

資料 5：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結果

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。

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2.5m/s²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LSFG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≥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

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

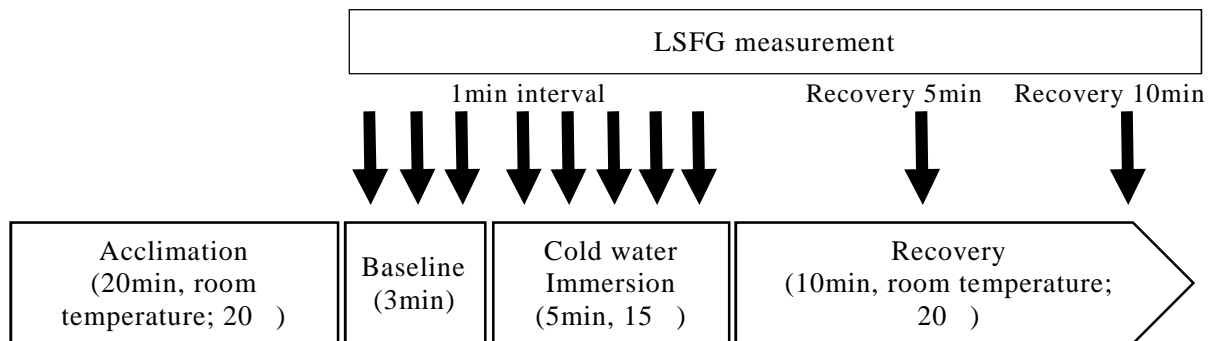


図 5a. LSFG による冷水浸漬検査の手順

A. 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、有意差を認められた ($p=0.007$)。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、有意差を認められた ($p=0.017$)。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られた ($p=0.015$) (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。

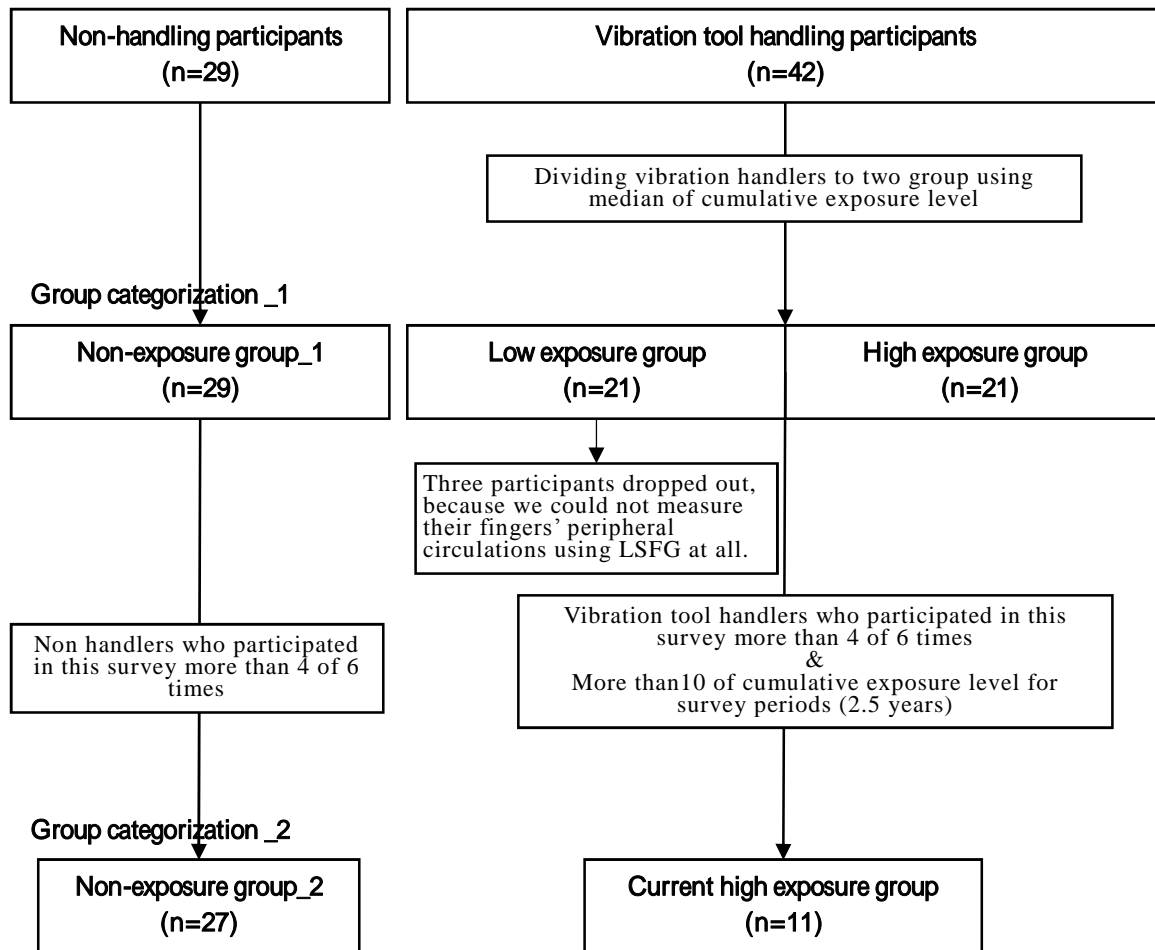


図 5b. 研究フローと参加者人数

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		
[m/s ²]		
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

