者、Rは右、Lは左を示す。検査手技欄の数値は検査結果から判定された末梢循環障害の所見レベルを示す。レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査は左右いずれか、局所冷却による指動脈血圧検査は対照群では右側のみ実施。

検査を実施した総数に対してどの程度であったかを振動障害群、対照群ごとに検討したものである。なお、この分析においては、同一の個人について左右両方の手指で測定がなされている場合には、それぞれを独立したデータとして扱った。また、判定結果が臨床所見と合致しているか否か、すなわち振動障害群でレイノー症状の有症者を「異常あり」とし、レイノー症状の無症者や対照群を「異常なし」とすることは別に判定結果の一致のみに注目した。検査間での判定結果の一致度は、それぞれの感度と特異度の設定によって、振動障害群と対照群ではやや傾向が違ってくるものの、全体集計の結果から相関関係をみてみると、まず、皮膚温検査については、皮膚灌流圧検査とは半数以上で判定結果が一致しなかったのに対して（一致率 48.6%）、皮膚血流検査とはかなり強い相関がみられることが明らかとなった（一致率 81.1%）。一方、皮膚灌流圧検査は、他に比べて相対的に一致率が低い傾向にあったが、振動障害群と対照群のいずれにおいても指動脈血圧検査との間で最も強い関連を示した（一致率 56.7%）。皮膚血流検査については、皮膚温検査で強い相関を認めるほか、指動脈血圧検査とも比較的一致率が高いことが示された（一致率 72.0%）。指動脈血圧検査では、皮膚血流検査との相関が高く、また他に比べて検査間での一致率の差が小さい傾向にあった。

表IV-6は、各検査手技における振動障害群での検査の感度と対照群での特異度について、それぞれの検査単独の場合と他の検査を組み合わせた場合で検討したものである。なお、この分析は4検査すべてで判定結果が示された振動障害群27名（レイノー症状有症者10名、レイノー症状無症者17名）、対照群21名の計48名で行った。例えば、皮膚温検査は、単独ではレイノー症状の有症者10名のうち4名を「異常あり」とし感度は40.0%となるが、皮膚灌流圧検査と組み合わせると2検査のいずれかで「異常あり」と判定されるのは8名で、この場合の感度は80.0%となる。一方、皮膚温検査は対照群21名のうち4名を「異常あり」とするが（特異度81.0%）、皮膚灌流圧検査と組み合わせると同様に判定すると「異常あり」は12名となる（特異度42.9%）ことを示す。これらの分析は、各検査の感度と特異度そのものに影響を受けることになるため、検査を組み合わせるときの数値の変化を単純に解釈することはできないが、例えば、指動脈血圧検査をみてみると、皮膚血流検査と組み合わせるとレイノー症状の有症者での感度が単独の場合よりも高くなり（80.0%）、また、レイノー症状無症者での感度が他の検査との組み合わせの中で最も低い（35.3%）ことから、皮膚温検査や皮膚灌流圧検査との組み合わせに比べると診断精度がより高くなることが示される。

続いて、末梢神経及び運動機能に係る各検査手技について、検査結果から判定された所見の程度を一覧表にして表IV-7に示した。表中の振動障害群の個人に付けられた\*は、SWS-NでSN-3（重度）に該当したものを表す。なお、振動覚検査は振動障害群では個人によって左右いずれかのみ、対照群では2名を除いて右側のみで、MRI検査は左右いずれかの症状がより強くみられる側で検査が実施された。

表VI-8には、末梢神経機能に係る振動覚検査と神経伝導検査において示された所見レベルについて、クラス0を「異常なし」、クラス1以上を「異常あり」とした場合の検査間での判定結果の一致度及び振動障害群での検査の感度、対照群での特異度について、検査単独の場合と2つを組み合わせるときの結果を示した。判定結果の一致度の分析では、

表IV-5 末梢循環機能に係る各検査手技間での判定結果の一致度

	冷水浸漬 皮膚温検査 (FST)	レーザードップラー血流計 による皮膚灌流圧検査 (SPP)	レーザー血流画像化装置 による皮膚血流検査 (LDPI)	局所冷却による 指動脈血圧検査 (FSBP%)
<b>振動障害群 VWF(+)</b>				
FST	—	8/17 (47.1)	7/10 (70.0)	7/10 (70.0)
SPP	8/17 (47.1)	—	6/10 (60.0)	6/10 (60.0)
LDPI	7/10 (70.0)	6/10 (60.0)	—	8/10 (80.0)
FSBP%	7/10 (70.0)	6/10 (60.0)	8/10 (80.0)	—
<b>振動障害群 VWF(-)</b>				
FST	—	21/44 (47.7)	17/19 (89.4)	20/29 (68.9)
SPP	21/44 (47.7)	—	9/19 (47.4)	15/29 (51.7)
LDPI	17/19 (89.4)	9/19 (47.4)	—	12/17 (70.6)
FSBP%	20/29 (68.9)	15/29 (51.7)	12/17 (70.6)	—
<b>対照群</b>				
FST	—	24/48 (50.0)	19/24 (79.2)	14/22 (63.6)
SPP	24/48 (50.0)	—	12/23 (52.2)	13/21 (61.9)
LDPI	19/24 (79.2)	12/23 (52.2)	—	16/22 (72.7)
FSBP%	14/22 (63.6)	13/21 (61.9)	16/22 (72.7)	—
<b>全体</b>				
FST	—	53/109 (48.6)	43/53 (81.1)	41/61 (67.2)
SPP	53/109 (48.6)	—	27/52 (51.9)	34/60 (56.7)
LDPI	43/53 (81.1)	27/52 (51.9)	—	36/50 (72.0)
FSBP%	41/61 (67.2)	34/60 (56.7)	36/50 (72.0)	—

注) 各検査手技にて判定された末梢循環障害の所見レベルについて、クラス0を「異常なし」、クラス1以上を「異常あり」とした場合の検査手技間での判定の一致度を示す。すなわち、当該2検査について、ともに「異常なし」あるいは「異常あり」と判定された例数の総数に占める割合で、例えば、8/17(47.1)は17個の比較対応データにおいて8個のデータで判定が一致(一致率47.1%)したことを表す。なお、この分析では同一被検者について左右両方の手指で検査が実施されている場合には、それぞれを独立したデータとして処理した。

表IV-6 末梢循環機能に係る各検査手技の組み合わせと敏感度及び特異度

	冷水浸漬 皮膚温検査 (FST)	レーザードップラー血流計 による皮膚灌流圧検査 (SPP)	レーザー血流画像化装置 による皮膚血流検査 (LDPI)	局所冷却による 指動脈血圧検査 (FSBP%)
振動障害群 VWF(+)				
FST	4 (40.0)	8 (80.0)	7 (70.0)	7 (70.0)
SPP	8 (80.0)	7 (70.0)	9 (90.0)	9 (90.0)
LDPI	7 (70.0)	9 (90.0)	7 (70.0)	8 (80.0)
FSBP%	7 (70.0)	9 (90.0)	8 (80.0)	7 (70.0)
振動障害群 VWF(-)				
FST	4 (23.5)	10 (58.8)	4 (23.5)	7 (41.2)
SPP	10 (58.8)	8 (47.1)	9 (52.9)	11 (64.7)
LDPI	4 (23.5)	9 (52.9)	2 (11.8)	6 (35.3)
FSBP%	7 (41.2)	11 (64.7)	6 (35.3)	5 (29.4)
対照群				
FST	4 (81.0)	12 (42.9)	4 (81.0)	9 (57.1)
SPP	12 (42.9)	10 (52.4)	10 (52.4)	12 (42.9)
LDPI	4 (81.0)	10 (52.4)	0 (100.0)	6 (71.4)
FSBP%	9 (57.1)	12 (42.9)	6 (71.4)	6 (71.4)

注) 4検査すべてで判定結果が示された者(振動障害群のVWF有症者10名、VWF無症者17名、対照群21名の計48名)を分析の対象とした。表中の数値は、各検査単独の場合と、当該2検査を組み合わせた場合での検査陽性数で、( )内は振動障害群では敏感度、対照群では特異度を示す。例えば、皮膚温検査は、単独ではレイノー現象の有症者9名のうち、4名を”異常あり”と判定するが(敏感度44.4%)、指動脈血圧検査と組み合わせたとき、2検査のいずれかで”異常あり”とされるのは7名(敏感度77.8%)となることを表す。また、対照群21名において、皮膚温検査は単独で4名を”異常あり”と判定するが(特異度81.0%)、指動脈血圧検査と組み合わせたとき、2検査のいずれかで”異常あり”とされるのは9名となり、結果的に12名が2つの検査とともに”異常なし”と判定される(特異度57.1%)ことを示す。

表IV-7 末梢神経機能及び運動機能に係る各検査手技での個人判定結果の一覧表

対象者	年齢	振動感覚閾値検査		正中・尺骨神経の 運動・感覚神経伝導検査		MRIによる 筋の機能検査	
		R	L	R	L	R	L
<b>振動障害群</b>							
1101T*	67	2	2	2	2	—	1
1102T*	62	2	2	1	1	—	0
1103T*	64	2	2	2	1	—	2
1104T	62	2	2	0	0	0	—
1105T	65	0	0	0	1	—	0
1106T	63	2	2	1	0	1	—
1107T	65	1	1	0	1	—	0
1108T*	65	2	2	1	0	—	0
1109T*	54	2	2	0	1	—	1
1110T	54	—	—	1	1	1	—
1111T	65	—	—	1	1	—	1
1112T*	55	—	—	3	2	2	—
1113T	57	—	—	3	2	—	0
1114T	59	1	—	0	0	0	—
1115T	52	—	2	1	1	0	—
1116T	56	—	1	0	0	0	—
1117T	54	—	2	0	0	0	—
1118T	52	2	—	2	2	—	0
1119T	67	—	2	2	2	0	—
1120T	50	2	—	0	0	—	2
1121T*	64	2	—	1	1	—	0
1122T	64	2	—	2	0	—	1
1123T	65	—	2	1	0	0	—
1124T	64	2	—	0	0	—	0
1125T	63	—	2	0	0	1	—
1126T	57	—	2	2	2	0	—
1127T	60	—	2	0	0	1	—
1128T	56	2	—	0	0	—	2
1130I	61	—	2	1	2	—	0
1131I	59	—	0	1	1	—	0
1133I	67	2	—	0	1	—	—
<b>対照群</b>							
2101T	65	0	0	2	1	—	0
2102T	63	0	—	1	1	—	0
2103T	53	2	—	1	1	—	0
2104T	54	—	0	0	1	1	—
2105T	57	1	—	1	1	—	0
2106T	61	0	—	0	0	—	0
2107T	60	0	—	1	1	—	1
2108T	68	0	—	0	0	—	1
2109T	63	0	—	1	2	—	0
2110I	65	1	—	1	1	0	—
2111I	60	0	—	1	1	—	—
2112I	67	0	—	0	1	0	—
2113I	65	0	—	2	1	0	—
2114I	65	0	—	0	0	0	—
2115I	57	0	—	0	0	0	—
2116I	64	0	—	0	0	0	—
2117B	55	0	—	0	1	0	—
2118B	56	0	—	0	0	0	—
2119B	60	0	—	0	2	0	—
2120B	50	0	—	0	0	0	—
2121B	60	0	—	0	0	0	—
2122B	54	0	—	0	0	0	—
2123B	52	0	—	1	1	0	—
2124B	54	0	—	0	0	0	—
2125B	60	0	—	0	1	2	—

注) 対象者欄の\*はSWS-NでSN-3に該当するもの、Rは右、Lは左を示す。検査手技欄の数値は検査結果から判定された末梢神経及び運動機能障害の所見レベルを示す。神経伝導検査では、左右両側の測定結果から総合的に個人の所見レベルを判定するが、ここでは片側ずつ独立して判定を行った。MRIによる筋の機能検査は左右いずれかのみ実施。

表IV-8 末梢神経機能に係る各検査手技の判定結果の一致度と組み合わせによる敏感度と特異度

	判定結果の一致度	敏感度/特異度		
		振動感覚閾値検査	正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査	組み合わせ
振動障害群 <sup>#</sup>	18/36 (50.0)	25/27 (92.6)	22/31 (71.0)	27/27 (100.0)
対照群 <sup>#</sup>	17/26 (65.4)	3/25 (88.0)	15/25 (40.0)	15/25 (40.0)
全体	35/62 (56.5)			

注) 判定結果の一致度は、各検査手技にて判定された末梢神経障害の所見レベルについて、クラス0を「異常なし」、クラス1以上を「異常あり」とした場合の検査間での判定の一致度を示す。すなわち、ともに「異常なし」あるいは「異常あり」と判定された例数の総数に占める割合を表す。この分析では同一の個人において左右両方の手指で検査が実施されている場合にはそれぞれを独立したデータとして処理した。また、敏感度と特異度については、神経伝導検査が左右両側の測定結果から個人の所見レベルを判定するため、振動障害群27名と対照群25名の計52名を分析の対象とした。表中の数値は、各検査単独の場合と2検査を組み合わせた場合での検査陽性数で、( )内は振動障害群では敏感度、対照群では特異度を示す。

同一個人内で左右両側で検査が実施されている場合には、それぞれを独立したデータとして扱った。また、敏感度と特異度の分析では、両検査がともに実施された振動障害群27名、対照群25名の計52名を対象とした。なお、振動障害群はすべてSWS-NでSN-1以上か厚生労働省NS区分でS<sub>1</sub>以上を示し、1名を除いてしびれや知覚鈍麻などの臨床所見が認められた。

まず、判定結果の一致度からみると、振動障害群と対照群では傾向が異なっているものの、全体集計では概ね半数の症例で判定結果の一致がみられた(一致率56.5%)。振動覚検査と神経伝導検査はともに末梢神経の異常を評価するものであるが、それぞれの検査で捉えている生理的パラメーターが異なることから判定結果にある程度の違いが生ずるものと推察される。一方、検査の特異度と敏感度の分析の結果をみると、両検査には敏感度と特異度に差があったことから、組み合わせによる変化もそれに影響を受けていた。結果的に、両検査の組み合わせによる振動障害群での敏感度は100%、対照群での特異度は40.0%であった。

