



Title	RF(Radiofrequency)を用いた血管閉塞術の試み
Author(s)	谷川, 昇; 澤田, 敏; 森岡, 伸夫 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1993, 53(6), p. 649-654
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18338
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

RF (Radiofrequency) を用いた血管閉塞術の試み

鳥取大学医学部放射線科

谷川 昇 澤田 敏 森岡 伸夫 岩宮 孝司
小林 正美 中村 一彦 奥田 良和 橋本 政幸
太田 吉雄

(平成4年9月16日受付)

(平成4年11月9日最終原稿受付)

Experimental Study with Radiofrequency-induced Thermal Arterial Occlusion

Noboru Tanikawa, Satoshi Sawada, Nobuo Morioka, Takashi Iwamiya, Masami Kobayashi,
Kazuhiko Nakamura, Yoshikazu Okuda, Masayuki Hashimoto and Yoshio Ohta

Department of Radiology, Tottori University, School of Medicine

Research Code No. : 508.9

Key words : Radiofrequency, Arterial occlusion,
Experimental study

A preliminary experiment on arterial occlusion using radiofrequency energy was performed. A surgitron FFPF was used as a radiofrequency power generator, and a Tracker 18 catheter was used as a probe insulator. A 10 mm length of the guide wire protruding from the tip of catheter was used as the radiofrequency probe.

To examine the safety of this procedure within the vessels, the following experiments were performed. A 2.5 mm diameter dimple at the surface of a sausage was filled with human blood. We inserted various lengths of non-insulated guide wire into the dimple and supplied radiofrequency power. We then measured the time until air bubbles appeared in the dimple. With a 10 mm length of non-insulated guide wire, this took over 30 sec.

Animal experiments were carried out in 17 canine arteries. The diameter of these arteries ranged from 1.3 to 3.7 mm. Before the procedure, angiograms were taken using a 5 F catheter from the right femoral artery. A tracker 18 catheter and guide wire were inserted to the target position co-axially. The guide wire was attached to the radiofrequency generator. The tip of the guide wire functioned as the convergence point of an electrically conducting induced current. Treatment was performed by supplying radiofrequency power of various durations. Occlusion of each vessel was confirmed by angiogram. We examined the relationship between the duration of radiofrequency supply and the ratio of arterial occlusion. Under the same conditions, the relationship between the diameter of arteries and the ratio of arterial occlusion was also examined. Four arteries of less than 2.3 mm in diameter were occluded completely after 20 sec of radiofrequency.

In conclusion, four of six arteries of less than 2.3 mm in diameter were occluded by 20 sec of radiofrequency. Treatment using radiofrequency was thought to be a precise interventional tool for performing arterial occlusion therapy.

はじめに

IVR の分野における血管閉塞術を用いた手技は広く行われており^{1)~3)}、また、閉塞物質に関しても、金属コイルをはじめとして、多くの物質が用いられている^{4)~6)}。

今回筆者らは、塞栓物質を用いず、Radiofrequency Energy (以下 RF エネルギーと略す) による血管閉塞術を考案し、基礎実験および動物実験を試みたのでその結果を報告する。

対象および方法

使用器具は、RF 発生装置として Surgitron FF-PF (elleman 社製) を用い、RF 誘導システムとして Taper Guide Wire (Target Therapeutics 社製) 及び、その被覆絶縁物質として Tracker-18 Infusion Catheter (Target Therapeutics 社製) を用いた。

方 法

実験 1：基礎実験

RF 発生装置の対極盤に直径 2.5 cm のフィッ

シュソーセージ (大洋漁業社製) を置き、その中心部に直径 2.0 mm、深さ 1.5 cm の腔を開けた。その中に人の血液を満たして、模擬血管とみなし、以下の実験を行った。

Tracker-18 Infusion Catheter (以下 トラッカ-18 カテーテルと略す) の先端から Taper Guide Wire (以下ガイドワイヤーと略す) を出し、上記の模擬血管に挿入して通電を行った。尚、その際ガイドワイヤー先端の露出部を 3 mm, 6 mm, 10 mm と変化させ、血液中からの気泡発生までの時間を各々 6 回ずつ測定した。

