

累積振動ばく露量に基づく振動工具取扱い者の  
Laser Speckle Flowgraphy を用いた手指末梢循環の評価

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  
分担研究者 安藤 肇  
産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 助教

研究要旨：振動障害のスクリーニングとして、LSFG を用いた末梢循環検査の有用性を明らかにするために、振動工具取扱い者のこれまでの作業歴を詳細に調査することで得られた振動ばく露の累積値（累積振動ばく露量）を用いて、末梢血流と累積振動ばく露量との関連を明らかにすることを試みた。

質問票より、Non-exposure group、Past high exposure group、Past low exposure group、Current high-exposure group Non-exposure group\_1 が 29 名、過去累積振動曝露量の中央値である 27.2 以上となった Past high exposure group が 21 名、27.2 未満であった Past low exposure group が 21 名に分類された。Past low exposure group の 3 名が 2 回目以降の調査に不参加であったため、最終的な参加者は、Non-exposure group\_1 が 29 名、Past high exposure group が 21 名、Past low exposure group が 18 名となった。現累積振動ばく露量による分類における各群の参加者数は、Current high-exposure group が 11 名、Non-exposure group\_2 が 27 名であった

研究協力者

野澤弘樹 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

道井聡史 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

菅野良介 産業医科大学・産業生態科学研究所・作業関連疾患予防学

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

A. 研究目的

近年、日本においてレーザースペックルフローグラフィー（LSFG, ソフトケア社製、日本）を用いた、網膜血流や皮膚血流

の測定の有効性を示す多くの研究が報告されている。LSFG は、非侵襲的かつ短時間で測定が簡便といった特徴や、測定部位に正確にレーザーを当てることができれば、どのような条件下でも皮膚の血流量が測定できるという特徴をもっている。LSFG は、手指の末梢循環の定量的評価が可能であり、振動ばく露による末梢循環障害の早期検出が可能であると考えた。

本研究の目的は、振動工具取扱い者のこれまでの作業歴を詳細に調査することで得られた振動ばく露の累積値（累積振動ばく露量）を用いて、末梢血流と累積振動ばく

露量との関連を明らかにすることである。加えて、振動障害のスクリーニングとして、LSFGを用いた末梢循環検査の有用性を明らかにすることである。本研究は、振動業務健康診断の受診率の向上、さらには振動障害の早期発見に寄与すると考える。

## B. 研究方法

### 研究デザインとセッティング

前向きコホート研究で、調査期間は2016年6月から2019年2月に実施された。各年夏期(7-9月)と冬期(12-2月)の年2回の調査を実施した。最終的には、2年6カ月間で全6回の調査を実施した。インタビュー調査は産業医科大学で実施され、手指の末梢血流測定は産業医科大学の人工気候室で実施した。手指の末梢血流測定は、検査用機材の購入および製作が遅れたため、本検査は2016年12月から、全5回の調査を実施した。

### 参加者

福岡県内の振動工具取り扱い業務がある複数の製造事業所で本研究被験者の募集を行い、業務で振動工具を使用したことのある42名の男性(振動工具取扱い群)および業務においてこれまで一度も振動工具を取り扱ったことのない29名の男性(振動工具非取扱い群)合計72名の男性から参加の申し込みが得られた。本研究においては、振動障害の既往歴がない者と設定した。研究開始前に質問紙による手指の自覚症状の調査、医師によるインタビュー調査を実施し、振動障害の国際的な振動障害症

度分類であるストックホルムスケールにおいて循環障害のstage0(レイノー現象が存在しない)に該当する71名の参加者をコホートに登録した。

### 手順

我々は、各調査の前に参加者に生活歴や現病歴、職業歴、自覚症状に関する質問紙と振動工具の取り扱い状況に関する質問紙を送付し、回答を収集した。調査日には、各参加者の質問紙の回答について、医師によるインタビュー調査を実施した。続いて、人工気候室内で末梢血流測定検査を実施した。末梢血流測定検査への影響を可能な限り避けるため、被験者には検査前12時間以降は禁酒、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開始前に指示した。

### 生活歴および職業歴に関する質問紙

本研究では質問紙を被験者の自宅に郵送し、調査前に記入の上、調査当日に持参するように指示した。持参した質問紙の全設問について、産業医資格を有する医師が確認し、内容の不備や不明点があれば本人に聴取し、記載内容について最終的な確認を実施した。

用いた質問紙は振動障害の診断ガイドライン2013の参考資料として用いられている二次健診用の自覚症状・業務問診票を用い、年齢、現病歴、既往歴、現在の喫煙状況などの生活習慣、職業歴について調査した。

## 振動工具取り扱いに関する質問紙

日振動ばく露量の定義を用い、被験者の累積振動ばく露量を算出するための質問紙を作成した。質問紙調査開始前に、振動工具の過去および現在の取扱いの有無を全参加者に確認した。初回の質問紙調査では、振動工具取扱いがある参加者の調査開始前までの振動工具の取扱い歴を把握した。初めて振動工具を使用した年から初回調査までの、1年毎の振動工具の取扱い状況、具体的には、振動工具取扱い作業の内容、使用した振動工具の種類、振動工具の種類別の1日当たりの合計作業時間、使用頻度（ほぼ毎日、週に3~4回、週に1~2回、月に1~2回、数か月に1回、全くなしの六件法）を確認した。2回目以降の質問紙調査では、現状の振動工具の取扱い歴を把握した。前回の調査から今回の調査期間の振動工具取扱い状況、具体的には、振動工具の種類とモデル、使用する日の平均作業時間、月平均使用日数、最近半年で使用した月数について確認した。その他、振動工具取扱い作業の内容、作業・休憩時間、保護具の使用状況、振動工具作業の記録、振動業務健康診断の受診の有無、振動工具に係る教育受講の有無を確認した。

累積振動ばく露量の定義（Cumulative exposure level of vibration）

「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」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  $A(8)[\text{unit: m/s}^2] = a \times \sqrt{(T/8)}$  が定義されて

いる。

振動工具の周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値は、2009年の厚生労働省指針に準拠した値を各工具メーカーがホームページ上で公開している。本研究では、質問紙調査により各振動工具のモデルを確認し、周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値を取得することを試みた。しかし、質問紙調査で型番に関する情報はほとんど得られなかった。そこで、各工具メーカーがホームページ上で公開している振動工具の周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値から振動工具の種類別に中央値を求め、換算表を作成した。

使用頻度は、週あたりの労働日を5日として、振動工具を「ほぼ毎日」使用した場合の使用頻度係数を1.00とした。更に、週に3~4回使用した場合の使用頻度係数は0.60、週に1~2回は0.20、月に1~2回は0.04、数か月に1回は0.01、全くなしは0とした。作業者が使用した全ての工具類に対して日振動ばく露量と使用頻度による相対値を用いた振動ばく露量を年ごとに積算し、その総和を累積振動ばく露量と定義し解析に使用した（式1）。

## 冷水浸漬負荷試験

産業医科大学人工気候室において室温を  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  に設定し、部屋で10分以上安静にさせた後、 $15 \pm 0.5^\circ\text{C}$  に調整した水の中に手指から手関節まで浸し5分間の冷水負荷を行った。測定する手は、「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。

我が国では冷水浸漬検査は10□10分法が使用されているがISO 14835-1:2016において冷水浸漬検査（水温・時間）は、 $12\pm 0.5\text{□}\cdot 5$ 分、 $12\pm 0.5\text{□}\cdot 2$ 分、 $15\pm 0.5\text{□}\cdot 5$ 分、 $10\pm 0.5\text{□}\cdot 10$ 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くなり、検査への忍容性が低くなるため本研究では水温が最も高い条件にて実施した。

水温維持のため、本調査では内寸600mm×300mm×190mmの発泡スチロールの水槽を用意し、冷却器にはチラー式のZC-α200（Zensui co. ltd, 日本）、循環ポンプには、エーハイム水陸両用ポンプ1250（EHEIM GmbH & Co. KG, ドイツ）を使用した。なお、予備実験にて冷却装置の稼働性能を評価し、本試験中に水温は設定温度を上回らないことを確認している。

#### LSFGを用いた末梢血流評価

手指皮膚血流の測定にはLSFGを用い、示指、中指、環指全体を含む手掌全体を撮像した。血流測定後はLSFG Analyzer ver.3（ソフトケア社製, 日本）を用いて、各指のMP関節から手指先端の各指全体の皮膚面を選択し、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で得られた血流値は、Mean Blur Rate (MBR)という相対値で示される。MBRは、平均ブレ率を数値化したもので、血球の移動速度に比例する。各参加者の基準値を算出するために、人工気候室内で安静後に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分間と冷水から室温に戻した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（図5a）。

安静時に3回測定した値の平均MBR値を基準値（100）とし、各測定点の実測MBR値をMBR相対値に変換した（式2）。

#### グループ化

過去累積振動ばく露量によるグループ化  
振動工具取扱い群の振動ばく露による末梢血流障害の長期的影響を評価するため、初回調査で得られた過去の振動工具取扱いによる累積振動ばく露量（過去累積振動ばく露量）を用いて、グループ化を行った。過去累積振動ばく露量の中央値で振動工具取扱い群を2群に分け、Past high exposure groupとPast low exposure groupに分類した。振動工具取扱い歴がないものをNon-exposure group\_1とした。

現累積振動ばく露量によるグループ化  
振動工具取扱い群の振動ばく露による末梢血流障害の短期的影響を評価するため、研究期間（2.5年間）中の振動工具取扱いによる累積振動ばく露量（現累積振動ばく露量）を用いて、グループ化を行った。振動工具取扱い群において3回以上調査に参加したもののうち、調査期間内で累積振動ばく露量が6.25以上増加したものをCurrent high-exposure groupとした。なお、6.25は、日振動ばく露量の対策値である $2.5\text{m/s}^2$ に相当する振動工具を調査期間

の 2.5 年間にわたり毎日使用した場合に得られる累積振動ばく露量である。振動工具取扱い歴がなく、本調査に 3 回以上参加したものを Non-exposure group\_2 とした。

#### 倫理的配慮

本調査は、産業医科大学倫理委員会での承認を得て実施した。調査参加者には本調査の概要を説明し調査協力への承諾ならびに同意書を取得した上で実施した。本調査へ不参加を希望する場合には自由意志に基づき中止可能であることや、被験者自身が検査中に体調不良を認めた時は、即時検査を中止することを説明した。

#### 統計学的分析

はじめに、カイ二乗検定または一元配置分散分析を用い、振動工具取扱いによる 3 群あるいは 2 群の分類で個人要因と職業性

要因の比較を行った。続いて、末梢血流に影響を与える要因を評価するため、Linear mixed model (LMM)による分析を行った。LMM は、目的変数として LSFSG の各指標（冷水浸漬中 MBR 相対値（5 分平均）、回復 5 分 MBR 相対値、回復 10 分 MBR 相対値）とした。従属変数について、参加者は random effect として処理し、振動工具取扱い状況（3 群または 2 群）、調査点、年代(30 歳未満、30 歳代、40 歳代、50 歳以上)、肥満（Body mass index $\geq$ 25）の有無、糖尿病の有無、現在の喫煙の有無は fixed effects として処理した。その後の多重比較検定は、Bonferroni 法を用いた。統計解析には、IBM SPSS 24.0J（IBM corp., New York）を使用した。有意水準は  $p<0.05$  とした。

$$\sum_{k=0}^n (A(8) [\text{unit: m/s}^2]) \times (\text{Coefficient of use frequency}) \quad \dots \text{式 1}$$

n=vibration tool handling years

$$\text{MBR 相対値} = \frac{\text{各測定点における実測 MBR 値}}{\text{冷水浸漬前 3 回連続測定の平均 MBR 値}} \times 100 \quad \dots \text{式 2}$$