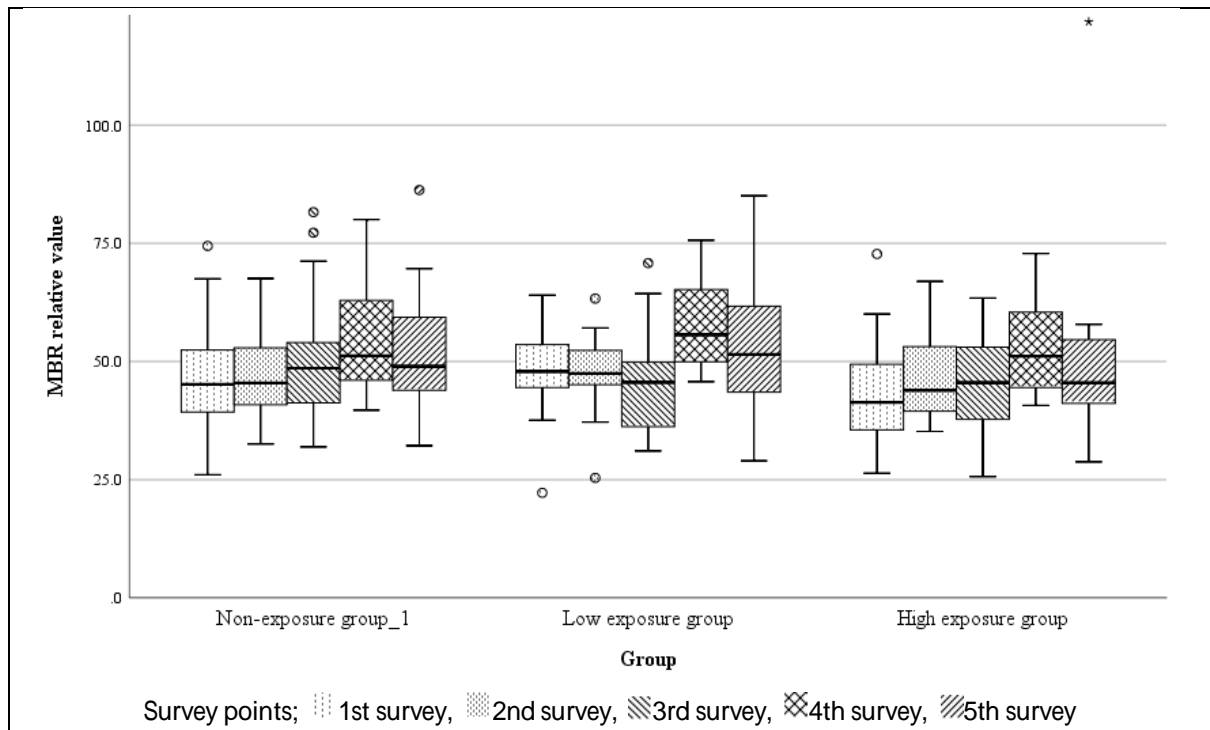


図5c. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.341

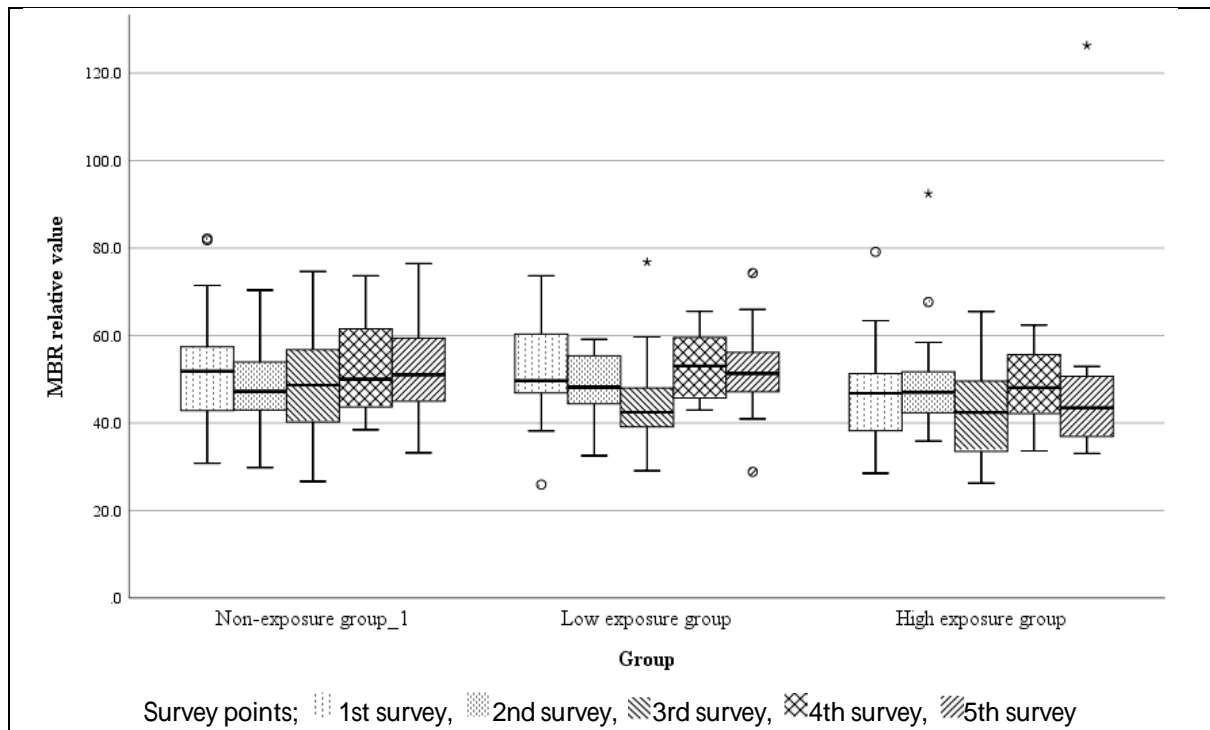


図5d. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.523

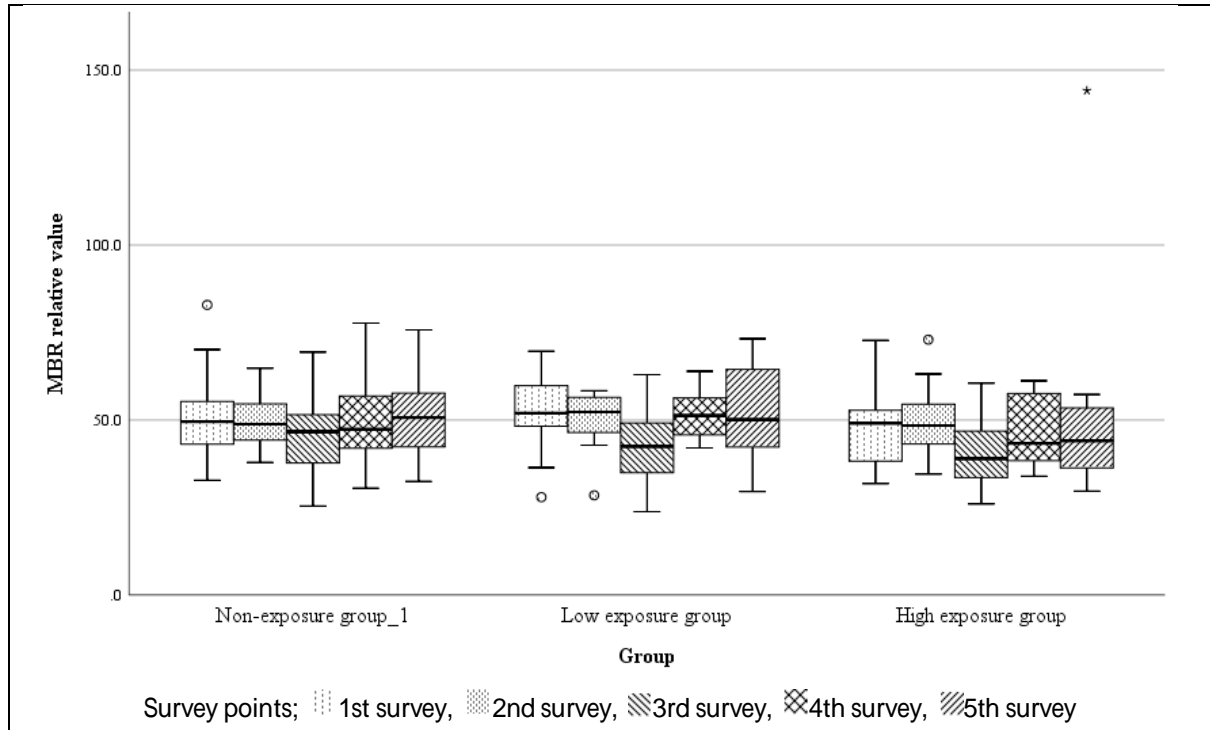


図5e. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.968

