

○ 水上 慎也<sup>1)</sup>、原 秀剛<sup>1)</sup>、轟 辰也<sup>2)</sup>、佐藤 誠<sup>2)</sup>、中嶋 藍<sup>2)</sup>、十亀 彩<sup>1)</sup>  
1) 北里大学 医療衛生学部、2) 北里大学病院 放射線部

## 『背景・目的』

頭部CT Angiography (CTA) 撮影において重要となるのは、対象血管の十分なCT値上昇と最適な撮影タイミングの設定である。当院ではTest Injection (TI) 法を利用して撮影タイミングを設定するが、テストスキャンの良好なTime Enhancement Curve (TEC) を用いてタイミングを設定したにもかかわらず造影不良となる症例がある。我々は、この造影不良例の原因として患者因子に着目した。動脈血管の造影コントラストの変化に最も影響する患者因子は心拍出量であるが<sup>(1)</sup>、頭部CTA検査を受ける患者は心拍出量が不明であることが多い。しかし、Kyongtae T. Baeの報告<sup>(2)</sup>によると成人の体格(身長、体重)から心拍出量を推定することが可能である。本研究では、近年我々が開発した脳血管脈動ファントムを用いて、患者体格から推定する心拍出量および脳血液循環量(脳循環量)を考慮した頭部CTAの撮影タイミングについて検討した。

## 『脳血管脈動ファントム』

● **脳血管ファントム**：HB-1, BAU-HB1 (フヨー株式会社), 脳血管(独自開発)  
頭頸部を想定した循環ファントム。我々が開発した脳血管を装着した模擬血管(BAU-HB1)を水で充填した模擬人体容器(HB-1)に内蔵。動脈循環に心臓部は構成せず、循環時間を臨床と同等とするため造影剤注入部から脳血管までのチューブ長を調整。

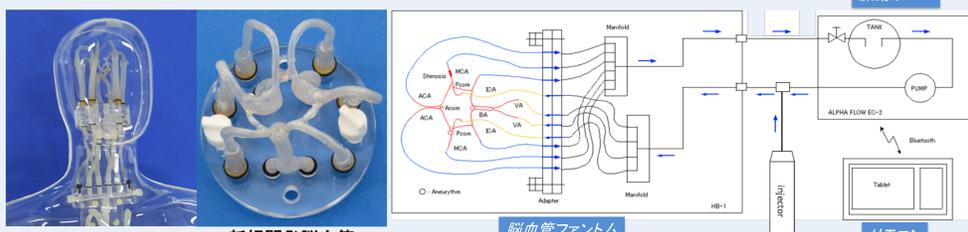


Fig.1 脳循環型水ファントム

Fig.2 ファントム循環系模式図

● **脈動ポンプ**：ALPHA FLOW EC-2 (フヨー株式会社)

脈動流を発生させるポンプ。4つのパラメータ(1st power, 2nd power, Duration, BPM)で循環を調整。本研究では70 BPM, Duration 40%で固定。



Fig.3 脈動ポンプ

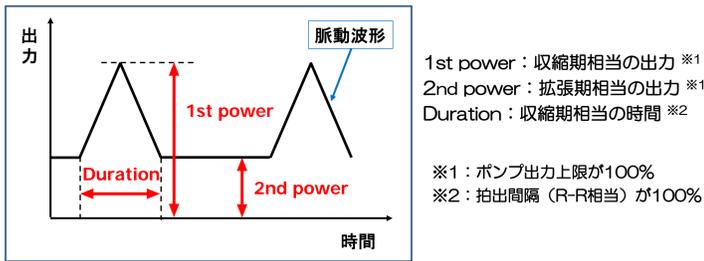


Fig.4 脈動ポンプのパラメータ

## 『循環条件』

心機能健全者の心拍出量(CO)は体格から予測可能(式1)であり、脳循環量はCOの14%程度となる(式2)。本研究では、5パターン(超低、低、標準、高、超高)の脳循環量を想定した患者体格を設定し、脈動ポンプでその循環量を脳血管ファントムに循環させた。

$$CO(\text{mL}/\text{min}) = 25.3 \times H^{0.725} \times W^{0.425} \quad (\text{式1}) \quad H: \text{身長 (cm)}, W: \text{体重 (kg)}$$

$$\text{脳循環量 (mL}/\text{min}) = 0.14 \times CO(\text{mL}/\text{min}) \quad (\text{式2})$$

