

労災疾病等13分野医学研究・開発、普及事業
分野名『振動障害』

「振動障害の末梢循環障害、末梢神経障害等の客観的評価法に
係る研究・開発、普及」研究報告書

平成25年12月

独立行政法人 労働者健康福祉機構

「振動障害の末梢循環障害、末梢神経障害等の客観的評価法に係る研究・開発、普及」
研究者一覧

主任研究者	山陰労災病院 振動障害研究センター長	那須 吉郎
分担研究者	山陰労災病院 脊椎整形外科部長	橋口 浩一
	北海道中央労災病院 心臓血管外科部長	朝田 政克
	釧路労災病院 副院長・外科部長	小笠原和宏
	愛媛労災病院 外科部長	木戸 健司
	熊本労災病院 整形外科部長	池田 天史
	九州労災病院 勤労者予防医療センター長	豊永 敏宏
共同研究者	鳥取大学 医学部健康政策医学分野教授	黒沢 洋一
	北海道中央労災病院せき損センター（嘱託医）	藤原 豊

目 次

I	多施設共同研究「頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病がF S B P%におよぼす影響」	1
	【追加研究】振動障害の診断におけるマルチチャンネル・プレチスモグラフィーを用いた冷却負荷指血圧検査の妥当性	9
II	多施設共同研究「振動障害、頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病における振動覚閾値検査、電流知覚閾値」	1 6
	【追加研究1】振動障害の診断のための振動覚閾値検査法の検討	2 3
	【追加研究2】振動障害と糖尿病における振動覚閾値、電流知覚閾値	2 6

I 多施設共同研究「頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病がFSBP%値におよぼす影響」

《目的》

1970年代にNielsenら¹⁾は、手指冷却後の手指血圧測定（FSBP%）を行い、一次レイノー現象の患者の診断に極めて有効であることを報告した。その後、振動障害患者のレイノー現象の診断にも有効であることが多数報告され²⁾⁴⁾、振動障害におけるレイノー現象の診断方法として確立された⁵⁾。一方、振動曝露労働者によく見られる併発症として、頸部脊髄症、変形性脊椎症性神経根症、絞扼性神経障害としての肘部管症候群、手根管症候群、糖尿病がある。我々は、指神経のtendon sheath blockによる完全ブロックの前後でFSBP%値を測定し、ブロック後にFSBP%値が高くなること、頸部脊髄症の患者では健康対照者よりも高くなることを第11回国際手腕振動会議で発表した⁶⁾。これらの疾患がFSBP%値に影響を及ぼすのか、及ぼさないのかを確認しないと、上記のような併発症のある労働者のFSBP%値の評価に問題が生じる可能性が大きいと考える。そのため、多施設共同研究として頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病がFSBP%値におよぼす影響について研究した。

《対象》

独立行政法人労働者福祉機構の多施設共同研究において、研究課題「頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病がFSBP%値におよぼす影響」に北海道中央労災病院、北海道中央労災病院せき損センター、釧路労災病院、山陰労災病院、愛媛労災病院、熊本労災病院から、20歳から79歳までの男性の総数356人の測定結果が集まった。

疾患別対象者の例数と平均年齢を表1に示した。

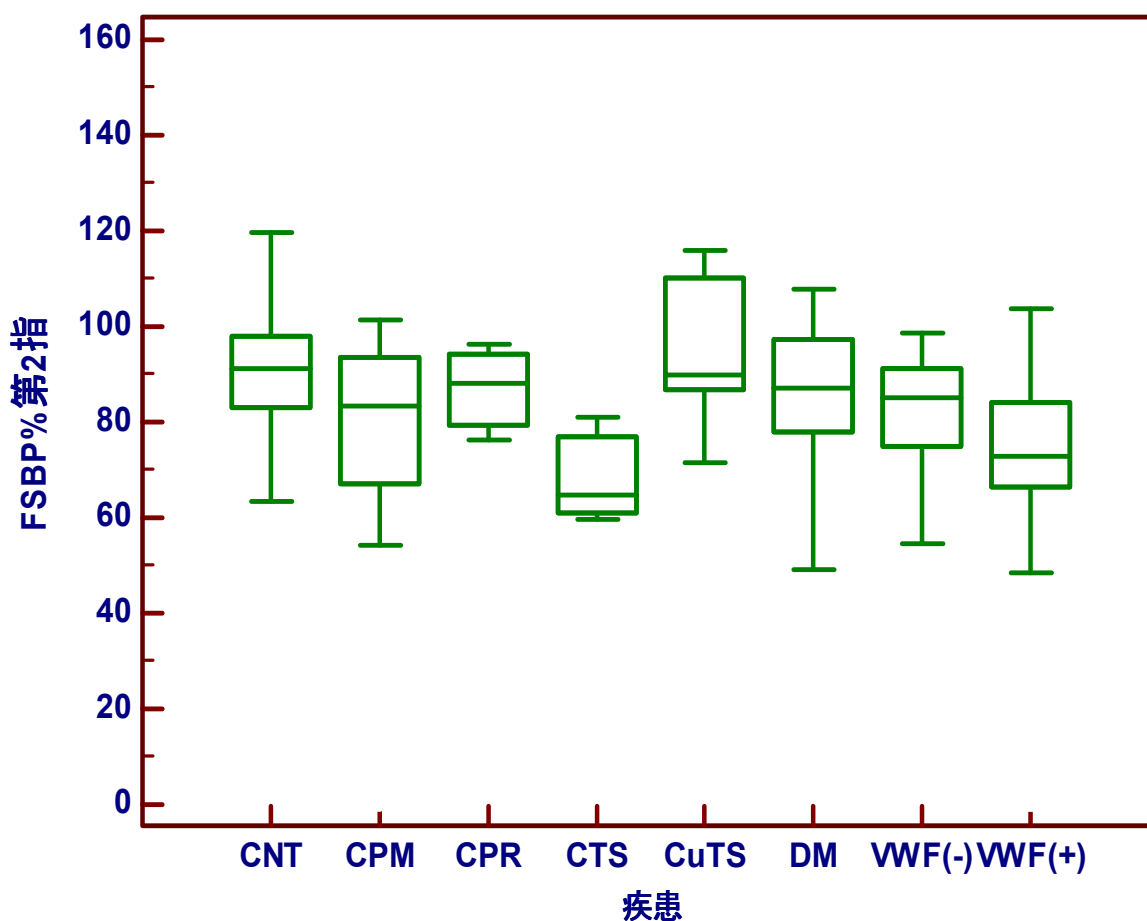
表1 疾患別対象者の平均年齢

	N	年齢
対象 CNT	243	45.8±15.2
頸椎脊髄症 CPM	14	66.1±9.4
頸椎神経根症 CPR	4	66.7±14.8
手根管症候群 CTS	5	63.0±5.7
肘部管症候群 CuTS	8	70.0±9.2
糖尿病 DM	17	58.0±12.9
振動障害性レイノー有 VWF(+)	28	64.9±12.8
振動障害性レイノー無 VWF(-)	23	67.8±10.9

356名の内訳は、患者群 113名（振動工具使用者 65名、頸部脊髄症 14名、頸部神経根症 4名、手根管症候群 5名、糖尿病 17名、肘部管症候群とその他 8名）と正常対照者 243名の合計 356名であった。振動工具使用者 65名は振動障害性のレイノー有り 28人と振動障害性のレイノー無し群 23人にわけ、残りの 14名は他の疾患を合併しており研究対象から除外した。