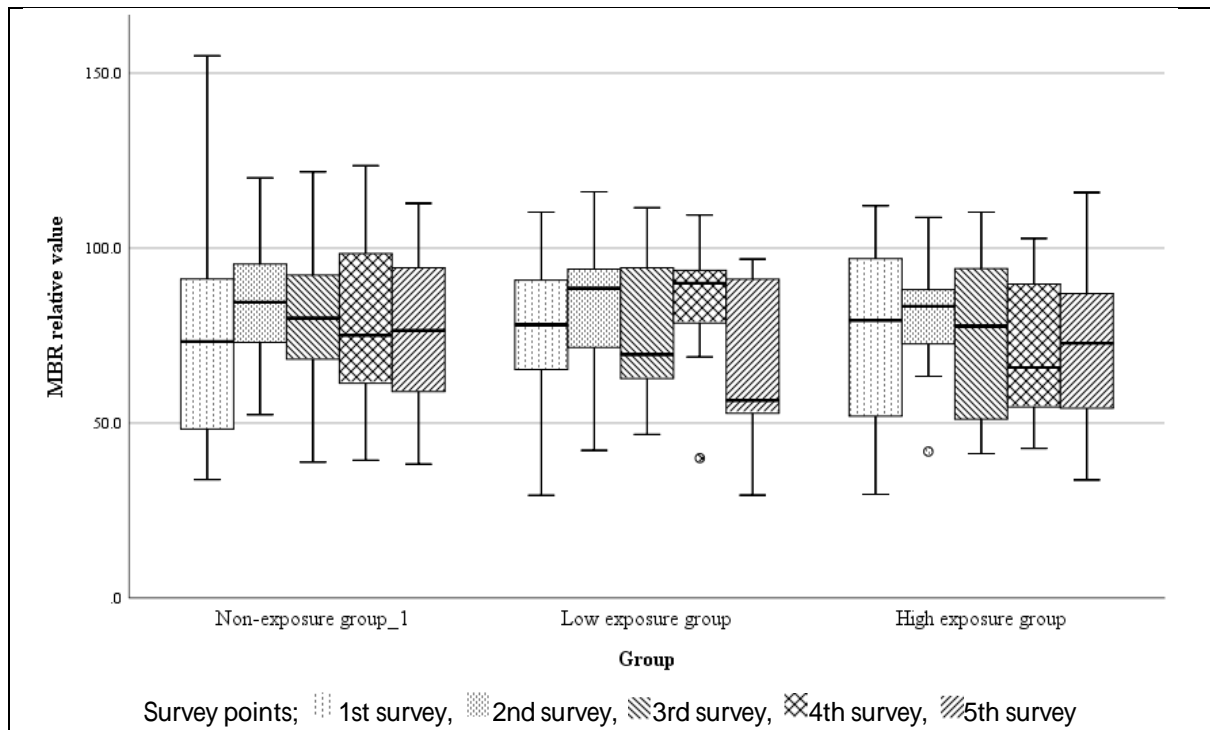


図5f. 示指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.219

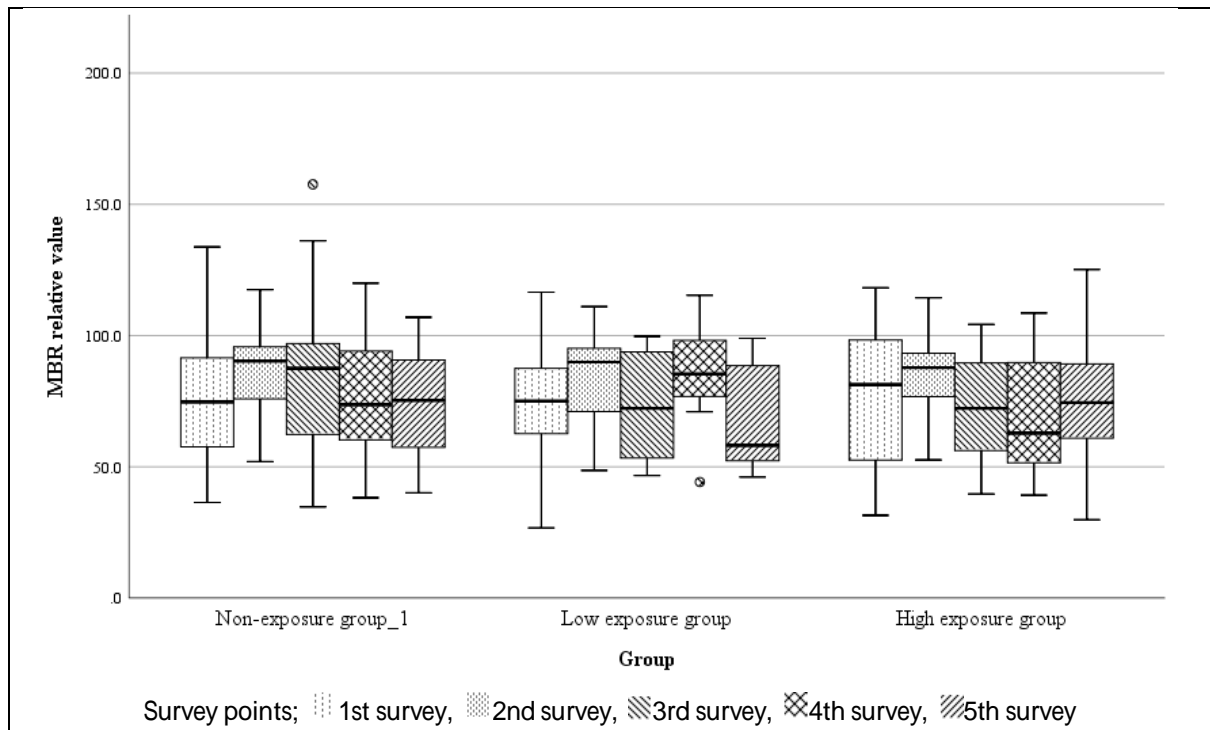


図5g. 中指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.238

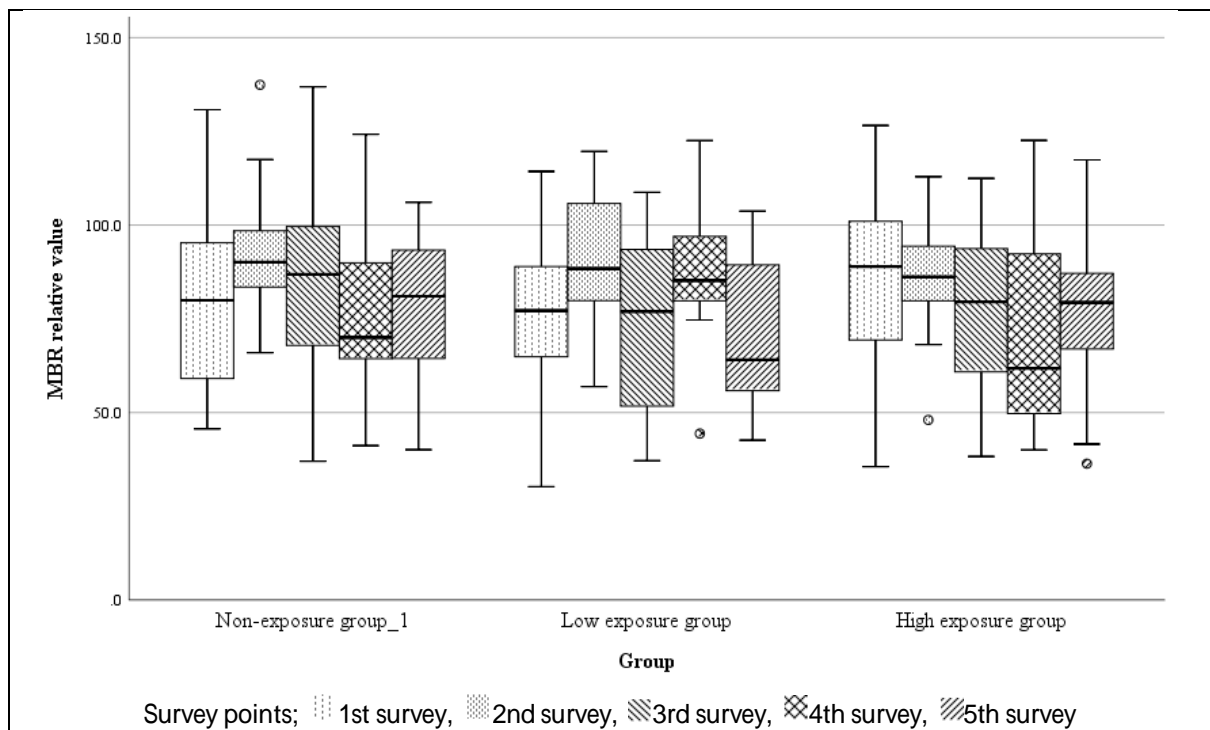


図5h. 環指の回復5分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.236

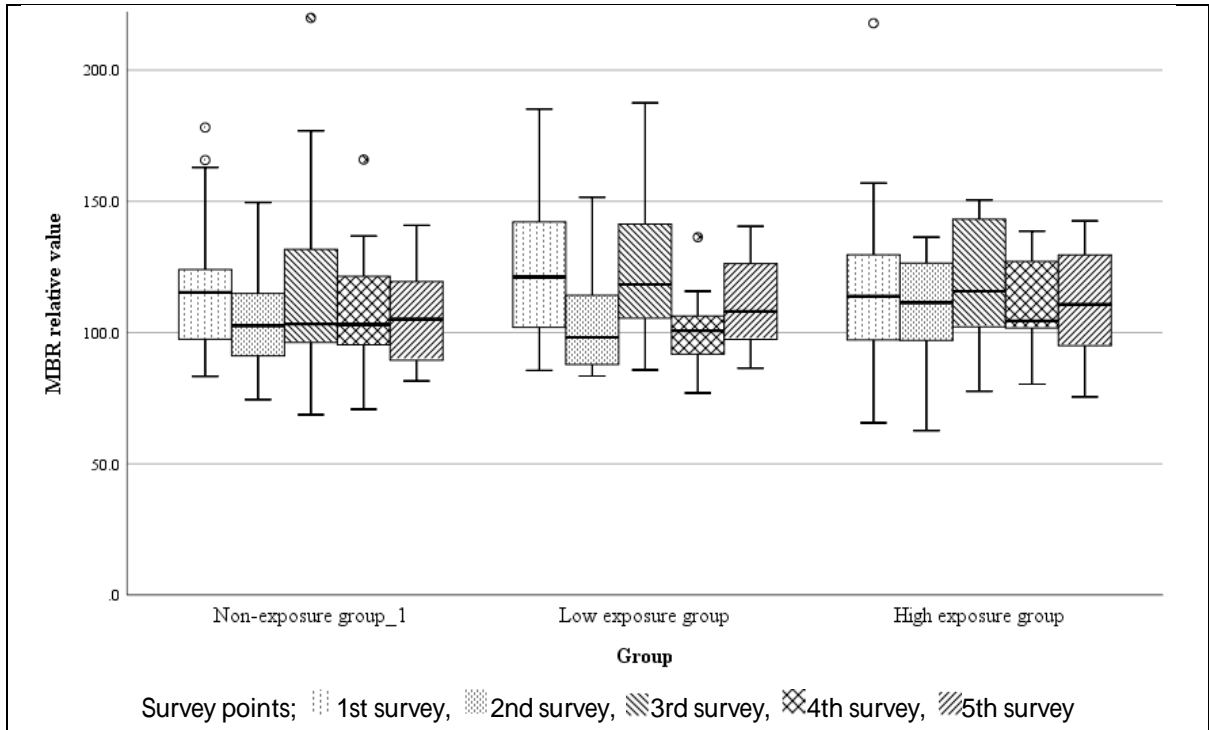


