



原著

下肢血管造影検査での、撮影条件の検討

林 亜理沙, 中 村 竜 希, 弥 永 彩 有, 枚 田 敏 幸

済生会滋賀県病院 画像診断科

要 旨

近年下肢血管造影検査において、造影剤10%濃度で撮影するためのプロトコルが開発されており、造影剤使用量の低減化が各病院で進んでいる。しかし当院では下肢の造影は原液造影剤を使用している。本研究では現在臨床で使用している撮影プロトコルで、フレームレートと造影剤濃度を変え、造影剤の低減が可能か評価をするために、それぞれについて模擬血管を用いて血管狭窄評価を行った。濃度80%、50%では原液造影剤使用時と同等の結果が得られ、フレームレート数が多いほど誤差を小さくすることができた。しかしフレームレート数の増加に伴い、被曝線量の増加も認められたため、撮影時間と造影目的に応じて選択する必要がある。

背 景

保存期腎症患者に対する血管内治療 (Endovascular therapy : EVT) には造影剤腎症 (Contrast-induced nephropathy : CIN) のリスクがあり、造影剤使用量を $eGFR \times 2$ 未満に抑えることが有用と報告されている¹⁾²⁾。造影剤を使用せずにカテーテルをすすめる方法としては、炭酸ガス造影や血管内超音波検査 (Intravascular ultrasound : IVUS) ガイド等がある。炭酸ガスは横紋筋融解症や虚血性腸炎などの合併症³⁾⁴⁾や画質の問題があり、IVUSでは、血管全体像や側副路の評価が困難であり、血管を傷つける恐れがある⁵⁾。このため血管評価は造影剤を用いた血管造影が最も有用である。当院のEVTでは、医師が造影する場合は生理食塩水で希釈して行うこともあるが、造影剤自動注入装置を使用する場合は希釈なしに原液で造影することが多い。本研究では希釈した造影剤と原液の造影剤を用いて、模擬血管で血管評価の実験を行い、両者の描出能を比較した。

対象と方法

1-1 血管径の計測

1-1-1 使用機器、撮影条件

血管径の計測について撮影装置はAllura Clarity FD 20/15 (Philips Medical Systems, Best, Netherlands)を使用した。模擬血管は内径6mmのチューブ内に油で満たした外径3.5mmのチューブをいれ、狭窄部位2.5mm、狭窄率58.3%の模擬血管を作成した。撮影条件は80kV 7mAsの6fps・3fps・1fpsを使用した。造影剤はビジパーク320[®]を用いた。造影剤自動注入装置はオートインジェクターDress-Duo (根本杏林堂) を使用し3ml/s・8mlに設定した。希釈率を100%、80%、50%、10%と変えながらそれぞれの狭窄率の血管で各5回撮影した。また模擬血管は血管の狭窄部位がアイソセンターにくるように設置した。

1-1-2 自動計測での血管径誤差

造影剤が描出されている模擬狭窄血管画像を選択し、血管径を装置の自動計測ツールを用いて1

回ずつ各画像を計測した。

1-1-3 手動計測での血管径誤差

1-1-2と同じ画像で同部位を、手動計測ツールを用いて1回ずつ計測した。

1-1-4 加算画像での血管径誤差

最も造影剤が描出されているタイミングから数コマ巻き戻し、その静止画にコマを進めた画像を1枚ずつ足しあわせ、作成した加算画像での1-1-2と同部位を、手動計測ツールを用いて1回ずつ計測した。

1-1-5 測定者

1-1-2～4における計測は、全て4年目の診療放射線技師1人で行った。

1-2 希釈造影剤と原液造影剤の測定の比較

1-1-2で得られた測定値について、濃度10%、50%、80%での血管径の誤差と原液造影剤での血管径誤差を比較し、これらの相対誤差を算出した。またt検定を行い、p値を算出し、 $p < 0.05$ のとき有意差ありと判定した。

2-1 各フレームレート数での被曝線量測定

2-1-1 使用機器：線量の計測

線量の計測について撮影装置はAllura Clarity FD 10/10 (Philips Medical Systems, Best, Netherlands) を使用した。

2-1-2

下肢造影で使用するDSA撮影についてSID90 cm, FID76.5cmとした。フレームレート数はPelvis/iliac DSAとone upper Leg DSAでは3fps, 1fpsを、

one lower LegとHand/Foot DSAでは1fps, 0.5fpsを、Arm DSAでは2fps, 1fps, 0.5fpsを設定した。それぞれ各10秒間の測定を5回行い、空気カーマ率及び平均した1秒あたりの面積空気カーマ値 (Dose Area Product : DAP) と患者照射基準点における空気カーマの積算値 (Air Kerma : AK) を算出した⁶⁾⁷⁾。