最後に、神経伝導検査とMRI検査について、個々の症例に対し末梢神経障害と骨間筋の所見に関する評価を行った。

症例1103 Tでは、骨間筋の萎縮(++)・輝度変化(±)で、尺骨神経障害が疑われ、神経伝導検査でも両側の尺骨神経運動神経伝導速度の低下(MCV AE 41.5 m/sec)が見られ、電気生理学検査と骨格筋のMRI評価との関連性が認められた(本例では左のMRI検査を行ったが、伝導速度はむしろ右側の方がMCV AE 26.4 m/secと著しい低下が見られた)。

症例1120 Tと1128 Tでは左橈側手根屈筋の輝度変化が著明で正中神経障害が疑われたが、本例の神経伝導検査では特に正中神経領域の障害は示唆されなかった(それぞれ前腕部分の正中神経MCV 60.4, 56.4 m/sec)。これらの症例では、MRIで母指球筋や他の正中神経支配領域の骨格筋の異常所見は明らかでなく、橈側手根屈筋の輝度変化は正中神経障害以外の原因が関与していることも考えられる。

また、検査前の投薬による末梢循環機能検査への影響を考慮して分析対象から除外した症例のなかから、特徴的なものを挙げてみると、症例1206 Bでは、左回外筋と骨間筋の輝度

表IV-9 末梢循環機能に係る検査手技での代表値及び指標についての単相関・偏相関分析

	冷水浸漬 皮膚温検査			レーザードップラー血流計による 皮膚灌流圧検査				レーザー血流画像化装置による 皮膚血流検査			局所冷却による 指動脈血圧検査	
	浸漬前 5分値	浸漬中 5分値	浸漬後 15分値	寒冷 刺激前	寒冷 刺激後	刺激前後 変化量	刺激後 SPP/BP	浸漬前	浸漬中	浸漬後	10°C FSBP%	15°C FSBP%
皮膚温検査 (FST)												
冷水浸漬前 5分値				0.278*	0.399**	-0.205	0.569**	0.639***	0.396*	0.549**	0.498**	0.279
冷水浸漬中 5分値				0.120	0.138	-0.046	0.201	0.241	0.001	0.097	0.320	-0.029
冷水浸漬後 15分値				0.297*	0.237	0.015	0.365**	0.506**	0.259	0.464*	0.297	0.055
皮膚灌流圧検査 (SPP)												
寒冷刺激前	0.274*	0.124	0.316*					0.009	-0.019	-0.018	0.265	-0.001
寒冷刺激後	0.374**	0.175	0.343**					0.169	-0.003	0.191	0.500**	0.274
寒冷刺激前後変化量	-0.153	-0.081	-0.077					-0.192	-0.016	-0.246	-0.278	-0.333*
寒冷刺激後 SPP/BP 比	0.555***	0.227	0.447***					0.305	0.273	0.418*	0.561**	0.365*
皮膚血流検査 (LDPI)												
冷水浸漬前	0.663***	0.236	0.497**	0.022	0.236	-0.250	0.364				0.448*	0.133
冷水浸漬中	0.453*	-0.017	0.223	0.015	0.127	-0.131	0.402*				0.232	-0.116
冷水浸漬後	0.559**	0.094	0.465*	-0.013	0.227	-0.279	0.457*				0.202	0.050
指動脈血圧検査 (FSBP%)												
10°CFSBP%	0.513**	0.348	0.360*	0.278	0.496**	-0.271	0.561**	0.460*	0.266	0.215		
15°CFSBP%	0.306	0.053	0.167	0.016	0.199	-0.232	0.341*	0.194	-0.063	0.081		

表の上段は単相関係数、下段は年齢を調整した偏相関係数を示す。\* $p<005$ 、\*\*  $p<001$ 、\*\*\*  $p<0001$

分析には振動障害群における中指の検査データを用いた。また、同一の個人で左右両方の測定が行われている場合にはそれぞれを独立したデータとして扱い、左右を対応させて相関関係を検討した。

変化が著明であり、橈骨神経及び尺骨神経障害が疑われた。本症例の神経伝導検査でも尺骨神経の伝導遅延（尺骨神経 MCV AE 36.3 m/sec）が見られている（今回の検査では橈骨神経の神経伝導検査は行われていない）。

症例 1208 B では、前腕屈筋群と骨間筋に所見が見られ、正中神経及び尺骨神経障害が示唆されたが、神経伝導検査での伝導遅延は明らかでなかった（尺骨神経 MCV AE 54.0 m/sec、正中神経 MCV 55.9 m/sec）。

症例 1308 B では、回外筋と骨間筋の輝度変化が著しく、橈骨神経及び尺骨神経障害が疑われた。神経伝導検査でも尺骨神経の伝導遅延が見られた。

MRI 所見は一部の症例で神経伝導検査所見と一致したが、MRI で陽性所見の見られた骨格筋支配神経の伝導障害が明らかでない症例も見られた。肘部管症候群による尺骨神経障害あるいは手根管症候群による正中神経障害といった絞扼性神経障害が生じている場合、MRI による筋肉の評価と伝導速度による評価には強い相関が見られるが、振動障害における運動機能障害には、絞扼性神経障害で説明できない症例も多く、個々の骨格筋に対する運動枝の障害や骨格筋に対する直接的影響などの可能性が推測される。

振動曝露に起因する末梢循環障害、末梢神経障害、運動機能障害の病態像は複雑であり、単一の検査のみでそれらを十分に捉えることは困難である。検査間で判定結果の一致度が低い場合であっても、それらが異なる側面から異常の有無を捉えているとすれば、検査を組み合わせることで総合的に評価することで、単一で行う場合よりも診断精度が向上することになる。ここで示された検査間の判定結果の一致度と、検査の組み合わせによる敏感度及び特異度についての結果は、分析に使用する振動障害群と対照群、又は振動障害群でのレイノー症状有症者と無症者それぞれの症例数にも影響されることから、ある程度限定的に解釈する必要があるものの、末梢循環あるいは末梢神経に係る検査相互の類似点や相違点を把握したうえで、振動障害の診断に適切に応用することが、より客観的かつ有効な評価に繋がるものと考えられる。

## Ⅶ 検査手技別評価基準

### 1 検査条件及び診断基準

今回実施した7検査のうち、末梢循環機能検査として冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査、局所冷却による指動脈血圧検査、末梢神経機能検査として振動感覚閾値検査、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査について評価基準を示すこととする。

また、運動機能検査としてMRIによる筋の機能評価検査については、その所見及び判定方法を示した。

なお、各々の検査結果の評価基準として示したクラス0、クラス1、クラス2、クラス3の意味は次のとおりである。

クラス0：検査結果からは、異常所見があるとは言えない。

クラス1：検査結果からは、一定の異常所見が認められる。

クラス2：検査結果からは、異常所見が認められる。

クラス3：検査結果からは、明らかな異常所見が認められる。

#### (1) 冷水浸漬皮膚温検査（12℃5分法）

##### ア 測定条件

ISO 14835-1 に示された冷水浸漬皮膚温検査に準じる。検査室温は21℃±1℃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。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、冷水浸漬検査を行なう。冷水温度は12±0.5℃に維持し持続的に攪拌することとする。両手関節まで浸漬し浸漬時間は5分間とし、浸漬直前に薄い防水手袋を着用し浸漬終了後に外す。手指皮膚温は全10指尖（あるいは中節背側）にサーミスタを装着し少なくとも1分間間隔で測定する。測定は安静5分間、浸漬5分間、浸漬終了後15分間の計25分間とする。

##### イ 評価基準

今回の実証検査では、Ⅵの3の(1)で記述したような問題点があり、評価基準の確定は困難であるが、得られた成績から参考評価基準を示す。なお、手指皮膚温の動態は母指と他の4指で若干異なること、振動障害者のレイノー症状は母指に出現することが少ないことから、以下の参考評価基準は母指を除いた4指の成績に基づくものである。

##### (ア) 冷却負荷検査指の評価基準

冷水浸漬前5分目、浸漬中5分目、浸漬終了後5分目、10分目、15分目の5時点の手指皮膚温を用いて評価する。

	浸漬前5分	浸漬中5分	浸漬終了後5分	同10分	同15分
評点0	26.0℃以上	13.0℃以上	16.0℃以上	17.0℃以上	18.0℃以上
評点1	23.0～26.0℃	12.5～13.0℃	15.0～16.0℃	16.0～17.0℃	17.0～18.0℃
評点2	23.0℃未満	12.5℃未満	15.0℃未満	16.0℃未満	17.0℃未満

今回の調査において、評点1以上の場合の対照群における特異度は66～78%程度、

手指レイノー症状有症者における敏感度は30~40%程度、評点2の場合は、それぞれ87~96%、10~30%程度となる。

(イ) 冷却負荷検査手の評価基準（左右、母指を除く4指について）

前記の手指皮膚温に対する判定をスコア化し、母指を除く各手の平均値（すなわち4指の5測定時点の「20」で除す）を用いて評価する。ここで、評点1、評点2に相当するものをそれぞれ、1、2とスコア化する。

- ・ クラス0： 平均スコアが0.5未満
- ・ クラス1~2：平均スコアが0.5以上、1.0未満
- ・ クラス3： 平均スコアが1.0以上

今回の調査において、クラス1以上の場合の対照群における特異度は66%、手指レイノー症状有症者における敏感度は35%、クラス3の場合は、それぞれ90%、29%となる。

(2) レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査

ア 測定条件等

(ア) 測定機器

レーザードップP V2000（Vasamedics社製）

(イ) 測定条件

検査室温は25℃。着衣量の制限なし。仰臥位で測定する。

(ウ) 測定方法

- a 10分以上安静後、測定を開始する。
- b 左右第3指の安静時皮膚灌流圧を測定する。
- c 右手関節以遠を0度の氷水に1分間ばく露する。
- d ばく露終了5分後、右第3指の皮膚灌流圧を測定する。
- e 左側も同様の手順で測定する。
- f その後、両側の上腕動脈血圧を測定する。

(エ) 留意事項

測定中は会話をしない。安静を守る。

イ 具体的な評価数値

測定により得られるデータとしては以下の片側3種である。すなわち、

- ① 寒冷刺激前第3指皮膚灌流圧（SPP）（単位；mmHg）
- ② 寒冷刺激後第3指皮膚灌流圧（SPP）（単位；mmHg）
- ③ 上肢血圧（BP）（単位；mmHg）

ウ 結果の判定法について

振動障害を診断する指標を次のA、Bとする。

- A 器質的な血流障害がないこと
- B 寒冷負荷により血管攣縮が誘発されること

(ア) 器質的な血流障害がないことの評価

寒冷刺激前皮膚灌流圧 (SPP) / 上肢血圧 (BP) が 0.7 以上のものを A を満たすと  
する。

(イ) 寒冷負荷により血管攣縮が誘発されることの評価

a 寒冷刺激前後 SPP 低下量 (単位; mmHg) を指標とする場合

寒冷刺激前 SPP - 寒冷刺激後 SPP が 10 mmHg 以上のものを有所見とする。そ  
のクラス分類は次のとおりとする。

クラス 0 : 寒冷刺激前 SPP - 寒冷刺激後 SPP が 10 mmHg 未満

クラス 1 : 寒冷刺激前 SPP - 寒冷刺激後 SPP が 10 mmHg 以上 20 mmHg 未満

クラス 2 : 寒冷刺激前 SPP - 寒冷刺激後 SPP が 20 mmHg 以上 30 mmHg 未満

クラス 3 : 寒冷刺激前 SPP - 寒冷刺激後 SPP が 30 mmHg 以上

b 寒冷刺激後 SPP/BP を指標とする場合

寒冷刺激後 SPP/BP が 0.9 以上を有所見とする。

なお、この指標の採用に当たっては寒冷刺激前より SPP/BP の低下が存在し、  
寒冷刺激により皮膚灌流圧の低下が極めて少ない例を振動障害群として認定する可  
能性があり注意が必要と考える。

上記の(ア)及び(イ)を総合し、寒冷刺激前 SPP/BP > 0.7 を満たし、かつ 10 mmHg  
以上の寒冷刺激による SPP 低下を認める症例とする。

なお、寒冷刺激後 SPP/BP を参考とする。

(3) レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査

ア 測定条件等

(ア) 測定機器

レーザー血流画像化装置 Periscan PIM-II (Perimed 社製)

(イ) 測定条件

検査室温を 24~25°C に安定させた静寂な室内で、安静座位にて少なくとも 30 分  
の室温馴化を行った後に実施する。衣服は快適さが維持できるものを上下 2 枚ずつ着用  
する。冷水に浸漬する手指は症状が比較的強い側とし、症状が同程度の場合は、原則  
として利き手側 (振動ばく露が多い側) とする。

(ウ) 測定方法

検査には専用の負荷装置を使用し、被検者の前腕及び手指を装置の手指固定台に乗  
せ、なるべく安定した肢位を保つようにするとともに、冷水槽を昇降させることで手  
指を移動させずに固定した状態で連続測定を行う方法をとる。

冷水浸漬試験 10°C 10 分法において、常温下 5 分、冷水浸漬 10 分、浸漬後の回復期  
10 分の計 25 分間、手指掌面の皮膚血流量を連続測定する。測定部位は、示指から環  
指に及ぶ手掌側全体を含む 45×45 ポイント (約 10 cm×10 cm) の範囲とし、2 分間  
隔 (常温下 3 枚、浸漬中 5 枚、回復期 5 枚) で計 13 枚を撮像する。この際、スキャ  
ナーヘッド部を測定部位から約 15 cm の距離で平行になるように固定したうえで、  
Resolution Low モードで、撮像 1 回に約 1 分を要するスピード設定にてレーザー光

をスキヤニングさせる。

(エ) 留意事項

測定中は、レーザー光が設定した手掌部のスキャン領域から外れないようにその中心点にマークを付け、レーザー光のズレを修正する。冷水浸漬中は、レーザー光の水面での屈折を少なくし、同一条件で測定するため、測定部位を水面から約5 cmの位置に固定するように冷水槽の高さを調節する。検査室内の照明をできるだけ暗く保ち、レーザーヘッド部から測定部位を黒い布で覆うことで、レーザー光への干渉をできるだけ避ける。

被検者が降圧薬などの血管作用性の薬剤を常用している場合は、検査の少なくとも24時間前までに服用を中止する。激しい運動や喫煙、カフェインなどを摂取した場合は、少なくとも3時間経過した後に検査を行う。それ以外は、末梢循環機能検査において遵守すべき一般的な留意事項を適用する。