《結果》

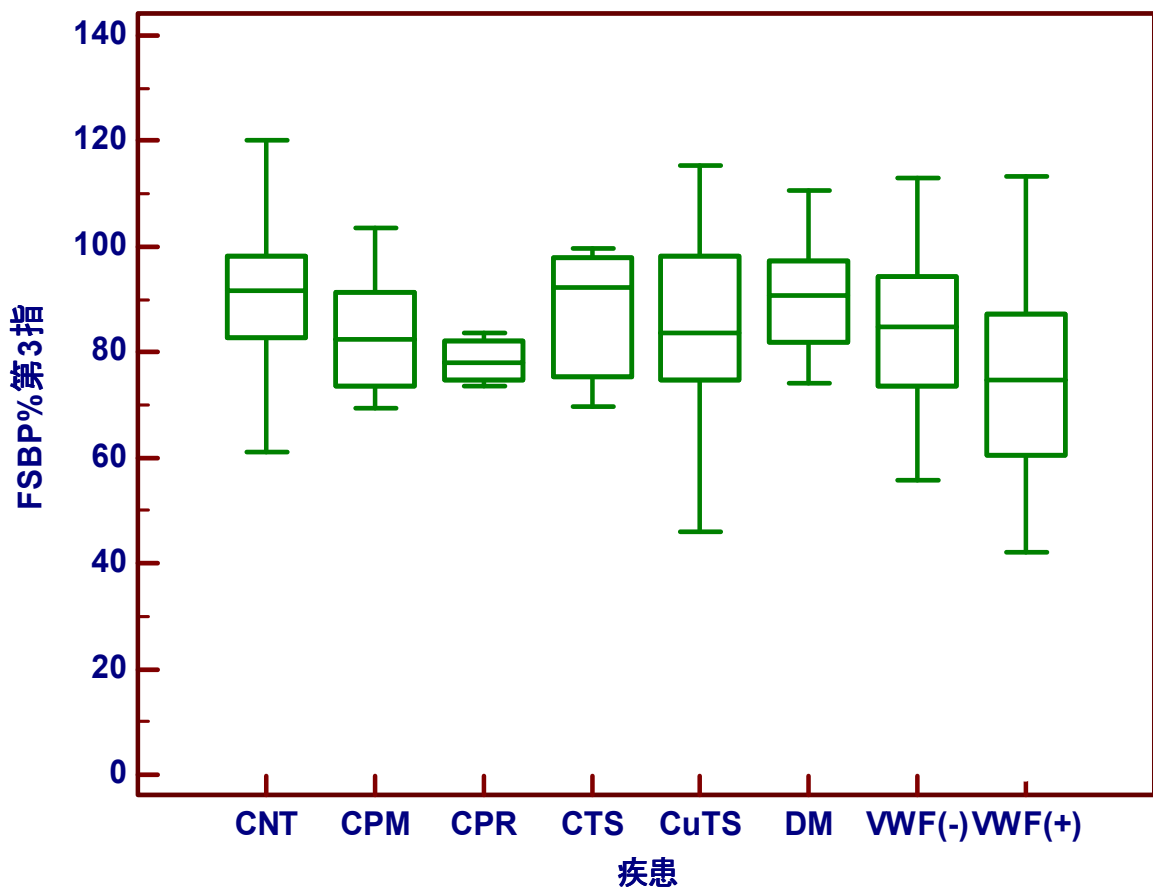
図1に疾患別の第2指のFSBP%（箱ひげ図）を示した。分散分析後の多重比較においてDunnnettの検定法を用いて対照群と有意の差があったのは、振動障害性のレイノー有り群のみであった。対照群の25パーセンタイル値よりも中央値が低い値を示した疾患は、頸椎脊髄症、手根管症候群、振動障害性のレイノー有り群であった。



CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群 CuTS:肘部管症候群
DM:糖尿病 VWF(-):振動障害レイノー無 VWF(+):振動障害レイノー有

図1 疾患別のFSBP%(第2指)

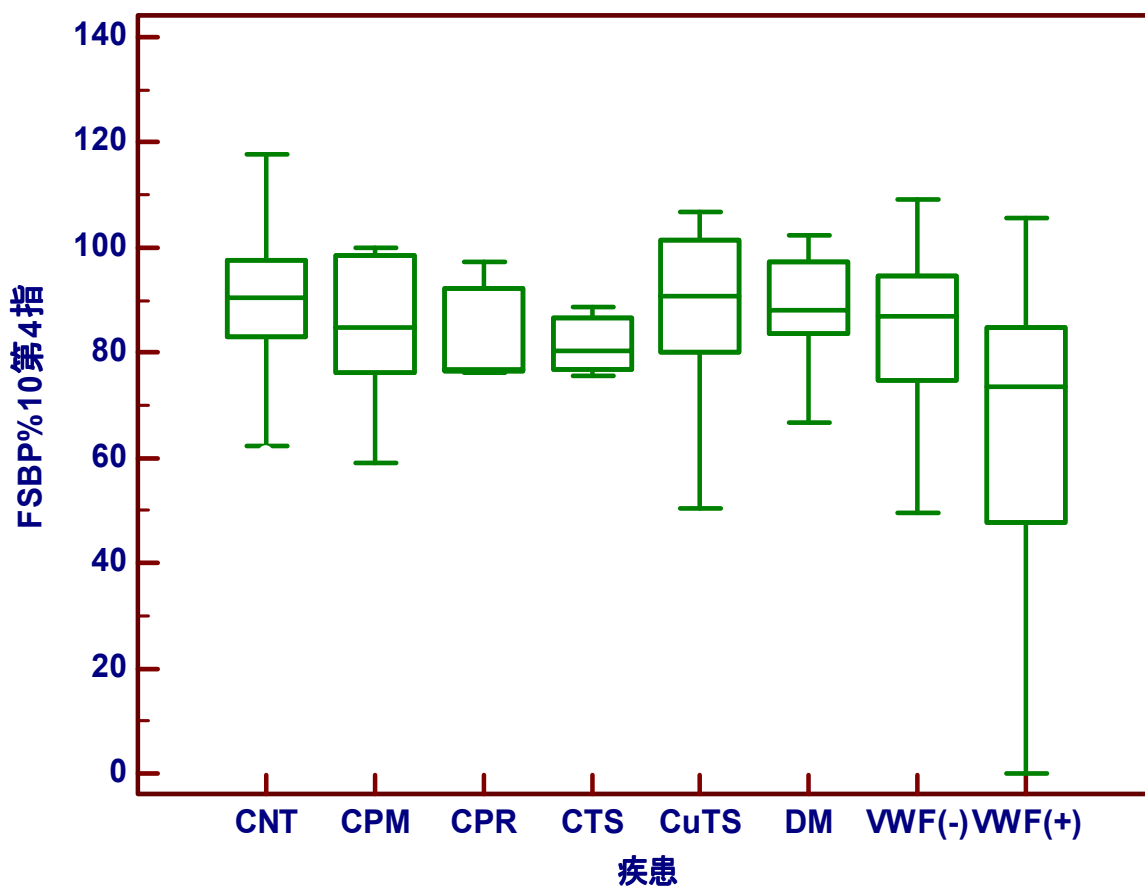
図2に疾患別の第3指のFSBP% (箱ひげ図) を示した。多重比較のDunnnettの検定法で、対照群と有意の差があったのは、振動障害性のレイノー有り群であった。対照群の25パーセンタイル値よりも中央値が低い値を示した疾患は、頸椎脊髄症、頸椎神経根症、振動障害性のレイノー有り群であった。



CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群 CuTS:肘部管症候群
DM:糖尿病 VWF(-):振動障害レイノー無 VWF(+):振動障害レイノー有

図2 疾患別のFSBP%(第3指)

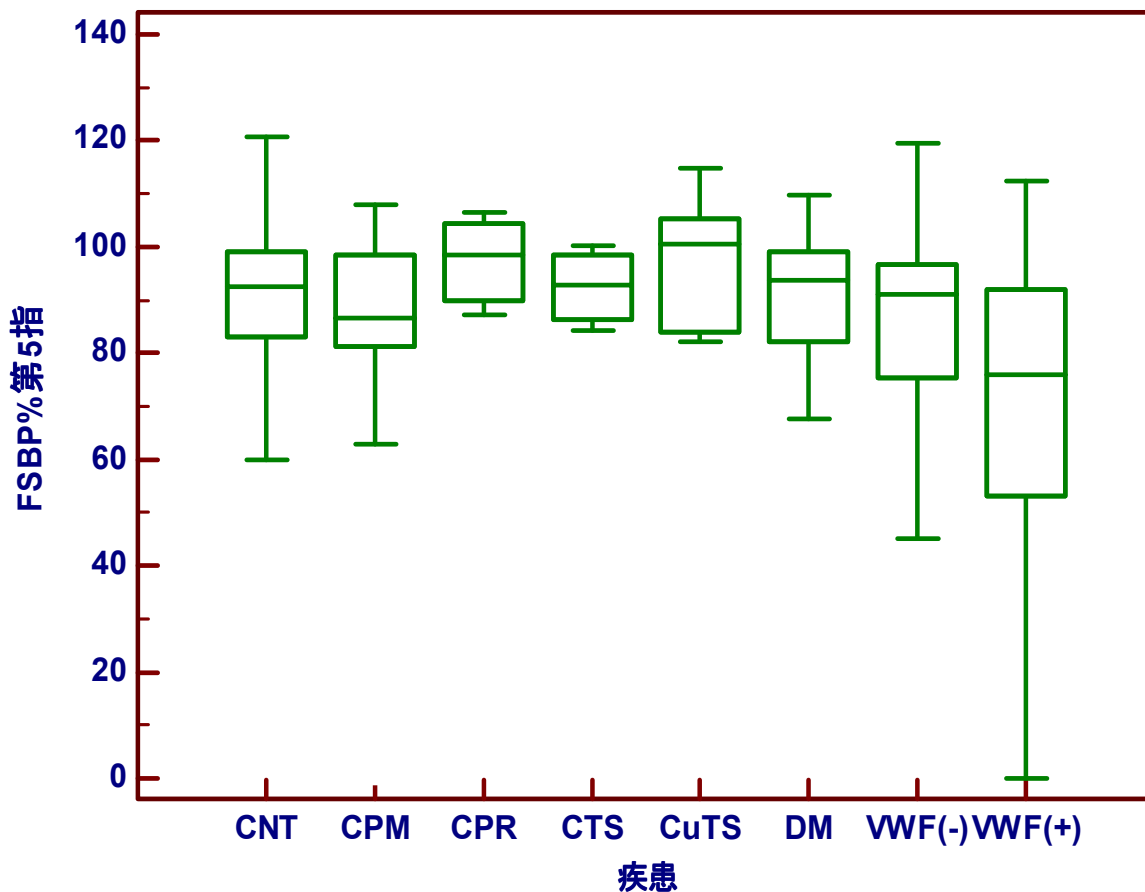
図3に疾患別の第4指のFSBP%（箱ひげ図）を示した。振動障害性のレイノー有り群のみ統計学的に低値を示した。対照群の25パーセンタイル値よりも中央値が低い値を示した疾患は、頸椎神経根症、手根管症候群、振動障害性のレイノー有り群であった。



CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群 CuTS:肘部管症候群
 DM:糖尿病 VWF(-):振動障害レイノー無 VWF(+):振動障害レイノー有

図3 疾患別のFSBP%(第4指)

図4に疾患別の第5指のFSBP%（箱ひげ図）を示した。振動障害性のレイノー有り群のみ統計学的に低値を示した。対照群の25パーセンタイル値よりも中央値が低い値を示した疾患は、振動障害性のレイノー有り群のみであった。



CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群 CuTS:肘部管症候群
DM:糖尿病 VWF(-):振動障害レイノー無 VWF(+):振動障害レイノー有

図4 疾患別のFSBP%(第5指)

《考察》

これまで、振動障害診断時に考慮すべき頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病等の疾患のFSBP%値に与える影響の研究は極めて少なかった。そのため、今回の疾患別のFSBP%値を比較した。疾患別対象者の年齢に差がみられる点が問題であるが、FSBP%値は年代の影響が比較的少ないことがわかっているので⁷⁾、今回の対象者でも比較可能と考えた。

振動障害のレイノー現象有り群は、第2～5指でFSBP%値が対照群に比較して統計学的に有意に低下した。例数が少なく統計学的には有意ではないが、頸部脊髄症では第2、3指で、頸椎性神経根症群では第3、4指で、手根管症候群では、第2、4指で、FSBP%値が低下する傾向があった。糖尿病、肘部管症候群では対照群との差はほとんど見られなかった。一方、頸部脊髄症で以前の高値を示す報告と逆の結果になったことについては、麻痺の程度が関与しているかもしれない。

《まとめ》

振動障害のレイノー現象有りは、第2～5指でFSBP%値が統計学的に有意に低下した。例数が少なく統計学的には有意ではないが、頸部脊髄症では第2、3指で、頸椎性神経根症群では、第3、4指で、手根管症候群では、第2、4指で、FSBP%値が低下する傾向があった。FSBP%値においては、これらの疾患の鑑別は念頭に置く必要がある。糖尿病、肘部管症候群では対照群との差はほとんど見られなかった。頸部脊髄症で高値を示さなかったことについては、麻痺のレベルが関与しているかもしれない。

参考文献

- 1) Nielsen SL. :Raynaud phenomena and finger systolic pressure during cooling. Scand J Clin Lab Invest 38, 765-770 1978.
- 2) Olsen N, Nielsen SL, Voss P :Cold response of digital arteries in chain saw operators. Br J Ind Med 38: 82-88 1982.
- 3) Kurozawa Y, Nasu Y, Nose T: Diagnostic value of finger systolic blood pressure in the assessment of vasospastic reactions in the finger skin of vibration-exposed subjects after finger and body cooling. Scand J Work Environ Health 17: 184-189 1991.
- 4) Bovenzi M: Vibration white finger, digital systolic blood pressure, and some biochemical findings on workers operating vibrating tools in the engine manufacturing industry. Am J Ind Health 14: 575-584 1988.
- 5) International Standard Mechanical vibration and shock -Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function-Part 2 Measurement and evaluation of finger systolic blood pressure. ISO 14835-2 2005.
- 6) Nasu Y and Kurozawa Y. :Influence of peripheral neural disturbances and cervical myelopathy on FSBP%; an experimental study. Proceedings 11th international Conference on Hand-Arm Vibration. p81-86,2007, Bologna Italy, June 2007
- 7) Bovenzi M: Digital arterial responsiveness to cold in healthy men, vibration white finger and primary Raynaud' s phenomenon. Scand J Work Environ Health 19: 271-276 1993..

【追加研究】

振動障害の診断におけるマルチチャンネル・プレチスモグラフィーを用いた冷却負荷指血圧検査の妥当性

振動障害の診断は上肢の末梢循環障害、末梢神経障害、筋骨格系の障害のそれぞれについて行うが、末梢循環障害の評価の重要なポイントはレイノー現象の有無の確認である。1970年代にNielsenら¹⁾は、手指冷却後の手指血圧測定(FSBP%)を行い、一次レイノー現象の患者の診断に極めて有効であることを報告した。その後、振動障害患者のレイノー現象(Vibration-induced white finger VWF)の診断にも有効であることが多数報告された²⁾¹¹⁾。このような研究結果に基づいて2005年にISOはこの方法の測定条件の標準化を行った¹²⁾。従来の方法は、**図1a**に示したように、1指のFSBP%の測定法であった²⁾¹¹⁾。測定条件の標準化の中で、4指を同時測定するマルチチャンネル・プレチスモグラフィーを用いた冷却負荷指血圧検査も推奨された(**図1b**)。この方法は、従来の測定法の装置に比べ同時に4指測定できる利点がある。しかし、我が国では、この方法による診断の妥当性についての報告はまだない。今回の「頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病がFSBP%値におよぼす影響」では、4指を同時測定するマルチチャンネル・プレチスモグラフィーを用いた冷却負荷指血圧検査を行った。そのため、本法による診断の妥当性をまとめたので、報告する。

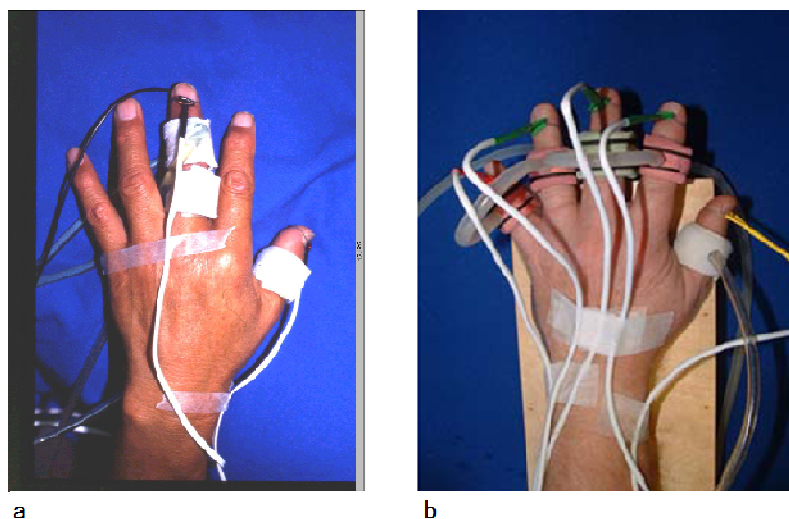


Fig 1 Measurement of finger systolic blood pressure after finger cooling
a: Plethysmography on one test finger and one reference finger
b: Multi-channel plethysmography on four test fingers and one reference finger

図 1

《対象と方法》

対象は、北海道中央労災病院、北海道中央労災病院せき損センター、釧路労災病院、山陰労災病院、愛媛労災病院、熊本労災病院が参加する多施設共同研究「FSBP%に及ぼす頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病の影響に関する研究」（独立行政法人労働者福祉機構）において、報告のあった振動障害患者 65 名と健常対照者 243 名を対象とした。振動障害患者 65 名のうち、手根管症候群、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病、肘部管症候群のいずれかを合併した 14 名を除いた 51 名を症例として、健常対照者を年齢（±2 歳）と施設をマッチングしたところ、34 ペアの症例・対照が得られた。さらに、過去にレイノー現象を有しない症例、過去 2 年間以上レイノー現象を経験しない症例を含むペアを除外して振動障害症例・対照 22 ペアを分析対象とした。