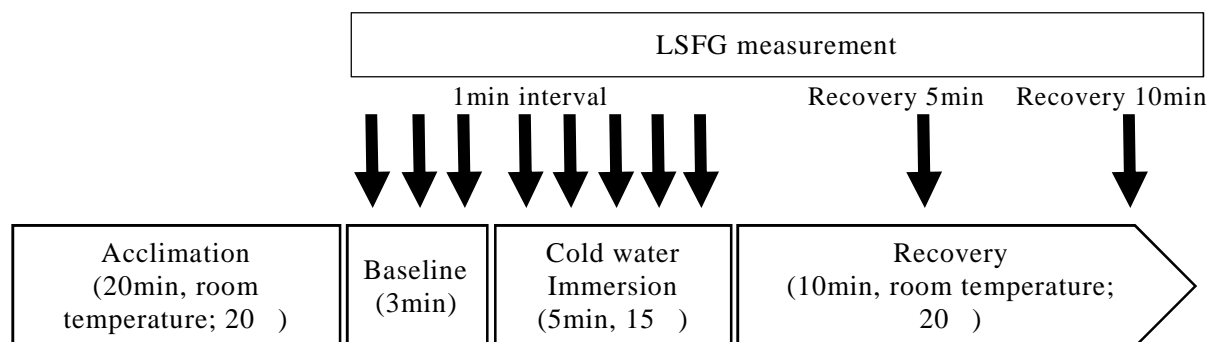


図 5a. LSFSG による冷水浸漬検査の手順

## C. 結果

### 参加者の基本属性

初回調査の参加者数は、全 71 名であった。Non-exposure group\_1 が 29 名、過去累積振動曝露量の中央値である 27.2 以上となった Past high exposure group が 21 名、27.2 未満であった Past low exposure group が 21 名に分類された。Past low exposure group の 3 名が 2 回目以降の調査に不参加であったため、最終的な参加者は、Non-exposure group\_1 が 29 名、Past high exposure group が 21 名、Past low exposure group が 18 名となった。現累積振動ばく露量による分類における各群の参加者数は、Current high-exposure group が 11 名、Non-exposure group\_2 が 27 名であった（図 5b）。参加者の基本属性の 3 群間において、年齢について一元配置分散分析を用いて比較したところ、有意差を認めた（ $p=0.007$ ）。その後の検定で、Past low exposure group は、Non-exposure group\_1 と比較して、有意に若かった。また、喫煙者数についてもカイ二乗検定で比較したところ、有意差を認めた（ $p=0.017$ ）。その後の検定で Non-exposure group\_1 の喫煙者数が有意に少なかった。参加者の基本属性の 2 群間において、年齢について一元配置分散分析を用いて比較したところ有意差を認めた（ $p=0.015$ ）（表 5a）。

### 振動工具取扱い状況

振動工具取扱い群の振動工具作業歴について、参加者 39 名中、1 種類のみ振動工具を取り扱った者は 4 名（10.3%）、2 種

類の振動工具を使用した者は 8 名

（20.5%）、3 種類以上の工具を取り扱っている者が 27 名（69.2%）であった。また取り扱った工具の種類の中で頻出のものはグラインダー 34 名（87.2%）とインパクトレンチ 32 名（82.1%）であった（表 5b, 5c）。振動工具使用時の手袋の使用について、参加者 39 名中 38 名（97.6%）が使用していた。38 名の主に使用する手袋の内訳は、軍手 27 名、防振用手袋 7 名、皮手袋 2 名、ビニール手袋が 2 名であった。振動工具の定期的なメンテナンスの実施については、26 名（66.7%）が実施していた。過去に、振動業務健康診断を 1 回以上受診したことがある作業者は 9 名（23.1%）であり、毎年受診している作業者は 1 名（2.6%）であった。過去に、振動障害に関する教育を受けたことがある参加者は 20 名（51.3%）であった。

### 過去累積振動ばく露量

#### 過去累積振動ばく露量分類による分析

Past high exposure group, Past low exposure group, Non-exposure group\_1 の 3 群間で、各手指の MBR 相対値を比較した。全測定手指の冷水浸漬中 MBR 相対値、回復 5 分 MBR 相対値および回復 10 分 MBR 相対値において、群間の主効果および群間と測定点の交互作用が認められなかった。図 5c-5j に、各 3 指の 3 群別の MBR 相対値の調査点毎の推移を示す。

#### 現累積振動ばく露量分類による分析

Current high exposure group と Non-

exposure group \_2 の 2 群間の各手指の MBR 相対値を比較した。全ての測定手指の冷水浸漬中 MBR 相対値において、群間の主効果を認めた（示指；P=0.015，中指；P=0.013，環指；P=0.029）。いずれの手指においても，Current high exposure group は Non-exposure group \_2 よりも，冷水浸漬中の MBR 相対値が有意に低かった。冷水浸漬中 MBR 相対値において，群

間と測定点の交互作用は認められなかった。回復 5 分 MBR 相対値および回復 10 分 MBR 相対値において，群間による主効果は認められなかった。図 5k-5s に，示指の 2 群別の LSFG の MBR 相対値の調査点毎の推移を示す。また，示指の 2 群別の MBR 相対値の全体推移を図 5t-5u に示す。

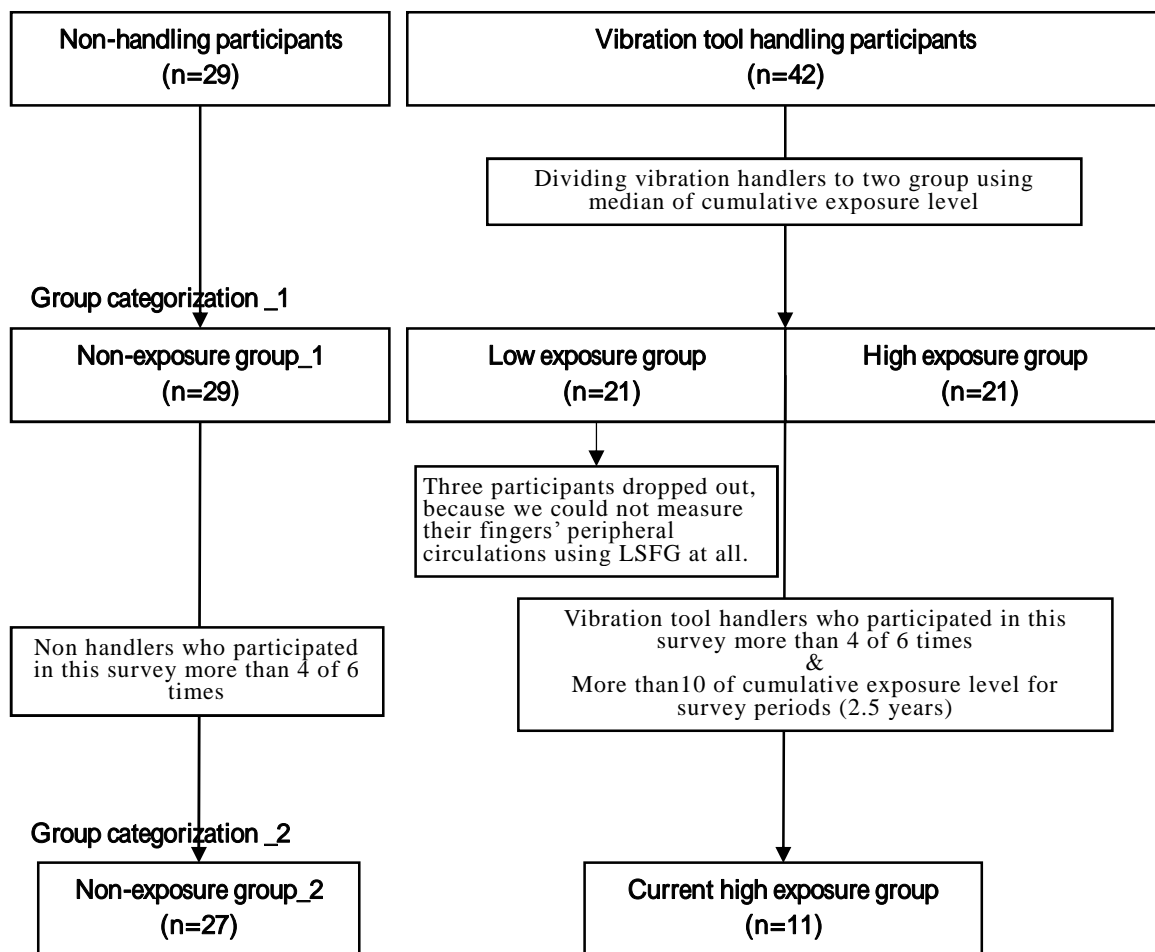


図 5b. 研究フローと参加者人数

表 5a. Participants characteristics in baseline survey

	Vibration tool exposure status					
	Non-exposure group _1 (n=29)		Past low exposure group (n=18)		Past high exposure group (n=21)	
	mean (SD) / %		mean (SD) / %		mean (SD) / %	
Age	41.9	(11.2)	31.9	(10.7)	37.8	(8.0)
Obesity (BMI $\geq$ 25)	10	(34.5)	9	(38.1)	9	(42.9)
Diabetes	2	(6.9)	2	(11.1)	2	(9.5)
Cigarette Smoking	6	(20.7)	9	(50.0)	12	(57.1)
Left handler	2	(6.9)	1	(5.6)	1	(4.8)

	Vibration tool exposure status			
	Non-exposure group _2 (n=27)		Current high exposure group (n=11)	
	mean (SD) / n(%)		mean (SD) / n(%)	
Age	42.1	(10.8)	33.1	(6.3)
Obesity (BMI $\geq$ 25)	9	(33.3)	5	(45.5)
Diabetes	2	(7.4)	0	(0.0)
Cigarette Smoking	4	(14.8)	4	(36.3)
Left handler	2	(7.4)	0	(0.0)

表 5b . 使用した振動工具の種類

	周波数補正振動加速度実効値 の 3 軸合成値の換算値		N=39
	[ m/s <sup>2</sup> ]		
削岩機	18.3	5	
コンクリートブレーカー	13.6	13	
ピックハンマー	8.0	21	
チェーンソー	4.7	7	
エンジンカッター	7.9	7	
刈払機	4.4	8	
コンクリートバイブレータ	2.5	11	
インパクトレンチ	6.0	32	
エアドライバー	2.5	5	
グラインダー	4.0	34	
ディスクサンダー	3.0	12	
バイブレーションシャー	10.8	1	
ジグソー	7.0	6	
スーパーケレン	50.0	11	
その他	-	5	