Table 1 各体格の心拍出量, 脳循環量, 脈動ポンプパラメータ

脳循環量パターン	体格		CO (mL/min)	脳循環量 (mL/min)	脈動ポンプパラメータ			
	身長 (cm)	体重 (kg)			1st power (%)	2nd power (%)	Duration (%)	BPM
超低	140	30	3862.2	540.7	50	7	40	70
低	150	45	4823.9	675.4	50	22	40	70
標準	160	60	5172.4	799.7	60	25	40	70
高	170	75	6562.9	918.8	70	29	40	70
超高	180	90	7391.7	1034.8	70	34	40	70

## 『方法』

i. CT装置はOptima CT660 Discovery Edition (GE Healthcare Japan) を使用し、脳底動脈先端部(CTA断面)および内頸動脈(テスト断面)を、それぞれ造影開始と同時に60秒間連続撮影した。造影剤注入器はDUAL SHOT GX7 (根本杏林堂) を使用し、希釈造影剤(67 mgI/mL)を注入速度4 mL/sで、CTA断面で60 mL, テスト断面で15 mL注入した。

Table 2 撮影条件

管電圧	120 kV
管電流	105 mA
回転速度	1.0 s/rotation
画像間隔	0.5 s
総撮影時間	60 s
Field of view (FOV)	250 mm
スライス厚	5 mm
検出器構成	4i

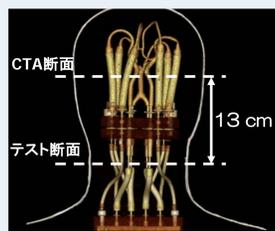


Fig.5 撮影断面

ii. Ziostation2 (サイオソフト) にて、テスト断面における右内頸動脈およびCTA断面における脳底動脈の血管中心にROI (右内頸動脈: 2 mm<sup>2</sup>, 脳底動脈: 10 mm<sup>2</sup>) を設定してCT値 (HU) を計測した。また、式3よりEnhancement Unit (EU) を算出して、TECを作成した。

$$EU = (\text{造影後CT値}) - (\text{造影前CT値}) \quad (\text{式3})$$

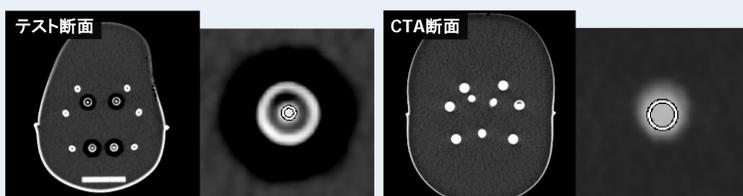


Fig.6 ROI設定画像

iii. 頭部CTAの最適EUを (a) 最大EUの90%以上, (b) EU固定値 (270 EU) 以上とした際の最適EU持続時間および最適EUタイミングを算出した。

## 『結果・考察』

● **脳循環量が造影効果に与える影響**

CTA断面およびテスト断面のTECをFig.7に示す。体格が大きく脳循環量が多いほどEUが低く、体格が小さく脳循環量が少ないほどEUが高くなった。しかし、高循環量と超高循環量ではCTA断面のEUが同程度となった。テスト断面では、脳循環量の変化してもEUピーク値の差は小さかった。

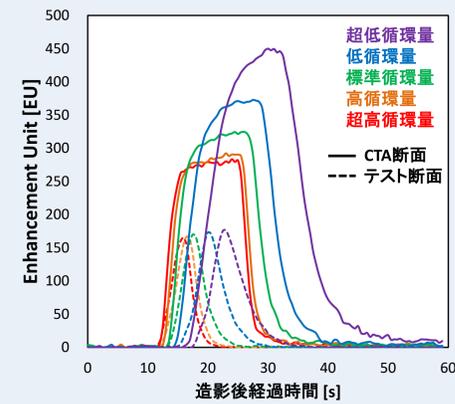


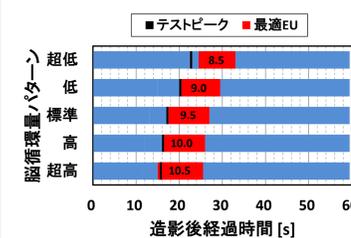
Fig.7 体格パターン毎のTEC

- ▶ 患者の脳循環量によって造影効果が変わることが示唆された。体格の大きな患者ほど、脳循環量が多くなり、造影効果が低くなる傾向となる。
- ▶ 一般に投与する造影剤の総ヨード量と注入速度は患者体重から算出するが、患者の体格から推定した脳循環量も考慮することで造影効果の高い頭部CTAとなる可能性がある。
- ▶ 高循環量と超高循環量のCTA断面におけるEUが同程度となった理由として、本実験系において循環可能な流量が上限に達していたと考えられる。
- ▶ CTA断面と比べて、テスト断面では脳循環量によるEUピーク値に変化が小さいため、テストスキャンで良好なTECが確認できても頭部CTAの造影効果が不十分となる可能性がある。

