

CT-Perfusionの理解を深めよう

新潟大学医歯学総合病院 診療支援部 放射線部門 ○能登 義幸 (Noto Yoshiyuki)

【座長集約】

第5回東北放射線医療技術学術大会テクニカルミーティング、CT分野は「CT-Perfusionの理解を深めよう」をテーマに掲げ、頭部CT-Perfusionに着目することとしました。CT-Perfusion検査は、造影剤を用いて脳などの血流を測定する検査法で、虚血部位とその範囲を知ることができます。現在は頭部のみならず肺腫瘍といった胸部領域、肝臓や脾臓を中心とした腹部領域などでもCT-Perfusionが行われており、撮影手技はそれほど煩雑ではなく、脳単純CTに引き続き、造影剤を急速静注し、寝台移動をせずに同一断面を連続(または間欠)撮影を行い、解析ソフトにて血流を解析する方法です。Area Detector CTの登場によって全脳のCT-Perfusion評価も可能となりCT-Perfusionが広く臨床に普及したかといえそうですが、なかなか普及には至っていないのが現状かと思えます。その理由として、まだまだCT-Perfusionの原理や得られる情報がどのようなもので、どう生かされているのかが理解されていないことが考えられます。

そこで今回は頭部領域のCT-Perfusionの理解を深めるために、日頃からCT-Perfusionに携わられておられるお二人に演者をお願いし、今回のテクニカルミーティングを行いました。基礎編として、秋田県立脳血管研究センターの大村知己さんをお願いし、CT-Perfusionの原理を含めた基礎の部分を中心にピットフォールなども含めてお話いただきました。CT-Perfusionでは毛細血管床の血流量を評価しており、その基本的な解析パラメータは、CBV (cerebral blood volume), CBFは(cerebral blood flow), MTT(mean transit time)の3つが挙げられ、CBVは脳組織中に存在する血液量を示し、CBFは単位時間あたりに組織中を流れる血流量を示し、MTTは脳組織中を流れる血液の平均通過速度を示し、これら三者の間にはcentral volume principleが成り立ち、 $CBF=CBV/MTT$ の関係が成り立つ点などを解説いただきました。またdeconvolution法におけるsSVDとdSVDにおいて遅延効果の反映の有無により解析結果に差があるので、解析方法の特徴を理解することが重要、そして連続的にスキ

ャンを行うため被曝管理の重要性もお示しいただきました。

臨床編として会津中央病院の小田桐淳さんには、CT-Perfusionを運用している現状の様子を中心に、現在の問題点や腫瘍性病変におけるCT-Perfusionの可能性についてお話いただきました。年々検査数は増えているものの急性期脳梗塞でのCT-Perfusionは梗塞の治療適応や予後予測に有用であるが血管内治療までの時間的制約のため、緊急CT-Perfusion適応が限られるとのことでありました。ここに一つの問題点があり、やはり時間の短縮ということがキーとなることが示されました。再開通までの時間をいかに短縮するかが求められているなかで血栓回収デバイスなどの発達により、CTやMRIを撮影せずに直接血管撮影室に行くこともあり、One modalityで形態・動態・機能といったMulti studyの情報を提供できるCT-Perfusionを生かすためにはやはり再構成時間の短縮や解析時間の短縮といった改善が要求されます。この点は装置メーカーなどの頑張りに期待したいことです。新たな可能性として腫瘍性病変におけるCT-Perfusionの可能性についても言及いただきました。PS(permeability surface-area product)という指標がMET-PETと相関が示されており、PETのない施設においても精査の可能性が広がることで、新たな期待を持つことができると思われました。

お二人のお話を伺い、まだまだ普及には超えなければいけない幾つかの壁があるように思いました。とくに時間に関してはいかに短縮することができるかがキーとなりますので、装置性能の向上のみならず、我々も検査の意味や手技をしっかりと理解して臨まなければならないと思います。また壁を越えるために我々も知恵を出し合い、さらに良い情報が提供できるようにしていかなければならないと感じました。

本セッションが皆様方のCT-Perfusionの理解のそして普及に一役買うことができたのであれば幸甚です。

CT-Perfusionの理解を深めよう

- 基礎編 -

秋田県立脳血管研究センター 放射線科診療部 ○大村 知己 (Ohmura Tomomi)

【はじめに】

CT-Perfusion (CTP)はシングルスライスCTでも施行できるため、90年代にはすでに現在の解析計算方法による灌流画像の臨床的有用性が報告されている。近年では、頭部一回転撮影が可能で検出器幅を持つCTにより、CTPデータをを用いた4D画像による血行動態の評価も可能になり、

CTP検査を施行する施設は増えつつあると思われる。

CTPは、造影剤の脳内動態をダイナミックスキャンしたデータを解析計算することで、灌流画像が得られる。この過程を含めた基礎的理解は適正な病態をあらわす結果取得に重要である。本稿では、CTPの基礎理解を主に解説する。