実験 2：動物実験

体重 3.4~7.1 kg の雑種成犬 (雄) の 9 頭を用いて閉塞術を行った。

方法は雑種成犬を 25 mg/kg のネンプタールによる静脈麻酔下に、右大腿動脈から 5 Fr カテーテル (クリニカルサプライ社製) を挿入して血管造影を行い、閉塞部位の術前血管径を測定した (Table. 1)。

Table 1 Summary of the procedure

No.	Artery	Pre-diameter (mm)	Dulation (sec)	Post-diameter (mm)	Stenotic ratio (%)
1	The branch of femoral artery	1.3	20	0	100
2	Renal artery	1.5	20	0	100
3	Lumber artery	1.6	10	0.9	68
4	The branch of femoral artery	1.7	20	0.8	78
5	Popliteal artery	1.9	20	0	100
6	Lumber artery	2.1	10	1.3	68
7	Lumber artery	2.1	10	1.4	56
8	Renal artery	2.2	20	2.2	0
9	The branch of femoral artery	2.3	20	0	100
10	Splenic artery	2.4	10	1.9	37
11	Politeal artery	2.4	20	1.0	83
12	Superior mesenteric artery	2.4	20	2.4	0
13	Hepatic artery	2.5	20	2.5	0
14	Superior mesenteric artery	2.6	10	2.6	0
15	Politeal artery	2.8	20	1.0	87
16	Celiac artery	2.9	20	2.9	0
17	Superior mesenteric artery	3.7	10	3.7	0

その後、目的部位にトラッカーチューブを挿入し、このチューブの先端部よりガイドワイヤーを10 mm露出させた。次いで、ガイドワイヤーの中中枢部とRF発生装置とを接続し、ガイドワイヤーの先端部が目的部位にあることを確認した後、通電を行った。

その際、対極板は実験動物の大腿部に密着させた。

通電終了後、直ちに5Frチューブから再度血管造影を行い、術後の動脈径を測定した。

対象動脈は、腹腔動脈領域3カ所、上腸間膜動脈領域3カ所、腎動脈2カ所、腰動脈3カ所、大腿動脈分枝3カ所、膝窩動脈3カ所の計17カ所で、それらの血管径は、1.3~3.7 mmであった(Table. 1)。

検討項目は、

1) 術前血管径と術後狭窄率との関係

尚、通電時間は、10秒間と20秒間の2種類として行った。

2) 通電時間と術後狭窄率との関係

尚、血管径は1.5~2.5 mmの範囲とした。

3) 通電部位での組織学的变化

である。

結 果

実験1：基礎実験

トラッカーチューブ先端より露出させたガイドワイヤーの非絶縁部の長さが3 mmの時

は1~3秒、平均2.0秒、6 mmの時には8~30秒、平均16.8秒、また、10 mmの時には33~52秒、平均38.8秒で血液中より気泡が発生した(Fig. 1)。これらの値は1%以下の危険率で有意差を認めた。

実験2：動物実験

1) 閉塞部位の術前血管径と術後狭窄率との関係

血管径が2 mm以下の動脈では5カ所中3カ所に完全閉塞が認められた。

血管径が2.4 mm以上では閉塞例は認められ

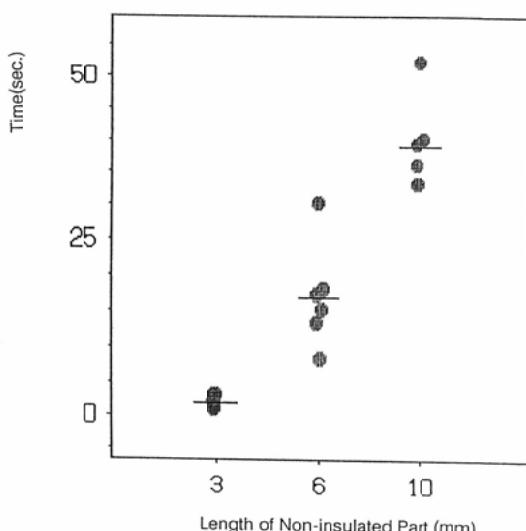


Fig. 1 The time until air bubble appearance in the simulated vessels filled with human blood. (n=18)