イ 具体的な評価指標

撮像された血流画像イメージは専用の画像解析ソフトを用いて、示指、中指、環指それぞれの末節部領域、または指全体領域を解析部位としてその範囲の平均血流量を算出する。個人の検査結果の判定に当たっては、冷水浸漬試験中の常温下、浸漬中、回復期の各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点の平均値をそれぞれの指ごとに算出する。また、冷水浸漬後の回復の程度をみるために次式により回復比を求める。  
(皮膚血流回復比=回復期の5点の平均値/浸漬中の3点の最低値)

ウ 個人結果の判定

冷水浸漬試験における常温下、浸漬中、回復期の代表値と回復比の4指標について以下の基準値と比較し、それ未満である場合は「異常」、それ以上である場合は「正常」と評価する。

	常温下	浸漬中	回復期	回復比
末節部領域	1.5	1.0	1.2	1.0
指全体領域	1.2	0.9	1.0	1.0

これを示指、中指、環指のすべてについて行い、異常とされる個数の合計（最小0～最大12：3指×4指標）を用いて次のように所見レベルを判定する。

クラス0：異常数の合計が3未満

クラス1：異常数の合計が3以上、6未満

クラス2：異常数の合計が6以上、9未満

クラス3：異常数の合計が9以上

なお、評価は末節部領域と指全体領域のいずれを指標としてもよい。それぞれの領域の結果を総合的に評価することも有効と考えられる。また、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から、50～60歳代以外の年齢層の集団を対象とする場合には、ある程度年齢を加味して評価する必要がある。

#### (4) 局所冷却による指動脈血圧検査

##### ア 測定条件

ISO 14835-2 に示された局所冷却による指動脈血圧検査に準じる。検査室温は  $21 \pm 1$  °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。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、検査を行なう。測定装置として、HVLab社製 Multi-channel Plethysmograph (5チャンネル) を用いる。Medimatic社製 Digimatic DM 2000 (2チャンネル) も利用可能であるが、下記は前者を用いた場合について記す。

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を測定する。原則として第1指を温度調節を行わない対照指として測定する。還流水温は原則として30°C、15°C、10°Cとし、その順で各5分間の負荷検査を行なう。両手について検査することが望ましいが、検査時間の制限がある場合には、症状の強い側を優先して検査する。15°C冷却負荷により手指血圧「0 mmHg」と判断された場合、10°C冷却負荷は行なわなくてもよい。

##### イ 評価基準

###### (ア) FSBP%の算出

$$FSBP\%_{t} = \frac{FSBP_{test,t}}{FSBP_{test,30^{\circ}\text{C}} - (SBP_{ref,30^{\circ}\text{C}} - SBP_{ref,t})} \cdot 100$$

$FSBP\%_{t}$  : 10°Cまたは15°C冷却負荷後のFSBP%

$FSBP_{test,t}$  : 10°Cまたは15°C冷却負荷後の検査指における手指収縮期血圧

$FSBP_{test,30^{\circ}\text{C}}$  : 30°C負荷後の検査指における手指収縮期血圧

$SBP_{ref,30^{\circ}\text{C}}$  : 30°C負荷後の対照指における手指収縮期血圧

$SBP_{ref,t}$  :  $FSBP_{test,t}$  測定時の対照指における手指収縮期血圧

###### (イ) 各冷却負荷検査指の評価基準

15°C、10°Cのいずれか低い方の%FSBPを用いて評価する。

評点0 : FSBP% が75%以上

評点1 : FSBP% が75%未満、65%以上

評点2 : FSBP% が65%未満、55%以上

評点3 : FSBP% が55%未満

今回の調査において、評点1以上の場合の対照群における特異度は41%、手指レイノー症状有症者における感度度は90%、評点2以上の場合は、それぞれ64%、70%、評点3の場合は、91%、60%となる。

###### (ウ) 各冷却負荷検査手の評価基準

前記で算出できたFSBP% (15°C、10°Cの両測定が可能であった場合は低い方) に対する判定をスコア化し、各手の平均値を用いて評価する。ここで、評点1、評点2、評点3に相当するものをそれぞれ、1、2、3とスコア化する。なお、いずれかの指で手指血圧「0 mmHg」と判断された場合は「クラス2」と判定する。

クラス0：平均スコアが0.5未満

クラス1～2：平均スコアが0.5以上、1.0未満

クラス3：平均スコアが1.0以上

今回の調査において、クラス1以上の場合の対照群における特異度は73%、手指レイノー症状有症者における敏感度は70%、クラス3の場合は、それぞれ95%、50%となる。

## (5) 振動感覚閾値検査

### ア 測定条件

ISO 13091-1 に示された振動感覚閾値検査に準じる。ここではHVLab社製 Tactile Vibrometer を用いた。測定周波数は31.5 Hz と125 Hz としたが、可能であれば多くの周波数での測定を行なうことでより詳細な検査ができる。なお、31.5Hz閾値はFA I、125Hz閾値はFA IIの機械受容器を反映するとされる。両手の全指の測定が望ましいが、時間的制限があれば症状の強い手を優先して検査する。

検査室は50 dB (A) 以下の騒音レベルとし、室温を $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (設定温度) に保つ。被検者は上下2枚の着衣、靴下を着用し、設定室温下において検査前少なくとも20分間安静にする。振動感覚閾値測定前に、対象指尖の皮膚温を測定し $30^{\circ}\text{C}$ 未満である場合には、設定温度( $23 \sim 27^{\circ}\text{C}$ )の範囲内で検査室温を上げる。振動感覚閾値測定開始前に、機器の取り扱いを習熟させるよう被検者に練習を行なわせる。

### イ 評価基準

#### (ア) 各検査指の評価基準

##### ・31.5 Hz 閾値の評価

評点0：31.5 Hz 閾値が113 dB 未満

評点1：31.5 Hz 閾値が113 dB 以上、117 dB 未満

評点2：31.5 Hz 閾値が117 dB 以上

今回の調査において、評点1以上の場合の対照群における特異度は86%、振動障害群における敏感度は86%、評点2の場合は、それぞれ96%、74%となる。

##### ・125 Hz 閾値の評価

評点0：125 Hz 閾値が125 dB 未満

評点1：125 Hz 閾値が125 dB 以上、130 dB 未満

評点2：125 Hz 閾値が130 dB 以上

今回の調査において、評点1以上の場合の対照群における特異度は88%、振動障害群における敏感度は85%、評点2の場合は、それぞれ96%、73%となる。

#### (イ) 各検査手の評価基準

前記における31.5 Hz 閾値と125 Hz 閾値の判定をスコア化し、各手の平均値(すなわち、全5指とも2周波数閾値を測定した場合は「10」で除す)を用いて評価する。ここで、評点1、評点2に相当するものをそれぞれ、1、2とスコア化する。

クラス0： 平均スコアが0.5未満

クラス1～2：平均スコアが0.5以上、1.0未満

クラス3：平均スコアが1.0以上

今回の調査において、クラス1以上の場合の対照群における特異度は88%、振動障害群における敏感度は92%、クラス3の場合は、それぞれ96%、92%となる。

(6) 正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査

ア 測定条件等

(ア) 測定機器

通常の神経伝導検査、筋電図検査ができる機器で対応可能。

(イ) 測定条件

検査室温は常温。皮膚表面温度は30℃以上必要。着衣量の制限なし。

(ウ) 測定方法

- a 神経伝導検査前に示指先端で皮膚温を測定し、30℃以上であることを確認する。
- b 皮膚温が30℃未満のときは30℃～40℃程度の温水（熱すぎないこと）で手を温め、再度測定する。
- c 皮膚温が30℃を超えるまで繰り返す。
- d その他の手技については、一般的な神経伝導検査の手順に従う。

イ 具体的な評価数値

表 年齢別の正常値の基準

年齢	正中神経				尺骨神経			
	運動神経		感覚神経		運動神経		感覚神経	
	遠位潜時	MCV (前腕部)	遠位潜時	SCV (前腕部)	遠位潜時	MCV (AE-BE)	遠位潜時	SCV (AE-BE)
	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値	正常上限値	正常下限値
45-54	4.3	52	2.8	55	3.1	50	3	49
55-64	4.4	51	2.9	53	3.2	43	3.2	44
65-74	4.5	50	3	51	3.2	43	3.3	44
75-	4.6	50	3.2	49	3.3	43	3.5	44

注 遠位潜時：msec、MCV・SCV：m/sec

表 異常値の個数とその評価区分

クラス	異常値の数
0	0個
1	1-4個
2	5-8個
3	9個以上

ウ 症度分類の手順

- ① 対象を年齢層に分類する。
- ② 年齢層別の正常値の基準を用いて各パラメータの異常値を判定する。

③ 異常値の個数を数え、異常の数によりクラス0～3に分類する。

エ 判定方法

代表的な患者の数値（年齢55歳）

	正中神経				尺骨神経			
	運動神経		感覚神経		運動神経		感覚神経	
	遠位潜時	MCV (前腕部)	遠位潜時	SCV (前腕部)	遠位潜時	MCV (AE-BE)	遠位潜時	SCV (AE-BE)
左	4.3	*50.2	*3.0	*51.9	*3.7	58.1	2.8	63.3
右	4.4	*48.3	*3.4	*51.6	*3.7	43.5	2.8	*43.1

注 遠位潜時：msec、MCV・SCV：m/sec

上記の代表患者を判定すると、

- ① 年齢が55歳なので年齢別正常値の基準の55-64歳の行で判定する。
- ② 上記表の\*を付した数値が異常値となる。
- ③ 異常値が9個あるので異常値の数が9個以上に該当し、クラス3となる。

(7) MRIによる筋の機能評価検査

ア 測定条件等

通常の診療用MRIを使用する。なお、体幹用と異なる前腕・手部撮像用の小コイルを使用することが望ましい。MRI撮像に関しては特に室温、安静時間等の測定条件を厳密に設けることは不要であるが、一般のMRI検査と同様、被検者の禁忌事項として閉所恐怖症、インプラントなどの金属の留置などが挙げられ、検査施行中は約15分間検査部位を静止させておくことが必要である。

イ 具体的な評価数値

MRI検査は現在のところ撮像画像による定性的評価に留まるため、数値として評価することは困難である。骨格筋の評価としては、筋の横断面積の他にT2強調画像における輝度変化が最も重要な所見で、骨格筋の支配神経に変化が生じると、T2強調画像で筋が高輝度変化を呈する。

ウ 個人結果の判定方法

前腕及び手掌部のMRI所見では、T2強調画像における骨格筋輝度変化の程度とそれらの変化がどの骨格筋にみられるかということを判定することになるが、まずそれぞれの骨格筋の輝度変化を正常：(-)、軽度亢進：(±)、中等度亢進：(+)、高度亢進：(++)の4段階で評価した。これをそれぞれ運動機能評価としてのクラス0、1、2、3と対応させる。さらにMRIで2ヶ所以上の骨格筋群に異常所見が見られた場合、例えば尺骨神経領域と正中神経領域の骨格筋群ともに輝度変化が認められた場合などは、輝度変化によるクラスを1段階上げる、即ち(±)の所見であればクラス1とするところ、2ヶ所の骨格筋群に(±)の所見が見られれば、クラス2と判定する。

(8) 評価基準の取り扱い

今回の実証検査は、振動障害群、対照群を精査し、機器の構成、検査室の温度設定等厳

密に実施されたが、一部に検査機器等の不具合等の問題が生じた。また、当初計画したサンプルサイズに達しなかったこと、振動障害群と対照群の居住地の偏りがあったこと等の問題もある。しかしながら、上述した評価基準は、科学的検討を加えたものであり、検査結果を判断する上での評価基準として一定の妥当性をもつものとする。なお、新たな知見が蓄積された場合、順次改訂されるべきものである。

#### (9) その他の検査

このほか、平成13年報告書に盛り込まれた各種検査手技についても、今回、具体的な評価基準を示すことはできなかったが、振動障害の有無、程度を検査するうえで有効な手段であるといえる。

平成13年報告書で評価した各検査手技については、別添の【参考資料】でこれまでの研究成果を紹介しているので、これらを参考に振動障害の有無について評価すべきである。

## 2 鑑別すべき疾患

振動障害の特徴的な症状であるレイノー現象は、他の多くの疾患によっても発現することが知られている。また、その他の症状又は障害についても非特異的なものであって、種々の基礎疾患、既存疾病等あるいは加齢の影響等により生じている場合もある。このため、振動障害の診断に当たっては、類似疾患の除外診断が重要である。

振動障害と類似の症状を呈することのある疾病の主なものとして、以下に掲げるものがある。

- (1) 既往の外傷に起因するもの（火傷及び凍傷を含む。）
- (2) 振動業務以外の原因に基づくレイノー症候群（レイノー病、血清蛋白異常及び血糖異常）
- (3) 胸郭出口症候群（前斜角筋症候群、過外転症候群、肋鎖症候群及び頸肋症候群）
- (4) 中毒等による末梢神経及び血管の障害（麦角、鉛、砒素、塩化ビニルモノマー等）
- (5) 脈なし病、閉塞性血栓性血管炎（バージャー病）、糖尿病等による血管の障害
- (6) 関節リウマチ、強皮症等の膠原病
- (7) 痛風
- (8) 結核性等の慢性関節炎
- (9) 頸椎の退行性変化に基づく神経炎及び血管の障害
- (10) その他特殊な筋神経系の疾病（筋萎縮性側索硬化症、脊髄性進行性筋萎縮症、進行性神経性筋萎縮症等）

## VIII 新たな検査体系の在り方

### 1 各検査の位置づけ

振動障害を診断するための検査手技について、現行認定基準で示している検査手技については種々問題があることを指摘した。平成13年報告書においては、各種検査手技について整理し、スクリーニングのための検査、精密検査・鑑別診断のための検査という検査の在り方について報告されている。そして、今般、7つの検査手法について振動障害群、対照群に対して実際に検査を実施し、その有効性を確認した。

このことを踏まえ、今後における検査体系の在り方として、平成13年報告書で示されたスクリーニングのための検査、精密検査・鑑別診断のための検査という考え方を導入し、現行認定基準で示されている検査手技、平成13年報告書で評価した検査手技、そして今回の実証検査で評価した検査手技について、実際の診断の場面において実施される検査として当検討会の見解を以下に示すこととする。

なお、スクリーニング検査という用語は健康診断に用いられる用語であり、労災認定における用語としては必ずしも適切でないことから、以降「基本検査」と呼ぶこととする。基本検査については、検査手技の簡便性、検査機器の普及状況の観点から採用について検討される必要があり、精密検査・鑑別診断のための検査については、基本検査による結果だけからは患者の病像を正しく把握しきれない場合において、より精密な検査として実施されるべきである。