結 果 I

1. 自動計測時の血管径の誤差

狭窄血管径2.5mmに対する原液造影剤使用時の測定では6fps, 3fps, 1fpsの順に、2.16mm, 2.07mm, 1.94mmとなり、10%造影剤使用時は1.72mm, 1.64mm, 1.57mmとなった。各造影剤濃度とフレームレートにおける誤差の大きさを図に示した (図1)。

2. 手動計測時の血管径の誤差

狭窄血管径2.5mmに対する原液造影剤使用時の測定では6fps, 3fps, 1fpsの順に2.15mm, 2.12mm, 1.95mmとなった。10%造影剤使用時は1.76mm, 1.55mm, 1.53mmとなった。各造影剤濃度とフレームレート数における誤差の大きさを図に示した (図2)。

3. 加算画像での手動計測時の血管径の誤差

狭窄血管径2.5mmに対する原液造影剤使用時の測定では6fps, 3fps, 1fpsの順に2.15mm, 2.15mm, 1.91mmとなった。10%造影剤使用時は1.80mm, 1.71mm, 1.55mmとなった。各造影剤濃度とフレームレート数における誤差の大きさを図に示した (図3)。

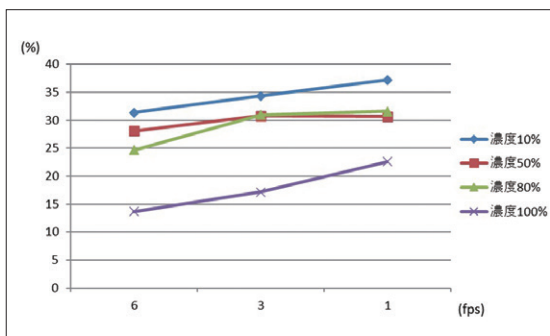


図1 自動計測での相対誤差

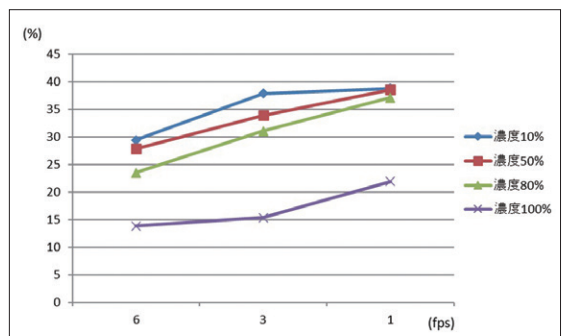


図2 手動計測での相対誤差

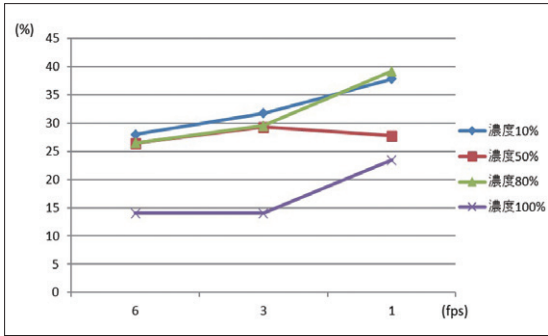


図3 加算画像での相対誤差

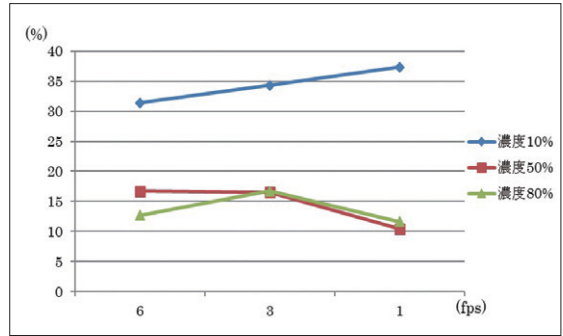


図4 希釈造影剤と原液造影剤との相対誤差

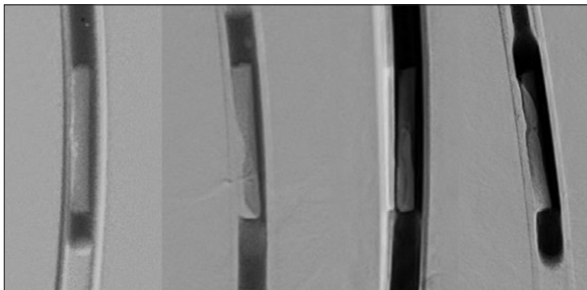


図5 造影剤の濃度別の撮影画像

左から順に濃度10%, 50%, 80%, 100%の造影剤を使用した3フレームレート (fps) 撮影. 濃度が高いほど画像の描出が向上する.