冷却負荷指血圧測定には、マルチチャンネル・プレチスモグラフィー (HVLab ISVR サザンプトン大学 UK) を用いた。第 1 指に圧測定用のカフを右手第 2～5 指の中節に冷却・圧測定用カフを、末節に指の容積変化を検出する strain-gauge を装着した (図 1-b)。指の中節に巻いたカフに 10℃の冷水を上腕収縮期以上の圧をかけながら循環させ指を 5 分間の冷却した後手指収縮期血圧を測定した。これを負荷温度 35℃と 10℃で繰り返し、第 2～5 指の冷却前手指収縮期血圧に対する冷却後の値の割合 FSBP%を求めた。測定は、夏期を除いた期間、室温 21℃で 30 分の安静後行った。被験者には測定前に十分に説明し、同意を得た。本研究を行うにあたり、労働者健康福祉機構の倫理審査委員会の承認を得た。

統計学的分析は、SPSS を用いて、対応のある 2 群の差の比較には Wilcoxon の符号付和検定を行った。ROC 曲線の作成・分析には、Medcal を用いた。また、ROC 曲線下面積 (AUC: area under the curve) = 0.5 に対する有意差検定を行った。

《結果》

対象とした振動障害症例 (HAVS)・対照 (controls) 22 ペアの特徴を表 1 に示した。振動障害患者は過去 2 年以内にレイノー現象を経験したある人で、平均工具使用年数は 20.3 年であり、振動暴露中止後平均 16.4 年が経過している。ストックホルムスケールの血管障害の症度の分布は、ステージ 1, 2, 3 がそれぞれ 4 人、11 人、7 人であった。尚、使用工具は、チェーンソー 4 人、ピックハンマー・削岩機 10 人、グラブダー 4 人、その他 4 人であった。

表1 患者背景

	対照	VWF
例数	22	22
年齢	61.8±12.2	61.3±12.3
曝露期間(年)		20.3±11.6
工具使用中 中止後 期間(年)		16.4±14.6

表2に对照群と振動障害患者の第2～5指のFSBP%値を示した。振動障害患者は对照群に比較して4指すべてで、FSBP%値が統計学的に有意に低下(p<0.01)していた。

表2 对照と振動障害患者の第2～5指のFSBP%値

	例数	第2指	第3指	第4指	第5指
对照	22	91.5(71.0-142.8)	94.7(77.8-125.3)	93.0(79.0-139.0)	94.9(66.8-131.6)
VWF	22	77.4(0.0-108.0)*	72.8(0.0-113.2)*	74.6(0.0-105.5)*	73.6(0.0-112.2)*

中央値(範囲)

*p<0.01

表3に、ROC曲線下面積(AUC: area under the curve)と最適のカットオフ値と感度と特異度を示した。第3指のAUCは0.842であり他の指に比較して高い値を示した。図2に第3指のFSBP%値によるVWF診断のROC曲線を示した。第3指の最適のカットオフ値は82.7%で、感度と特異度は、それぞれ72.7%、95.5%と比較的高かった。

表3 FSBP%値によるVWF診断のROC曲線下面積(AUC: area under the curve)

	第2指	第3指	第4指	第5指
AUC	0.758*	0.842**	0.832**	0.743*
Cut-off FSBP%=80%				
Sensitivity	59%	68%	59%	55%
Specificity	86%	95%	95%	91%
Cut-off FSBP%=85%				
Sensitivity	68%	73%	72%	64%
Specificity	77%	90%	86%	87%
AUC=0.5に対する有意差		*p<0.01	**p<0.001	

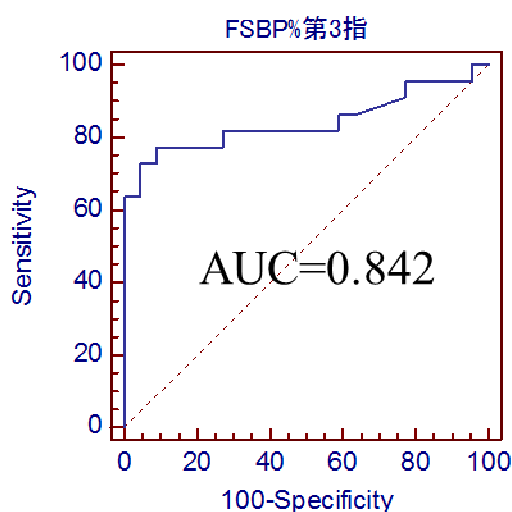


図2 第3指のFSBP%値によるVWF診断のROC曲線

《考察》

マルチチャンネル・プレチスモグラフィーを用いた Poole ら¹³⁾の報告では、敏感度が低いと報告されている。彼らの研究では、91%から 95.2%の特異度に対して、敏感度は 44%から 61%であった。第3指では、特異度 95.2%に対して、敏感度は 52.4%であった。今回の研究では、第3指で比較すると、特異度 95.5%に対して、敏感度は

72.7%であり、Poole¹³⁾らの報告よりも今回の研究の敏感度高い。その違いとしては、室温が考えられる。Pooleらは、室温 $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ であり、今回の研究では $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ と、 1°C 低い。室温は測定結果に影響を与えることはよく知られており、低い室温では寒冷負荷が強くなり、FSBP%値が低下し、敏感度が高くなる。ただ、室温を下げすぎると被験者の苦痛などにより測定が不安定となる。そのため、ISO 14835-2 の国際標準¹²⁾ では、室温 $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ が推奨されている。そのため、Pooleらの低い敏感度は、室温が高いことと関連していると推察される。

これまでの多くのFSBP%測定の研究では、1指のFSBP%の測定法であった。その報告と比較すると、4指を同時測定するマルチチャンネル・プレチスモグラフィを用いたFSBP%測定の敏感度は低いかもしれない。方法論的原因としては、1指のFSBP%測定法では、最も症状の強い指で行うことや、図1で示したように、基節部の閉塞用のカフが指の冷却効果を高めることにより、敏感度が高くなったと考えられる¹⁴⁾。別の原因として、対象者の違いが考えられる。今回の研究では、振動障害患者の多くは、振動暴露を中止して、平均16年が経過しており、症状の軽減がみられ、FSBP%に影響していると考えられる。

今研究の問題点としては、対象者が少ないことや、前述したように、振動暴露後の長期間経過したことによる影響があげられる。このようなことから、今回用いたカットオフ値をそのまま診断に適用することは問題がある。今後振動暴露中止数年以内の症例を増やして検討する必要があるといえる。

以上いくつかの問題点はあるが、振動障害の末梢循環障害の診断に関してISO 14835-2の国際標準もとづくマルチチャンネル・プレチスモグラフィを用いた冷却負荷指血圧検査は概ね妥当であるといえる。

《結論》

振動障害の末梢循環障害の診断に関して、マルチチャンネル・プレチスモグラフィを用いた冷却負荷指血圧検査の診断は比較的妥当な診断法といえる。

参考文献

- 1) Nielsen SL and Lassen NA: Measurements of digital blood pressure after local cooling. *J Appl Physiol* 43, 907-910,1977.
- 2) Olsen N, Nielsen SL: Diagnosis of Raynaud's phenomenon in quarrymen's traumatic vasospastic disease. *Scand J Work Environ Health* 5: 249-256 1979.
- 3) Ekenvall L, Lindblad LE: Digital blood pressure after local cooling as a diagnostic tool in traumatic vasospastic disease. *Br J Ind Med* 39: 388-391,1982.
- 4) Olsen N, Nielsen SL, Voss P : Cold response of digital arteries in chain saw operators. *Br J Ind Med* 38: 82-88,1982.
- 5) Ekenvall L, Lindblad LE: Vibration white finger and digital systolic pressure during cooling. *Br J Ind Med* 43: 280-283, 1986.
- 6) Bovenzi M: Vibration white finger, digital systolic blood pressure, and some biochemical findings on workers operating vibrating tools in the engine manufacturing industry. *Am J Ind Health* 14: 575-584, 1988.
- 7) Olsen N. Diagnostic test in Raynaud's phenomena in workers exposed to vibration: a comparative study. *Br J Ind Med* 45: 426-430,1988.
- 8) Kurozawa Y, Nasu Y, Nose T : Diagnostic value of finger systolic blood pressure in the assessment of vasospastic reactions in the fingerskin of vibration-exposed subjects after finger and body cooling. *Scand J Work Environ Health* 17: 184-189, 1991.
- 9) Kurozawa Y, Nasu Y, Oshiro H: Finger systolic blood pressure measurement after finger cooling. Using the Laser-Doppler method for assessing vibration-induced white finger. *J Occup Med* 34: 683-686,1992.
- 10) Bovenzi M: Digital arterial responsiveness to cold in healthy men, vibration white finger and primary Raynaud's phenomenon. *Scand J Work Environ Health* 19: 271-276,1993.
- 11) Bovenzi M: Finger systolic blood pressure indices for the diagnosis of vibration-induced white finger. *Int Arch Occup Environ Health* 75: 20-28,2002.
- 12) International Standard: Mechanical vibration and shock –Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function-Part 2 Measurement and evaluation of finger systolic blood pressure. ISO 14835-2 2005.