● **脳循環量がCTA撮影タイミングに与える影響**

(a) CTA最適EUを最大EUの90%以上とした場合

TECタイムテーブルをFig.8に示す。脳循環量の増加に伴い、最適EU持続時間は長くなった。最適EUタイミングは、造影時を起点とすると脳循環量の増加によって早くなるが、テストピークを起点とすると最適EUに達するまでの時間は短縮し、終了する時間はほぼ同等となった。

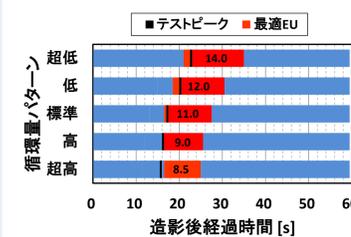


脳循環量パターン	最適EU	最適EU持続時間 (s)	最適EUタイミング	
			造影時起点 (s)	テストピーク起点 (s)
超低	405	8.5	25.0 - 33.5	2.0 - 10.5
低	335	9.0	20.5 - 29.5	0.5 - 9.5
標準	292	9.5	18.0 - 27.5	0.5 - 10.0
高	262	10.0	16.5 - 26.5	0.0 - 10.0
超高	255	10.5	15.5 - 26.0	-0.5 - 10.0

Fig.8 TECタイムテーブル (最大EUの90%以上)

(b) CTA最適EUを固定値 (270 EU) 以上とした場合

TECタイムテーブルをFig.9に示す。脳循環量の増加に伴い、最適EU持続時間は短くなった。最適EUタイミングは、造影時を起点とすると脳循環量の増加によって早くなる傾向にあったが、テストピークを起点とすると最適EUに達するまでの時間は延長し、終了するまでの時間は短縮した。

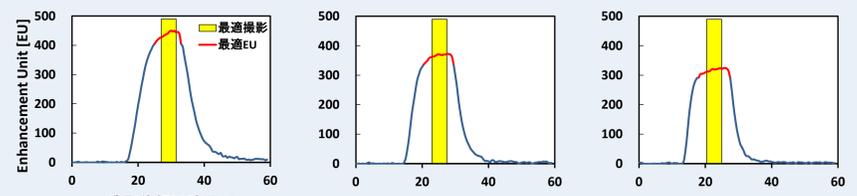


脳循環量パターン	最適EU	最適EU持続時間 (s)	最適EUタイミング	
			造影時起点 (s)	テストピーク起点 (s)
超低	270	14.0	21.5 - 35.5	-1.5 - 12.5
低	270	12.0	18.5 - 30.0	-1.5 - 10.5
標準	270	11.0	17.0 - 28.0	-0.5 - 10.5
高	270	9.0	17.0 - 26.0	0.5 - 9.5
超高	270	8.5	17.0 - 25.5	1.0 - 9.5

Fig.9 TECタイムテーブル (270 EU以上)

- ▶ 脳循環量によって頭部CTAの最適タイミングが変化するため、体格から推定した脳循環量を考慮した撮影タイミング設定の有用性が明らかとなった。
- ▶ 最適EUを高く設定するほど最適タイミングが狭くなった。脳循環量を考慮して正確に撮影タイミングを設定することで、血管内CT値の高い画像が撮影可能となる。

◆ 以下に本研究で得られたTECから推定した頭部CTA撮影 (撮影時間5秒) の最適撮影タイミングを提示する。最適EUは、超低・低・標準循環量では「最大EUの90%以上」、高・超高循環量では「270 EU以上」とし、最適EU持続時間の中心を最適撮影タイミングとした。



超低循環量	低循環量	標準循環量
最適タイミング 「27s - 32s」	最適タイミング 「22s - 27s」	最適タイミング 「20s - 25s」
高循環量	超高循環量	
最適タイミング 「19s - 24s」	最適タイミング 「19s - 24s」	

## 『結語』

頭部CTAにおいて患者の脳循環量が造影効果や撮影タイミングに影響を与えるため、患者体格から脳循環量を推定することで最適なタイミングで頭部CTA撮影が可能となり、造影効果の高い画像が得られる可能性がある。

## 『Reference』

- (1) Bae KT, Heiken JP, Brink JA. Aortic and hepatic contrast medium enhancement at CT. Part II. Effect of reduced cardiac output in a porcine model. Radiology. 1998 Jun;207(3):657-62.
- (2) Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches. Radiology. 2010 Jul;256(1):32-61