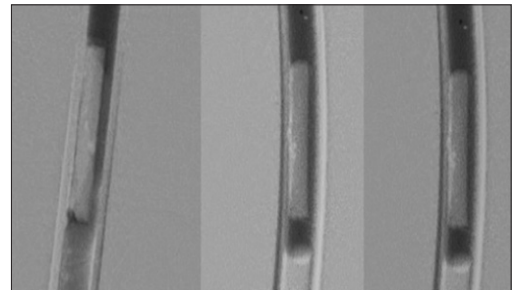


図6 フレームレート (fps) 別の撮影画像

左から順に撮影条件6fps, 3fps, 1fpsでの撮影 (10%造影剤使用). fpsが高いほど画像の描出が向上する.

4. 原液造影剤と比較したときの希釈造影剤の相対誤差

自動計測結果について, 原液造影剤での測定値を基準とした場合の希釈造影剤の相対誤差は, 濃度80%, 濃度50%で15%前後に, 濃度10%では30%以上となった. 各造影剤濃度とフレームレート数における誤差の大きさを図に示した (図4). 濃度10%, 50%, 80%の狭窄部の血管計誤差を濃度100%の場合と有意検定したとき, 濃度10%では $p=0.49$, 濃度50%では $p=0.0076$, 濃度80%では $p=0.0019$ となった. 3fps時における濃度10%, 50%, 80%, 100%での撮影画像を図に示した (図5). また濃度10%における6fps, 3fps, 1fpsでの撮影画像を図に示した (図6).

結果 II

方法2-1-2においてPelvis/iliac DSAでは, 3fpsの場合空気カーマ率が0.06mGy/s, DAP率が

0.0037mGy cm^2/s , 累積AK値の平均値は0.64mGyとなった. 同条件で1fpの場合は空気カーマ率が0.02mGy/s, DAP率が0.0010mGy cm^2/s , 累積AK値の平均値は0.24mGyとなった (表1).

またフレームレート数を大きくした場合の線量増加は, Pelvis/iliac DSAのfps数を3倍にしたとき, DAP率が2.73倍, AKが2.67倍となった (表2).

考 察

各造影剤濃度において, フレームレート数が小さいほど, 狭窄血管の実際の血管径と計測値との誤差が大きくなる傾向が認められた. これは1秒間に撮影する枚数が小さくなるため, 画像のぼけや残像等により誤差が大きくなったと考えられる. また使用する造影剤濃度が低いほど造影箇所

表1 各フレームレート数における、空気カーマ率とDAP率の平均値

撮影モード	フレームレート (fps)	空気カーマ率 (mGy/s)	DAP率 (Gycm ² /s) の平均	累積AK (mGy) の平均
Pelvis/iliac DSA 3fps	3	0.06	0.0037	0.64
	1	0.02	0.0010	0.24
one upper Leg DSA 3fps	3	0.03	0.0051	0.34
	1	0.01	0.0019	0.12
one lower Leg DSA 1fps	1	0.02	0.0034	0.23
	0.5	0.01	0.0019	0.12
Arm DSA 2fps	2	0.04	0.0065	0.42
	1	0.02	0.0036	0.23
	0.5	0.01	0.0019	0.13
Hand/Foot DSA 1fps	1	0.02	0.0035	0.23
	0.5	0.01	0.0019	0.12

表2 フレームレート数増加に伴う線量増加度

	撮影モード	DAP (倍)	AK (倍)
fps数を3倍にした時	Pelvis/iliac DSA 3fps	2.73	2.67
	one upper Leg DSA 3fps	2.70	2.83
fps数を2倍にした時	one lower Leg DSA 1fps	1.80	1.92
	Arm DSA 2fps	1.82	1.83
	Hand/Foot DSA 1fps	1.83	1.92

像加算によって画像濃度が高くなるためだと考えられる。なお10%の低濃度造影剤使用時はいずれのフレームレート数でも加算画像での評価が最も誤差の小さいものであったが、他の造影剤濃度の場合はレート数により成績が異なった。

