

## レーザー血流画像化装置による末梢循環機能検査

和歌山県立医科大学医学部衛生学教室

宮下和久

## はじめに

近年開発されたレーザー血流画像化装置 (Laser Doppler Perfusion Imager : LDPI) は、遠隔部から照射されたレーザー光が皮膚の一定領域を広範囲にスキャンすることで、皮膚表層の微小循環を画像として 2 次元的に描出するとともに、得られた画像イメージからはスキャンポイント毎の血流を定量的に計測することができる。したがって、従来の一点型のレーザードップラー血流計に比べると、血流の部位差等が確認でき、かつ広い領域の血流動態を反映するため再現性に優れているといえる。また、レーザー光を遠隔部から照射するため、冷水浸漬中の手指の血流動態の観察も可能となり、振動障害における末梢循環機能検査への応用が期待される。

我々はすでに振動工具の取扱い者を対象として、LDPI を用いた冷水浸漬試験における手指皮膚血流のモニタリングを試みているが、これまでに、本検査法が振動工具の取扱いに伴う手指の症状を反映した末梢循環動態の特徴を評価しうること、また、広範囲にわたる血流分布の観察によって手指に異なる症度で出現する障害の程度をより正確に把握できることなどが示唆された。今回は、さらにその有効性について評価・検証するために振動障害患者を対象とした実証検査を行った。

## 対象と方法

## 1. 対象者

対象者は、徳島健生病院、北海道岩見沢・美唄労災病院における振動障害の療養患者 33 名 (療養群) とその対照者 25 名 (対照群) であった。

このうち、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療養群の 2 名を除外し、最終的に療養群 31 名 (年齢:  $60.3 \pm 5.1$  歳、50~68 歳) と対照群 24 名 (年齢:  $59.3 \pm 5.1$  歳、50~68 歳) を解析の対象とした。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。

## 2. 冷水浸漬試験 (10℃10 分法)

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、症状が認められない場合は原則として利き手側とした。まず、被験者は手指固定装置と一体となったフレームの側方の椅子に座り、装置に前腕および手指を乗せ、なるべく安定した肢位を保つようにした。また、冷水浸漬に際しては、専用の負荷装置を使用し、ジャッキにて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  $24.1 \pm 0.8$ ℃ 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。

### 3. 手指皮膚血流

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 10cm×10cm) の範囲とし、レーザー光はスキャナーヘッド部を測定部位から約 15cm 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ンさせた。

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って、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 5cm 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。

### 4. データ解析

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 (A) と手指全体 (B) の領域を解析部位として、その範囲における平均血流量 (V) を算出した (図 1)。

また、個人の検査結果の評価を行うに際して、冷水浸漬試験中の常温下、浸漬中、回復期の各段階について、A、B の解析範囲における手指皮膚血流の代表値を求めた。すなわち、常温下は 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回復率を次式により算出した。

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

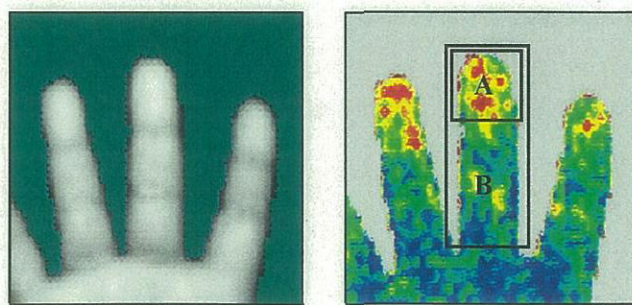


図 1. レーザー血流画像化装置による手指皮膚血流の画像イメージと平均血流量の解析部位

測定部位の写真(左)と血流画像(右)、示指、中指、環指の末節部(A)と手指全体(B)を解析

表 1. 療養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 [領域 A:末節部]