- 13) Poole K, Elms J and Mason H J. The diagnostic value of finger systolic blood pressure and cold-provocation testing for the vascular component of hand-arm vibration syndrome in health surveillance. *Occupational Med* 54;520-527,2004.
- 14) Kurozawa Y, Nasu Y, Oshiro H: Finger systolic blood pressure measurement after finger cooling. Using the Laser-Doppler method for assessing vibration-induced white finger. *J Occup Med* 34: 683-686,1992.

II 多施設共同研究「振動障害、頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病における振動覚閾値検査、電流知覚閾値」

《目的》

振動障害の末梢神経障害の評価に関する検査法の有用性に関する多施設での検討を行う目的で、force choice method で測定された振動覚閾値、von Bekesy 法による振動覚閾値、電流知覚閾値（Current Perception Threshold CPT）検査の比較を行った。そこで今回、末梢神経障害をきたす頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病等と振動障害の鑑別診断における検討を行った。

《対象と方法》

1. 対象者

北海道中央労災病院、北海道中央労災病院せき損センター、釧路労災病院、山陰労災病院、愛媛労災病院、熊本労災病院が参加する多施設共同研究「振動障害の末梢神経障害の客観的検査法としての振動覚閾値検査、痛覚閾値、触覚閾値、電流知覚閾値、末梢神経伝導速度の有効性に関する研究」（独立行政法人労働者健康福祉機構）に参加した、患者群 113 名と対照者群 243 名とした。

対象者の疾患別の人数と平均年齢を表 1 に示した。

表1 対象者疾患別の平均年齢と標準偏差

	N	平均値	標準偏差
対 照	243	45.8	15.2
振動障害	65	64.3	13.0
頸部脊髄症	14	66.7	9.4
脊椎症性神経根症	4	46.8	14.8
手根管症候群	5	63.0	5.7
肘部管症候群	8	70.4	9.2
糖尿病	17	58.0	12.9

2. 測定法

振動覚閾値検査は、リオン社製と HVLab 社製の 2 種類の方法で行い、電流知覚閾値検査 (Current Perception Threshold) 値をニューロメーター (Neurometer, Neurotron, Inc, Baltimore) による 2,000Hz, 250Hz, 5Hz で測定し、それぞれの値を対照者と各疾患の患者で比較した。測定部位は、第 2、5 指とした。測定時期は 2010 年 10 月～2012 年 2 月で、室温は 24℃とし、測定前 30 分入室し、室内環境に順化した。手指の皮膚温>30℃とした。

force choice method

リオン社振動覚計 02 型を用いて測定した。手掌を水平に保ち、指を軽く伸ばし、指先を軽く振動子に接触させて測定した。検査者が閾値を 2.5dB ずつ上げ(上昇法)、感知するか否かを聞き (force choice method)、その操作を 2～3 度繰り返して閾値を決定した強さの異なる刺激を与え、その刺激毎に、その刺激を認知できるか否かの応答を求め、閾値を決定した。

von Bèkèsy method

HVLab 社の Vibrotactilometer を用いて測定した。測定は測定周波数で、刺激レベルを徐々に弱いレベルから高いレベルに上昇し、その後、再び弱いレベルに下降させる。被検者は振動を感受している間、反応ボタンを押し続ける。この操作を繰り返し、その平均値から閾値を求め、信憑性を確保しようとする方法で、von Bèkèsy 法または up-down 法とも言う。HVLab 振動覚計では、指先を振動子に接触させ、一定の接触圧 (0.7～2.3N) で振動子を押しように指示し、その圧迫力を被検者自身がモニターした。なお、現在、日本で入手可能な Bèkèsy 法の振動覚計は HVLab 社の Vibrotactilometer とリオン社振動覚計 06 型の 2 つがある。

Current Perception Threshold (CPT 電流知覚閾値)

電流知覚閾値 (Current Perception Threshold、以下 CPT と略) 検査では、Neurometer (Neurotron, Inc, Baltimore) を用いて三種類の正弦波電流 (2,000Hz, 250Hz, 5Hz) による刺激を加え、それぞれの刺激に対する閾値を測定する方法である。測定部位は第 2 指と第 5 指で測定した。直径 1cm の 2 対の電極を指の末節の外側 (内側と外側) に接着した。刺激の強さの変化、刺激を加えるタイミング等を検査する側、される側ともに知ることのできない状態で検査する auto-mode 法で、刺激の強さを 0～9.99mA (0～999) の範囲で変化させ、感知しはじめる付近で刺激の強さを 0.04mA 単位で増減し、繰り返し測定し、刺激を感知する最小の電流の強さ、

つまり電流知覚閾値を決定した。

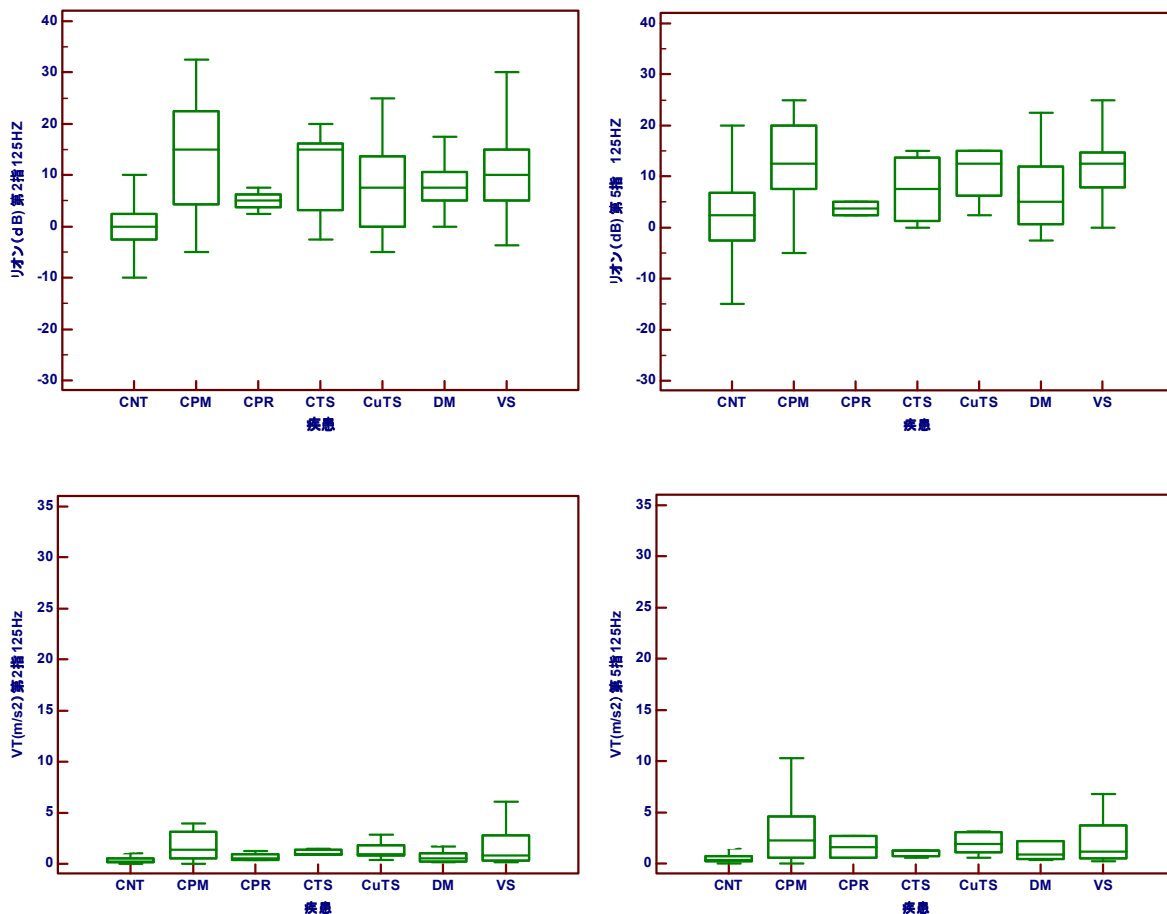
《結果》

1. 振動覚閾値

振動覚閾値検査は、施設や年齢の影響を受けるので、あくまで傾向として結果を示す。高値の傾向は、中央値が対照群の75パーセンタイルより高い場合とした。尚、施設や年齢をマッチングした結果は追加研究で報告する。