図5i. 示指の回復10分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.389

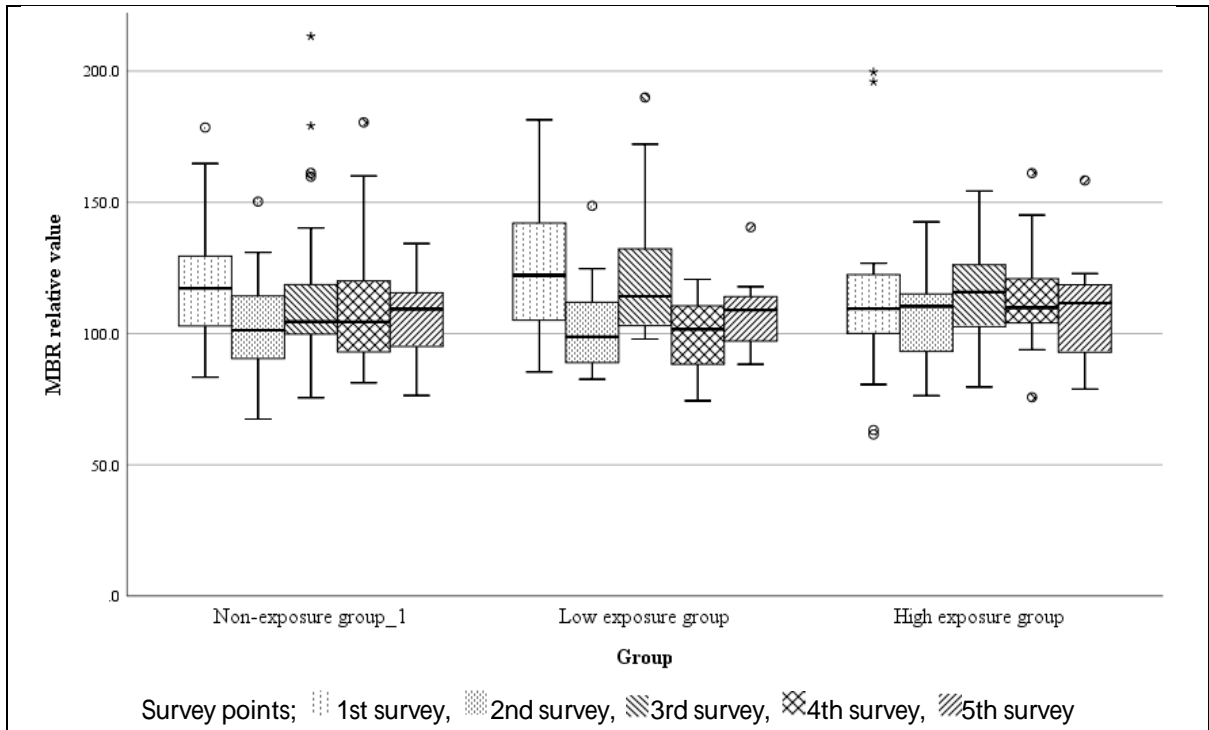


図5j. 中指の回復10分MBR相対値の3群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.621

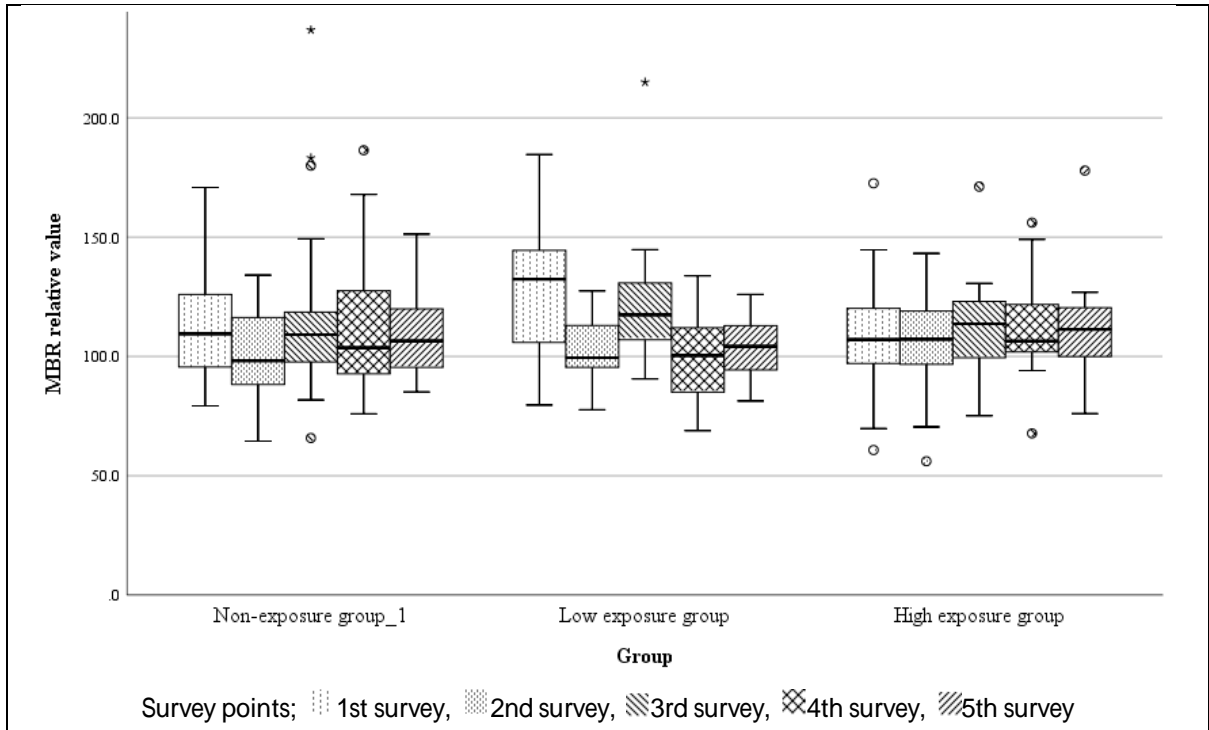


図5j. 環指の回復10分MBR相対値の3群別推移
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.839

