

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合事業）  
分担研究報告書

振動工具取扱い作業者に対するレーザースペckルフローグラフィによる評価

分担研究者 池上和範

産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 講師

研究協力者 安藤 肇、道井聡史、菅野良介、野澤弘樹、白坂泰樹

産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学

### 研究要旨

振動工具取扱い者における障害を診断するためのLSFG (Laser Speckle Flowgraphy) の有用性について検討を行った。被験者ごとに各領域の血流変化を見ると、必ずしも典型的な推移をしめすわけではなくバリエーションが存在した。種々のバリエーションのパターンについて群別の比較を行ったが、有意差は認められなかった。今後、ばく露が多い被験者にフォーカスした解析や問診票や神経伝導速度検査を含めた解析によってより詳細に振動障害に関連した因子を検討していく必要がある

### 1. 研究の目的

我が国の振動障害については特殊健康診断において爪圧迫検査や指尖振動覚閾値検査などが実施されているものの、これらの検査には検者の主観や被験者の協力が必要となり、客観性や再現性という点では課題があった。今回我々はレーザーを用いることで非侵襲的・客観的に手指全体の血流測定が可能なLSFGを用い、振動障害の診断に有用な所見が得られるか検討を行っている。2年目である本年は単に取扱い群と非取扱群の平均値を比較するだけでなく、個々の検査結果にも焦点を当てることで、振動障害に特徴的な血流変化所見を検討した。

### 2. 研究の方法・内容

#### 2.1. 末梢血流評価

##### 2.1.1. 測定方法

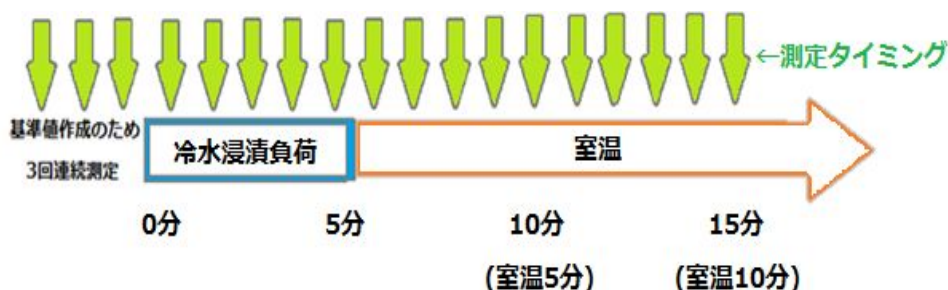
産業医科大学内の人工気候室を用いて室温を $22\pm 1$ に設定し、部屋で10分以上安静にさせた後、15に調整した水の中に手関節まで浸漬させ5分間の冷水刺激を与えた（15 5分法）。また、平成29年度冬季の検査からは、より室温への馴化を確実にするため、安静時間を30分以上とした。末梢血流への影響を可能な限り避けるため、検査12時間前以降は禁酒、検査前3時間以降は禁煙、カフェインなどの刺激物の摂取も避け

るよう調査前に指示した。冷水浸漬により気分不良や耐え難い疼痛を認めるなど被験者自身が検査の継続が不可能だと判断した際には即時中止できることを説明した。

我が国では冷水浸漬検査は10 10分法が広く使用されているが、国際的な標準規格（ISO: International Organization for Standardization）において冷水浸漬検査（水温・時間）は、 $12 \pm 0.5 \cdot 5$ 分、 $12 \pm 0.5 \cdot 2$ 分、 $15 \pm 0.5 \cdot 5$ 分、 $10 \pm 0.5 \cdot 10$ 分の4種類の条件から選択することが推奨されている。水温が低下するほど被験者の苦痛が大き

に安静後に室温で3回の連続測定を行った。その後は冷水浸漬検査開始のタイミングを0分とし、冷水浸漬中の5分間と冷水浸漬を終了し室温に戻した状態の10分間の計15分間に亘り、1分ごとに4秒間の撮像時間で計15回測定した。測定のプロトコルを図1に示す。手指皮膚血流の測定にはLSFG（ソフトケア社製LSFG-PI-E）を用い、示指、中指、環指全体を含む手掌全体を撮像した。

撮像部位は示指から環指に及ぶ手掌側全体を含む部位とし、レーザー



く、検査への忍容性が低くなるため

光はスキャナーヘッド部を測定部位

### 図1 測定のプロトコル

本研究では最も水温が高い条件にて実施した。測定する手指に関しては、「振動障害の検査指針検討会報告書（平成18年3月 厚生労働省）」において「原則として利き手側」を用いており、本研究でも利き手側を測定とした。