表 5c. 参加者が使用した工具の種類数

種類数	N=39
1 種類	4
2 種類	8
3 種類	7



4 種類	3
5 種類	1
6 種類	3
7 種類	7
8 種類	1
9 種類	5

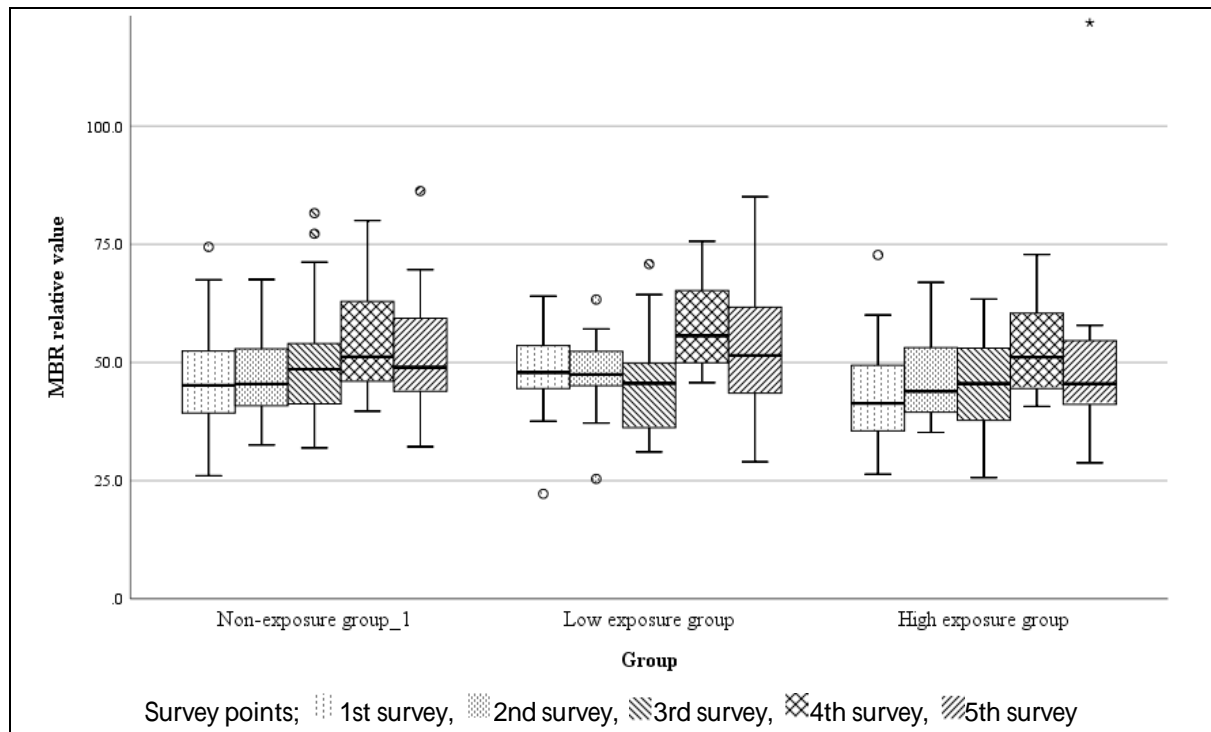


図5c. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.341

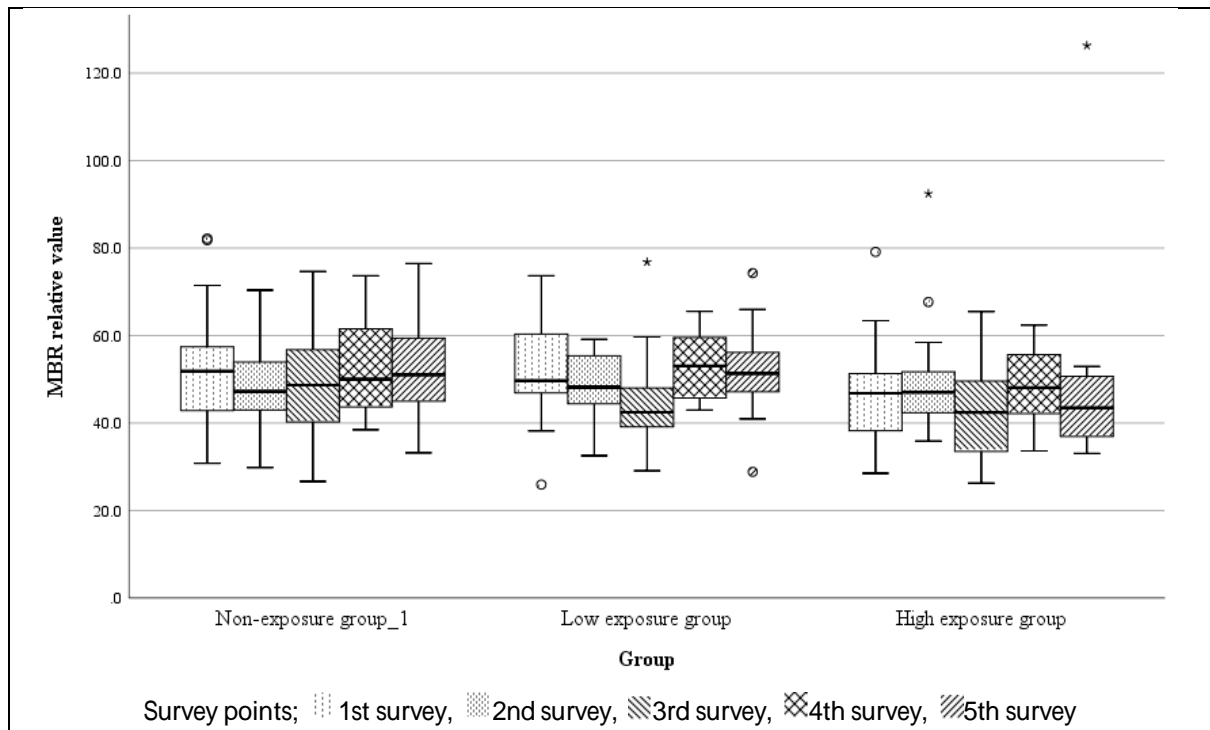


図5d. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.523

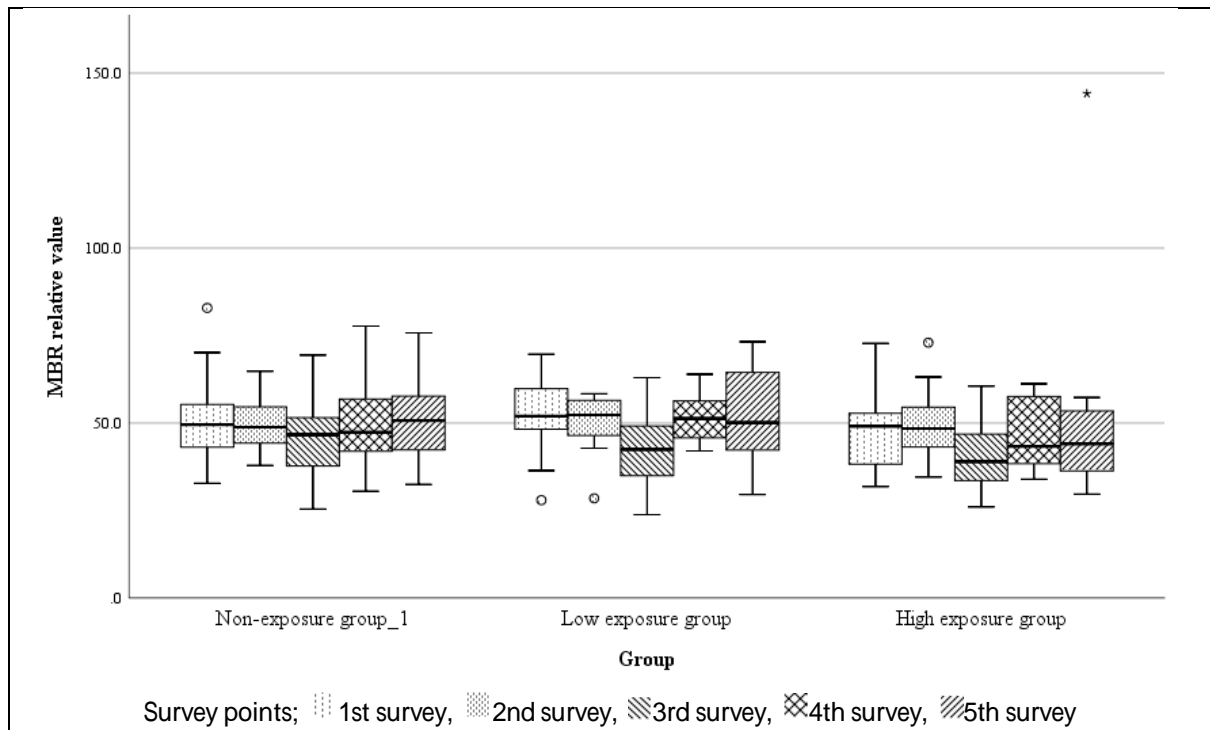


図5e. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.968