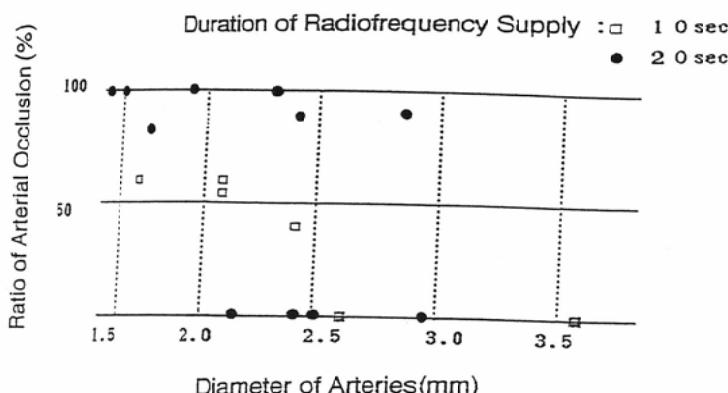


Fig. 2 The relationship between diameter of the artery and ratio of arterial occlusion: Four arteries less than 2.3 mm in diameter were occluded completely at the radiofrequency energy of 20 seconds.

なかった (Table 1, Fig. 2).

2) 通電時間と狭窄率との関係

通電時間が 20 秒の時には完全閉塞が 9 カ所中 4 カ所に認められた (Table 1, Fig. 3, Fig. 4).

3) 通電部位での組織学的変化

完全閉塞部位より得られた組織片の病理学的変化は、内皮細胞の変性、壊死、脱落を伴った膨化および同部への好中球浸潤が認められ (Fig. 5), 中膜及び外膜には明らかな変化は認められなかつた。

考 察

IVR の分野では血管塞栓術が治療に寄与する役割は大きく、その中核をなしていると考えられる。しかし、現在行われている動脈塞栓術はいずれも塞栓物質をカテーテルから注入し、機械的に目的血管を閉塞させるものである。今回、筆者らが考案した血管閉塞術は、塞栓物質を用いることなく、高周波をカテーテル中のガイドワイヤーを

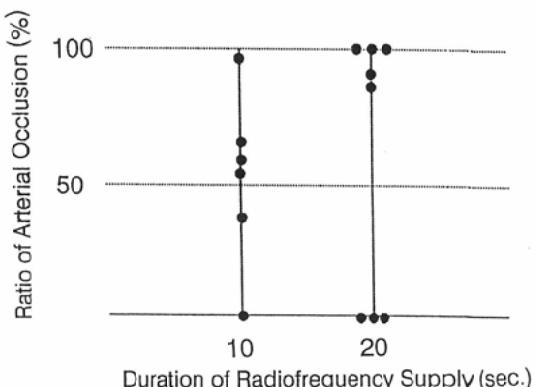


Fig. 3 The relationship between the duration of radiofrequency supply and ratio of arterial occlusion (diameter of arteries: 1.5~2.5 mm)

Three arteries were occluded by radiofrequency supply of 20 seconds.