各対象者の基準値を算出するため

から約30cmの距離で平行になるように固定したうえで、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、中指の近位指節間関節にマーキングを付け測定機械から出されるレーザーポインターにより対象物（手指の皮膚表面）と測定機械の距離は

一定に保たれるよう調整した（図5および図6）。なお、測定画像はリアルタイムで確認できるため、水面の波紋や手指が動いた場合などにより画像のブレが生じて測定結果への影響が出たと判断した場合には直ちに再測定を行った。



図 2 末梢血流の測定風景（室温時）

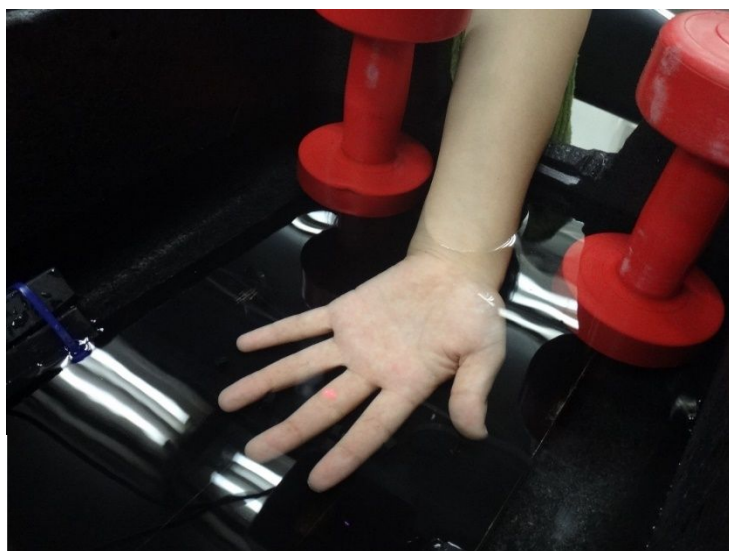


図 3 末梢血流の測定風景（冷水浸漬検査時）

#### 2.1.2. レーザースペックルフローグラフィ（LSFG）について

LSFGとはレーザー血流画像化装置の一つで、微小循環動態を2次元的な画像として可視化できる血流測定装置である。臨床ではすでに眼科領域で網膜血流や中心窩下脈絡膜血流量網膜血流の評価に用いられている。従来の一点型のレーザー血流計では、指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かったが、この装置は、非侵襲的で頻回測定ができ、また広範囲の血流分布を捉えられるという特徴がある。本研究ではこの点に着目し、どの指にどのような範囲で障害が及んでいるかを判別することを試みた。

#### 2.1.3. 皮膚温の測定について

LSFGによって得られる測定値は全

て相対値であり、絶対的な比較が不可能であるという特性がある。そのため、絶対的な指標として平成 29 年度冬季における調査から、手指皮膚温の測定を追加して実施した。K 型熱電対式のセンサーを利き手側の中指指尖部並びに PIP 関節と DIP 関節の中間点の 2 カ所に貼付し、10 秒間に 1 回の感覚で測定を行った。

## 2.2. 解析方法

### 2.2.1. 生涯振動ばく露量の算定方法

本研究において、各工具における振動ばく露量を自記式質問紙の記載内容より以下のように定義した。

振動ばく露量  $[m/s^2 \cdot h]$  = 周波数補正  
振動加速度実効値の 3 軸合成値  $[m/s^2]$   
× (1 日の合計作業時間  $[h]/8$ ) ×  
使用頻度・・・(式 1)

表 1 各工具の周波数補正振動加速度実効値 3 軸合成値の換算値

工具名	データ数	数値の範囲 [m/s <sup>2</sup> ]	中央値 [m/s <sup>2</sup> ]
削岩機	8	10.2-37.0	18.3
コンクリートブレーカ - ブレーカーコンプレッサー	8	5.8-16.7	13.6
ピックハンマー	7	6.6-15.5	8.0
チェーンソー	44	3.0-9.8	4.7
エンジンカッター	5	2.5-13.8	7.9
刈払機	37	2.5-6.9	4.4
タイタンパー	3	8.68-31.68	9.1
コンクリートバイブレータ	10	2.5-7.1	2.5
インパクトレンチ	17	6.0-17.5	11.0
エアドライバー	6	0.4-15.7	2.5
グラインダー、研磨機	4	2.5-7.0	4.0
ディスクサンダー	33	2.5-7.0	3.0
バイブレーションシャー	8	6.5-18.5	10.8
ジグソー	17	5.0-10.5	7.0
振動ドリル	25	6.5-23.5	10.0
スーパーケレン	5	17.0-81.0	50.0
セーバーソー	5	8.8-21.0	18.5