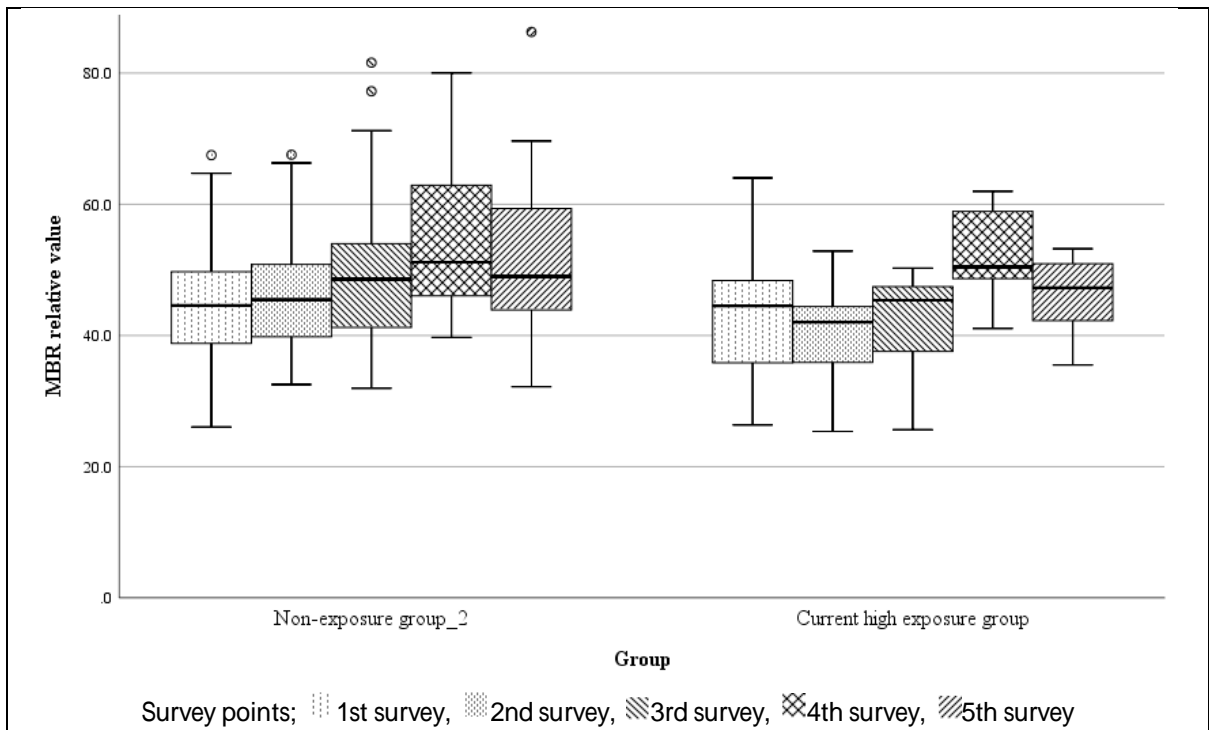


図5k. 示指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移
 Group according to cumulative vibration exposure: P=0.039