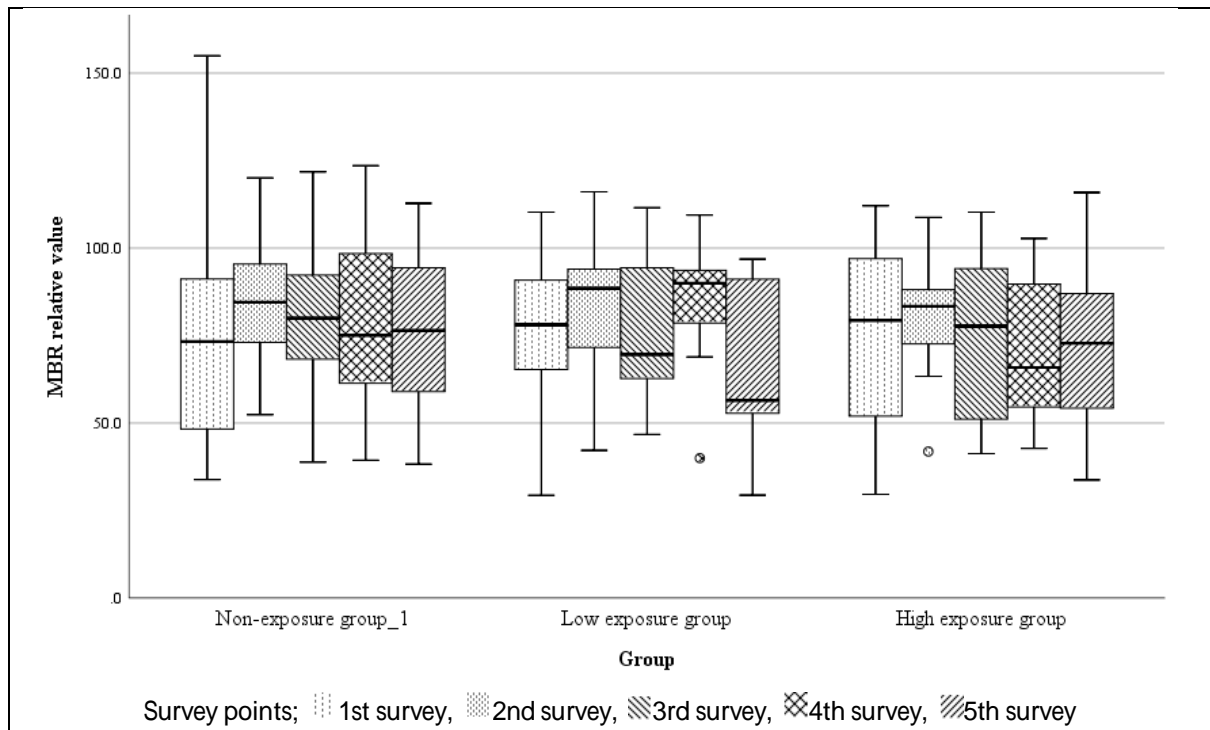


図5f. 示指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.219

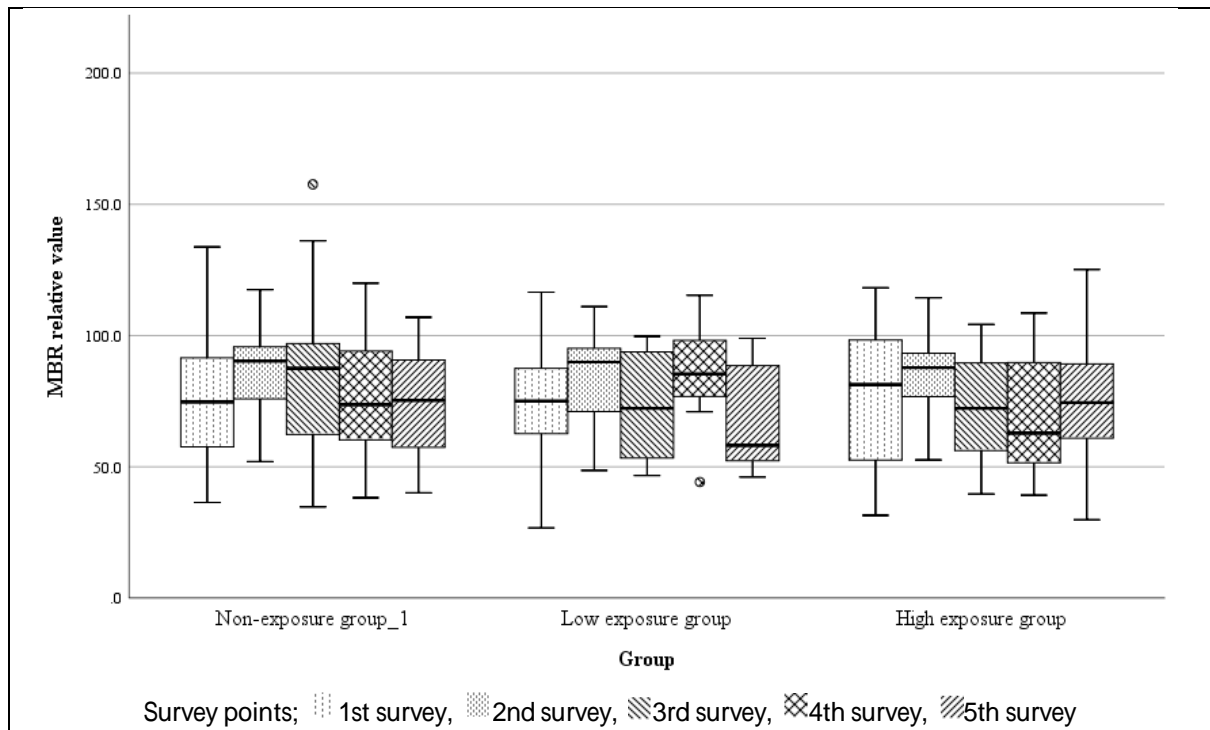


図5g. 中指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.238

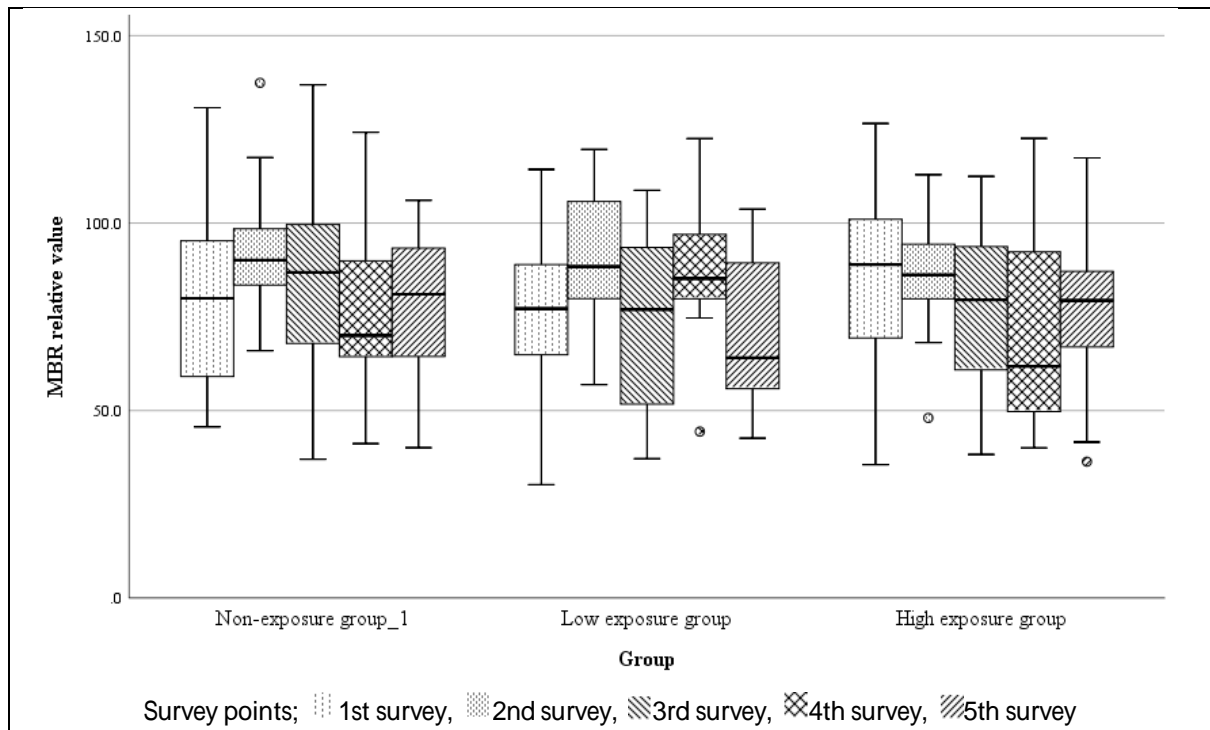


図5h. 環指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.236

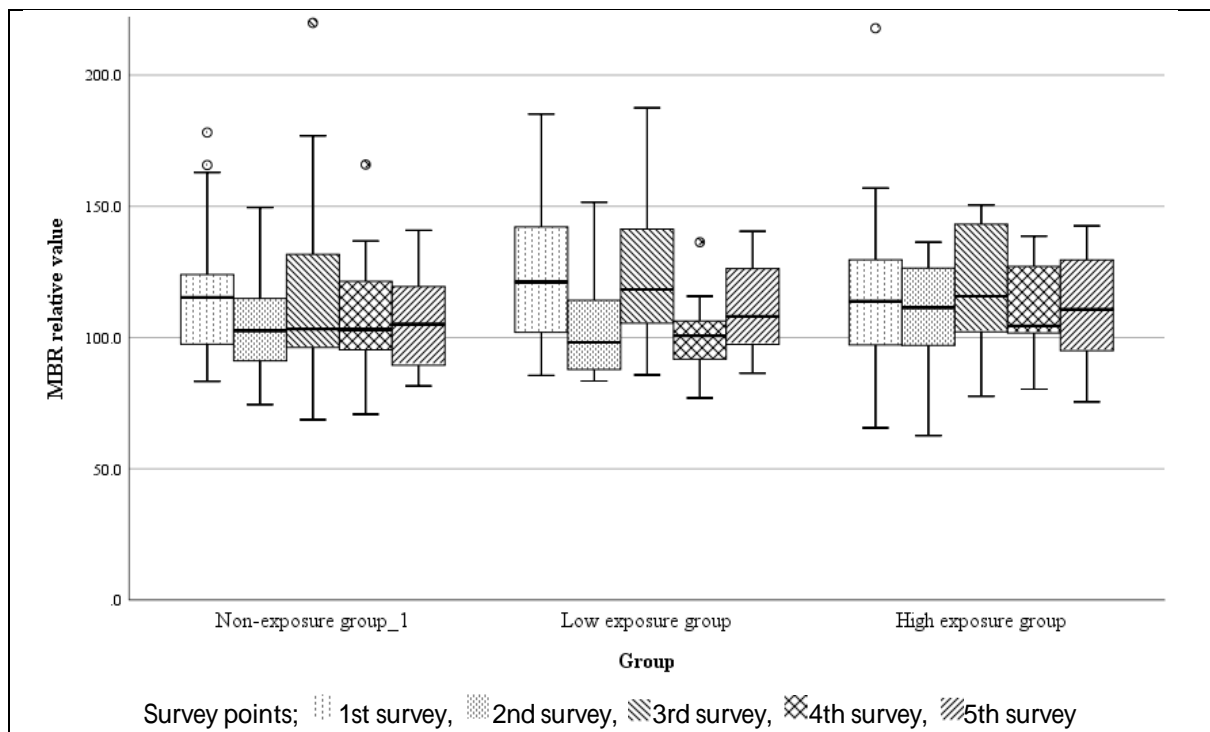