Table 1 灌流検査法とトレーサー

検査名	トレーサー	トレーサー挙動 (血液脳関門)	観察血流量
CTP	ヨード造影剤	通過不可能 (非拡散)	毛細血管床
MRI (DSC法)	ガドリニウム造影剤	通過不可能 (非拡散)	毛細血管床
MRI (ASL法)	ラベリング血液	通過可能 (拡散)	脳組織細胞
脳血流SPECT	¹²³ I-IMP ^{99m} Tc-HMPAO	通過可能 (拡散)	脳組織細胞
脳循環代謝PET	酸素標識水 (¹⁵ O-H ₂ O)	通過可能 (拡散)	脳組織細胞

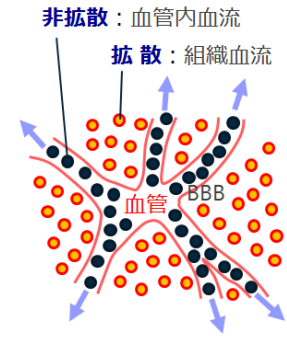


Fig.1 血液脳関門とトレーサーの関係

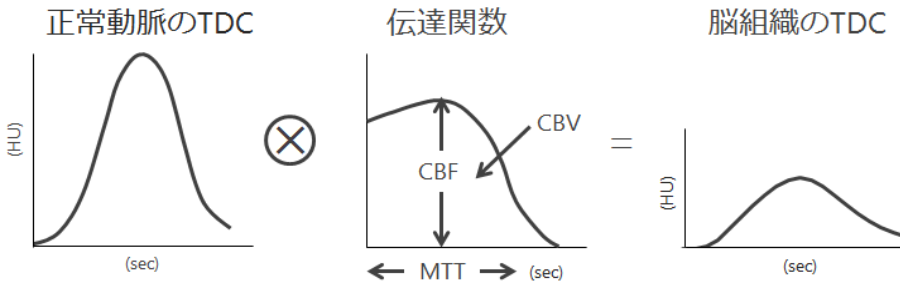


Fig.2.a

概念的に動脈の時間濃度曲線に伝達関数をconvolutionしたものが脳組織の時間濃度曲線となる

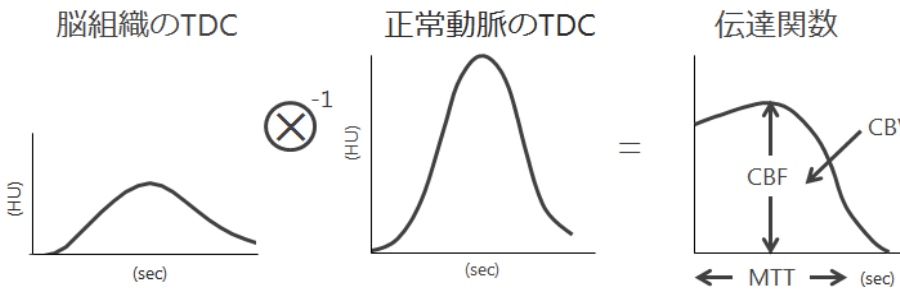


Fig.2.b

CTでは動脈の時間濃度曲線と脳組織の時間濃度曲線が得られるため、deconvolutionにより伝達関数を求める

【灌流画像とは?】

灌流の定義は、組織の毛細血管あるいはそれに準ずる機能血管系の血流を表わし、脳組織の血流をあらゆる脳血流とほぼ同義とされており、ここでも同様に解釈する。また、灌流画像法は、毛細血管レベルの組織血流を定量的あるいは半定量的に画像化することであり、その方法は組織の上流側(動脈側)で血流に目印をつけて組織の通過を観察することであるが、実際は動脈内にトレーサーを注入して様々な方法で追跡する。トレーサーは、造影剤や放射性同位元素などがあるが、特徴として血液脳関門を通過(拡散)するかどうかで分けられる(Table 1)。

血液脳関門を通過する拡散トレーサーは、毛細血管から脳組織に取り込まれるため、脳組織の血流を反映した挙動を示す。一方、血液脳関門を通過しない非拡散トレーサーは毛細血管から脳組織には移行せずに静脈灌流となる(Fig.1)。したがって、脳組織に最も近いレベルでの血管内の血流を反映することになる。ヨードおよびガドリニウム造影剤は非拡散トレーサーであり、放射性同位元素は拡散トレーサーであるため、両者の画像が示すものの違いを理解することが重要である。