その際の考え方としては、検査法のもつ特異度、感度を考慮し、以下によるのが適当であると考える。

末梢循環基本検査において、軽度の所見と判定された場合には精密検査を実施する。また、末梢神経基本検査において、振動感覚閾値検査、神経伝導検査いずれか一方のみに「所見あり」と判定された場合には精密検査を実施する。また、運動機能基本検査において、臨床所見と検査所見との関係が合理的に説明できない場合等、所見が確定されない場合には精密検査を実施する。

### 2 検査精度を上げるための各種検査手技の組み合わせ

#### (1) 末梢循環機能検査

現行検査手技において、爪圧迫検査は簡便な検査ではあるが検者の肉眼で確認しているため客観性に欠けること、検者の巧緻に左右されることから、必ずしも適切な検査であるとは言えない。また、冷水浸漬皮膚温検査（5℃10分法）については、検査に伴う著しい疼痛等の問題もあり、また、実際の労災認定における検査において約7割が10℃10分法で行われているという実態にある。今後、ますます患者の高齢化が進むことが予想され、現行検査手技において示されている冷水浸漬皮膚温検査（5℃10分法）については、これを否定するものではないが他の検査に置き換えられることが適切であると考えられる。

ただし、いずれの方法を採用しても検査の際に寒冷刺激を伴わざるを得ないが、検査の客観性、信頼性、患者負担の相対的低下という観点から次のとおりとする。

#### ア 基本検査

基本検査としては、常温下皮膚温検査に加えて、冷水浸漬皮膚温検査（10℃10分法）を実施することとする。ただし、今後、12℃5分法による冷水浸漬皮膚温検査の評価基準がある程度確定された場合には、採用すべきである。

#### イ 精密検査・鑑別診断

精密検査・鑑別診断のための検査としては、皮膚温検査に加えて、局所冷却による指動脈血圧検査（ISO基準）をはじめとして、レーザー血流画像化装置による皮膚血流検査、レーザードップラー血流計による皮膚灌流圧検査を選択的に実施する。

### (2) 末梢神経機能検査

現行検査手技において、痛覚検査は簡便な方法ではあるが、被検者の応答に依存すること、被検者の皮膚の角質層の厚さ、角化の程度や年齢により痛覚閾値への影響が生じるとされており、また、感染症の問題等も指摘されるなどの問題がある。

振動感覚閾値検査については、被検者の応答に依存すること、振動子への指の圧力等の測定条件により検査値が異なること、加齢や皮膚の肥厚により閾値の上昇が生じる等の問題点が指摘されているが、一方、ISOによる国際標準化が行われ、評価法等の国際規格が示されている検査であり、正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査と組み合わせることにより、より客観化できることから次のとおりとする。

#### ア 基本検査

基本検査としては、振動感覚閾値検査（125 Hz）及び正中・尺骨神経の運動・感覚神経伝導検査を実施する。

#### イ 精密検査・鑑別診断

精密検査・鑑別診断のための検査としては、振動感覚閾値検査（31.5 Hz、125 Hz）（ISO基準）及び必要に応じて体性感覚誘発電位（SEP）等、運動・感覚神経伝導検査（インテグ法等）、後期応答（F波、H波）、針筋電図検査等を実施する。

### (3) 運動機能検査

現行検査手技において、握力検査（最大握力、瞬発握力、維持握力）、つまみ力検査については、被検者の最大努力が評価の前提となり、検査結果の客観性が問題視される。また、タッピング検査については、本人の意思、指機能の器用さ等に左右され、必ずしも指機能を反映した検査とは言い難い。運動機能障害の検査手技については客観性、再現性という観点からはいずれの検査も十分であるとは言い難いことから、これらの検査を否定するものではないが、あくまでも診断の参考にとどめるべきである。以上のことから、客観性に問題があるものについては、医師が直接行う次の検査とする。

#### ア 基本検査

基本検査としては、レントゲン検査、握力検査、関節可動域測定、深部反射検査を実施する。

#### イ 精密検査・鑑別診断

精密検査・鑑別診断のための検査としては、MRIによる筋の機能検査を実施する。

## IX まとめ

今回検討された検査手技及びこれに基づく検査体系は、最新の医学的知見に基づくものであるが、検討会が出した結論は、多彩で複雑な症状を呈する振動障害を的確に診断できるかという点必ずしもそうではない。しかしながら、昭和53年当時の医学的知見に基づいた検査手技と比較して遙かに精度の高い、客観的な検査手技を提示できたと考えている。今回実証検査を行った7検査については、被検者数の制限はあったものの全体的には患者の症度区分に対応した敏感度等を有するものであり、今回の結果では必ずしも十分な客観性を示さなかった検査項目についても、今後、さらに症例数を増やし、データを蓄積し明確にする必要がある。言うまでもないが、検討会において、基本検査、精密・鑑別診断のための検査として提案した各検査については、各々その長所、短所、限界等があり、自覚症状、振動ばく露歴、臨床所見、各検査結果から、総合的に振動障害の有無、他疾患との鑑別及び振動障害の症度を診断すべきである。



## 【参考資料】

平成13年報告書では、検討会報告書に掲記した検査手技以外の検査として、末梢循環障害に係る検査では、皮膚温検査、サーモグラフィー、指尖容積脈波、血管造影、血管超音波、末梢神経障害に係る検査では、針筋電図検査、神経伝導検査、後期応答、誘発電位、運動機能障害に係る検査では、徒手筋力検査（MMT）、関節可動域測定、深部反射検査、レントゲン検査、MRI及びCTスキャンを掲げているが、改めて各検査手技に係る障害の把握のための基準、導入に当たっての留意点等を示すと以下のとおりである。

なお、末梢循環障害に係る検査では、実際の労災認定において、冷水浸漬皮膚温検査は10℃10分法で行われることが多いことから、これまでの研究報告等による代表的な評価基準を示したが、血管造影、血管超音波等のほとんど用いられない検査については除くこととした。

また、末梢神経障害に係る検査については、はじめに電気生理学的検査の概要を説明し、その後各検査手技に係る障害の把握のための基準、導入に当たっての留意点等を示すこととした。

### 1 末梢循環障害に係る検査手技

#### (1) 皮膚温検査（常温下・10℃10分法）

手指の皮膚温検査は常温下と冷水浸漬とによるが、必ず検査前に室温20℃～23℃の室内において30分以上の安静時間をとることが必要である。

常温下皮膚温検査では、常温下で両手の示指、中指、環指及び小指の末節の掌側中央を測定する。常温下の皮膚温は、平常時でも若干の変動があるとされており、常温時の測定は、適当な時間をおいて2回以上行うことが望ましい。

検査方法は、冷却負荷用のウォーターバス（簡易にはバット中に氷水で調整）で10℃に水温を調整する。検査部位は問診により、しびれ感、疼痛などの自覚症状のある側の手指を浸漬（冷水負荷）側とする（両側に症状のある場合は左手とする）。皮膚温は示指、中指又は環指のうちの1指について、末節掌側の中央を多チャンネル式サーミスタ温度計（自動記録式）等を用いて測定する。被検者の示指等の末節掌側にサーミスタのセンサーをテーピングする。防水剤としてワセリン等を使用する。浸漬用バットの水温のモニターも同時に行う。負荷をはじめる前に、各指で皮膚温の各浸漬前値を測定する。浸漬開始後、手指は手関節まで浸漬し、その際、センサーをつけた指はバットに触れないように注意する。自動記録装置のない温度計では、1分毎に各被検者の皮膚温を記録する。冷水浸漬10分終了時、すばやくタオル等で被検者の手を清拭する。冷水負荷終了後の回復安静時、浸漬側の手指は、タオル上に掌側を上側にしておく。皮膚温は、冷却負荷開始6分目から1分毎に測定し、10分目の測定終了と同時に手を冷水から引き上げ、これを基点として5分目及び10分目に測定する。

ア 障害の把握のための基準

表1 手指皮膚温検査の判定の目安（常温下）

	測定部位	正常	+	++	+++	
1	中指中節背側	30℃超	30℃以下	28℃以下	26℃以下	林災防
2	中指中節背側	30℃超	30℃以下	28℃以下	26℃以下	渡部
3		29.5℃超	29.5℃以下	28.9℃以下	28.3℃以下	大崎
4	右手 / 左手	32.5℃以上	32.5℃未満	30.0℃未満	27.5℃未満	井藤ら

注1 1~4では、原資料に「正常」の項目を追加している。

注2 4では、原資料の評点1、2、3を+、++、+++としている。

常温下皮膚温検査について、表1に検査結果の判定の目安を示した。

また、冷水浸漬皮膚温検査では、1978年、岩田、井藤らは、5℃10分法の評価基準をもとに10℃10分法の検査成績を追加し、10℃10分法の評価基準（表2）を示したが、評価に当たっては、評点の合計に応じて、-、±、+、2+、3+と評価するものとしている。この方法を用いて皮膚温の検査結果を評価すると、0~1点（-）、2~3点（±）、4~6点（+）、7~9点（2+）、10~15点（3+）とすることができる。

表2 末梢循環（10℃10分法）の評価基準（岩田、井藤ら）

項目	評点	常温下前値		直後値	引上げ5分目	引上げ10分目
		右手	左手			
皮膚温	0	32.5以上	32.5以上	11.5以上	15.0以上	18.0以上
	1	32.5未満	32.5未満	11.5未満	15.0未満	18.0未満
	2	30.0未満	30.0未満	11.0未満	13.0未満	16.0未満
	3	27.5未満	27.5未満	10.5未満	11.0未満	14.0未満

注1 皮膚温前値は片手4本の指のうち、最も悪い値で判定する。

注2 本表では、10℃10分法の皮膚温検査に係る基準値のみを掲載し、さらに原資料に「評点0」の項目を追加している。

一方、宮下らは、1986年から1995年までの10年間のチェンソー取扱者の健康診断データに基づき、10℃10分法を用いた皮膚温の新たな評価基準を検討し、1997年に新たな評価基準を示した（表3）。評価基準では、Aゾーン、Bゾーン、Cゾーン、Dゾーンは、それぞれ評価として、+、2+、3+、4+、あるいは、評点として、0、1、2、3点と評価できるとしている。

なお、具体的な評価方法は以下のとおりである。

- ・ 冷水への浸漬は、左右いずれか症状の強い側とし、皮膚温検査の対象指は中指とする。
- ・ 前値、直後値、5分後値、10分後値、5分後回復率、10分後回復率の代表値から、Aゾーン：0点、Bゾーン：1点、Cゾーン：2点、Dゾーン：3点と評点して合計する。

- ・ 合計点から、0～4点：クラス0、5～8点：クラス1、9～11点：クラス2、12点以上：クラス3とする。

表3 冷水浸漬皮膚温検査（10℃10分法）の評価基準（宮下ら）

		基準値Ⅰ		基準値Ⅱ		基準値Ⅲ	
		Aゾーン	Bゾーン	Cゾーン	Dゾーン		
皮膚温	(℃)	前値	31.5	28.5	24.5		
		直後値	13.5	11.5	11.0		
		5分後値	17.0	15.5	14.0		
		10分後値	20.0	17.0	15.0		
	(%)	5分後回復率	25.0	18.0	13.0		
		10分後回復率	39.0	28.0	21.0		

注 皮膚温回復率 =  $\frac{5分後(10分後)の皮膚温 - 直後 * 皮膚温}{前値 - 直後 * 皮膚温} \times 100$

直後\*：負荷中6～10分の平均値

#### イ 導入に当たっての留意点

- ・ 寒冷昇圧反応による一過性の血圧上昇に対する高血圧者への配慮が必要である。
- ・ 被検者は上下2枚の着衣と靴下を着用する。
- ・ 皮膚温は、安静時の値のみならず、回復期も検査室温に影響されるため、検査室温は、20～23℃に保つことが重要である。
- ・ 検査を行う季節は、症状が顕在化する冬期が望ましい。
- ・ 高血圧、心筋梗塞、冠動脈硬化症又は心不全の既往歴のある者には、心電図等によく検討した上で実施する。また、冷却負荷中、被検者が胸苦しさや狭心痛を訴えた場合には直ちに中止する。

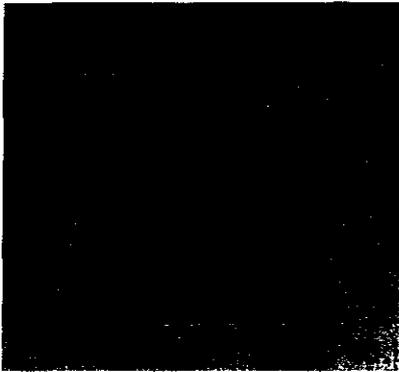
## (2) サーモグラフィー

赤外線カメラを用いて体表面からの熱放射を測定することにより得られる体表面の温度分布を二次元的に画像表示する検査手法である。室温馴化の後に単にサーモグラムを撮影することを単純サーモグラフィーというが、実際にサーモグラフィーを施行する際には冷却負荷をかけることが多い。

### ア 障害の把握のための基準

単純サーモグラフィーでは、手背皮膚温の低下の有無、あるいはサーモグラムパターンから循環障害の有無あるいは程度を評価することができる。また負荷サーモグラフィーでは負荷前後の変化、また負荷後の回復過程を指標に循環障害の有無を評価することができる。Nasuら<sup>9)</sup>は振動工具使用者77名を対象にサーモグラフィーによる評価を行った。室温24℃、湿度50%の状態での30分間の室温馴化の後、両手背のサーモグラムを記録しそのパターン(図1)をtype1)正常、type2)手背平均温度の左右差が1℃以上であるもの、type3)手指末梢に向かうに従って皮膚温が低下するもの、type4)各手指間で皮膚温度差を生じるもの、type5)手指平均温度が30℃以下であるものの5型を基本形とし、それらの組み合わせで分類した。サーモグラムパターンのうちtype1の

Type 1



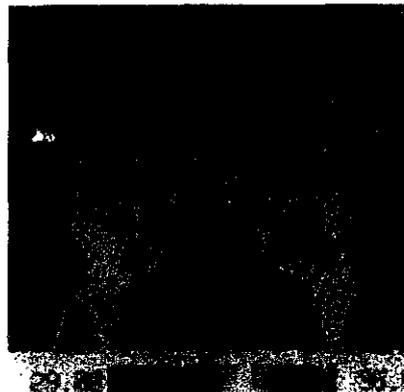
Type 2



Type 3



Type 4



Type 5



図1 振動障害者の手背サーモグラムパターン

みを正常とした場合、敏感度は 85.3%、特異度は 46.5%であった。

イ 導入に当たっての留意点

- ・ 厳密な測定条件の設定が必要であるが、通常は、室温は 24~26°C、湿度は 40~60%の静寂な室内で、空腹時に行う。
- ・ 他の器質的末梢循環障害との鑑別は困難である。