図5i. 示指の回復10分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.389

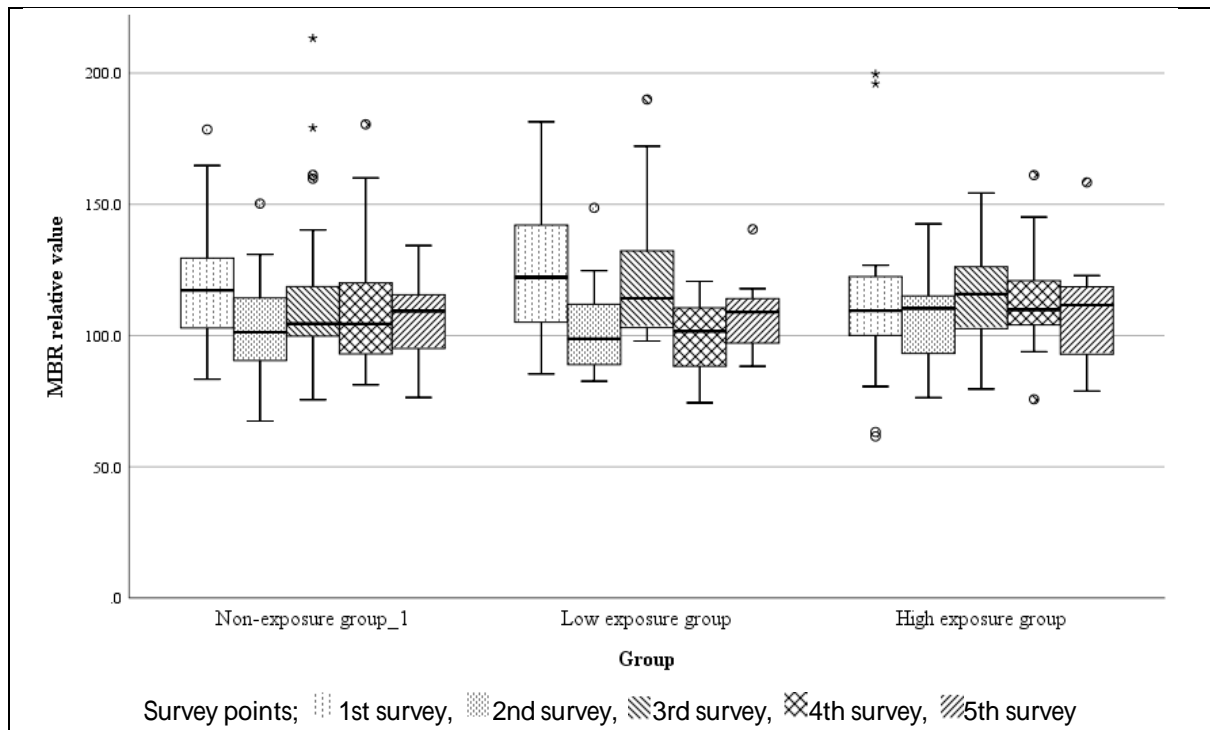


図5j. 中指の回復10分MBR相対値の3群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.621

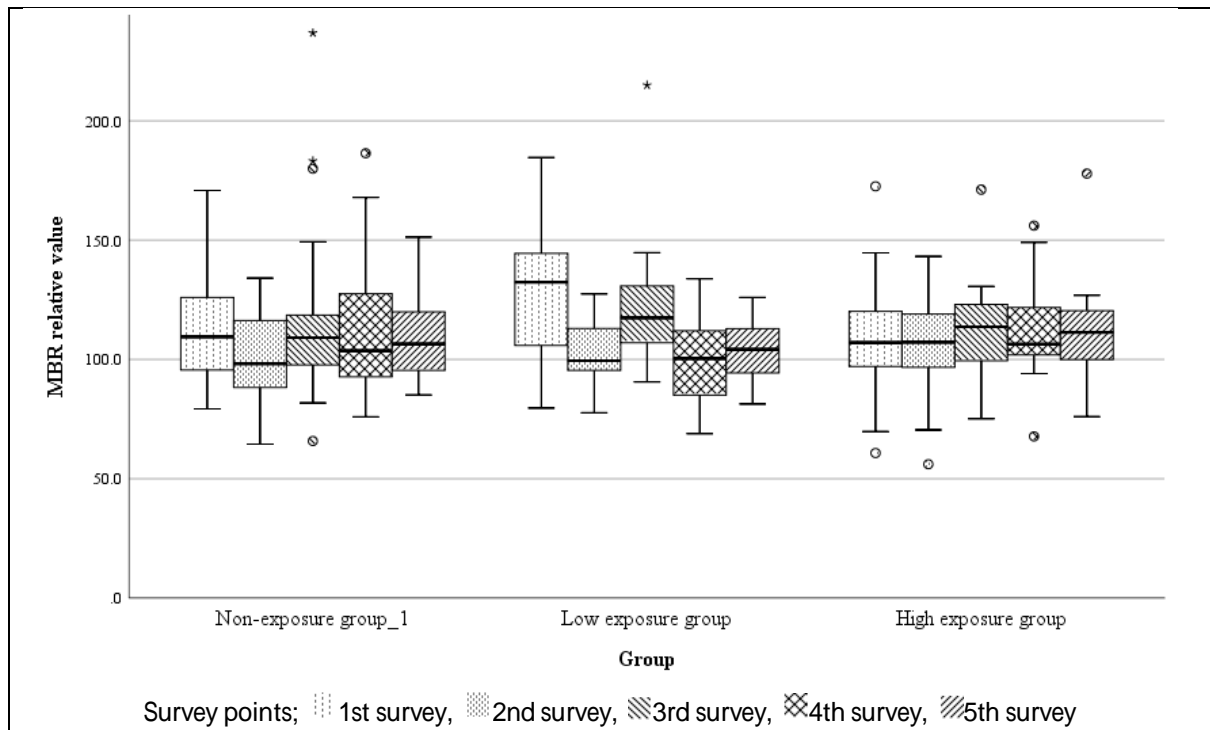


図5j. 環指の回復10分MBR相対値の3群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.839

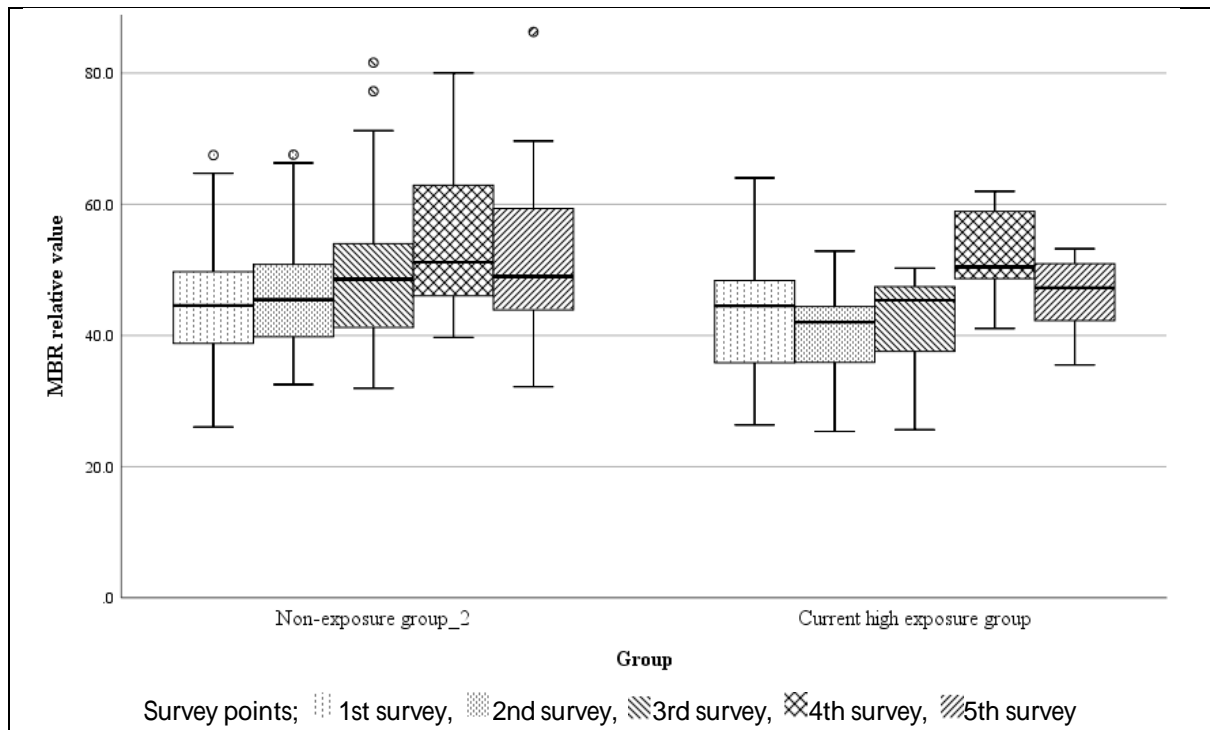


図5k. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.039