表 2 振動工具の使用頻度の換算値

頻度	日数	換算値
ほぼ毎日	1週間のうち5日間使用	1.0
週に3-4回	1週間のうち3日間使用	0.6
週に1-2回	1週間のうち3日間使用	0.2
月に1-2回	1年間のうち12日間使用	0.04
数か月に1回	1年間のうち4日間使用	0.01
全くなし	使用日数なし	0.0

各年齢で使用した全ての工具類に対して、個人ごとに式 1 を用いて振動ばく露量を算出した。さらに、その累積量（総和）を生涯振動ばく露量と定義し、解析に使用した。

生涯振動ばく露量[m/s<sup>2</sup>・h] = （各年齢における使用した全ての工具類の振動ばく露量）・・・（式 2）

2009 年に厚生労働省より出された「チェーンソー以外の振動工具の取

扱い業務に係る振動障害予防対策指針について（基発 0710 第 2 号）」では、1 日当たりの振動ばく露を制限する考えにより日振動ばく露量（A（8）） $[m/s^2] = a \times T/8$  が定義されているが、昨年度は本研究では質問紙より回答される「1 日あたりの使用時間」は、年間の平均的な使用時間である点と、各年齢での正確な使用日数が算出困難なため、日振動ばく露量の概念は使用せずに（式 2）により質問紙による観察期間中の累積ばく露量を、「生涯振動ばく露量」として相対的に利用していた。本年度の解析では、調査開始後の使用時間は詳細に聴取していることと、過去の使用歴についても平均的な数字ではあるものの 1 日あたりの使用時間の算定が可能であることから、日振動ばく露の概念を取り入れた計算方法に変更した。式 1 における周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値は、上記の 2009 年に厚生労働省指針（基発 0710 第 2 号）に準拠しており、各工具メーカーがホームページ上で公開している値から中央値をとり、各工具の換算表を作成した（表 1 各工具の周波数補正振動加速度実効値 3 軸合成値の換算値）。

使用時間については過去の使用状況については質問紙で用いた頻度に関する表現を、「ほぼ毎日」が 1.00

となるように週 5 日、あるいは労働基準法で定めるところの 1 年単位の変形労働時間制の労働日数の限度である 280 日を用いて、表 2. のごとく相対値化をおこなった。研究開始後の使用状況については 1 日ごとの作業時間や作業頻度を聴取しているため、そのまま式に投入し計算を行った。

### 2.2.2. 末梢血流の評価方法

血流測定後は専用の解析ソフト（LSFG Analyzer ver.3）を用いて、各指のから遠位の皮膚面（末節部領域とする）および各指全体の皮膚面（全体部領域とする）を選択し（図 4）、選択範囲内の各測定点の値を平均した血流パラメータを算出した。

LSFG で得られた血流パラメータは Mean Blur Rate（MBR）として単位のない相対値として表示され、個人間比較は難しいとされているため、安静後に 3 回連続で測定した結果の平均値を基準値とし、基準値からの減少割合を下記のように血流量（%）として求め、個人間の評価として使用した。