測定指	測定点	療養群 VWF(+) (n=12)	療養群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)	
示指	常温下前値	1.75 (0.63)	1.97 (0.47)	2.14 (0.44)	
	浸漬 1 分値	1.13 (0.27)	1.34 (0.32)	1.25 (0.29)	
	" 3 分値	1.14 (0.19) <sup>†</sup>	1.42 (0.35)	1.33 (0.29)	
	" 5 分値	1.16 (0.19)	1.40 (0.32)	1.33 (0.27)	
	" 7 分値	1.18 (0.18)	1.39 (0.26)	1.38 (0.25)	
	" 9 分値	1.17 (0.16) <sup>*†</sup>	1.39 (0.28)	1.40 (0.26)	
	回復 1 分値	1.21 (0.27) <sup>**††</sup>	1.67 (0.46)	1.67 (0.34)	
	" 3 分値	1.34 (0.45) <sup>*</sup>	1.73 (0.48)	1.81 (0.42)	
	" 5 分値	1.36 (0.54) <sup>*</sup>	1.81 (0.53)	1.86 (0.46)	
	" 7 分値	1.41 (0.61) <sup>*</sup>	1.81 (0.60)	1.89 (0.47)	
	" 9 分値	1.42 (0.63) <sup>*†</sup>	1.89 (0.51)	1.96 (0.44)	
	中指	常温下前値	1.62 (0.56) <sup>**</sup>	1.98 (0.42)	2.27 (0.53)
		浸漬 1 分値	1.13 (0.33)	1.34 (0.38)	1.29 (0.32)
" 3 分値		1.14 (0.31) <sup>*</sup>	1.48 (0.41)	1.46 (0.35)	
" 5 分値		1.14 (0.28) <sup>*†</sup>	1.46 (0.40)	1.48 (0.35)	
" 7 分値		1.13 (0.28) <sup>**</sup>	1.40 (0.31)	1.48 (0.33)	
" 9 分値		1.12 (0.23) <sup>**†</sup>	1.41 (0.27)	1.50 (0.32)	
回復 1 分値		1.09 (0.27) <sup>**††</sup>	1.65 (0.44)	1.77 (0.44)	
" 3 分値		1.16 (0.38) <sup>**††</sup>	1.70 (0.47)	1.80 (0.47)	
" 5 分値		1.17 (0.47) <sup>**††</sup>	1.77 (0.55)	1.87 (0.55)	
" 7 分値		1.19 (0.52) <sup>**†</sup>	1.76 (0.56)	1.88 (0.55)	
" 9 分値		1.22 (0.55) <sup>**††</sup>	1.83 (0.55)	1.96 (0.50)	
環指 <sup>#</sup>		常温下前値	1.70 (0.61) <sup>**</sup>	2.07 (0.54)	2.30 (0.51)
		浸漬 1 分値	1.14 (0.33)	1.31 (0.37)	1.26 (0.30)
	" 3 分値	1.20 (0.26) <sup>*</sup>	1.45 (0.41)	1.53 (0.33)	
	" 5 分値	1.19 (0.25) <sup>**</sup>	1.48 (0.37)	1.57 (0.32)	
	" 7 分値	1.20 (0.23) <sup>**†</sup>	1.45 (0.28)	1.58 (0.29)	
	" 9 分値	1.18 (0.22) <sup>**</sup>	1.43 (0.31)	1.57 (0.28)	
	回復 1 分値	1.19 (0.26) <sup>**††</sup>	1.72 (0.46)	1.83 (0.37)	
	" 3 分値	1.26 (0.34) <sup>**†</sup>	1.78 (0.51)	1.87 (0.50)	
	" 5 分値	1.29 (0.45) <sup>**†</sup>	1.85 (0.57)	1.89 (0.55)	
	" 7 分値	1.32 (0.53) <sup>*</sup>	1.81 (0.60)	1.89 (0.59)	
	" 9 分値	1.36 (0.58) <sup>**†</sup>	1.90 (0.57)	2.01 (0.51)	

平均(標準偏差)

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ (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 2 療養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および回復率の比較〔領域 A:末節部〕

測定指	測定点	療養群 VWF(+) (n=12)	療養群 VWF(-) (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.75 (0.63)	1.97 (0.47)	2.14 (0.44)
	浸漬中	1.17 (0.17) <sup>†</sup>	1.39 (0.28)	1.37 (0.25)
	回復期	1.35 (0.49) <sup>*†</sup>	1.78 (0.50)	1.84 (0.41)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.26 (0.39) <sup>*</sup>	1.41 (0.30)	1.57 (0.31)
中指	常温下	1.62 (0.56) <sup>**</sup>	1.98 (0.42)	2.27 (0.53)
	浸漬中	1.13 (0.26) <sup>**†</sup>	1.42 (0.30)	1.49 (0.33)
	回復期	1.17 (0.43) <sup>**††</sup>	1.74 (0.50)	1.86 (0.48)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.12 (0.35) <sup>**</sup>	1.37 (0.25)	1.54 (0.39)
環指	常温下	1.70 (0.61) <sup>**</sup>	2.07 (0.54)	2.30 (0.51)
	浸漬中	1.19 (0.23) <sup>**†</sup>	1.46 (0.32)	1.57 (0.29)
	回復期	1.29 (0.42) <sup>**†</sup>	1.81 (0.53)	1.90 (0.48)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.21 (0.28) <sup>*</sup>	1.43 (0.27)	1.58 (0.44)

平均(標準偏差)

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

<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。

表 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および回復率の比較 [領域 A:末節部]

測定指	測定点	SW (3) (n=5)	SW (2・1) (n=7)	SW (0) (n=19)	対照群 (n=24)
示指	常温下	1.97 (0.25)	1.59 (0.79)	1.97 (0.47)	2.14 (0.44)
	浸漬中	1.20 (0.11)	1.15 (0.21)	1.39 (0.28)	1.37 (0.25)
	回復期	1.19 (0.26)*	1.46 (0.60)	1.78 (0.50)	1.84 (0.41)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.26 (0.39)*	1.38 (0.43)	1.41 (0.30)	1.57 (0.31)
中指	常温下	1.89 (0.35)	1.42 (0.62)*	1.98 (0.42)	2.27 (0.53)
	浸漬中	1.15 (0.22)	1.11 (0.30)*	1.42 (0.30)	1.49 (0.33)
	回復期	1.00 (0.17)**†	1.29 (0.52)*	1.74 (0.50)	1.86 (0.48)
	(回復率) <sup>#</sup>	0.92 (0.08)**†	1.27 (0.41)	1.37 (0.25)	1.54 (0.39)
環指	常温下	1.94 (0.33)	1.53 (0.73)*	2.07 (0.54)	2.30 (0.51)
	浸漬中	1.23 (0.20)	1.16 (0.26)*	1.46 (0.32)	1.57 (0.29)
	回復期	1.17 (0.20)*	1.37 (0.53)	1.81 (0.53)	1.90 (0.48)
	(回復率) <sup>#</sup>	1.07 (0.14)*	1.31 (0.33)	1.43 (0.27)	1.58 (0.44)

平均(標準偏差)

<sup>#</sup>回復率は次式による：回復率=(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)、† $p < 0.05$ (vs.SW(0)群): Bonferroni の多重比較。