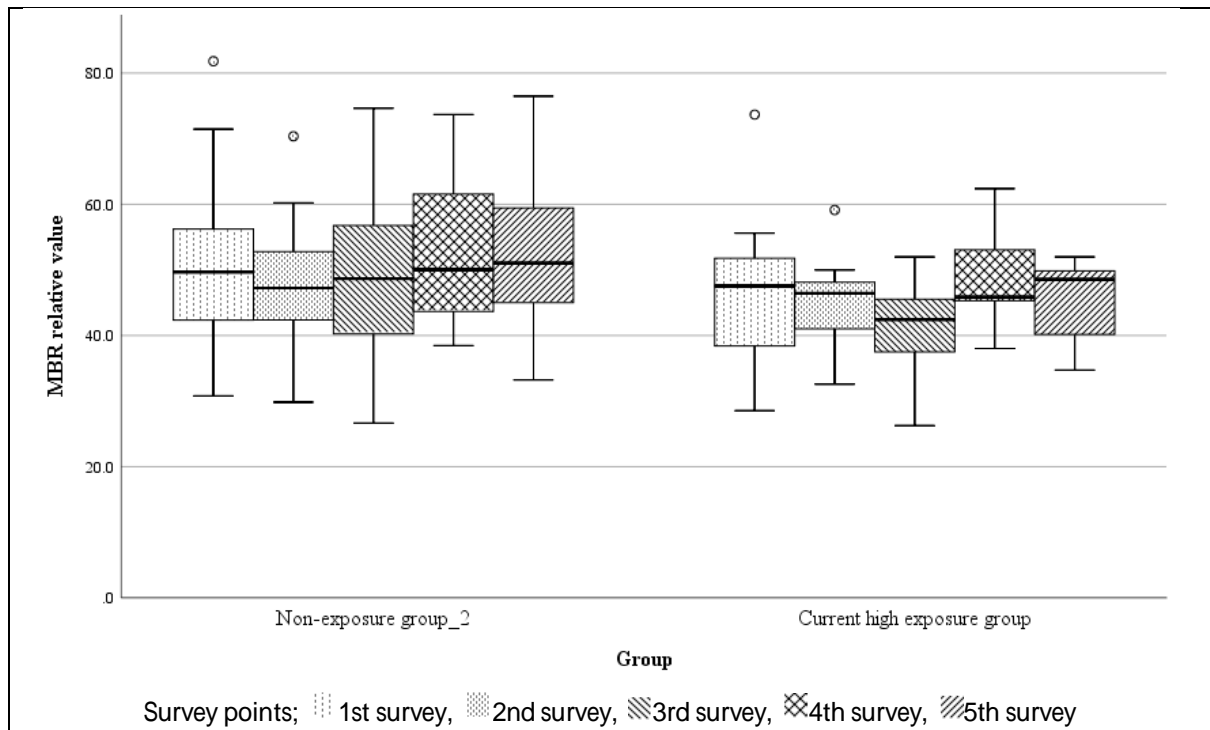


図5l. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.017

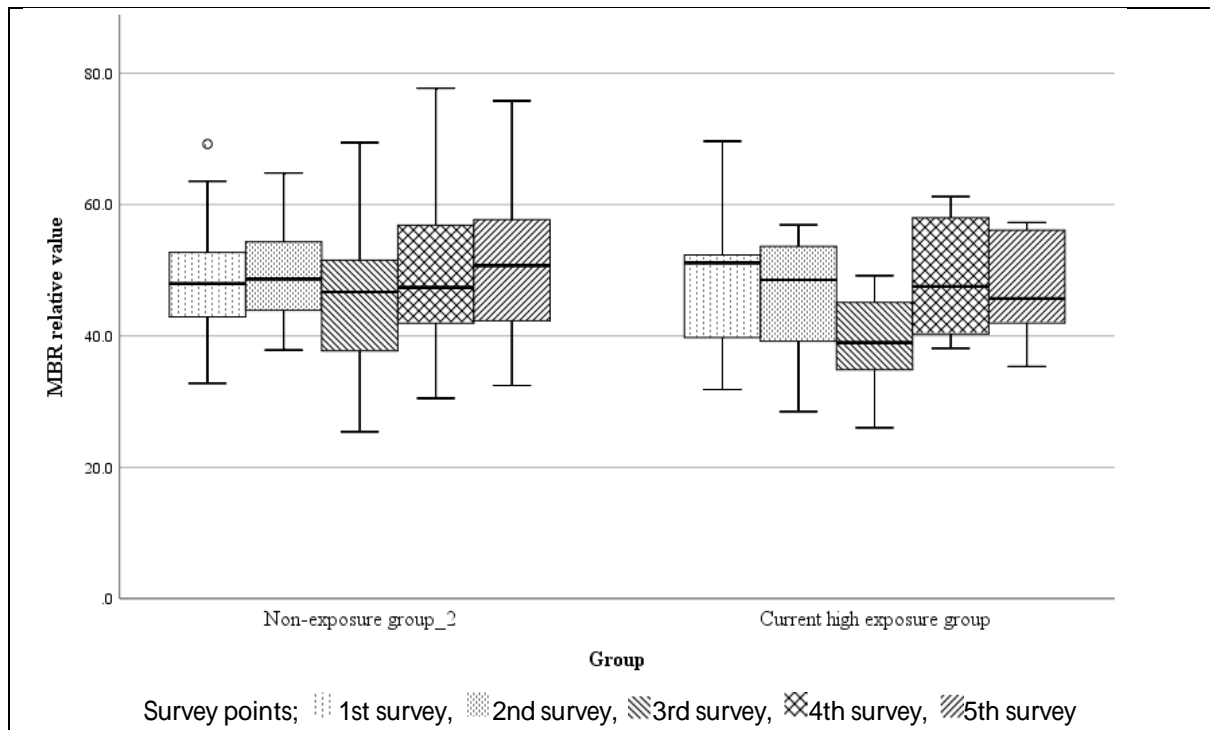


図5m. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.075

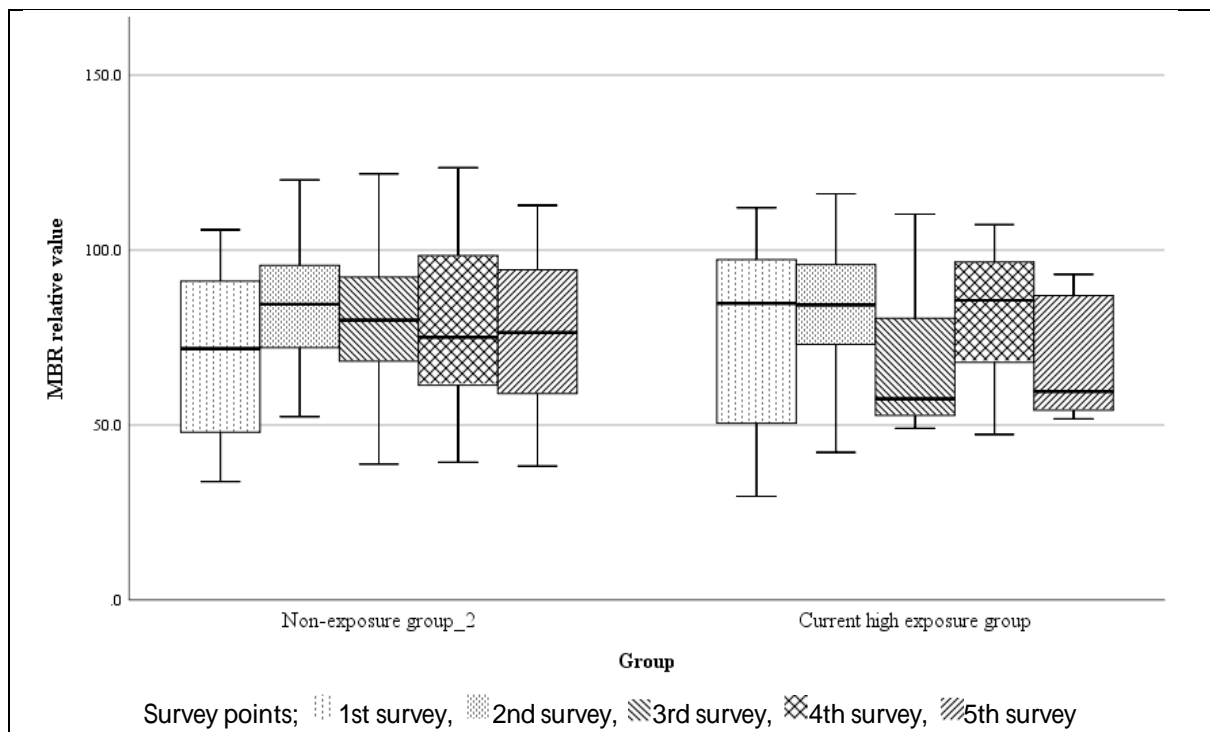


図5n. 示指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.534

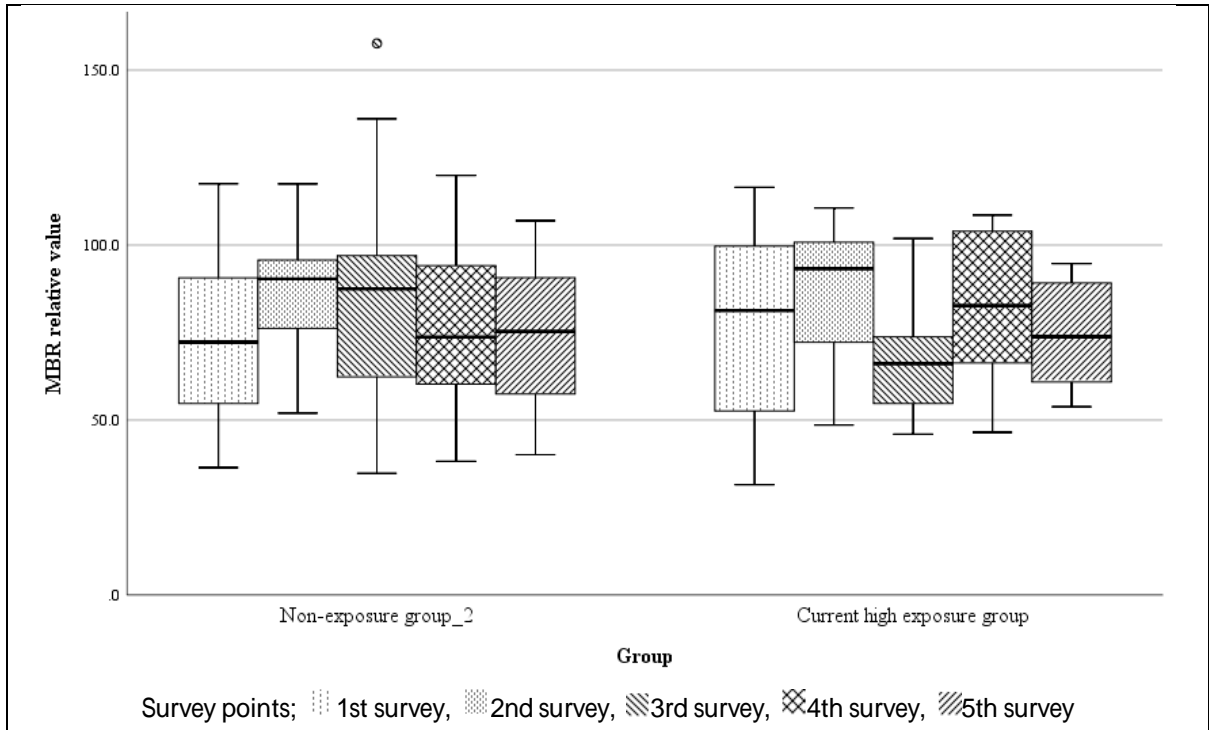