振動覚閾値検査の結果を図1に示した。リオン社製（図上段）125Hzでは、第2指で振動障害、頸部脊髄症、頸椎性神経根症、手根管症候群、糖尿病で高値の傾向であった。第5指では、振動障害、頸部脊髄症、肘部管症候群で高値の傾向であった。

HVLab社製（図下段）125Hzでは、第2指は振動障害、頸部脊髄症、手根管症候群、肘部管症候群で高値の傾向であり、第5指は振動障害、頸部脊髄症、頸椎性神経根症、手根管症候群、糖尿病、肘部管症候群で高値の傾向があった。

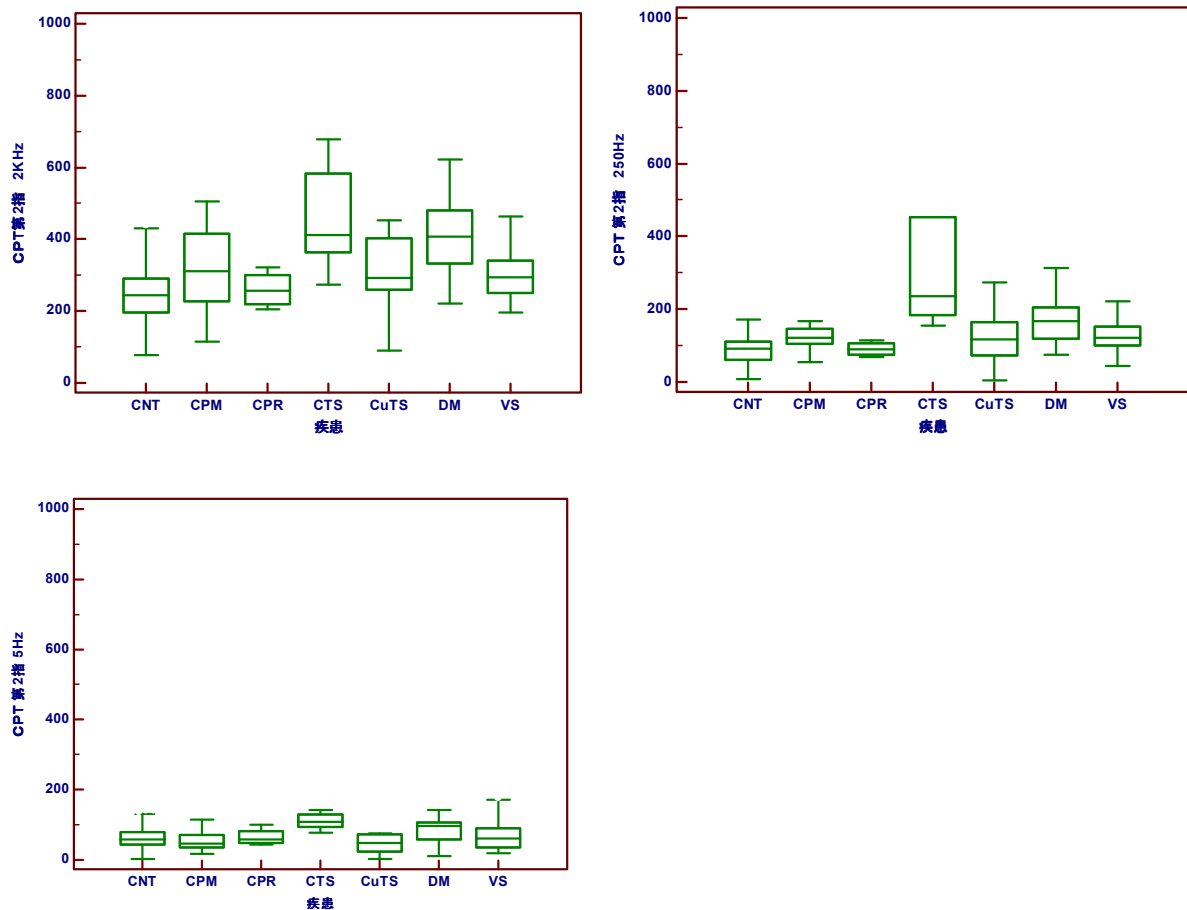


CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群
CuTS:肘部管症候群 DM:糖尿病 VS:振動障害

図1 対照群と各疾患群の振動覚閾値(上段:リオン社製 下段:HVLab社製)

2. 電流知覚閾値検査 (CPT)

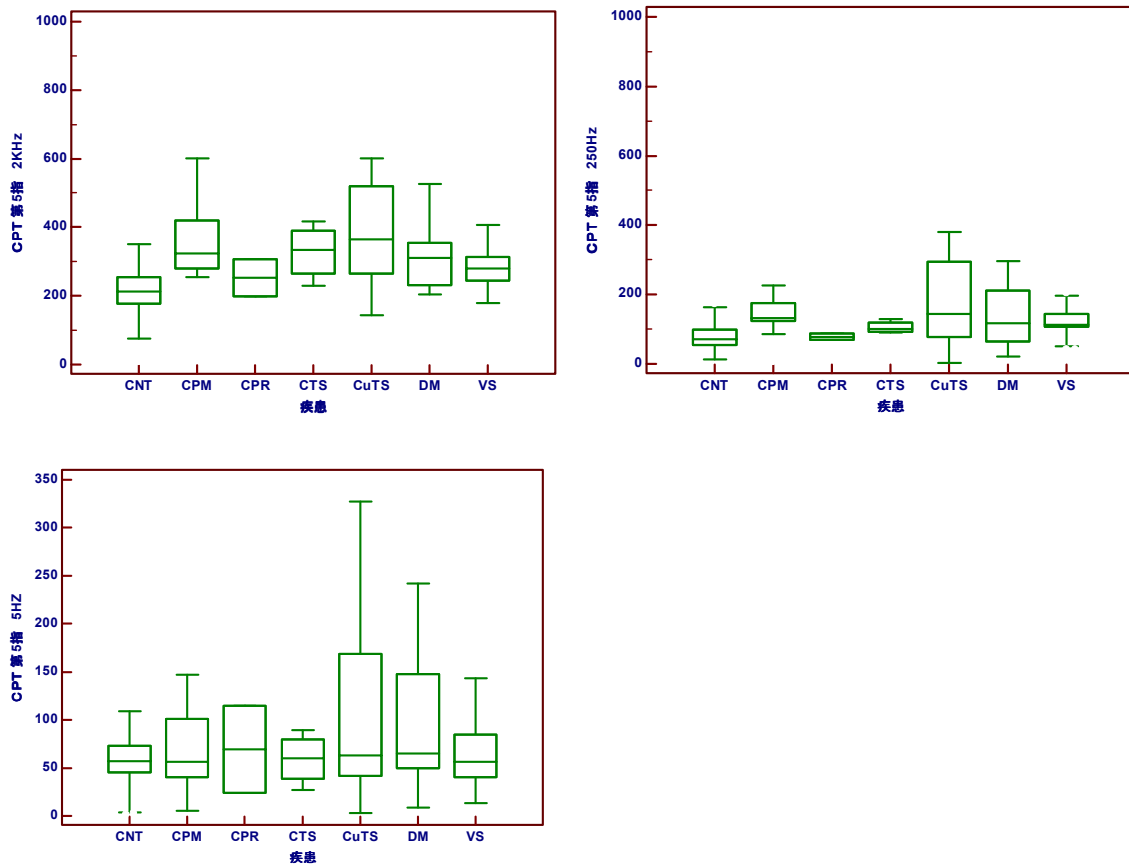
図2に対照者と各疾患別の第2指における2000Hz、250Hz、5Hzでの電流知覚閾値(CPT)を示した。振動障害、頸部脊髄症は、2000Hz、250Hzで高値の傾向があるが、5Hzではその傾向はみられなかった。糖尿病、手根根幹症候群では、第2指の2000Hz、250Hzだけでなく、5Hzでも高い傾向がみられた。図3に対照者と各疾患別の第5指における2000Hz、250Hz、5HzでのCPTを示した。第5指では肘部管症候群において2000Hz、250Hzで高値の傾向があった。