(3) 指尖容積脈波

光学的手法により指尖における血液変動（単位体積当たりのヘモグロビン量の変化）を脈波として描出する。光電脈波センサーは、小型で測定部位に密着させるだけでよく、簡単に計測、記録できる。

ア 障害の把握のための基準

パラメータは波形の形態分類、波高と頂点時間の計測であるが、波高の校正方法がないために、絶対値は測定できない。正常と異常の判定は頂点時間の計測と波形分析で行う（図 2~4）。正常な波形では立ち上がりが急峻で心収縮期上昇脚は直線的となる。明瞭な頂点 P に続いて切痕（N）、重複波（D）が明瞭に認められる。大動脈炎症候群、閉塞性動脈硬化症、バージャー病などで四肢動脈に器質的閉塞がある場合には、アーチ波が出現する。一方、レイノー症候群のような vasospasm による末梢動脈の機能的閉塞では、peaked pulse と呼ばれる波形が得られる。一宮ら<sup>9)</sup>は、振動工具使用者では、①中間波がかなりの頻度で発現し、波形の異常は健常者とレイノー病、強皮症、閉塞性動脈硬化症及び閉塞性血栓血管炎など末梢循環疾患者の中間に位置する、②常温下でも少数の異常波が認められ、寒冷負荷により増加する、③高齢者ほどまたレイノー現象陽性者ほど異常度は高く、寒冷負荷による変動幅も増大する、④寒冷負荷による波形変動のパターンはやや閉塞性動脈硬化症に類似していると報告している。また、桜井らは、振動障害にみられる夏期の末梢循環機能を冷水負荷後の指尖容積脈波により評価し、冷水負荷脈波は夏期においても比較的安定し、精度が高く、客観化できると報告している。

イ 導入に当たっての留意点

- ・ 厳密な測定条件の設定が必要であるが、通常は、室温は 24~26°C、湿度は 40~60%の静寂な室内で、空腹時に行う。
- ・ 心機能の影響を受けるため、心機図に頸動脈波を加えるなどにより、心機能を評価し、指尖脈波から心機能要因による変化を取り去って波形を観察する必要がある。
- ・ 他の器質的末梢循環障害との鑑別は困難である。

(文献)

- 1 Nasu Y., et al: Comparison of the diagnostic values among thermography and three kinds of provocation tests for vibration induced white finger (VWF). Biomed Thermo 15(2):157-162,1995.
- 2 一宮源太：手持ち振動工具使用者の指尖容積脈波波形の検討－軽度全身寒冷負荷時の波形の

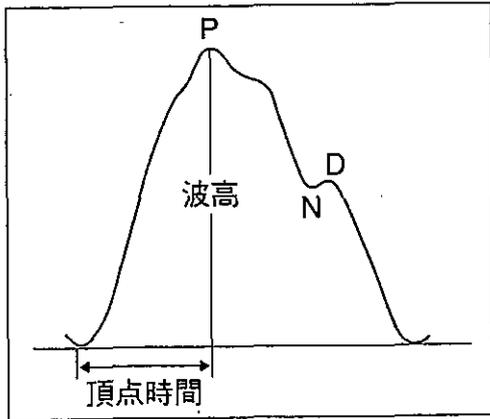


図2 正常脈波のシェーマ  
P:頂点 N:切痕 D:重複波

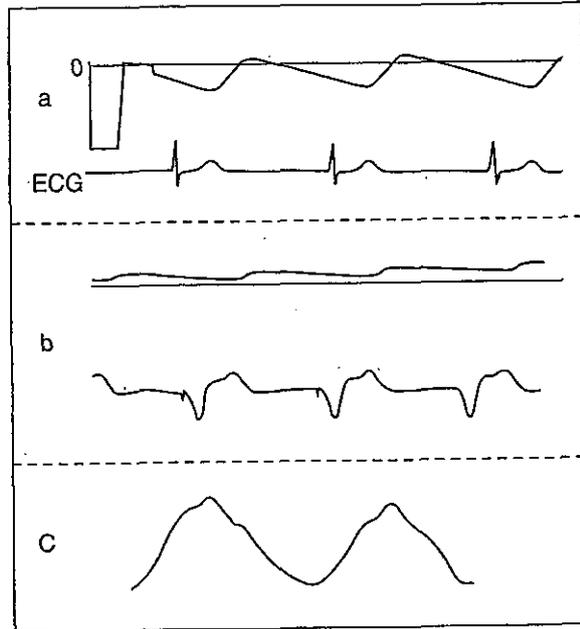


図3 異常波の実例とシェーマ  
a:アーチ波 b:プラトー波 c: peaked pulse

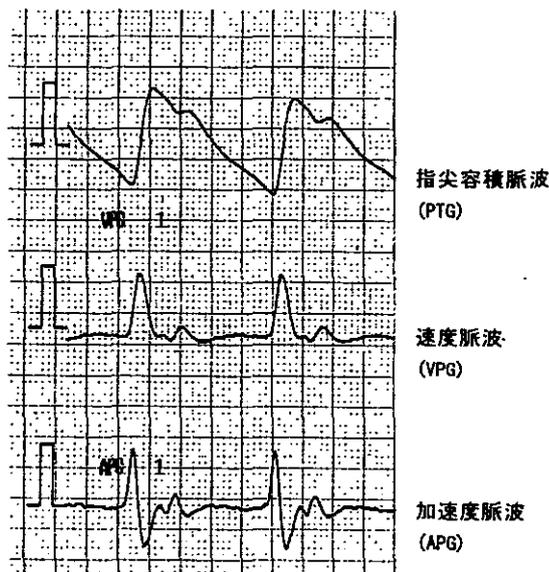


図4 波形記録例

変動一. 日災医誌 32:1984.

## 2 電気生理学的検査の概要

一般的に普及している電気生理学的検査を分かりやすく示したのが図5である<sup>1)</sup>。運動単位 (motor unit) の構成要素を図6に示した<sup>2)</sup>が、そのなかでも末梢神経や筋に対する検査は一般的に行われており、その代表的なものが神経伝導検査と針筋電図検査である。また、末梢神経の中枢部の評価のためには、F波、H波などの後期応答や瞬目反射が用いられる。神経筋接合部の評価のためには、反復刺激を利用した疲労検査や単線維筋電図が用いられる。

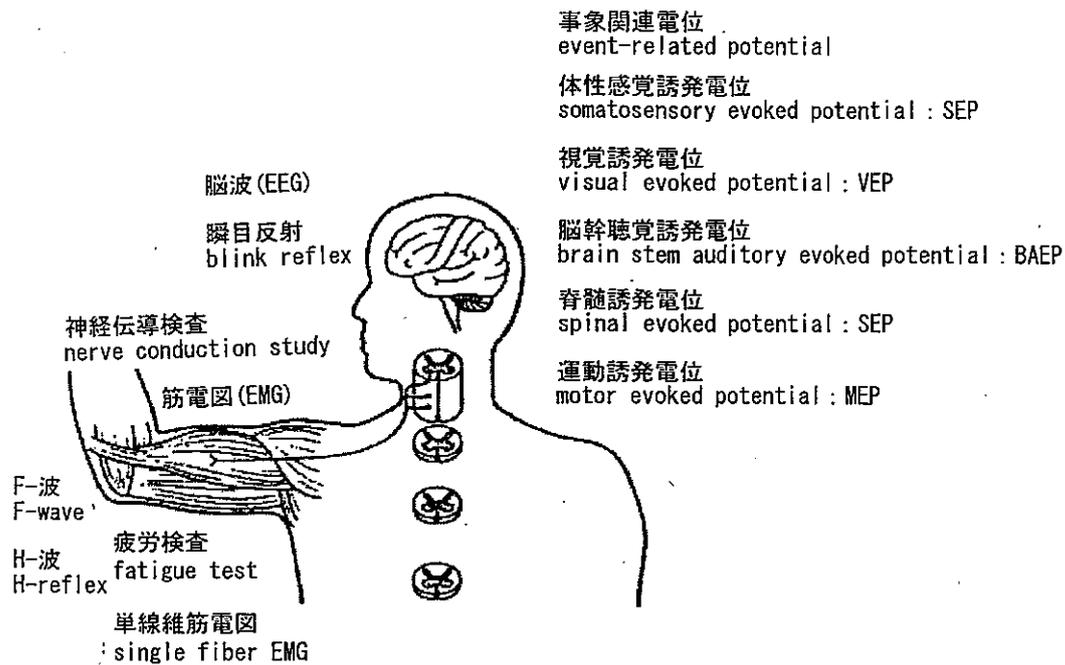


図5 日常臨床で用いられている主な電気生理学的検査

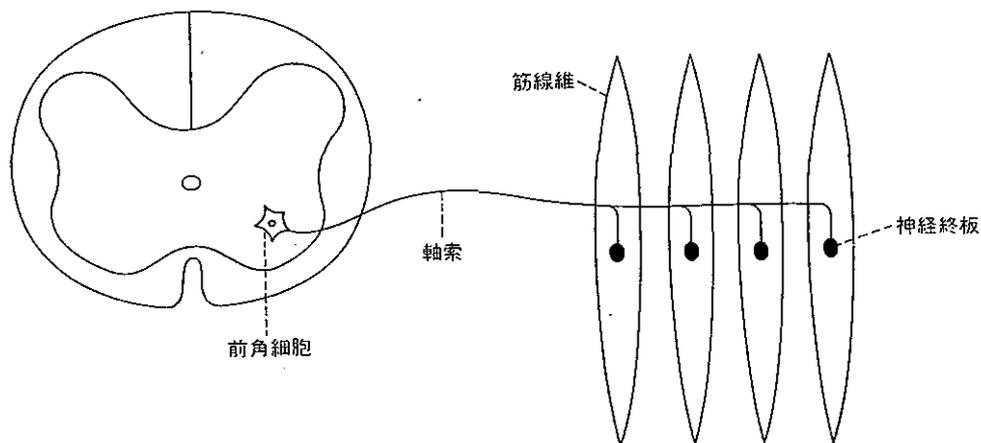


図6 運動単位

末梢神経と中枢神経を総合的に評価するためには、体性感覚誘発電位に代表される各種誘発電位の測定が有用である。

### (1) 検査機器

一般的に電気生理学的検査のために使用される検査機器は、ほとんどが筋電計と神経伝導検査のための装置を兼ね備えており、一体のユニットとなって構成され、各種誘発電位の測定が可能なものも多く存在する<sup>1)</sup>(図7)。検査機器の基本的な構造は、図8に示すように、被検筋に刺入された針電極、あるいは設置した表面電極等からの活動電位を受け取り、電位は増幅器を通して拡大され、オシロスコープ上に表示される仕組みとなっている。電気生理学的検査のために使用される電極にはさまざまな種類のものがあり、通常は、神経伝導検査においては表面電極が、臨床筋電図検査には針電極が用いられる。針電極の種

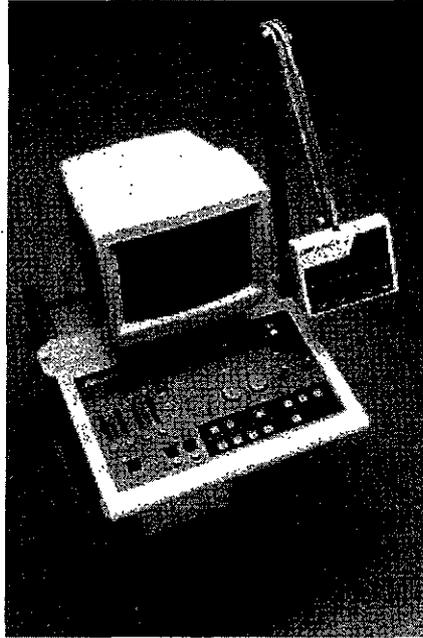


図7 電気診断のための検査機器

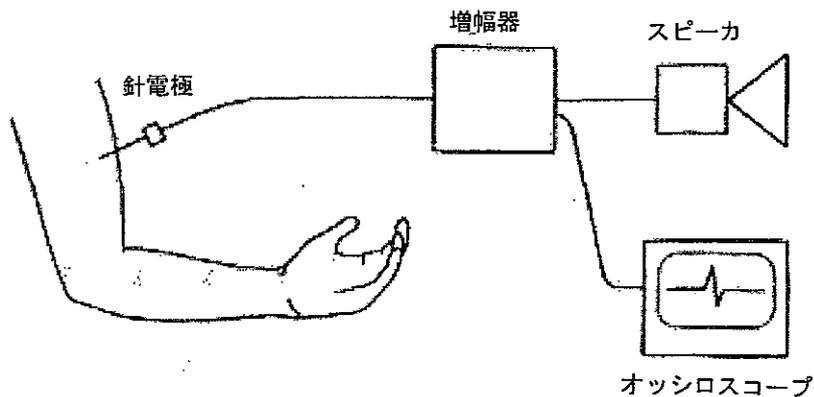


図8 筋電計の基本構造

類には、構造上、同軸または同芯針電極、双極針電極、単極針電極の3種類あり、我が国においては同軸または同芯針電極が広く使用されている<sup>2)</sup>。

## (2) 神経伝導検査<sup>1-3)</sup>

神経伝導検査は、末梢神経障害に対する代表的な電気生理学的検査である。末梢神経は、脊髓前角細胞から活動電位が出る運動神経線維と、皮膚などの感覚受容器から活動電位が伝わる感覚神経線維に分けられる。また、神経の活動電位の伝達の様式は、神経細胞より末梢へ向かう遠心性の伝達と、神経末端から中枢に向かう求心性の伝達の2つに分けられる。皮下表在性の末梢神経のほとんどは、運動神経線維と感覚神経線維の両者から構成される混合線維として走行している。実際にはこの混合線維が、神経伝導検査の対象となることが多いが、運動神経線維と感覚神経線維は個々に、運動神経伝導検査、感覚神経伝導検査として実施することが可能である。運動神経伝導検査と感覚神経伝導検査において、