血管径の誤差には装置の計測ツールによるものが含まれると考え、各希釈造影剤と原液造影剤を使用した場合の相対誤差を計算すると図4のようになり、統計的有意差検定でも濃度50%、80%の場合は $p < 0.05$ と有意であった。このため造影による血管狭窄評価は、希釈率50%、80%においては原液造影剤を使用した場合と大差なく、フレームレートを落としても有用である。濃度10%の場合は有意ではなく、造影効果が原液より劣っていると評価した。濃度10%を使用する場合にはフレームレートはあげることが必要だと考えられる。

表5よりフレームレート数と空気カーマ率は比例関係にあり、被曝線量も同程度増加するといえる。本研究では希釈造影使用時にフレームレート数をあげることで、血管評価の視認性の向上が認められた。ノイズレベル一定でフレームレート数を低下させる場合には、線量率を変えることが必要である。Aufriching⁸⁾の報告によると、3fpsから1fpsに低くする場合は、1fpsでの線量率を3^{1/2}倍(約1.73倍)になるように設定すると、3fps使用時と同等のノイズレベルが得られるとされている。表6によりPelvis iliac DSA時に1fpsから3fpsにあげると線量はDAPで2.73倍、AKで2.67倍となる。つまり上記方法ではフレームレート数を上げる時よりも少ない線量で同等の視覚評価が得られることが理論上可能である。

当院のEVTの検査ではAllura Clarity FD 10/10

を使用することが多いが、この装置の撮影メニューでは使用できるfps数が小さく、備え付けのインジェクターに希釈機能がなかったためAllura Clarity FD 20/15を今回は使用した。そのためFD10/10での血管誤差の評価は今回検証できていない。また全ての測定において測定者は1名であった。最も精度のいい計測ツールを決定するには複数の測定者で測定を行うべきであり、今後検証が必要である。線量に関しても、一般的な線量計測では線量計の上にアクリル板20cmを設置し、被写体からの散乱線を加味した空気カーマ率を計測する。本研究ではアクリル板を使用せず、寝台には何も置かずに計測しているため、線量結果(表1, 2)は、他の報告されている研究の線量値や臨床での被曝線量と単純比較することはできない。フレームレート数の増加に伴う線量増加の割合を表すものでしかないため、線量値を他の研究や診断参考レベルDRLと比較する場合には、IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン⁴⁾に則った方法で測定する必要がある。

EVT検査において血管造影を行う際、治療前の血管狭窄部位の同定、狭窄率の推定、またワイヤーを進めるときの血管走行の確認が主な目的である。ステント留置時など血管径が必要なときはIVUSで計測している。正確な血管径の測定目的には造影剤の血管造影を行っていないため、医師と協議し許容できる造影剤濃度とフレームレート数を探ることが必要であり、今後検討していく。

結 語

下肢血管造影において、当院の撮影装置でも希釈造影剤は有効であることが示唆された。フレームレートを増やすとより正確な診断ができるが、被曝線量も同程度増加するため、撮影時間と目的に応じた選択が必要である。

本研究は、済生会滋賀県病院倫理委員会の指針に従って患者データの収集と処理を行った。

参 照

- 1) 日本循環器学会：2021年改訂版循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン。2021：31-52
- 2) 猪坂善隆：造影剤による急性腎障害。日本内科学会雑誌第103巻第5号。2014：1074-1080
- 3) Rundback JH, Shah PM, et al: Livedo reticularis, rhabdomyolysis, massive intestinal infarction, and death after carbon dioxide arteriography. J Vasc Surg, 1997; 26: 337-340
- 4) Fujihara M, Kawasaki D, et al: Endovascular therapy by CO2 angiography to prevent contrast-induced nephropathy in patients with chronic kidney disease: a prospective multicenter trial of CO2 angiography registry. Catheter Cardiovasc Interv, 2015; 85: 870-877
- 5) 日本循環器学会：2022年改訂版末梢動脈疾患ガイドライン。2022：10-78
- 6) 日本循環器学会：2021年改訂版循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン。2021：9-30, 42-51
- 7) 石橋 徹：多施設における循環器撮影装置のIVR基準点での線量率の比較。日本放射線技術会雑誌。2012：260-268
- 8) Aufriching R, Xue P, Thomas CW, et al: Perceptual comparison of pulsed and continuous fluoroscopy. Med Phys 1994: 245-256

論文受付：2024年6月14日 論文受理：2024年11月5日