図5o. 中指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.629

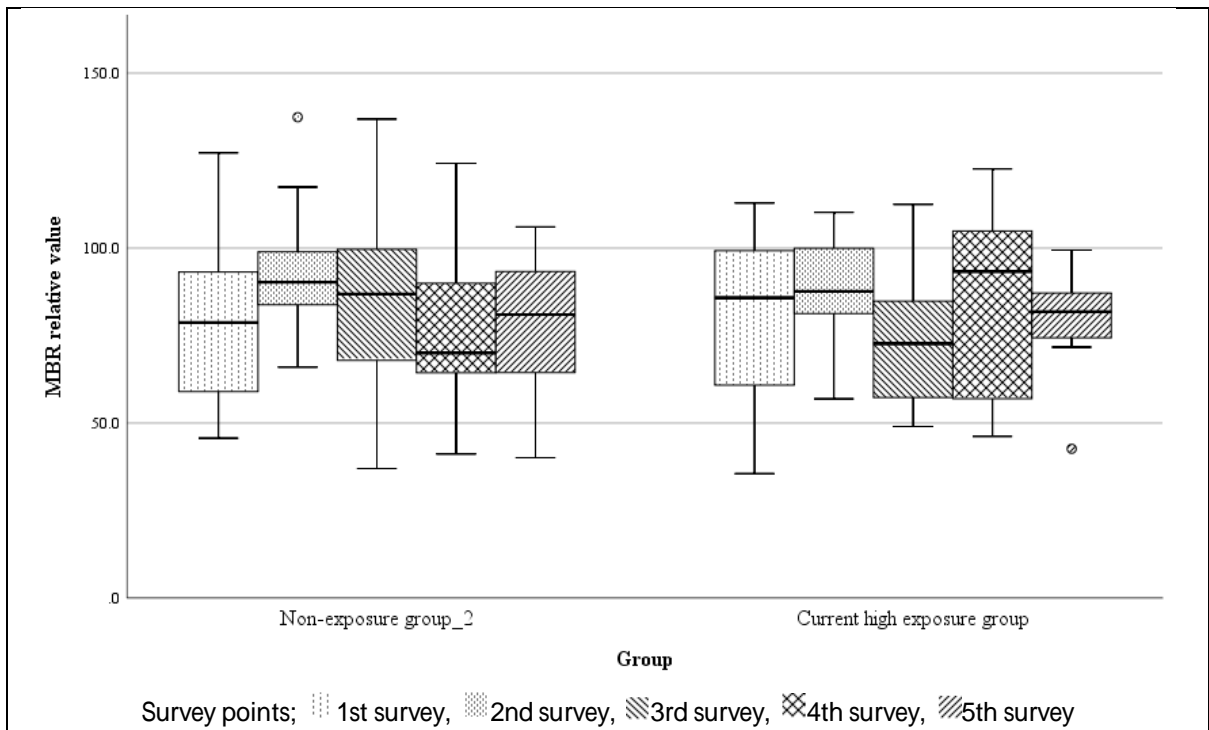


図5p. 環指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.663



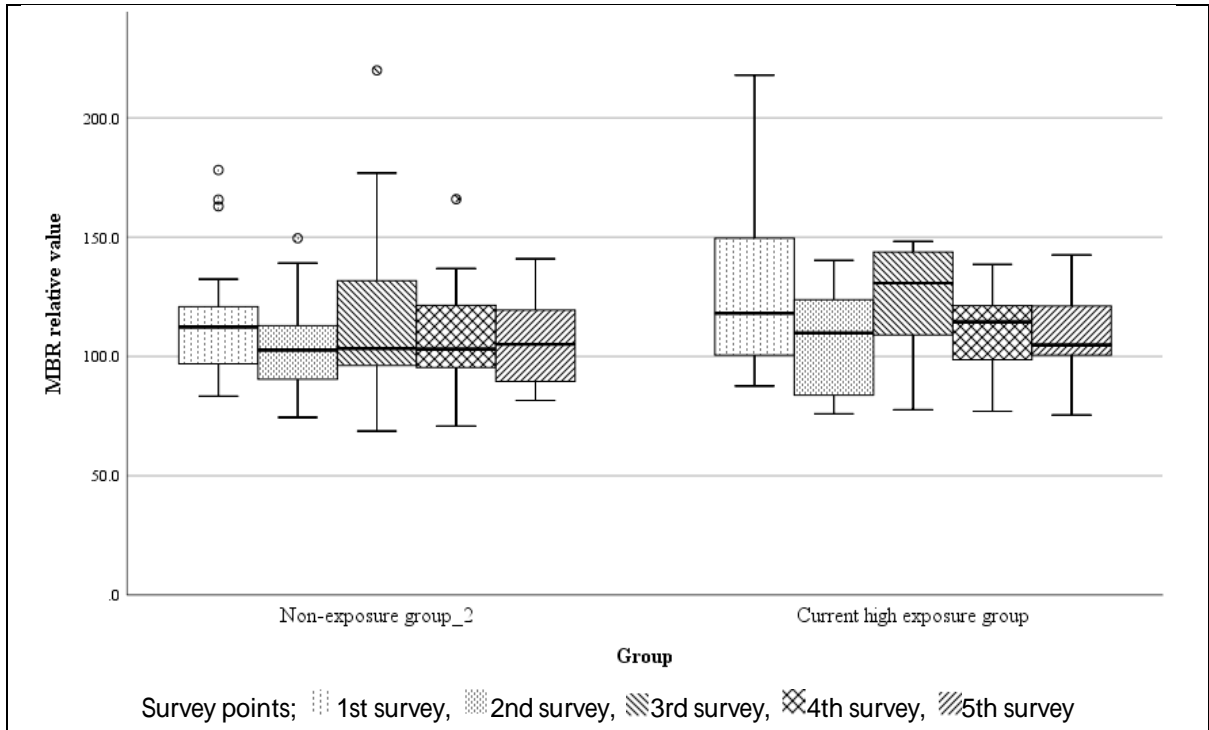


図5q. 示指の回復10分MBR相対値の2群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.172

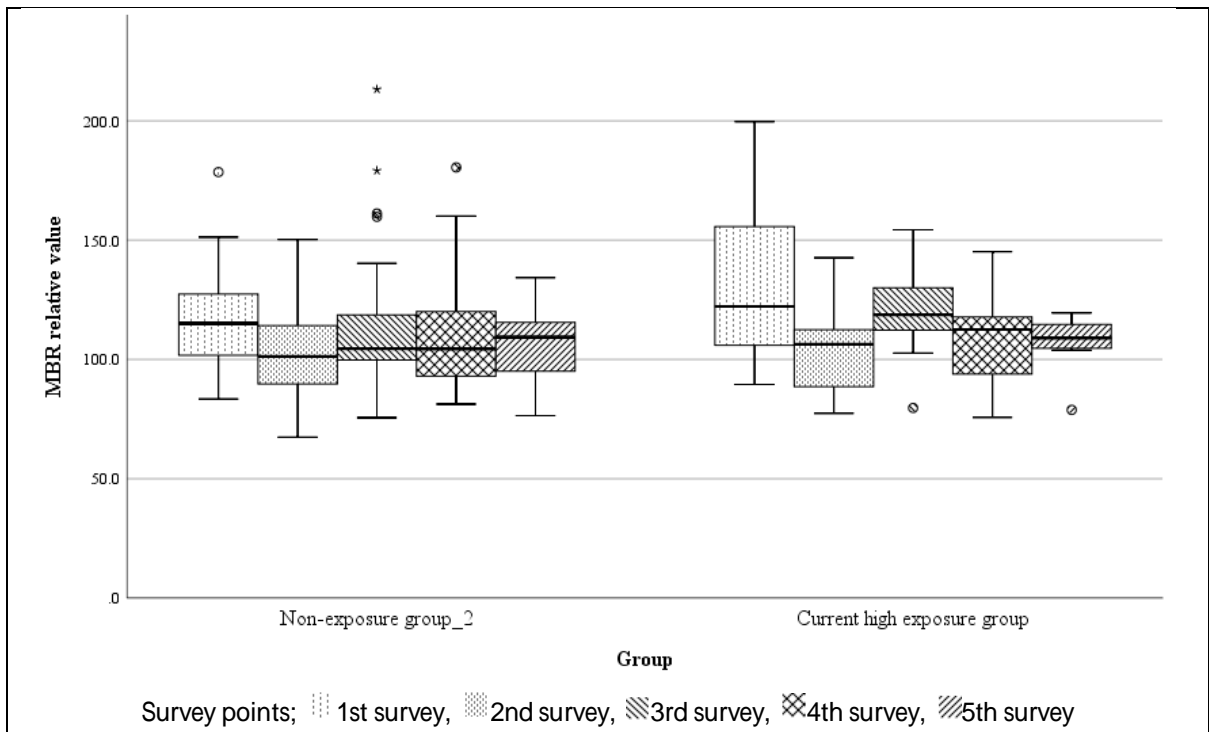


図5r. 中指の回復10分MBR相対値の2群別推移  
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.171