表4 末梢神経に関する電気診断の目的

1. 下位運動ニューロンの障害の診断ならびに上位運動ニューロン障害との鑑別
2. 前角細胞と運動神経線維の障害との鑑別
3. 末梢神経損傷とニューロパチーとの鑑別
4. 末梢神経の障害部位の決定
5. 機能障害の程度の決定
6. 脱神経所見の有無による機能予後の推定
7. 神経再生所見の有無の検索
8. 神経の破格や過誤支配の証明

運動神経、感覚神経ともに検査対象となる線維は、神経幹の中の直径の太いA線維に属する有髄神経線維である。有髄神経線維では、跳躍伝導により刺激が伝わるが、その伝導速度は髄鞘間の距離が長いほど、神経線維の直径が太いほど速く伝わる。しかし、神経伝導速度は、加齢や皮膚温度の低下に伴い伝導速度も低下するので、検査に当たっては皮膚温度の確認を行い、保温を心掛け、伝導速度の低下に関しては、加齢の影響も考慮しながら検査結果を検討する必要がある。

末梢神経障害の有無や障害の程度、障害部位を評価するために、神経伝導検査を行うことは有用であるうえ、検査は非侵襲的であり、通常の神経伝導検査においては臨床検査技師による実施も可能である。さまざまな神経疾患に対し、最も広く利用されている検査のひとつである(表4)。これらの意味で振動障害の末梢神経障害の診断を目的としたスクリーニング検査としては、最も適した検査と考えられる。また、絞扼部の上下を刺激する方法を用いることで、より詳細な末梢神経障害の病態を把握することが可能と考えられる。さらに、他の末梢神経障害の検査結果と比較することで、振動障害の末梢神経障害の病態を把握するための一助になると考えられる。

### (3) 運動神経伝導検査<sup>2)</sup>

運動神経伝導速度検査では、末梢神経の一部を構成する運動神経を電気刺激することにより、神経の支配する筋肉から誘発電位反応である複合筋活動電位(compound muscle action potential : CMAPあるいはM波)を導出し、運動神経から筋肉に至るまでの異常の有無を検索することが可能である。評価には、遠位潜時(distal latency)や運動神経伝導速度(motor nerve conduction velocity : MCV)が用いられる(図9)。

検査は、検査する末梢神経幹の上に刺激電極をあて、刺激電極の陰極が神経の遠位側に、陽極が神経の近位側になるように設置し刺激を入力する。刺激強度は、刺激を強くしてもCMAPが変化しなくなる強度での刺激、すなわち最大上刺激(supramaximal stimulation)を用いて行う。上肢では正中神経と尺骨神経が、一般的にスクリーニング検査として採用されることが多い。これらの神経は、皮下の比較的浅い部分を走行しており、運動神経伝導検査の対象となる。記録電極は、刺激される末梢神経の支配する筋肉の筋腹中央

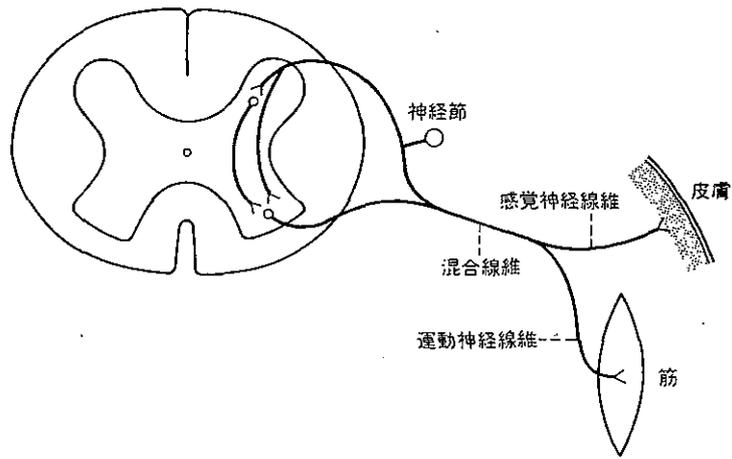
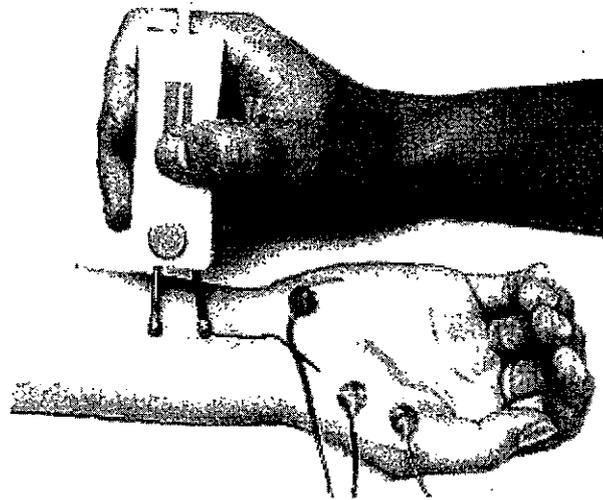


図9 運動神経および感覚神経線維

(a)



(b)

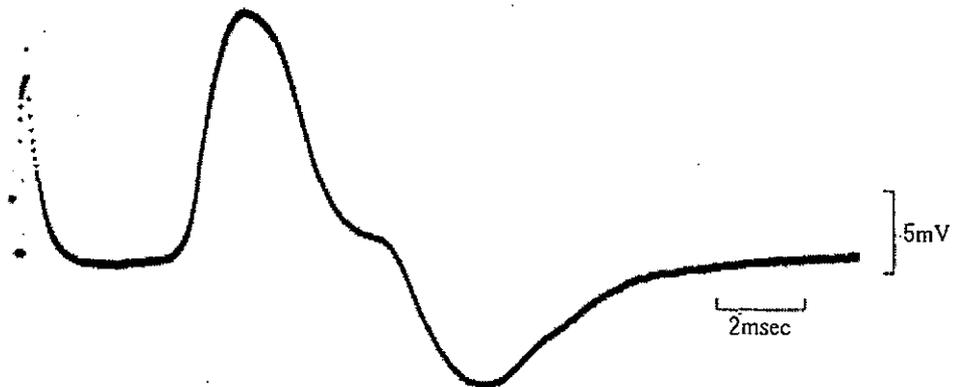
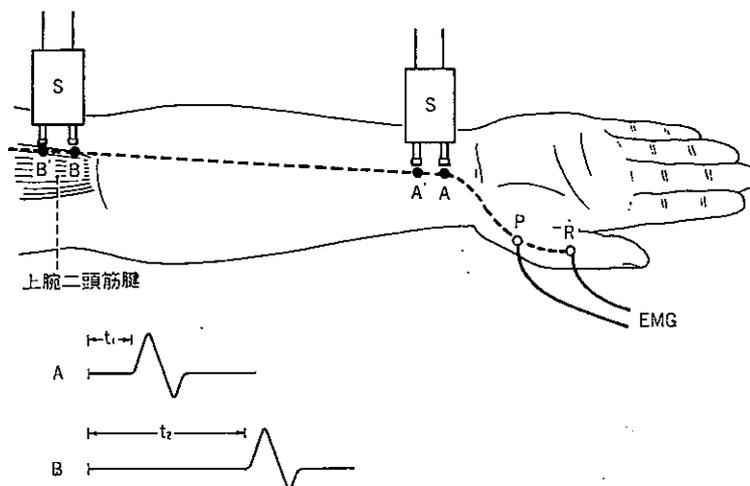


図10 正中神経の運動神経伝導検査

に陰極を、臍の上に陽極を置き、CMAP を記録する。波形の陰性部分が上方に振れるように、オシロスコープを設定し記録する。接地（アース）は、記録電極と刺激電極の間に設置するのが一般的である。図 10 に、実際の手関節部刺激による、正中神経の運動神経伝導検査を示す。

一般的には、運動神経伝導速度（motor nerve conduction velocity : MCV）と遠位潜時（distal latency）が評価に用いられるが、近年においては、検査機器の進歩もあり、CMAP の波形、持続時間、振幅も評価に用いられるようになってきている。刺激を与えてから M 波が立ち上がるまでの時間（単位 msec）を潜時（latency）といい、遠位潜時とは、特に末梢の手関節や足関節部で刺激を与えてから M 波が立ち上がるまでの潜時をいう。潜時を構成する成分には、神経を伝導するのにかかった時間、神経筋接合部を伝導するのにかかった時間、筋の興奮に要した時間が含まれる。したがって、運動神経伝導速度（単位 m/sec）は、同一神経幹上の近位部と遠位部を刺激し、「2 点間の距離（単位 mm）」を、「近位部を刺激した時の潜時と遠位部を刺激した時の潜時の差（単位 msec）」で除して求めることができる（図 11）。遠位潜時の遅延があると、刺激部位より遠位での障害が考えられ、絞扼性末梢神経障害などの存在が示唆される。運動神経伝導速度の低下は末梢神経障害の存在が考えられる。表 5 の（a）に主な神経の遠位潜時と運動神経伝導速度の値を示す。一般的に運動神経伝導速度においては、この値の±2SD の範囲が正常値として採用される。



神経線維の末梢部・中枢部の 2 ケ所で測る。これにより MCV を算出するには次式を用いる。

$$MCV \text{ (m/sec)} = \frac{l_2 - l_1 \text{ (mm)}}{t_2 - t_1 \text{ (msec)}}$$

$l_2$  : B → P の距離       $l_1$  : A → P の距離

$t_2$  : B → P の伝導時間       $t_1$  : A → P の伝導時間

$l_2 - l_1$  の距離は B - A 点の距離であるため、実際には B - A 間距離を測定して  $l_2 - l_1$  とする。

図 11 正中神経の運動神経伝導速度(MCV)の測定法

表5 正常神経伝導速度  
(a)

運動神経	伝導速度±標準偏差 (m/sec)	遠位潜時±標準偏差 (msec)	遠位距離 (cm)
正中神経 (median n.)	57.4±4.0	3.79±0.30	7
尺骨神経 (ulnar n.)	61.4±5.2	2.84±0.30	7
腓骨神経 (peroneal n.)	51.0±3.3		
脛骨神経 (tibial n.)	50.6±3.7		

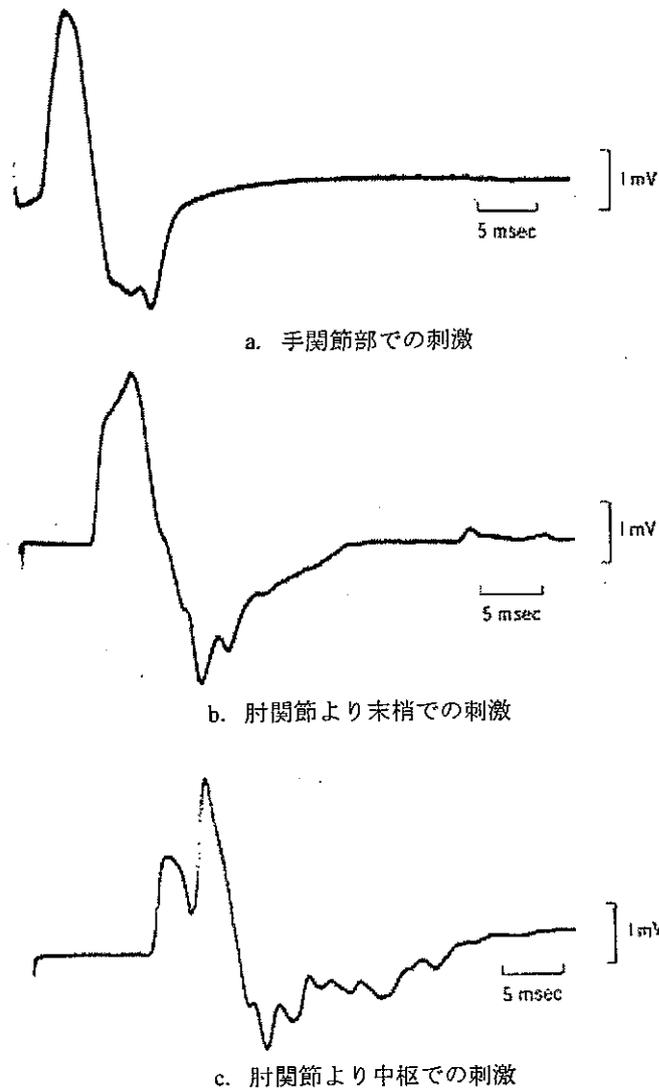
(b)

	伝導速度±標準偏差 (m/sec)	遠位潜時±標準偏差 (msec)	遠位距離 (cm)
正中神経 (median n.)	56.4±4.7	2.48±0.21	14
尺骨神経 (ulnar n.)	56.9±6.2	2.46±0.27	14
腓骨神経 (peroneal n.)	55.5±6.0	2.52±0.27	14
脛骨神経 (tibial n.)	50.1±5.1	2.82±0.28	14

運動神経伝導検査におけるM波の波形の異常として、その振幅低下及び消失、持続時間の延長、潜時の延長、時間的分散 (temporal dispersion) (図12)、伝導ブロック (図13) などがある。軸索変性により誘発電位の振幅は低下し、脱髄により潜時の遅延と伝導速度の低下がおこる。実際には、軸索変性と脱髄の両者の病態が混在していることが多い。時間的分散とは、脱髄が一部の線維におこり、すべての神経線維に同程度におこっていない場合に、そのM波の波形が多相性になり持続時間にばらつきが認められる現象のことをいう。脱髄の程度がさらに強くなると、活動電位はその部分を伝導しなくなる。その刺激点より末梢の部分では伝導性は保たれているものの、病変より近位での刺激では活動電位が得られないという現象を伝導ブロックという。このように、M波 (CMAP) の波形も末梢神経障害に関する重要な情報をもたらしてくれる。M波 (CMAP) の波形に関する標準的な指標を作るとは困難であるが、個々のケースについての異常を評価するうえでは大切な検査である。M波 (CMAP) は、伝導速度や潜時を計測したスクリーニング検査で異常を認めた場合の精密検査として用いるべき指標と考えられる。

#### (4) 感覚神経伝導検査<sup>2)</sup>

感覚神経伝導検査は、感覚神経の一部を直接電気刺激し、その神経上の他の部位から感覚神経活動電位 (sensory nerve action potential : SNAP) を記録する検査である (図14)。一般的に、上肢では正中神経と尺骨神経が検査対象として採用されている。刺激方法の違いにより、順行性伝導検査法 (末梢部で刺激して中枢側で記録する方法) と逆行性伝導検査法 (中枢部で刺激して末梢側で記録する) に分けられる。それぞれの方法に利点と欠点があるが、SNAPを記録するうえでは、通常の検査では基本的にどちらを採用しても問題はない。神経の走行上に記録電極を置いて測定するが、そのとき陰極を刺激電極