単位 (100=1mA)

CNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群
 CuTS:肘部管症候群 DM:糖尿病 VS:振動障害

図2 対照者と各疾患別のCPT値 (第2指)



単位 (100=1mA)

NNT:対照 CPM:頸椎脊髄症 CPR:頸椎神経根症 CTS:手根管症候群
 CuTS:肘部管症候群 DM:糖尿病 VS:振動障害

図3 対照者と各疾患別のCPT値 (第5指)

《考察》

我が国では、force choice method であるリオン社 (東京) 製の振動覚計 02 型による振動覚閾値検査が広く行われているが¹⁾、今後、ISO 規格²⁾に基づく振動覚閾値検査への移行が望まれている。なお、現在、日本で入手可能な Bèkèsy 法の振動覚計は HVLab 社の Vibrotactilometer とリオン社振動覚計 06 型の 2 つがある。

一方、ニューロメーターを用いた電流知覚閾値 (Current Perception Threshold CPT) 検査は 2000Hz、250Hz、5Hz の正弦波の 0~10mA の電流を流し、感覚閾値を調べる方法である。2000Hz は、直径 5~15 μ の有髄神経である A β 神経線維を刺

激し、250Hz では直径1～5 μ の有髄神経である A δ 神経線維を刺激し、5Hz は直径0.4～1.5 μ の無髄神経である C 線維を選択的に刺激するといわれている³⁾。我々は、電流知覚閾値が振動障害の末梢神経の障害の評価に有効であることを報告した⁴⁾。そこで今回、これらの検査方法を用いて、末梢神経障害をきたす頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病等と振動障害の鑑別診断における検討を行った。

振動覚閾値は、年齢差や施設間差があるため、単純には比較できないが、第2・5指では、force choice method と von Békèsy method 両者とも振動障害、頸部脊髄症で高値の傾向がみられた。

糖尿病、手根根幹症候群では、第2指の2000Hz、250Hz だけでなく、5Hz でも顕著に高い傾向がみられた。これより、有髄神経だけでなく、無髄神経の障害も推測された。振動障害、頸部脊髄症は、第2指、第5指で2000Hz、250Hz で高値の傾向があるが、5Hz ではその傾向はみられなかった。これより、有髄神経の障害が推測される。肘部管症候群で5指では肘部管症候群で2000Hz、250Hz で高値の傾向があった。

以上のことより、測定部位を考慮した振動覚閾値検査、電流知覚閾値検査は、振動障害と糖尿病、手根管症候群、肘部管症候群等の末梢神経障害の鑑別に役立つと考えられた。

振動障害についていうと、主に振動覚閾値の上昇と、2000Hz、250Hz での電流知覚閾値の上昇である。よって皮膚にある神経末端の振動覚受容体とその付近の神経線維の異常という病態が考えられる。他疾患と比較し振動障害の末梢神経機能が特に強く障害されているとは言えない。故に、私見ではあるが、振動障害に併発する絞扼性神経障害については、現在の評価基準で末梢神経障害が著明に障害されているとして、業務上認定し、休業・加療の必要性は理解できるが、振動障害のいわゆる末梢神経障害の病態が瀰漫性脱髄性神経障害と言われていることから、そのための休業・加療の必要性は少ないと考える。

《まとめ》

測定部位を考慮した振動覚閾値検査、電流知覚閾値検査は、振動障害と糖尿病、手根管症候群、肘部管症候群等の末梢神経障害の鑑別に役立つと考えられた。

参考文献

- 1) Matoba T, Sakurai T. Physiological methods used in Japan for diagnosis of suspected hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health* 1987;13:334-36
- 2) ISO/FDIS 1301-1 Mechanical vibration –vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction- part 1: Methods for measurement at the fingertips. International Organization for standardization. 2001.
- 3) Katims JJ, Navisasky EH, Ng LKY New screening devise for assessment of peripheral neuropathy *J Occup Med* 1986 ;28:1219-1221.
- 4) Kurozawa Y, Nasu Y. Current perception thresholds in vibration-induced neuropathy. *Arch Environ Health*. 2001;56(3):254-6.

【追加研究 1】

振動障害の診断のための振動覚閾値検査法の検討

振動障害における末梢神経障害の予防・診断・治療のためには、末梢神経障害の評価のための有効な検査が必要である。振動障害による末梢神経障害の検査として振動覚閾値検査が広く行われている。検査法として、force choice method と von Békésy method がある。前者は、強さの異なる刺激を与え、その刺激毎に、その刺激を認知できるか否かの応答を求め、閾値を決定する方法である。一方、von Békésy 法は、測定周波数で、刺激レベルを徐々に弱いレベルから高いレベルに上昇し、その後、再び弱いレベルに下降させる。被検者は振動を感受している間、反応ボタンを押し続ける。この操作を繰り返し、その平均値から閾値を求める方法であり信憑性を確保しようとしている。ISO 規格¹⁾では、von Békésy 法が推奨されている。その規格に合致した HVLab 社 (Southampton UK) 製の測定装置も使用されはじめた。我が国では、force choice method である Rion 社 (東京) 製の振動覚計 02 型による振動覚閾値検査が広く行われているが、今後、ISO 規格¹⁾に基づく振動覚閾値検査への移行が望まれている。しかし、我が国で HVLab 社製による診断の妥当性に関する研究はほとんどないのが現状である。近年、von Békésy 法によるリオン社製の振動覚計 06 型も入手可能となり普及が期待される。

今回、両測定法で正常対照者および振動障害患者の振動覚閾値を測定し比較したので報告する。

《対象と方法》

対象者は、北海道中央労災病院、北海道中央労災病院せき損センター、釧路労災病院、山陰労災病院、愛媛労災病院、熊本労災病院が参加する多施設共同研究「頸部脊髄症、頸椎性神経根症、絞扼性神経障害、糖尿病が FSBP%値におよぼす影響」(独立行政法人労働者福祉機構)において報告のあった振動患者群のうち、手根管症候群および肘部管症候群がなく、神経症状のストックホルムスケール I 以上の振動患者群 21 名と性、年齢、施設をマッチングした対照者 21 名とした。

測定時期は 2010 年 10 月～2012 年 2 月で、室温は 24℃とし、測定前 30 分に入室し、室内環境に順化した。指先の皮膚温をモニターし、安静時皮膚温度が 30℃以上で、振動覚検査を測定した。振動覚検査は、リオン社製と HVLab 社製の 2 種類の器機を用いて、125Hz で測定した。利き手の第 2 指と第 5 指において測定した。

《結果と考察》

結果を表1に示した。force choice methodであるリオン社製の振動覚閾値検査では、第2指と第5指とも対照者と振動障害患者で有意の差がみとめられた。von Békèsy法であるHVLab社製の振動覚閾値検査でも、第2指と第5指とも対照者と振動障害患者で有意の差がみとめられた。ただし、リオン社製振動覚計とHVLab社製の振動覚計では測定単位が異なるので、ここで示した有意差の値はそれほど大きな意味をもつものでないことを指摘しておく。

表1 振動障害におけるRion社製とHVLab社製の振動覚閾値検査の比較

	対照	振動障害
例数	21	21
年齢	60.1±12.2	59.8±12.1
リオン125HZ 第2指	0.0(-10.0-17.5)	7.50(-2.5-20.0)**
リオン125HZ 第5指	2.5(-10.0-10.0)	12.50(0.0-27.5)**
HVLab125HZ 第2指	0.228(0.022-0.896)	0.360(0.143-10.271)*
HVLab125HZ 第5指	0.240(0.047-1.508)	0.491(0.201-22.542)*

Mean±SD Median (Range)

*p<0.05 **p<0.001

ROC曲線を比較するため、1施設の17ペアについて分析した。ROC曲線下面積(AUC)をforce choice methodとvon Békèsy法で比較した(表2)。すべてにおいてAUC=0.5に対して有意であった。

表2 振動障害におけるリオン社製とHVLab社製のAUCの比較

	AUC
例数	17
リオン125HZ 第2指	0.824(0.655-0.932)**
リオン125HZ 第5指	0.844(0.679-0.945)**
HVLab125HZ 第2指	0.723(0.537-0.856)*
HVLab125HZ 第5指	0.805(0.627-0.923)**

AUC=0.5に対する有意差 *p<0.05 **p<0.001

von Békésy 法である HVLab 社製による AUC 値は Rion 社製のそれよりも劣る結果であった。ただ、リオン社製の振動覚閾値は、今回の対象者の振動障害患者の診断時に使用されており、それを考慮すれば、HVLab 社製による AUC 値も比較的良好と考えられる。

《まとめ》

ISO 規格に基づく HVLab 社製による振動覚検査の妥当性は、リオン社製のそれよりもやや劣るが、比較的良好と考えられる。

参考文献

- 1) ISO/FDIS 1301-1 Mechanical vibration –vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction- part 1: Methods for measurement at the fingertips. International Organization for standardization. 2001.