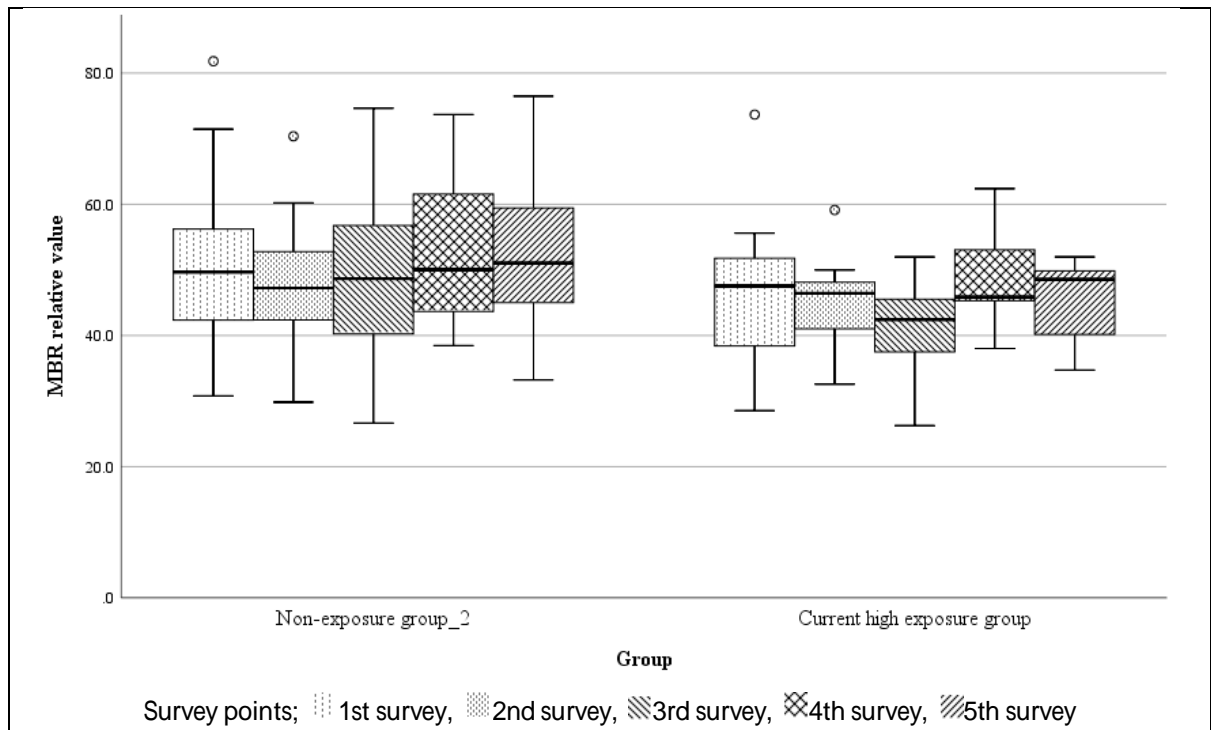


図51. 中指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.017

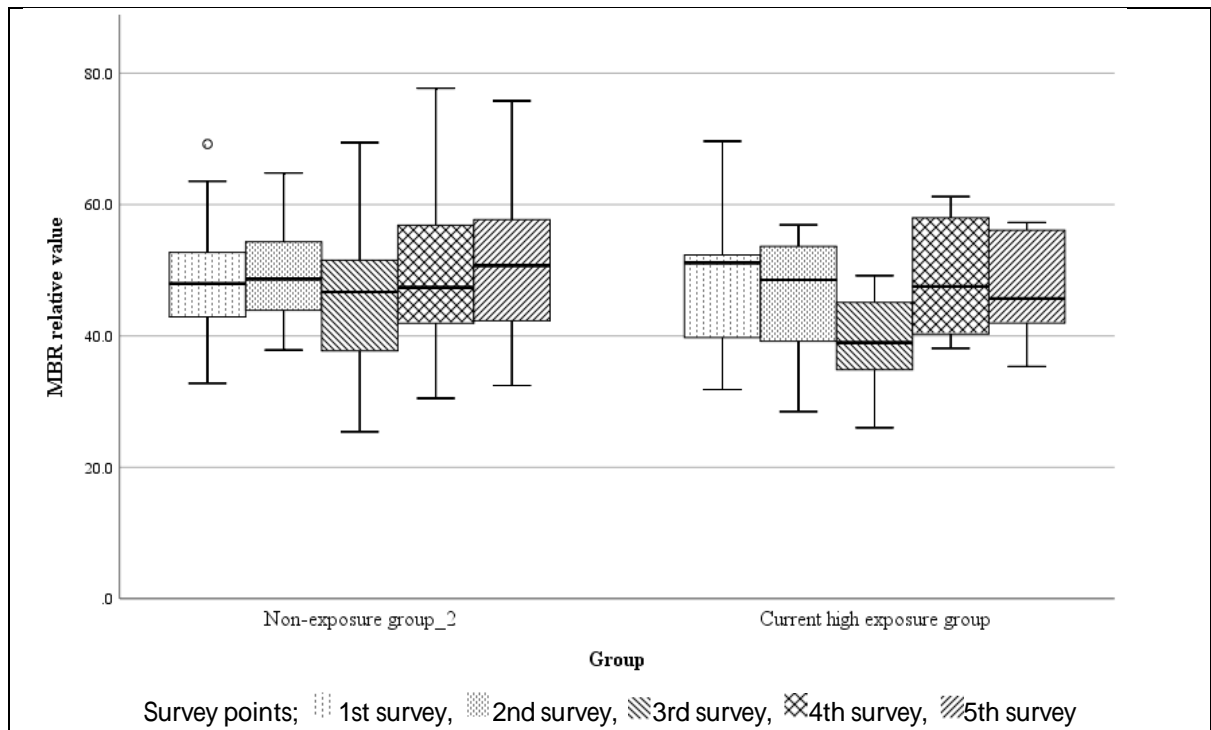


図5m. 環指の冷水浸漬中MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.075

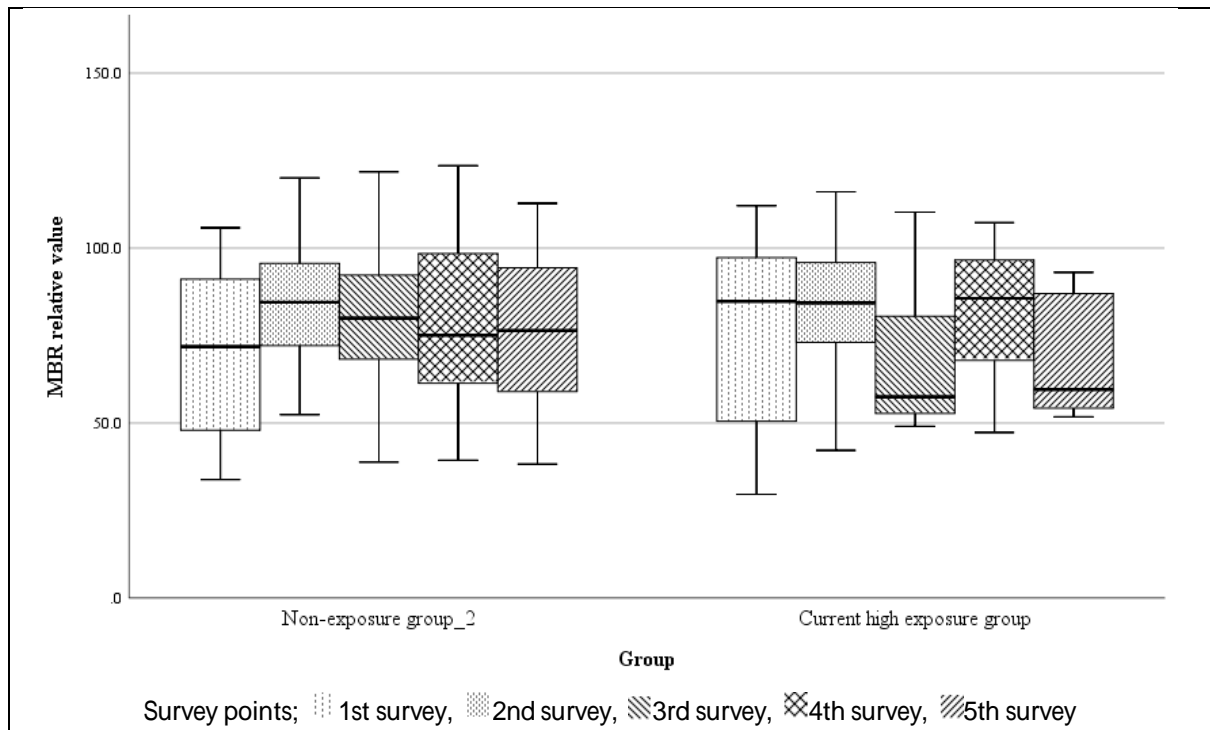


図5n. 示指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.534

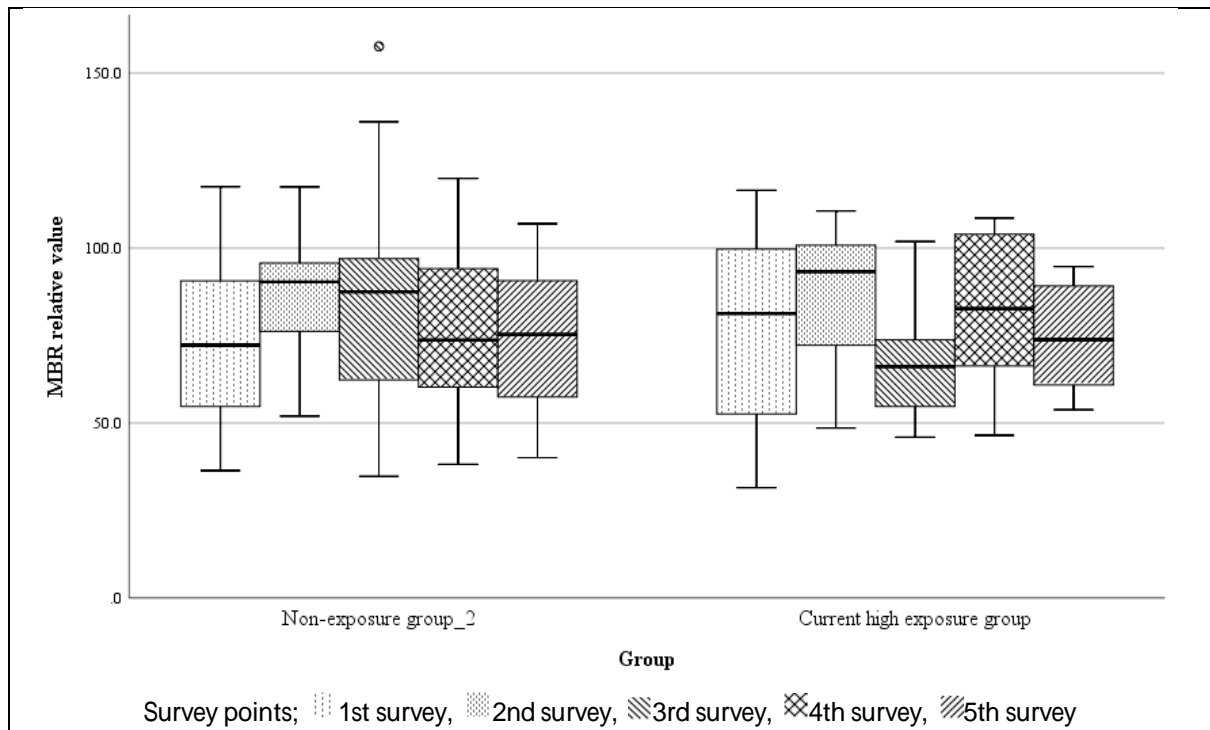