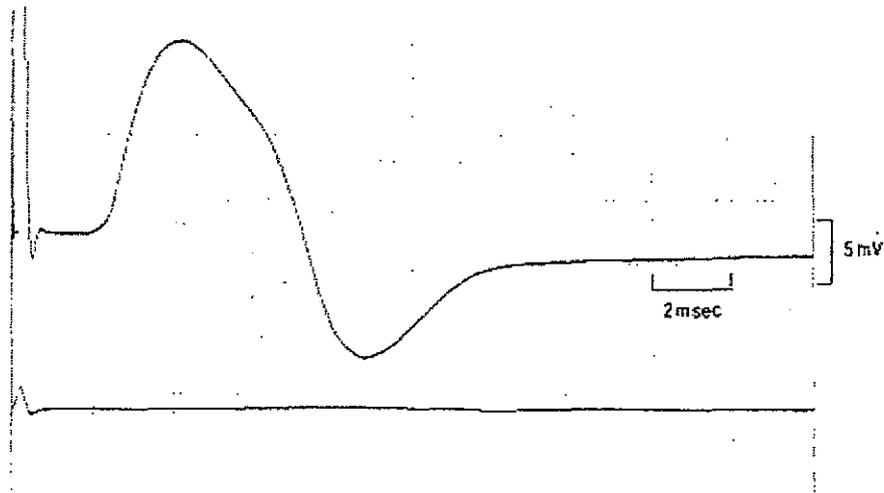


肘関節より中枢での刺激誘発電位 (c) は手関節部 (a)、肘関節部より末梢 (b) のものに比べて波形が多相性である。末梢神経が扼殺され、神経伝導速度にばらつきが生ずるとともに伝導速度は遅延する。時間的分散 (temporal dispersion) である。

図12 時間的分散 (temporal dispersion)

の近位側、陽極を遠位側に置く。SNAP の波形が小さく振幅が数  $\mu\text{V}$  の場合は、同期加算記録 (averaging) を行う。評価の実際においては、運動神経伝導検査と同様に、遠位潜時 (distal latency) と感覚神経伝導速度 (sensory nerve conduction velocity: SCV) を指標として用いる。感覚神経伝導検査では、運動神経伝導検査と違って、刺激電極と記録電極の間に神経筋接合部、筋線維を含まないため、刺激電極と記録電極間の距離を潜時で除することにより、感覚神経伝導速度を求めることが可能であり、運動神経伝導速度のように2ヶ所で刺激を行い計測する必要がない。

感覚神経伝導検査においても、遠位潜時の遅延は、刺激部位より遠位での絞扼性末梢神経障害の存在を示唆しており、感覚神経伝導速度の低下を認めたときは、末梢神経障害の存在が考えられる。



脱髄の程度が強くなると、活動電位はその部分を通して伝わらなくなる。図の遠位刺激（上段）では、活動電位が得られているものの、近位刺激（下段）では活動電位が得られない。これは脱髄性疾患や機械性圧迫（entrapment neuropathy）などでみられる。

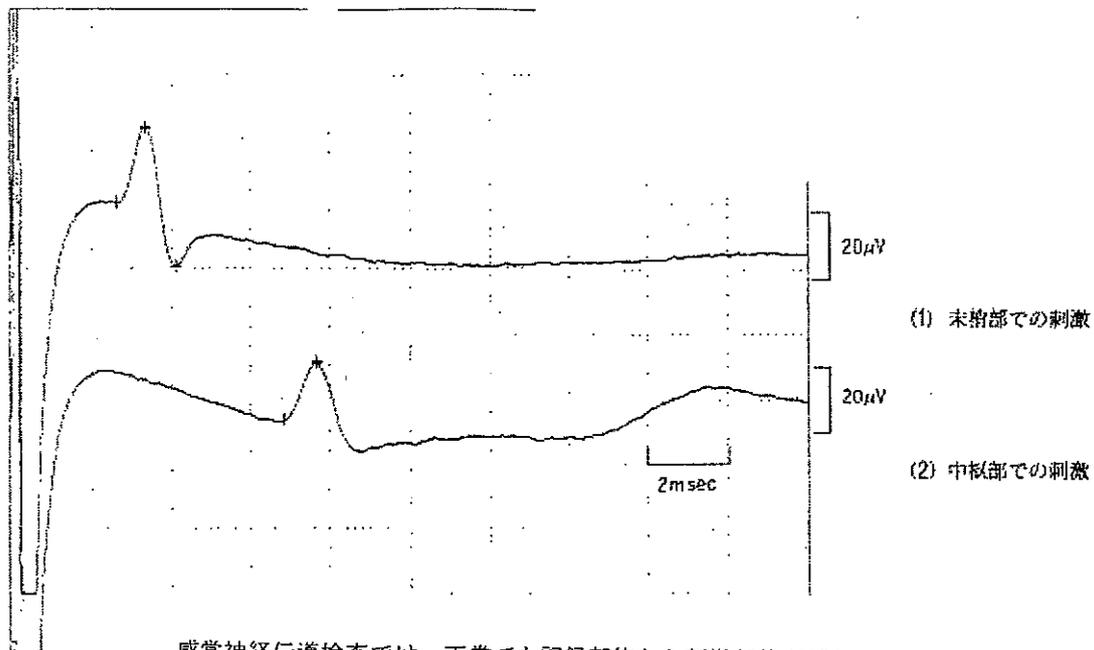
図13 伝導ブロック (conduction block)

SNAP の波形も、M 波の波形と同様に、伝導ブロックの評価に使用されるが、健常者でも逆行性刺激を行った場合は、近位部で刺激して誘発された波形の電位は、遠位部で刺激して誘発された波形の電位より小さくなるので注意が必要である。主な神経の遠位潜時と感覚神経伝導速度の値を表 5 の (b) に示すが、感覚神経伝導速度は、運動神経伝導速度と同様に、この値の  $\pm 2SD$  の範囲が正常値として採用される。

### 3 末梢神経障害に係る検査手技

#### (1) 神経伝導検査（いわゆるインチング法）

インチング法とは、末梢神経に対する絞扼が疑われる病変部を挟んで、複数の部位で電気刺激を行い、CMAP ないし SNAP を記録し、その波形の形態、持続時間、振幅、また立ち上がりの潜時や頂点の潜時の連続的な変化を検討する方法である。絞扼性末梢神経障害に対しては、通常の基本検査としての運動神経伝導検査と感覚神経伝導検査に加え、インチング法を用いることにより、さらに詳細な情報を得ることができる。インチング法を用いることで、絞扼の部位を同定することが可能であり、病変の局在診断を行うにあたっては非常に有用な検査である。病変部と考えられる部位を挟んで神経の走行に沿って、等間隔の複数の部位で電気刺激を行い CMAP 及び SNAP を記録する方法と、固定した部位から電気刺激を行い、病変部を挟んで神経の走行に沿った等間隔の複数の部位で CMAP 及び SNAP を記録する方法が一般的である。1979 年に Kimura が正中神経の絞扼障害に対し、経皮的な逆行性電気刺激によるインチング法を利用した診断方法を紹介している<sup>4)</sup>。1985 年には Seror は、経皮的な順行性電気刺激によるインチング法を利用した、詳細な正中神経障害の評価を行っている<sup>5-6)</sup>。インチング法の原法（図 15）では末梢神経の病変部を挟んで 1 cm 間隔で多数の部位で電気刺激を行うものであるが、実際にここまで厳密に行わなくとも、絞扼性末梢神経障害の病変部を挟んでの中枢部と末梢部の少な



感覚神経伝導検査では、正常でも記録部位から刺激部位が離れるにつれ、誘発反応はより小さくなる。したがって、伝導ブロックの評価には注意が必要である。

(1) 末梢部（手関節部）での刺激による反応

立ち上がり 2.6msec

ピーク 3.3msec

振幅 43 μV

(2) 中枢部（肘関節部）での刺激による反応

立ち上がり 6.7msec

ピーク 7.6msec

振幅 28 μV

(1) - (2)間の伝導に要する時間(t)を立ち上がりを基準にすると

$6.7 - 2.6 = 4.1$  (msec)

(1) - (2)間の距離(l)は250mmである。

よって

$$SCV = \frac{250}{4.1} = 60.9 \text{ (m/sec)}$$

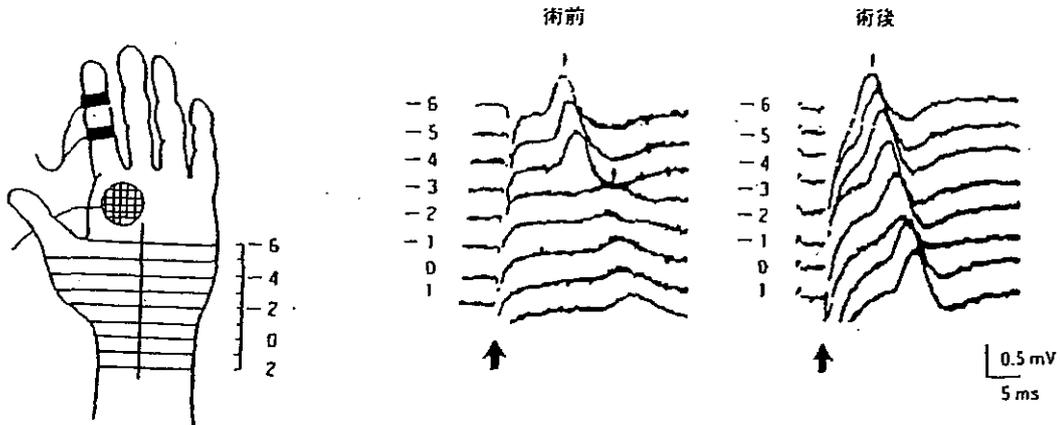
図14 正中神経の感覚神経伝導検査（逆行性）

くども2ヶ所を電気刺激して情報が得られれば役立つ場合が多い。

運動神経伝導検査及び感覚神経伝導検査の基本検査としての有用性については上述のとおりであるが、これらの検査についてはさらに詳細な検査手技並びに指標を用いることにより、精密検査としての有用性も期待できる。

インチング法などを用いることにより、絞扼部位の同定などが可能となる。また神経伝導検査の応用として神経伝導速度分布検査 (distribution of conduction velocity : DCV) があるが、これは通常の検査では最大の伝導速度を持つ神経線維のみが評価されるのに比し、伝導の遅いものも含め神経線維それぞれの伝導速度の評価が可能となる。これらの方法を用いることにより、より詳細な病態の把握が可能となる。

これらの方法は振動障害においては精密検査として実施することにより、神経伝導検査の精度を高めることができる。しかし、いわゆるインチング法は比較的簡単に実施できる



26歳の女性、正中神経領域の感覚消失を訴え、4か月後に母指球の筋力低下と委縮が認められて入院。術前のInching法では-4から-3の分節で限局性の潜時の遅延と誘発逆行性感覚電位の波形の歪みが認められた。術後8か月の再検査では、刺激電極の移動に伴って潜時が直線的に変化し、筋電位の波形も正常と解釈された。

図15 インチング法

出典 木村 淳：誘発電位と筋電図—理論と応用—、医学書院、1990

が、DCVの実施に際して専門的知識はもちろん、専用のコンピューターソフトが必要であることなど解決すべき問題も多い。

#### ア 障害の把握のための基準

インチング法は病変の局在診断をするための方法で、病変部と思われる部位をはさんで神経の走行に沿って、複数の部位で末梢神経を電気刺激することにより CMAP ないし SNAP を導出することにより実施される。伝導状態の異常から病変部を同定することが可能である。オリジナルな方法は 1 cm 間隔で多数の刺激を行う方法であるが、病変部の中枢と末梢のみを刺激することによっても得られる情報が増えるので、絞扼性神経障害の診断には重要な検査法と言える。特に振動工具使用では、手関節や肘関節に負担がかかり手根管症候群や肘部管症候群などの絞扼性神経障害を生じる可能性があるため、インチング法は神経の損傷部位の推定に有用と考えられる。

#### イ 導入にあたっての留意点

- ・ 従来の機器でも実施可能であるが、専用の電極などを用いるとより簡便に施行できる。
- ・ 検査そのものは臨床検査技師で施行可能であるが、評価は専門の医師が行う必要がある。

#### (2) 後期応答 (F波、H波)<sup>3)</sup>

神経伝導検査では、CMAP、SNAP を用いて遠位潜時、神経伝導速度などを指標とすることは既に述べた通りであるが、同時に CMAP に引き続いて観察される F 波や H 波という後期応答も末梢神経障害を検索する上で重要な指標となる。これらの検査は技術的

には簡単で、特殊な機器も必要としないが、末梢神経中枢部の神経根の障害などを評価するのに有用であり、振動障害については鑑別診断として有用な検査と考えられる。

#### ① F波 (F-wave)

F波は、運動神経伝導検査の際の電気刺激により生じたインパルスが運動神経を逆行性に上行し前角細胞を興奮させることにより生じる。運動神経を下行する反応としてCMAPに遅れて記録されるが、神経根など末梢神経中枢部の評価に有効である。

##### ア 障害の把握のための基準

検査方法は運動神経伝導検査とほぼ同じであるが、電気刺激としてはCMAPの最大値を得るより大きな最大上刺激が用いられ、同一部位で10~20回程度の記録を行う。通常、上肢では正中神経、尺骨神経がF波の検査の対象となり、指標としては潜時がしばしば用いられる。潜時のほか伝導速度やF比が指標とされることもある。

##### イ 導入に当たっての留意点

- ・ 年齢、室温など通常の神経伝導検査に必要な留意点については同様である。
- ・ 身長を考慮する必要がある。

##### ウ その他

上述のとおり、F波は振動障害そのものの検査としてではなく、鑑別診断としての有用性が期待される検査と言える。

#### ② H波 (H-reflex)

F波に対し、H波は末梢神経刺激により感覚神経を上行したインパルスが、後根より脊髄に達し運動神経にいたる反射弓により生じる波で、末梢神経中枢部の伝導性の評価のほか、臨床的には痙縮や固縮の評価のためにしばしば用いられる。

通常、H波は下肢の後脛骨神経刺激によりヒラメ筋より導出されるが、上肢の神経刺激では下肢の神経に比べH波は導出しにくい。そのため、上肢の末梢神経障害を検索する振動障害に対する検査としては、鑑別診断として以外の価値は低いと思われる。