【解析計算処理】

理論上、動脈のTDC (time density curve) は伝達関数の畳み込み(convolution)で脳組織のTDCに移行する(Fig.2.a)。

しかし、ダイナミックスキャンで実測されるのは動脈および脳組織のTDCであるため、脳組織のTDCを健常動脈のTDCに逆畳み込み(deconvolution)して伝達関数を求める(Fig.2.b)。CTPの解析パラメータは、CBF (cerebral blood flow), CBV (cerebral blood volume), MTT (mean transit time) がある。CBFは脳組織の血流で単位はml/100mg/min, CBVは脳組織の血液量で単位はml/100mg, MTTは脳組織を流れる血液の平均通過時間で単位はsecである。これらは伝達関数の高さ、幅、カーブ下面積に相当するが、一般的には伝達関数からCBV, MTTを求め、CBV/MTT=CBF (central volume principle) とする場合が多い。なお、伝達関数の計算結果は灌流画像として表示されるため、その形状を実際に確認できないソフトウェアがほとんどである。

病態の解釈は脳組織のTDCから伝達関数を予測すると理解しやすい。脳梗塞では脳組織に血液は存在しないため、TDCもほぼフラット(0)である。フラットなTDCを健常動脈のTDCにdeconvolutionしても、伝達関数もほぼフラットであるため、CBF, CBV, MTTともほぼ0を示す場合が多い(Fig.3)。一方で、虚血では血流が滞るため脳組織のTDCは間延びする。ここで、CBV(カーブ下面積)が一定とした場合、TDCのピークは低下するため、健常動脈のTDCにdeconvolutionした伝達関数も同様に間延びしてピークが低下し、MTTの延長、CBFの低下を示す(Fig.4)。実際には、

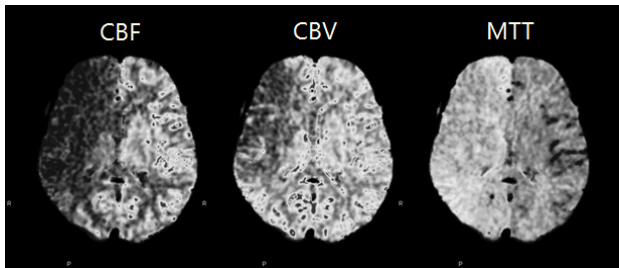


Fig.3 急性期脳梗塞の灌流画像(右内頸動脈閉塞)

CBVは自動調節能を反映して上昇する場合もあるため、CBFへの影響も含めて観察する必要がある。

deconvolution法では、造影剤到達の遅延効果があるstandard SVD (s SVD)と、遅延効果が無いblock-circulant SVD (b SVD)が主に用いられる。健常側と虚血側に生ずる造影剤の到達時間差を解析に反映させるs SVDが、遅延効果を反映させないb SVDよりも虚血が明瞭であるが、病態により虚血を過大評価している場合もある。そのため、自施設ではどの解析方法で灌流画像が得られているか、また、その解析方法の特徴を理解して灌流画像を評価することが重要である。

【低被ばく化】

CTPはダイナミックスキャンが必須であるため、総じて被ばくが多い検査である。検査手法が異なるため一概に比較は難しいが、本邦における頭部単純CTのDRLであるCTDI vol 85mGyと比較しても高い傾向にあるため、線量低減が求められる。そのためには、増加する画像ノイズへの対策が必須である。

画像ノイズの低減には、スライス厚を厚くする、再構成閾数を低周波数寄りにするなど、その手法は一般的なCT画像のノイズ低減と同様である。また、量子ノイズフィルターおよび逐次近似応用再構成といった非線形な処理を用いても低被ばく化は可能である。リスクとベネフィットを見据えて、

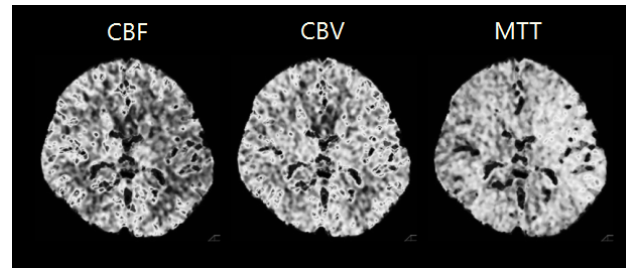


Fig.4 慢性期脳虚血の灌流画像(左内頸動脈閉塞)