通じて、その先端部にまで誘導し、露出させたガイドワイヤーの先端部と対極板の間に生じる高周波誘導電流によって、目的血管を局所的に閉塞さ

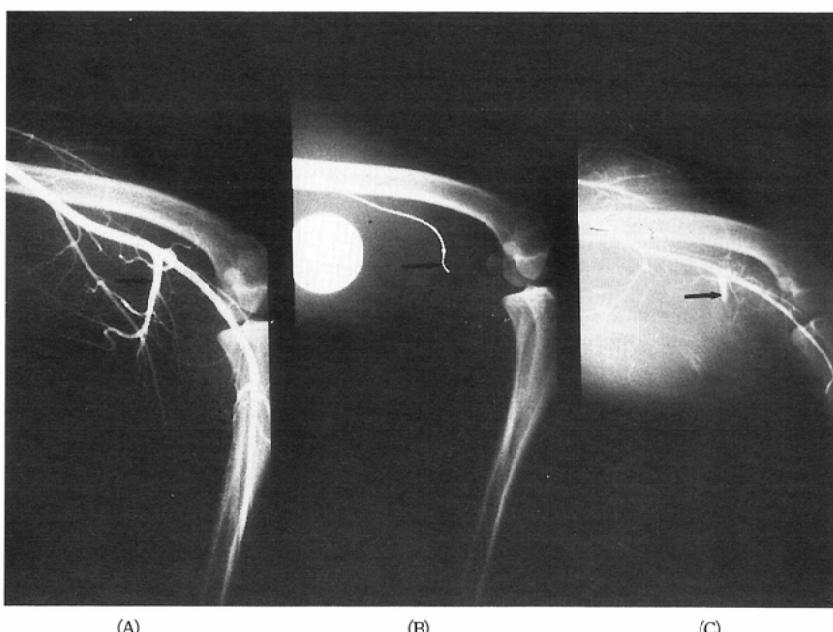


Fig. 4 (A)~4 (C) Angiograms of canine right leg

(A) : Angiogram before the procedure

(B) : Plain radiogram during the procedure

The guide wire protruded 10 mm in length from the tip of Tracker catheter was seen.

(C) : Angiogram after the procedure

The branch of right femoral artery was occluded completely. (arrow)

Fig. 5 Photomicrograph taken at the site of occlusion (HE staining, $\times 100$)

せようとする方法である。

この高周波エネルギーの熱変換はガイドワイヤー先端の非絶縁部と対極板との表面積の比率に応じて転換され、その熱による動脈壁の変性によって結果的に血管閉塞を引き起こそうとする方法である。

従来より塞栓物質を用いない血管閉塞術の一手段として Phillips らの考案した electrocoagulation^{7)~10)}が報告されている。この方法は直流電流を用い血液中に正の電極を留置し、負に帶電した血小板や白血球を引き寄せ血栓形成を促し血管を閉塞しようとする方法であり、筆者らの方法とは血管閉塞機序が根本的に異なるものである。また、 electrocoagulation は動脈閉塞を得るのに 60 分もの時間を要することもあり、現在では、ほとんど臨床応用されていない。

筆者らは、本装置を用いるに当たり、より生理的な条件下で、熱エネルギー発生の安全性の確認のため上述のような実験系を用いて基礎実験を行った。

ソーセージに開けた腔を模擬血管と仮定し、その中に人の血液を満たし、さまざまな条件で通電を行い、模擬血管中から気泡が発生するまでの時間を測定した。この気泡発生時点でのガイドワイヤー先端の非絶縁部周囲の温度が 100°C に上昇したものと考えた。実験結果より、ガイドワ

イヤー先端の露出部の長さの違いにより気泡発生までの時間に明らかに差異が生じた。また、ガイドワイヤー先端の露出部の長さが 10 mm のときには、気泡発生までに少なくとも 33 秒以上を要し、このため 33 秒以内ではガイドワイヤー周囲の温度は 100°C 以下であると考えられた。

次いで行った動物実験では、基礎実験の結果より安全性を考慮しガイドワイヤー先端の露出部の長さを 10 mm とし、通電時間を 20 秒以下で行った。

今回の動物実験では、直径が 2 mm 以下の動脈で 20 秒間通電した場合に安全閉塞が得られ、それ以外では狭窄を呈するか血管径に変化が見られないかであった。また、カテーテル先端の露出部の長さを 10 mm とし 20 秒以下の通電時間では、動脈破裂などの合併症は認められなかった。

完全閉塞部の組織学的变化は、動脈内皮細胞の変性、壞死、脱落を伴った膨化が主体であった。

熱による動脈壁の変化は、主にレーザー PTA の分野で研究が進んでおり¹¹⁾、42~65°C で、タンパクの変性が生じ始め、60°C 以上で細胞死となり、95~140 °C で血管の溶着が生じる。さらに、100°C を越えると、細胞内水分の蒸発および組織の空胞変性が生じる¹²⁾。