##### ア 障害の把握のための基準

H波については、潜時やH波とM波(CMAP)の最大振幅の比であるH/M比が、末梢神経中枢部の伝導性の評価や、痙縮・固縮の評価のためにしばしば用いられる。

##### イ 導入に当たっての留意点

- ・ 年齢、室温など通常の神経伝導検査に必要な留意点については同様である。
- ・ 誘発される部位が限定されることに注意する必要がある。
- ・ 刺激強度などによりF波と鑑別する必要がある。

##### ウ その他

H波もF波と同様に振動障害そのものの検査としてではなく、鑑別診断としての有用性が期待される検査である。

#### (3) 針筋電図検査 (needle electromyography : needle EMG)<sup>2-3)</sup>

針筋電図検査は、筋肉に針電極を刺入して筋細胞膜に生じる電位変化を記録する検査で

ある。この検査では、前角細胞、軸索、神経終坂とその支配筋線維からなる運動単位の異常の有無を検索することができる。末梢神経障害並びに筋疾患の診断に威力を発揮する。

検査の実施に当たっては、針を刺すという侵襲が伴い、また高度な知識と技術が必要なため、振動障害における基本検査としては実施が難しいが、障害の部位や程度の検索が可能であるため、精密検査としては不可欠な検査と考えられる。

なお、振動障害においては、後述する安静時の自発電位の出現、運動神経活動電位の神経原性変化、干渉波の低下などの異常が報告されている。

#### ア 障害の把握のための基準

針筋電図では筋肉の安静時と随意収縮時のそれぞれにおける筋細胞膜の電位変化を検査する。安静時には、病的な自発電位の有無や刺入時活動の増減を観察し、随意収縮時検査には単一の運動単位活動電位 (motor unit action potential : MUP) とその干渉型 (interference pattern) についての評価を行う。

安静時の自発電位である線維自発電位 (fibrillation potential) 及び陽性鋭波 (positive sharp wave : P-Wave) が検出された場合には、末梢神経が軸索変性を起こしていることが確認できる。随意収縮時の MUP は、振幅、持続時間、波形により評価されるが、一般に末梢神経障害では神経原性波形 (neuropathic unit) が、筋疾患ではミオパチー波形 (myopathic unit) が観察される。また、末梢神経障害では最大収縮時の干渉波の低下が認められる。

これらの検査を複数の筋肉に施行し、その異常の分布、程度から、末梢神経障害の病変部位、障害の程度を判断する。

#### イ 導入に当たっての留意点

- ある程度の侵襲を伴い、かつ患者の協力を要する検査である。
- 専門の医師が実施する必要がある。
- 末梢神経損傷直後には異常が検出しにくく、検査の実施時期について十分な注意が必要である。

#### ウ その他

針筋電図検査もあくまでも補助診断の1つであり、神経伝導検査等の他の電気生理学的検査のみならず、臨床症状や画像、生化学的検査所見などとあわせて、総合的にその検査所見について評価することが重要である。

### (4) 誘発電位<sup>7)</sup>

従来の神経系の電気生理学的検査は、上述の神経伝導検査や針筋電図検査など末梢神経に対するものと、脳波など中枢神経系に対するものが別々に発展してきた。

近年、末梢神経と中枢神経を結び付け、両者を同時に評価できる検査として各種の誘発電位が開発され、臨床応用されるようになってきている。末梢神経を刺激して大脳皮質から誘発電位を記録する方法が一般的であるが、最近では磁気刺激法などの導入により、大脳皮質運動野を刺激して末梢の筋肉より誘発電位を記録する運動誘発電位なども登場している。ここではこの運動誘発電位と末梢神経を電氣的に刺激して誘発電位を記録する体性

感覚誘発電位について概説する。

① 運動誘発電位 (motor evoked potential : MEP)

運動誘発電位は、経頭蓋的に運動野を磁気や電気で刺激して下行性に末梢の筋肉より誘発電位を得る検査である。検査の安全性が問われた時期があったが、現在では臨床検査としての有用性が認められ、各種疾患の診断に応用されている。

ア 障害の把握のための基準

臨床応用のための指標としては、刺激部位による誘発電位の潜時の差である中枢伝導時間や、筋肉からの誘発電位の振幅、刺激閾値、被刺激領域の大きさ (マッピング) などが用いられる。

イ 導入に当たっての留意点

幾つかの疾患に臨床応用されているが、振動障害へは応用されていない。

ウ その他

振動障害においては、MEP が臨床応用されている多発性硬化症、脳血管障害、運動ニューロン疾患などの疾患との鑑別診断に有用である。

② 体性感覚誘発電位 (somatosensory evoked potential : SEP)

体性感覚誘発電位は、末梢神経を電氣的に刺激して大脳皮質から誘発電位を記録する検査法であるが、その伝導路に含まれる末梢神経、脊髄後索、内側毛帯、視床、大脳皮質感覚野の機能を評価できると考えられている。

ア 障害の把握のための基準

体性感覚誘発電位検査により得られる誘発電位は数マイクロボルトという微弱な電位であるため、多数回の末梢神経刺激による頭皮上電位を加算する必要があるが、最近では医用電子機器の進歩により、通常の筋電図の器械に組み込まれた機器で検査が可能である。得られる複数の誘発電位の潜時などから上述の伝導路の異常の評価が可能である。誘発電位の振幅は正常でも非常に小さいため、振幅による障害の評価の判定は難しい。

イ 導入に当たっての留意点

- ・ 時間と手間がかかる検査である。
- ・ 臨床検査技師で実施可能であるが、技術に習熟する必要がある。
- ・ 得られた結果の評価には専門の医師の知識が不可欠である。

ウ その他

振動障害においては基本検査、精密検査としてではなく、他の疾患との鑑別に有用な検査と考えられる。

(文献)

- 1 木村彰男：電気診断学.千野直一編:現代リハビリテーション医学 (改訂第2版),金原出版, pp.77 - 92,2004.
- 2 千野直一：臨床筋電図・電気診断学入門 第3版,医学書院,1997.
- 3 Kimura J : Electrodiagnosis in Disease of nerve and muscle,3rd Ed.Oxford Press,

New York,2001.

- 4 Kimura J: The carpal tunnel syndrome. Localization of conduction abnormalities within the distal segment of median nerve. Brain 102: 619-635, 1979.
- 5 Serror P: Simplified orthodromic inching test in mild carpal tunnel syndrome. Muscle and Nerve 24: 1595-1600,2001.
- 6 Serror P: Orthodromic inching test in mild carpal tunnel syndrome. Muscle and Nerve 21: 1206-1208,1998.
- 7 岡島康友: 電気診断学. 千野直一編: 現代リハビリテーション医学 (改訂第2版), 金原出版, pp.92-99,1999.

#### (5) 振動感覚閾値検査

リオン製 AU02 型を用いた振動感覚閾値検査の評価に当たっては、表6に判定の目安(常温下)を示した。

表6 振動感覚閾値検査の判定の目安(常温下) (単位: dB)

測定部位	検査周波数	正常	+	++	+++		
1	右手	125Hz リオン製 AU02 型	15.0 未満	15.0 以上	17.5 以上	20.0 以上	井藤ら
	左手						
2	右手	250Hz リオン製 AU02 型	25.0 未満	25.0 以上	27.5 以上	30.0 以上	井藤ら
	左手						
		正常	境界	異常			
3	50 歳未満 (50 歳以上)	7.5 以下	7.5~17.5	17.5 以上		高松・的場	
		10.0 以下	10.0~20.0	20.0 以上			

注 1~2 では、原資料に「正常」の項目を追加するとともに、評点 1、2、3 を+、++、+++としている。

#### 4 運動機能障害に係る検査手技

##### (1) 徒手筋力検査 (MMT)

徒手筋力テストは、重力や徒手的抵抗に関係する運動の個々の筋や筋群の力(強さ)と機能の評価のための方法である。徒手筋力テストは多くの医療現場で用いられているが、静的(等尺性)検査であり、筋トーンに変質がある神経障害の評価においては限界がある。

最もよく用いられる方法は、検者がまず力を加え、被検者がこれに対抗して力を入れ関節角度を維持させる方法である。また、逆に最初に被検者に力を入れさせて、検者がこれに抵抗してみる方法もある。前者の方が被検者の協力が得られやすい。検査に当たっては必ず左右を比較して評価することが重要である。

##### ア 障害の把握のための基準

通常5から0までの6段階の判定基準で、それぞれ+あるいは-を加えさらに細かい

評価が行われている。4あるいは3以下を異常所見としている（表7）。

表7 徒手筋力検査の判定基準

5	正常
4	中等度の抵抗に抗する
3	重力に抗して全可動域動く
2	重力を除けば全可動域動く
1	筋収縮はあるが関節の動きはない
0	関節の動きも筋収縮もない

イ 導入に当たっての留意点

- ・ 検者の主観が入る。
- ・ 単に筋力といっても、瞬発力か持久力なのか、等尺性運動か等張性運動かなどの区分があいまいである。
- ・ ある関節の主働筋だけを検査することができない。
- ・ 被検者の最大努力が前提となる。

などの問題点があるが、施行が容易であるため筋力の評価としては最も広く行われている。

ウ その他

基本的な検査であるが、他の器質的疾患との鑑別に有用とも考えられる。

(2) 関節可動域測定

一般に関節可動域とは四肢及び体幹の各々の関節を、他動的に運動させた場合の可動範囲の測定をいう。通常、関節可動域測定は他動的に行うことを原則とするが、制限因子を明確にするために、他動的測定のみならず自動運動の測定も行って比較することが重要である。自動運動可動域測定では、筋収縮力（麻痺）や関節運動に関わる運動協調性を知ることができる。

ア 障害の把握のための基準

ゼロ開始法を基本とした日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会が定めた表記法が一般的に用いられている。通常標準可動域の1/2以下、あるいは3/4以下を異常所見としている。しかし、日常生活活動における動作の多くは、正常関節可動域を超えない範囲の関節運動で遂行され、必要な各関節可動域は動作によって大きく異なる。

参考として、日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会の関節可動域表示並びに測定法を表8に示した。

イ 導入に当たっての留意点

関節可動域測定の信頼性については、

- ・ 異なった測定器具、方法による同一関節の測定値の一致度

- 同一検者が同じ関節を複数回測定したときの一致度
- 複数の検者による同一関節の測定値の一致度

などの検討が必要であるが、各検者自身の測定値の一致度は0.91～0.99、検者間の測定値の一致度は0.88～0.97と信頼性は高い。

ウ その他

関節可動域測定も徒手筋力検査と同様、運動障害の基本検査として用いるが、外傷後や加齢による変形性関節症など他の器質的疾患との鑑別に有用と考えられる。

表8 関節可動域表示並びに測定法

(上肢)

部位名	運動方向	参考可動域角度	基本軸	移動軸	測定肢位及び注意点
肘	屈曲	145	上腕骨	橈骨	前腕は回外位とする。
	伸展	5			
前腕	回内	90	上腕骨	手指を伸展した手掌面	肩の回旋が入らないように肘を90°に屈曲する。
	回外	90			
手	屈曲 (掌屈)	90	橈骨	第2中手骨	前腕は中間位とする。
	伸展 (背屈)	70			
	橈屈	25	前腕の中央線	第3中手骨	前腕を回内位で行う。
	尺屈	55			

(手指)

部位名	運動方向	参考可動域角度	基本軸	移動軸	測定肢位及び注意点	
母指	橈側外転	60	示指	母指	運動は手掌面とする。以下の手指の運動は、原則として手指の背側に角度計をあてる。	
	掌側外転	90	(橈骨の延長上)		運動は手掌面に直角な面とする。	
指	屈曲 (MP)	60	第1中手骨	第1基節骨		
	伸展 (MP)	10				
	屈曲 (IP)	80	第1基節骨	第1末節骨		
	伸展 (IP)	10				
指	屈曲 (MCP)	90	第2~5中手骨	第2~5基節骨		
	伸展 (MCP)	45				
	屈曲 (PIP)	100	第2~5基節骨	第2~5中節骨		
	伸展 (PIP)	0				
	屈曲 (DIP)	80	第2~5中節骨	第2~5末節骨		DIPは10°の過伸展をとりうる。
	伸展 (DIP)	0				
	外転		第3中手骨延長線	第2, 4, 5指軸		中指の運動は橈側外転、尺側外転とする。
	内転					

(注) MCP・中手指節関節、PIP・近位指節間関節、IP・指節間関節、DIP・遠位指節間関節

### (3) 深部反射検査

深部反射は運動機能障害の基本的な検査手技のひとつであり、腱反射とも呼ばれる。中枢あるいは末梢神経障害により、反射の亢進あるいは低下が認められる。

#### ア 障害の把握のための基準

通常用いられている基準は、表9のとおりである。

反射の程度の判定は医師により異なる場合も少なくなく、筋の種類、患者の状態、検査手技によっても影響を受けるため絶対的なものではない。

表9 深部反射の評価基準

1	全く反応のないもの（消失）	(-)
2	軽度の反応があるが、低下と判定されるもの	(±)
3	正常	(+)
4	やや亢進	(++)
5	亢進	(+++)
6	著明な亢進	(++++)

#### イ 導入に当たっての留意点

正常者でも深部反射は欠如または亢進することがあるので、左右対称であるか否かが異常所見として重要である。また、病的反射の有無が参考所見となる。

### (4) レントゲン検査

#### ア 障害の把握のための基準

関節の変形性変化（関節裂隙の狭小化、骨棘形成）などを評価する。

#### イ 導入にあたっての留意点

振動障害そのものの検査としてよりも、骨関節疾患との鑑別に有用である。

### (5) MRI 及び CT スキャン

脊椎や骨関節の状態を詳細に観察するのに優れている。脊椎疾患においては特にMRI検査は脊髄の圧迫状態、神経根の圧迫状態の把握に有用であり鑑別診断の一助となる。筋力の測定に関する新しい知見として、筋力は筋の断面積と比例するため、MRIにより筋の断面積が測定されれば、筋力を推測することが可能である。また最近の研究では脱神経された筋が、T2強調画像で高輝度を呈することが示され、輝度変化と神経の損傷状態とは大いに関連があることが判明し、筋の機能評価や脱神経筋の予後判定についても今後の臨床応用が期待される。

CT スキャンを用いても筋の横断面積が判定可能で、ある程度の筋力が予想できる。