ユーザーが適正な条件設定と再構成を行う事が、臨床現場で有用な検査として確立されると考える。最後に、本稿の内容がその一助になれば幸いである。

【参考文献・図書】

- 1) Nabavi DG, et al. CT assessment of cerebral perfusion: experimental validation and initial clinical experience. Radiology, 213, 141-149, 1999
- 2) Konig M. Brain perfusion CT in acute stroke: current status. Eur J Radiol, 45 (Suppl 1), S11-22, 2003
- 3) 工藤興亮. 脳血流動態評価のためのPerfusion画像. 日獨医報, 59, 105-144, 2014
- 4) CT Brain Perfusion Scans Safety Investigation: Initial Notification. U.S. Food and Drug Administration 2009.
- 5) 佐々木忠司, 羽成孝夫, 佐々木真理, 他. CT 灌流画像における量子ノイズ除去フィルタを用いた被曝線量低減の検討. 日放技学誌, 60, 1688-1693, 2004
- 6) Niesten JM, van der Schaaf IC, Riordan AJ, et al. Radiation dose reduction in cerebral CT perfusion imaging using iterative reconstruction. Eur Radiol, 24, 484-93, 2014
- 7) 大村知己, 他. 逐次近似応用再構成を用いた頭部CT-Perfusionの撮影線量低減の検討. 日放技学誌, 69, 1218-1224, 2013

当院におけるCT-Perfusionの現状

- 理想と現実 -

一般財団法人 温知会 会津中央病院 副診療部 放射線科 ○小田桐 淳

【はじめに】

当院は福島県の会津地域において第三次救急指定病院としての告示を受けている。この会津も高齢化は進み、数多くの脳卒中の患者が日々搬送されてくる。特に脳梗塞の患者が多く、我々も画像診断領域で様々なオーダーを受ける。

こうした背景にあり当院では2011年9月に東芝社製CT装置 Aquilion ONEを導入し、全脳CT-Perfusionを撮影できるようになった。これを脳神経外科領域において脳虚血症例で行うようになり、急性期の脳梗塞疑いの症例にも積極的に取り入れた。

今回、CT-Perfusion (以下CTP)の理解を深めようということで当院での使用経験を交えてCTPの臨床応用を紹介する。

【使用機器】

CT装置は東芝社製Aquilion ONE、造影剤自動注入機はMEDRAD社のSTELLANTを使用している。

【造影剤注入条件】

4ml/secで10秒注入している。

【撮影条件】

管電圧は80kV、管電流は100mA、FOVは240mm、スキャン速度は1sec、スキャン範囲は全脳が入る最低限にし、造影開始から5秒後に撮影を開始している。この条件で間欠スキャンを20回行っているが、上矢状静脈レベルで造影効果の減衰が確認できた時点で撮影を終了している。

なお、この撮影条件で140mmの範囲をスキャンした場合

のCTDIvolは138mGyであった。

【再構成】

通常検査においては逐次近似応用再構成を用いているが、急患の場合はFBPで再構成している。これは、逐次近似応用再構成とFBPでは再構成時間に差があるためである。

【解析】

解析フローは東芝社のSVD+法を用いており、これはDelayに依存しない解析である。なおこの解析により得られるパラメータはCBF、CBV、MTT、TTP、DLYである。

【急性期脳梗塞でのCTP】

各パラメータの左右差を診て半定量的に血流機能の評価している。急性期脳梗塞の場合、特にCBFおよびCBVの上昇あるいは低下の推移から脳虚血による梗塞の程度を確認している。これにより脳梗塞のペナンプラを推定し、治療の適応や予後予測を判断する。

当院での臨床例でCBF低下、CBV上昇を認め血管内治療にて閉塞血管を再開通させた例では、術後のCTPでは左右差の改善が見られ梗塞を最小限にとどめた。また、CBF、CBV共に低下していた症例では再開通を果たしてもCBV低下範囲と一致して梗塞が完成してしまった。

これらの症例より、急性期脳梗塞でのCTPは治療適応や予後予測に有用であると言える。しかし、実際は血管内治療までの時間を短縮させることの方が重要なため急患に対してのCTPは必ずしも必要な検査ではないと言える。

【急性期以外でのCTP】

もやもや病や頸動脈狭窄症などの虚血性病変に対しての当院でのCTPは年々増加傾向にある。特に治療前後の血流評価に有効で、その結果はSPECTとも相関があると言われている。また、CTPは一度の検査で血流の機能評価の他に3Dや4DのCTAが作成可能なため、他検査を省略できる可能性も考えられる。

【腫瘍性病変でのCTP】

脳腫瘍でのCTPはその腫瘍の悪性度の評価や治療後の再発や壊死性変化の鑑別に有用との報告がある。また、そのスタディはMET-PETとの相関が示唆されている。

【まとめ】

急性期脳梗塞でのCTPは梗塞の治療適応や予後予測に有用であるが血管内治療までの時間的制約のため、当院での緊急CTPは適応が限られる。また、急性期でCTPを用いるには装置の更なる発達が必要であり、各メーカーの方々に期待したい。その一方で、急性期以外の症例に対しては治療前後の評価に適しており、一度の検査で複数のスタディが得られるメリットがある。

操作するユーザーも解析フローや適応、読影など施設間差がなくなるように努める必要がある。

【参考文献】

- 1) Tomura N, et al. Neuro Talk 2011:117