【追加研究 2】

振動障害と糖尿病における振動覚閾値、電流知覚閾値

《目的》

最近、糖尿病は日本人食生活の欧米化を背景に急増しているが、末梢神経障害、血管障害という点で振動障害と類似した病態を呈することから、振動障害の診断の際、鑑別が必要となる。末梢神経障害の評価に関する検査法として振動覚閾値、電流知覚閾値（Current Perception Threshold CPT）検査を行い、対照群、糖尿病群、振動障害群のデータを用いて、振動障害と糖尿病の鑑別診断における考察を行った。

《対象と方法》

北海道中央労災病院、北海道中央労災病院せき損センター、釧路労災病院、山陰労災病院、愛媛労災病院、熊本労災病院が参加する多施設共同研究「振動障害の末梢神経障害の客観的検査法としての振動覚閾値検査、痛覚閾値、触覚閾値、電流知覚閾値、末梢神経伝導速度の有効性に関する研究」（独立行政法人労働者健康福祉機構）に参加した、患者群 113 名と対照者群 243 名とした。振動工具使用者群の 65 名から手根管症候群および肘部管症候群がなく、神経症状のストックホルムスケール I 以上の振動障害の症例を選び出し、振動障害患者と対照者を性、年齢、施設でマッチングして、21 例が抽出できた。糖尿病患者 17 例と対照者を年齢、施設をマッチングして、各 16 例が抽出された。

抽出された対照群、糖尿病群、振動障害群のデータを用いて、電流知覚閾値（Current Perception Threshold CPT）検査、鑑別診断における考察を行った。

振動障害患者 21 名は平均年齢 59.8 ± 12.1 歳であり、対照者は 60.1 ± 12.2 歳であった。振動障害者群の使用工具は、ピック 12 名、チェンソー 4 名、インパクトレンチ 1 名、その他 4 名であり平均使用期間 21.4 ± 9.1 年であった。

Stockholm Neural Scale は、末梢神経障害 scale 2（しびれと知覚の低下がある）以上が 17 名、末梢循環障害 scale 2 以上（レイノー現象が中節以上でみられる）が 14 名であった。

糖尿病患者 16 名は、レイノー現象、指末端の皮膚の栄養障害、持続性のしびれ、有痛性疼痛、自律神経障害、単神経障害、脳神経障害、糖尿病性筋萎縮症、糖尿病性胃腸症を有する症例はなかった。

糖尿病患者 16 例の平均年齢 57.8±13.3、罹病期間 17.0±7.0 年、平均 HbA1c 7.2±0.98(%)、平均 FBS 141±13mg/dl で、合併症として高血圧 6 名、動脈硬化 2 名、糖尿病性腎症 4 名、糖尿病性足病変（白癬症）2 名であった。

振動覚閾値検査は、リオン社製と HVLab 社製の 2 種類の方法で行い、電流知覚閾値検査（Current Perception Threshold）値をニューロメーター（Neurometer, Neurotron, Inc, Baltimore）による 2,000Hz, 250Hz, 5Hz で測定し、それぞれの値を対照者と各疾患の患者で比較した。測定部位は、第 II、V 指とした。測定条件は、室温 24°C で、手指の皮膚温 >30°C とした。

統計学的検定は、統計パッケージ SPSS を用いて Wilcoxon の符号付順位和検定を行った。

《結果》

振動障害患者と対照者の結果を表 1 に示した。force choice method である Rion 社製の振動覚閾値検査では、第 2 指と第 5 指とも対照者と振動障害患者で有意の差がみとめられた。von Békèsy 法である HVLab 社製の振動覚閾値検査でも、第 2 指と第 5 指とも対照者と振動障害患者間で有意の差がみとめられた。

CPT では、第 2 指の 250Hz のみ第 5 指ではすべての周波数で、対照者と振動障害患者間で有意の差がみとめられた。

表1 振動障害患者と対照者の振動覚閾値、電流知覚閾値

		対照	振動
例数		21	21
年齢		62.0(30-75)	63.0(30-73)
リオン(125Hz)第2指	dB	0.00(-10.0-17.5)	7.5(-2.5-20.0)**
リオン(125Hz)第5指	dB	2.5(-10.0-10.0)	12.5(0.0-27.5)**
HvLab(125Hz)第2指	m/s ²	0.228(0.022-0.896)	0.360(0.143-10.271)*
HvLab(125Hz)第5指	m/s ²	0.240(0.047-1.508)	0.491(0.201-22.542)**
CPT(2kHz)第2指	0.01mA	236(128-416)	288(197-692)
CPT(250Hz)第2指	0.01mA	91(49-154)	113(43-285)*
CPT(5Hz)第2指	0.01mA	63(11-138)	77(19-203)
CPT(2kHz)第5指	0.01mA	212(152-324)	268(232-380)**
CPT(250Hz)第5指	0.01mA	75(24-140)	113(31-180)**
CPT(5Hz)第5指	0.01mA	52(9-99)	75(13-81)*

中央値(最小—最大)

* p<0.05 **p<0.01

糖尿病患者と対照者の結果を表2に示した。Rion社製の振動覚閾値検査では、第2指と第5指とも対照者と糖尿病患者で有意の差がみとめられた。HVLab社製の振動覚閾値検査では、第5指のみで対照者と糖尿病患者間で有意の差がみとめられた。

CPTでは、第2指、第5指ともすべての周波数で、対照者と糖尿病患者間で有意の差がみとめられた。

表2 糖尿病患者と対照者の振動覚閾値、電流知覚閾値

	対照	糖尿
例数	16	16
年齢	57.0(34-77)	57.0(33-78)
リオン(125Hz)第2指	dB	7.5(0.0-22.5)*
リオン(125Hz)第5指	dB	7.5(0.0-20.0)*
HvLab(125Hz)第2指	m/s ²	0.492(0.177-2.559)
HvLab(125Hz)第5指	m/s ²	0.884(0.336-6.804)**
CPT(2kHz)第2指	0.01mA	410(222-623)**
CPT(250Hz)第2指	0.01mA	181(85-999)**
CPT(5Hz)第2指	0.01mA	100(33-999)**
CPT(2kHz)第5指	0.01mA	316(204-526)**
CPT(250Hz)第5指	0.01mA	121(20-461)*
CPT(5Hz)第5指	0.01mA	82(13-242)*

中央値(最小—最大)

* p<0.05 **p<0.01

《考察》

振動障害、糖尿病と対照者の第2、5指において振動覚閾値検査と電流知覚閾値を測定し比較した。振動障害患者は、振動覚閾値検査で異常がみられ、電流知覚閾値検査では一部で異常がみられた。糖尿病患者では、電流知覚閾値検査で異常がみられ、振動覚閾値検査でも一部で異常がみられた。振動覚閾値検査は、パッチーニ小体など振動覚のレセプター機能を電流知覚閾値検査は、神経線維を主に調べている。糖尿病では、第2指の電流知覚閾値検査の2000Hz、250Hzだけでなく、5Hzでも顕著に高い傾向がみられた。振動障害は、第2指で250Hzにおいて有意に高値であるが、5Hzではその傾向はみられなかった。

今回の結果は、振動障害患者では振動知覚のレセプター機能の異常が優位にみられ、糖尿病では神経線維の異常が優位に表れており、病態的にも合致している。

電流知覚閾値検査、振動知覚閾値検査を組み合わせると、振動障害と糖尿病などの鑑別診断や病態解明に有効であると考えられる。

《まとめ》

振動障害患者は、振動知覚閾値検査で異常がみられ、電流知覚閾値検査では 250Hz で異常がみられた。糖尿病患者では、振動知覚閾値検査の一部で異常がみられ、電流知覚閾値検査では 2000Hz、250Hz だけでなく、5Hz でも顕著に高い傾向がみられた。

電流知覚閾値検査、振動知覚閾値検査は、振動障害と糖尿病の末梢神経障害の鑑別診断や病態解明に有効であることが示唆された。

本研究は、独立行政法人労働者健康福祉機構 労災疾病等13分野医学研究・開発、普及事業により行われた。

※「振動障害」分野

テーマ：振動障害の抹消循環障害、末梢神経障害等の客観的評価法に係る研究・開発、普及