図5o. 中指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.629

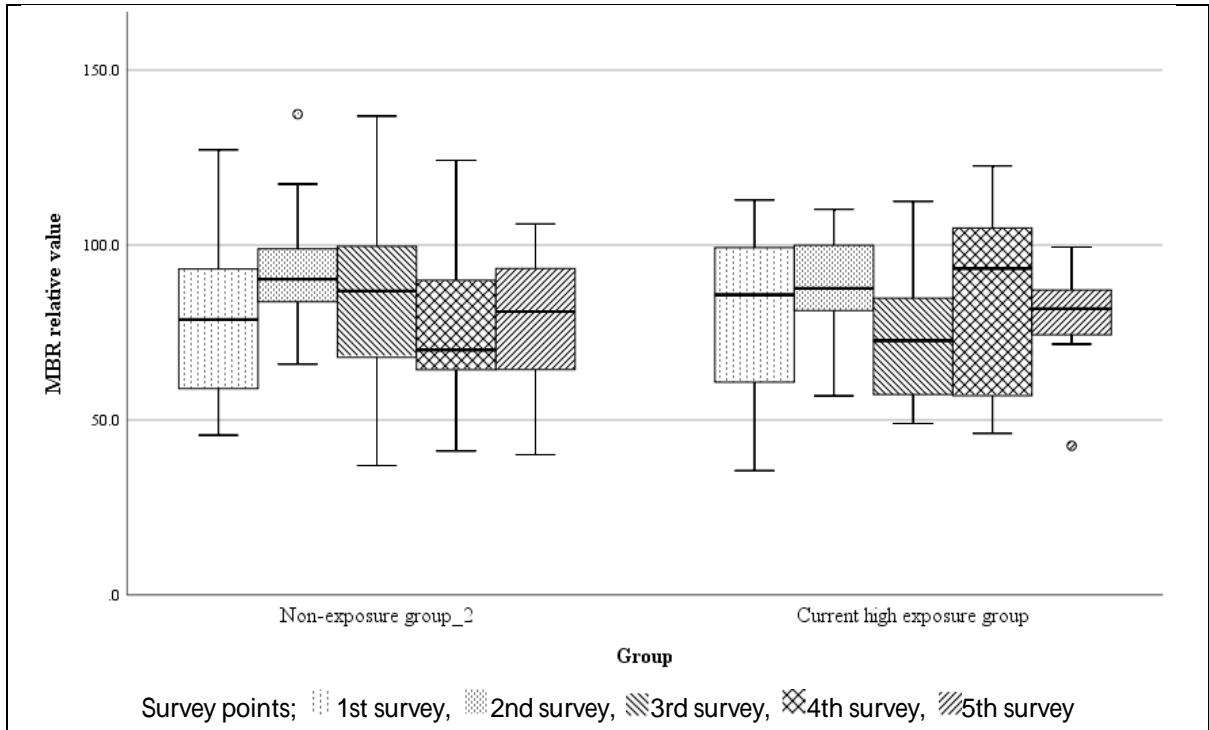


図5p. 環指の回復5分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.663

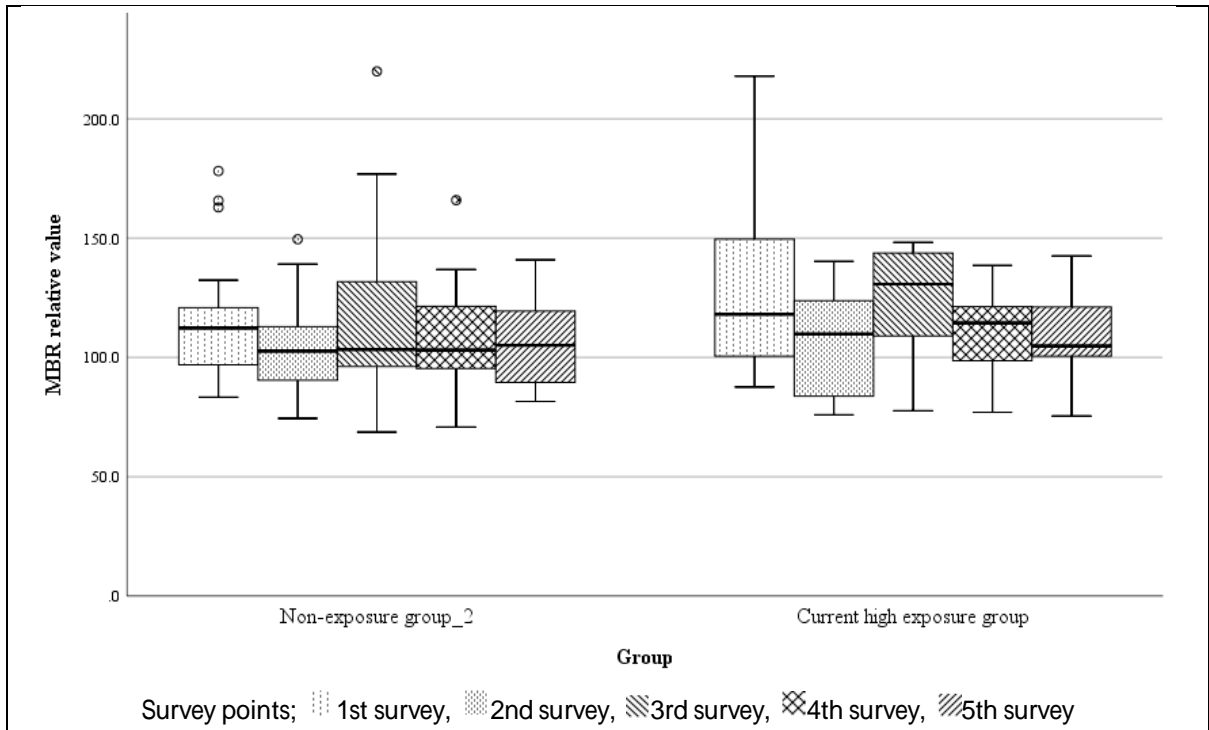


図5q. 示指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.172

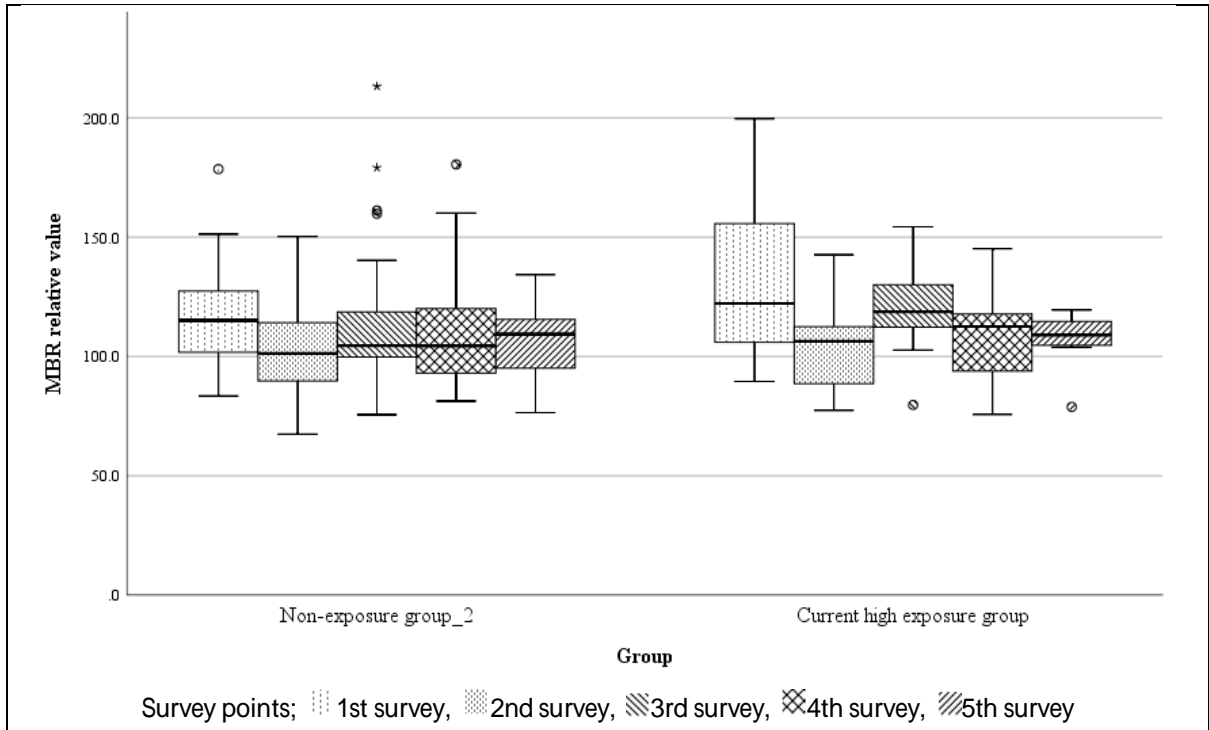


図5r. 中指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.171

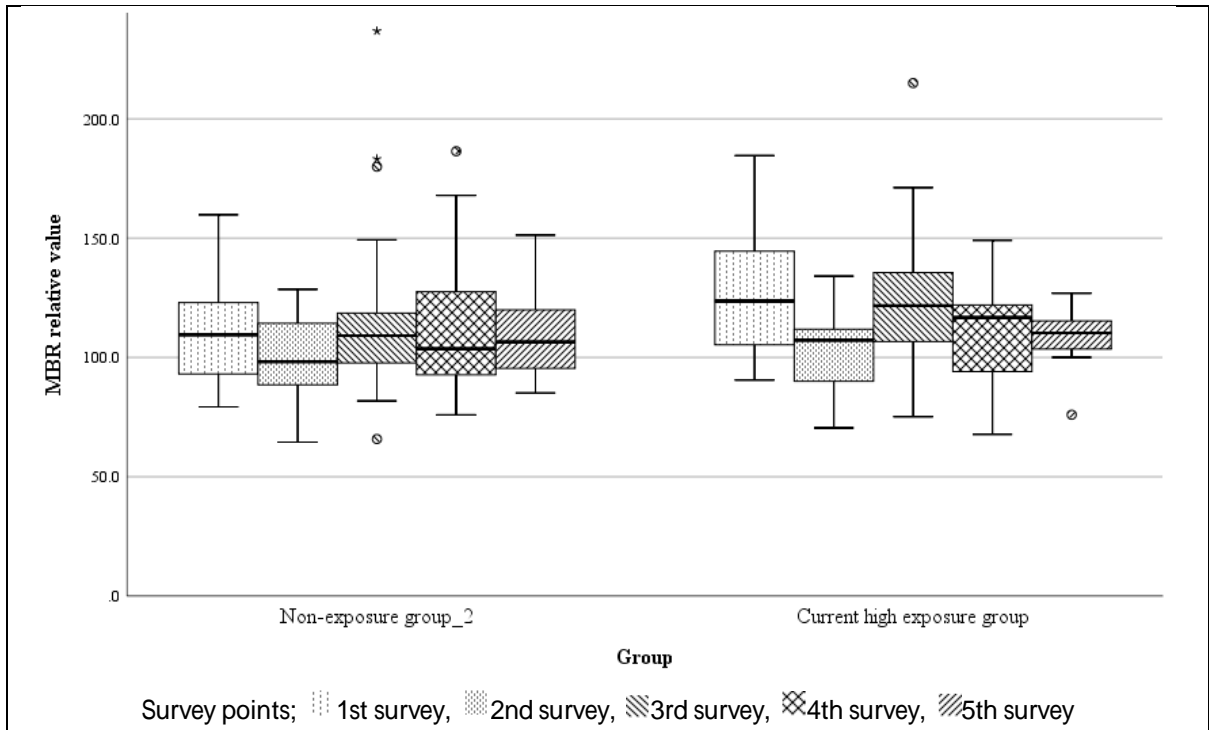