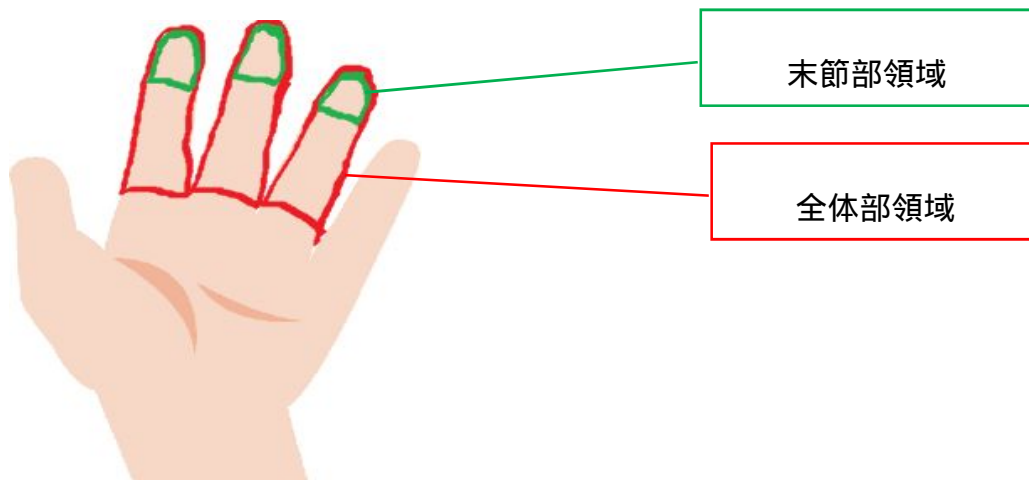


図 4 末梢血流の評価範囲

基準値 = 10 分安静直後に 3 回連続  
で測定した MBR 値の平均値 . . .

(式 3)

血流量 (%) = {(各測定時におけ  
る MBR 値 ÷ 基準値)} ×  
100 . . . (式 4)

### 2.2.3. 解析方法

昨年度は反復測定分散分析を用い  
て全体的なプロフィールについて解  
析を実施したが、本年はより個別  
的な結果の分析を試みた。

LSFG の全測定結果を個人別、測  
定部位別にグラフ化し、取扱群と非  
取扱群を比較することで、取扱群に  
特徴的な所見を探索した。グラフを  
もとに研究班内でディスカッション  
を行い、両群間に差を認めると思わ  
れる項目を抽出し、群ごとの有所見  
率について 2 検定を用いて比較し  
た。

統計解析には IBM SPSS statistics

ver23.0 を用いた。

### 2.3. 倫理的配慮

本研究は第 2 章における神経伝達速度  
の調査も含め産業医科大学倫理委員  
会の承認を得ており(H28-036 号)、個人  
情報の取扱いおよび保管には万全の配  
慮を行った。参加の意志を表明した被  
験者に本研究の説明文書を送付し、事  
前に趣旨を説明した上で同意書を得た。

### 3. 研究結果

今年度の LSFG 測定のうち夏のデー  
タを別に示す。研究班内のディスカッ  
ションにより、取扱群に特徴的と思わ  
れる所見について群ごとの有所見率  
の比較を行った。代表して示指全体領  
域における結果を表 3 に示す。両群間  
の有所見者数について 2 検定を用い  
て比較を行ったが、いずれの項目につ  
いても有意差は認めなかった。

#### 4. 考察

今回、振動障害の早期発見に寄与する因子を検討すべく、個人別のLSFG結果の特徴抽出を試みたがいずれの指標においても有意な所見を得ることはできなかった。個別の結果を俯瞰してみると冷水中において血流量が低下し、室温で回復するという典型的な推移を必ずしも示すものではなく、回

ではないかと考えられる。このことから、振動障害の早期発見のためにはLSFG 単独で判断することは難しく、症状や振動ばく露量などを含めて複合的に判断していくことが必要と考えられた。今回の解析では糖尿病等の神経系に影響を与える疾患などを考慮できておらず、今後、神経伝導速度検査や問診項目を含めた複合的な解析により、振動障害につながる因子を

表 3 群別の所見の比較

	取扱い群	非取扱い群
2分で70%以下に低下	91.67%	92.59%
2～5分で70%を超えない	77.78%	81.48%
7分で70%以上に回復	66.67%	74.07%
7分以降70%以上を維持	52.78%	44.44%
7分以降70%維持(1回は70%以下も許容)	69.44%	66.67%
10分で70%以上に回復	80.56%	74.07%
10分以降70%以上を維持(1つ許容)	86.11%	81.48%

復が大幅に遅延しているケースをなど、正常の推移とはことなると考えられる所見が散見された。しかし、非取扱い群においてもこれらの所見は少なからず見られている。本実験の被験者は振動障害の患者ではなく一般の労働者を対象としており、問診票についての章で述べるとおり、手指の症状については取扱い群において多いものの有意な項目はなかった。振動ばく露も比較的短時間の作業者が多く、今回LSFGでの差が得られにくかった一因

検討していくことが必要と考えられた。

#### 5. 結論

LSFG 単独の結果では、取扱い群に有意な所見は認めなかった。今後、問診項目や神経伝導速度といった他の調査項目と合わせた分析や、ばく露が比較的多い被験者にフォーカスした解析を行うなどにより振動障害につながる所見を検討していくことが必要である。



4. 健康危険情報  
特記事項無し。