これらの知見を考慮すると、我々が得た閉塞部

位での組織学的変化は、局所の温度が100°C以下で起こったものと推測され、組織学的にも安全であると考えられる。

RFエネルギーによる動脈閉塞術の利点は、従来の血管塞栓術と異なり塞栓物質としての異物を用いないため、より生理的であり、また塞栓物質の逸脱、移動の可能性はなく、目的部位を正確に閉塞することが可能である。

しかし、今回の実験では、完全閉塞が得られた動脈の径は2.3mm以下であり、現時点では応用範囲は限られるが、肝に対する反復持続動注の際の右胃動脈の閉塞術や、小腸出血の際の*vasa recta*の閉塞術、あるいはAVMのnidusの塞栓術に利用可能であり、かつ多数の栄養動脈を有する腫瘍に対する術前の止血にも用いることが可能であると考えられる。

更に、RFエネルギーの量を変化させることにより、一次的あるいは永久閉塞のエネルギーの使い分けができる可能性もある。

現在一般的に用いられている外科的電気メスは、筆者らの血管閉塞術に利用でき¹³⁾、他の血管塞栓術に比較して簡便かつ安価である。

結語

- 1) RFエネルギーによる塞栓物質を用いない経皮経血管的動脈塞栓術を考案した。
- 2) 基礎実験では、RFエネルギーを熱に変換する際、カテーテル先端部より露出したガイドワイヤーの長さが10mmのとき血液中より気泡発生までに30秒以上を要した。

3) 動物実験では、血管径が2.3mm以下で、20秒間通電した時に、動脈の完全閉塞が得られた。

4) RFエネルギーによる血管閉塞術は、比較的径の細い動脈に対し塞栓物質を用いず、選択的にかつ安全に閉塞できる方法であると考えられた。

文 献

- 1) Doppman JL, DiChiro G, Ommaya A, et al: Obliteration of spinal cord arteriovenous malformation by percutaneous embolization. Lancet, 1:477, 1968
- 2) Goldstein HM, Wallace S, Anderson J, et al: Transcatheter occlusion of abdominal tumors. Radiology, 120:539-545, 1976
- 3) 山田龍作, 中塚春樹, 中村健治, 他:各種悪性腫瘍に対するTranscather arterial embolization therapyの経験。脈管学, 18:536-571, 1978
- 4) 打田日出夫, 大石元, 松尾尚樹, 他:動脈塞栓術と動注療法の基礎知識—塞栓物質と基本手技—。日獨医報, 30(1):13-27, 1985
- 5) Kunstlinger F, Brunelle F, Chaumont P, et al: Vascular occlusive agents. AJR, 136:151-156, 1981
- 6) Tadavarthy SM, Moller JH, Amplatz K: Polyvinyl alcohol(Ivalon)-a new embolic material. AJR, 125(3):609-616, 1975
- 7) Phillips JF: Transcatheter electrocoagulation of blood vessels. Invest Radiol 8:295-304, 1973
- 8) Phillips JF, Robinson AE, Johnsrude IE, et al: Experimental closure of arteriovenous fistulae by transcatheter electrocoagulation. Radiology 115:319-321, 1975
- 9) Miller MD, Johnsrude IS, Limberakis AJ, et al: Clinical use of transcatheter electrocoagulation. Radiology 129:211-214, 1978
- 10) Thompson WM, Pizzo SV, Jackson DC, et al: Transcatheter electrocoagulation: a therapeutic angiographic technique for vessel occlusion. Invest Radiol 12:146-153, 1977
- 11) Sanborn TA, Haudenschild CC, Garber GR, et al: Angiographic and histologic consequences of laser thermal angioplasty: comparison with balloon angioplasty. Circulation 75:1281-1286, 1987
- 12) Geoffrey A. Gardiner, Jr., M.D., and P.Macke Consigny, Ph. D: Effects of Thermal Energy on the Arterial Wall. Semin in Intervention Radiol 8, (2): 94-99, 1991
- 13) Yamanashi WS, Yassa NA, Hill DL, et al: Properties of Electromagnetic Field Focusing Probe. Angiology-The Journal of Vascular Diseases, 953-959, 1988