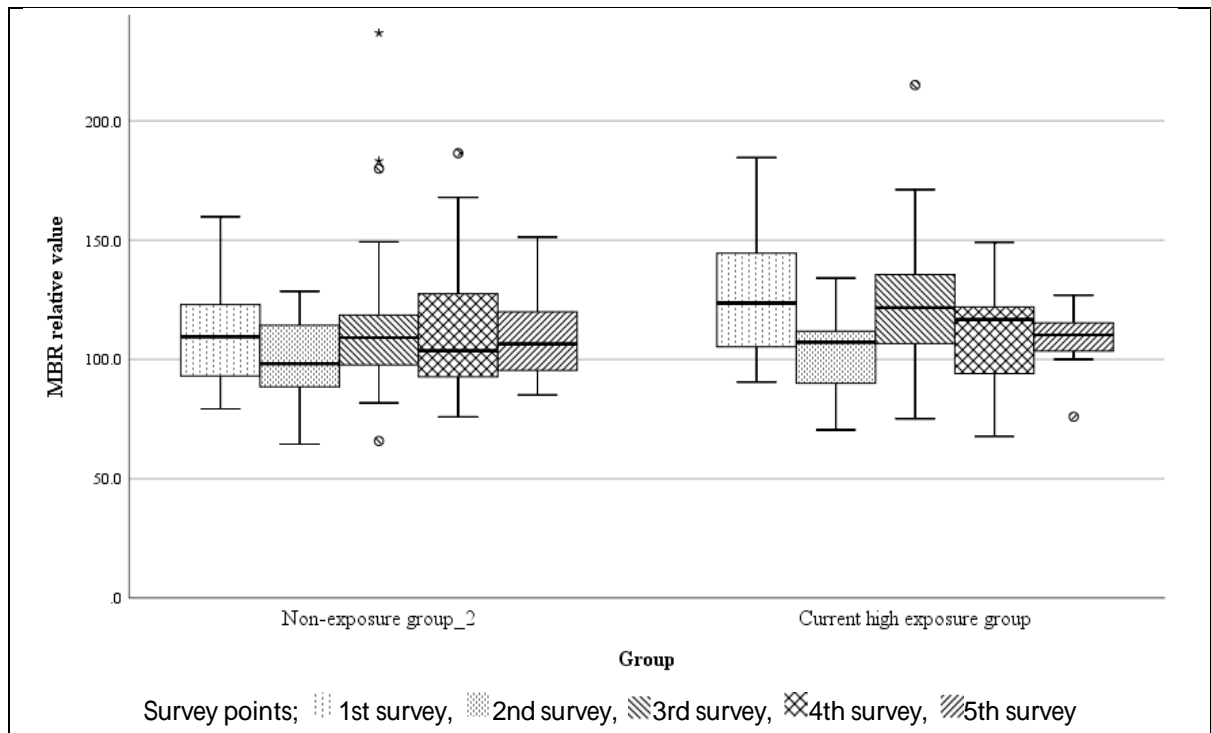


図5s. 環指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.092

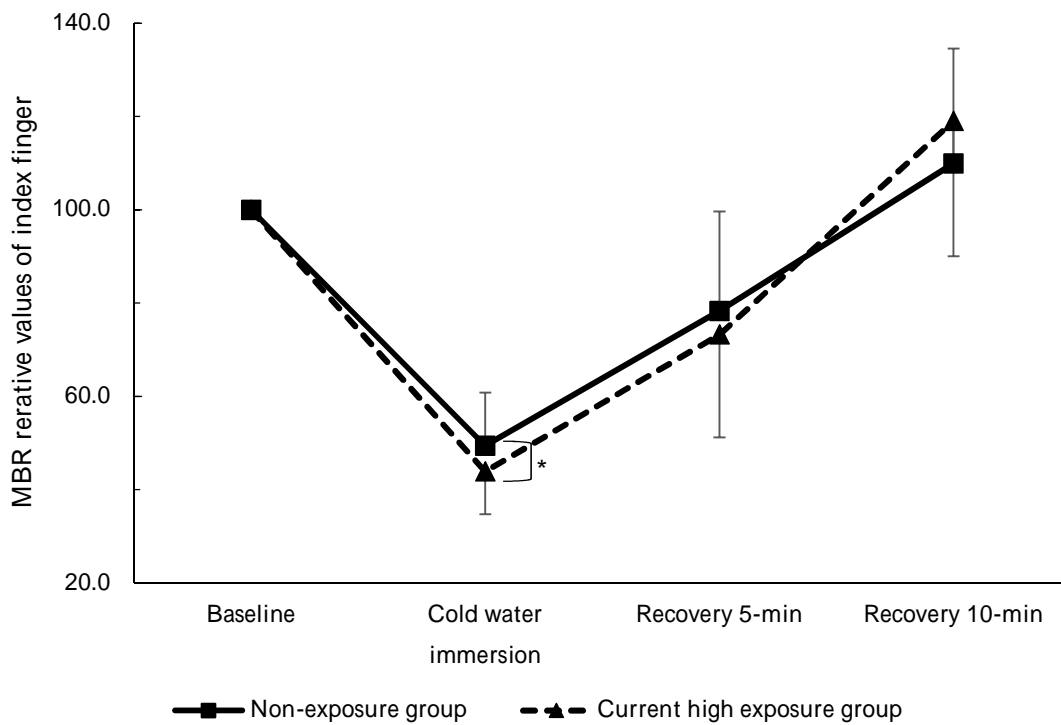


図5t. 示指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

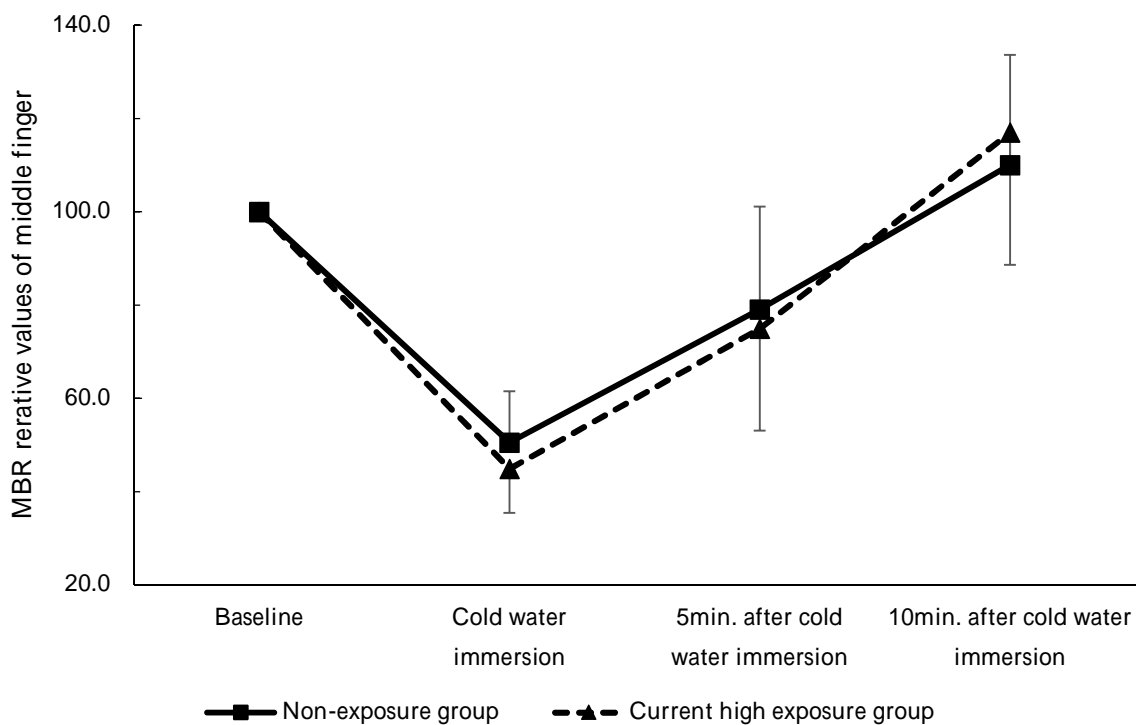


図5u. 中指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

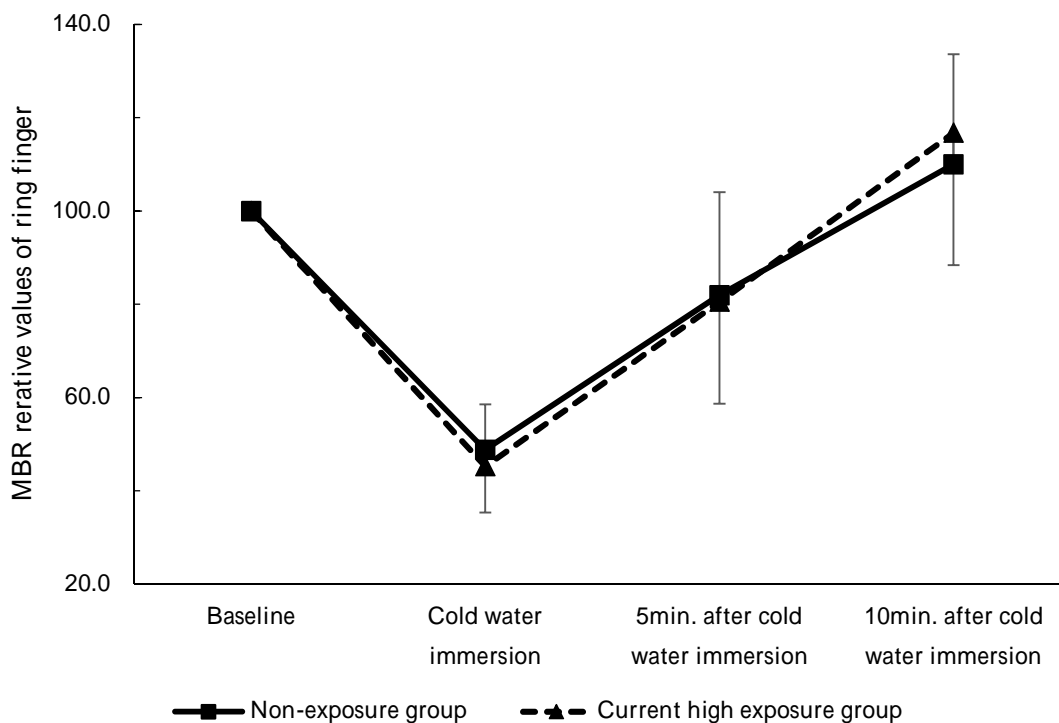


図5v. 環指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

考察

振動障害の症状の一つである末梢循環障害の指標であるレイノー現象の発症率に関しては、振動工具取扱いの総取扱い時間が延長することにより発症率が上昇することが示唆されているが、過去の研究では明確な用量反応関係は明らかとなっていない。今回の調査で、振動工具ごとに算出される周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値と使用時間の2つの要因を用いて、過去の累積ばく露量を推算することを試みた。過去累積振動ばく露量による分類では、振動工具取扱いの程度により MBR 相対値に有意差は認められなかった。本研究においては、周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値を考慮した過去の振動曝露量と血流障害との関係性は明らかではなかった。

振動工具の末梢循環への影響は振動工具

使用中止による症状の回復が示唆されており、使用中止期間が長いほど局所冷却による指動脈血圧(FSBP%)は回復傾向を認めたという報告や、ストックホルムスケール stage1 の患者でもチェーンソー使用中止4年で50%以上の症状回復が認められたとの報告がある。今回の調査では被験者全員がレイノー現象を認めていない。

Non-exposure group\_2 と日振動ばく露量の対策値を上回った Current high exposure group の間には冷水浸漬中 MBR 相対値に有意差を認め、Current high exposure group の方が末梢血流の低下を認めた。測定機器は異なるものの、本研究で Current high exposure group の冷水中の MBR 相対値が低下したことは FSBP%を用いた過去の研究結果と同様の傾向となる可能性が示唆された。FSBP%の測定と比較して、冷水浸

漬検査は我が国では振動障害の評価において一般的に利用されており、LSFGを用いた末梢血流の定量的評価は振動工具取扱い作業者の循環障害の検出に有用であると考えられる。これらの結果からは、仮定として末梢循環障害を発症する振動ばく露には一定の閾値が存在すると考えられ、過去に累積された振動ばく露量が閾値を越えなければ、末梢循環障害は回復する可能性がある。本研究においては、対策値を超えた作業員において血流障害を認めた。従って、対策値を超えているような作業においては、作業環境管理、作業管理によって曝露量を低減させることが重要であると考えられた。

本研究において、振動工具取扱い群は複数の振動工具を使用しており、その中でも3種類以上の振動工具を使用した経験がある作業員が69.2%を示していた。古典的な振動障害においては林業におけるチェーンソーなどの大型工具を単独で使用している事例が多いと思われるが、本調査のような製造業に従事する対象者においては小型の振動工具を複数用いる場合も多いことが明らかとなった。振動障害をより正確に評価するためには、複数の振動工具を使用した場合の曝露についても正確に評価していくことが重要であると考えられる。今回用いた累積振動曝露量については直近の血流障害について有意な差を認めており、一定の有用性があるものと考えられる。末梢血流の低下傾向が認められた場合には産業医に相談の上、職場環境の再評価を速やかに実施

しつつ、症状が悪化しレイノー現象が出現することを未然に防止することが期待される。

本研究において用いたLSFGによる冷水浸漬試験は以下の点で有用性が高いと考えられる。1つめとして、LSFGは従来の皮膚温と異なり、冷水浸漬中であっても手掌全体の評価が可能であり、より精密な測定を実施することが可能である。第2に、測定結果が数値として示されるため、客観性があり、評価も容易である。第3に、レーザーを用いるため非侵襲的であり、また、神経伝導速度検査のような検者のトレーニングを必要としない。従って、広く振動業務健康診断として実施する上で適した特性を備えていると考えられる。一方、客観的な数値が得られるもののあくまで相対値であることから、評価方法についてはさらなる検討をしていく必要がある。

本研究の強みは、調査期間中の振動ばく露量を3年間のコホート調査にて評価した点が挙げられる。毎回の調査時に作業員自身が記載した質問紙を元に、医師が振動工具の取扱いを詳細に把握した。従来用いられている冷水浸漬検査にLSFGを利用したことでレイノー現象が出現する段階に至る前の末梢血流の微細な変化を捉えられた。

本研究にはいくつか限界点がある。第一に、本研究の過去の振動工具取扱い歴に関しては、参加者の記憶に基づく、自記式の質問紙調査であることから思い出しバイアスが生じている。第二に、本研究で用いた周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値は2016年時点での測定値であり、過去累

積振動ばく露量を正確に評価できていない可能性がある。振動工具は改良されつつあり、一例としてチェーンソーは1960年代と比較して3分の1程度まで振動レベルは減少している。以前の取扱い者は、現在の製品よりも3軸合成値が高い工具を使用していた可能性が高いため、本研究では過去の累積ばく露量を過少評価している可能性がある。本研究では過去累積振動ばく露量による末梢循環への影響は認められなかつ

たが、将来的にも本研究を継続することで長期的にわたる正確な振動曝露量を把握していくことが望まれる。第三に、末梢循環評価に用いたLSFGは絶対的な血流量を測定できない。LSFGを利用する際には縦断的な評価が必要となってくる。第四に、本研究は血流障害のみを評価対象としているが、振動障害には神経障害、筋骨格系障害が含まれており、それらについては別途評価していく必要がある。