図5s. 環指の回復10分MBR相対値の2群別推移

Group according to cumulative vibration exposure: P=0.092

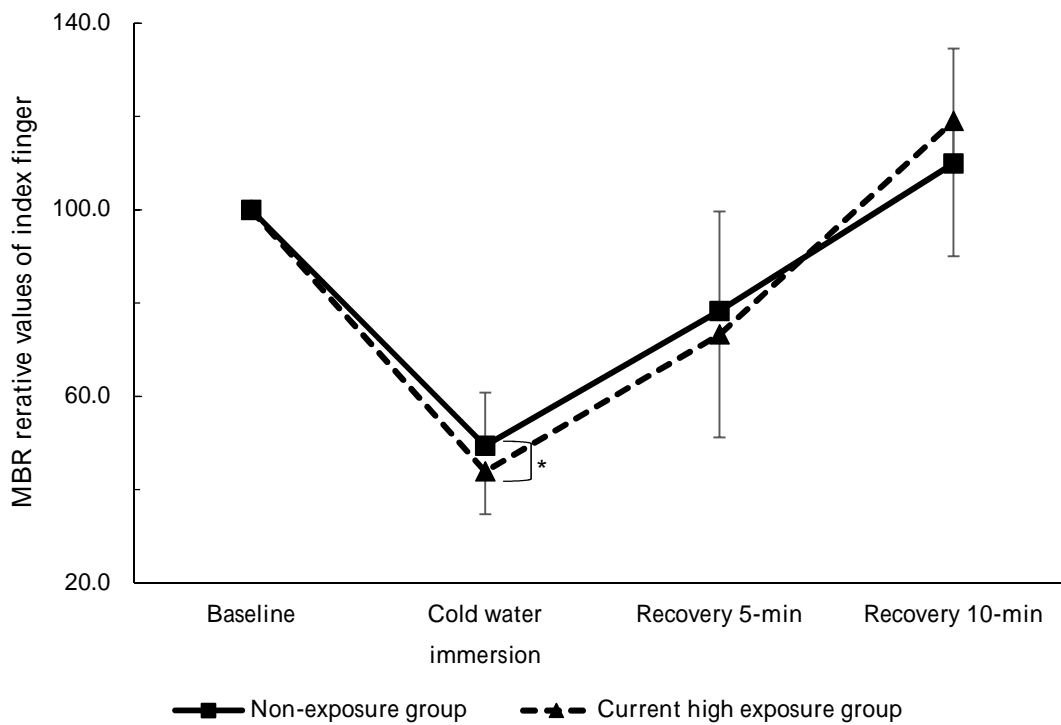


図5t. 示指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

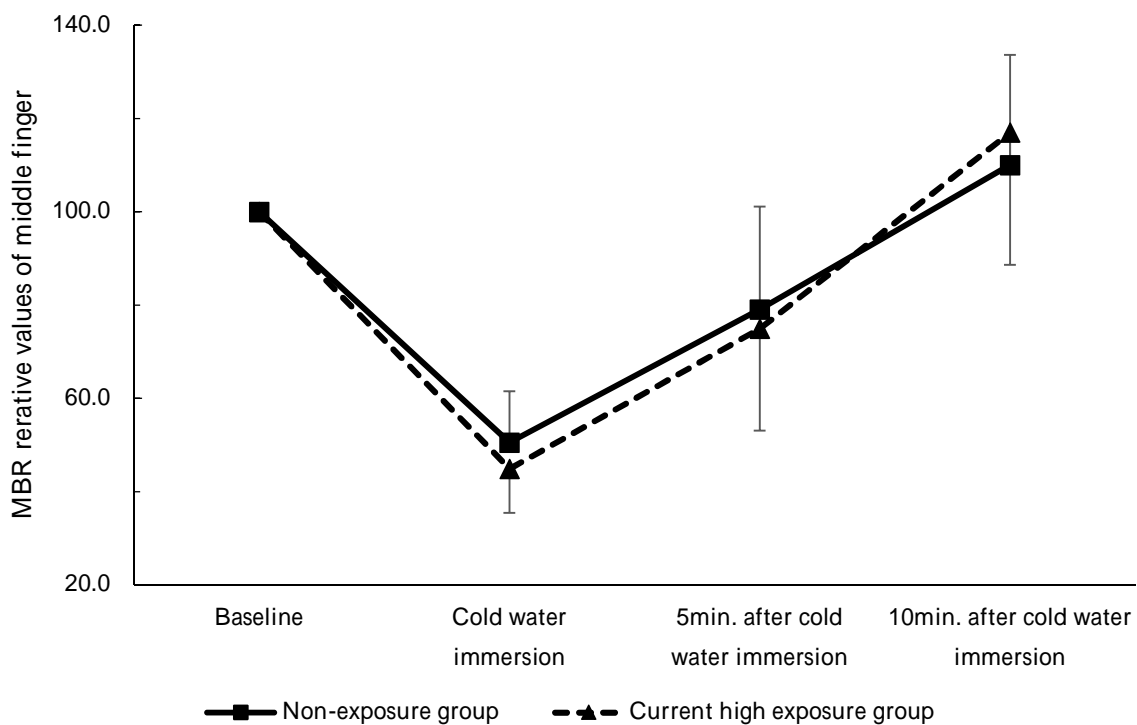


図5u. 中指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移

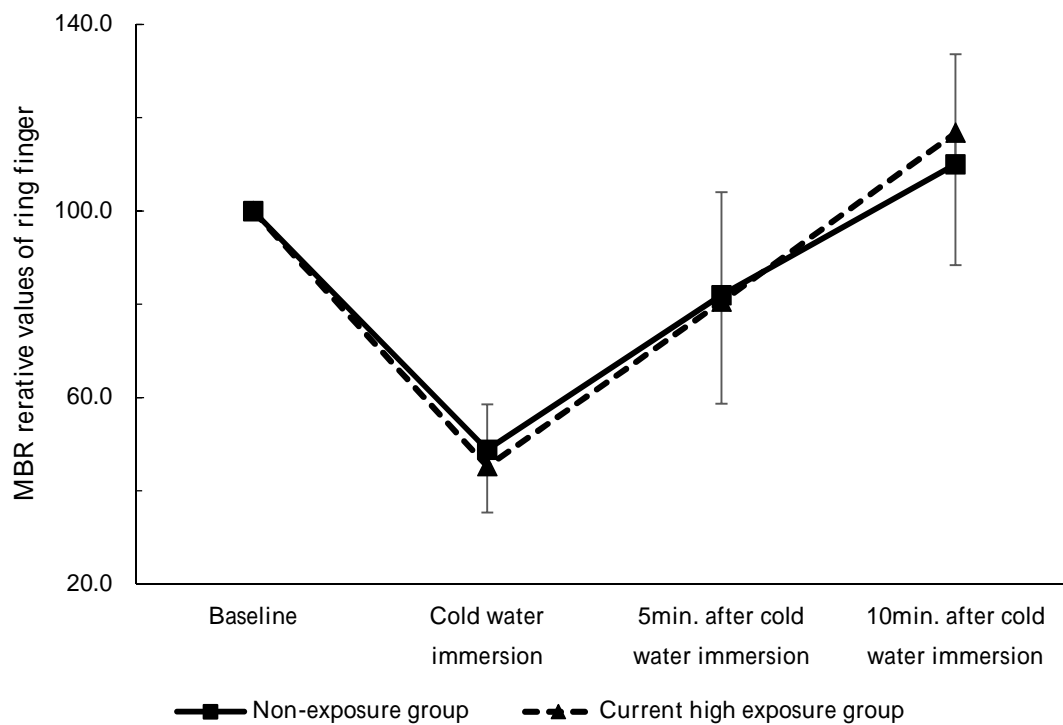


図5v. 環指における冷水浸漬中，回復5分，回復10分の相対MBR値の推移