

A New Method with Variable Injection
Parameters in Contrast-Enhanced CT: A
Phantom Study for Evaluating an Aortic
Peak Enhancement

寺 澤 和 晶

鈴鹿医療科学大学大学院 医療科学研究科 医療科学専攻
博士（医療科学）の学位申請論文

指導教員 煎本 正博 客員教授

奥田 逸子 客員教授

2016年3月

博 士 論 文 審 査 委 員

主査 柴田 幸一 教授

副査 川野 誠 教授

副査 松浦 佳苗 准教授

副査 鎮西 康雄 教授

副査 山本 皓二 教授

A New Method with Variable Injection Parameters in Contrast-Enhanced CT: A Phantom
Study for Evaluating an Aortic Peak Enhancement

医療科学専攻 寺澤 和晶

(指導教員 : 煎本 正博 客員教授、奥田 逸子 客員教授)

【背景】一般に、CT 検査における造影は、Standard uniphasic injection (Single-injection method: SIM)による投与で、注入速度を示す iodine administration rate (mgI/s)と注入時間(s)の2つのパラメータにより調整する。したがって、抽出能を向上させるためには、ヨード使用量を増加させるか、または注入時間を短くすることにより注入速度を上昇させる必要がある。また、SIM は注入速度が一定なため、画一的な造影効果しか得られない問題がある。

そこで、高い造影効果を得るためには、ヨード使用量を増加させる、または注入時間を短くして注入速度を上昇させる必要がある。そのため、SIMは注入パラメータを一定にした条件下でTime-enhancement curve (TEC)のPeak enhancementの特性を任意に調整することができない。すなわち、SIMのLimitationといえる。

【目的】本研究の目的は、TECのPeak enhancementの特性を調整する新たな注入パラメータを追加することにより、ヨード負荷を変えずに抽出能を向上させる新しい造影法を提案することである。SIMと同一の条件下で操作できる注入パラメータは注入速度である。これを造影剤の注入中に可変させた場合、任意にTECのPeak enhancementの特性を調整でき、実組織の質的診断検査や3D-CTAなど検査目的に応じた最適なTECを作成できる可能性がある。造影法を理論的にアプローチする先行研究で、Baeらは注入速度を段階的に変化させるMultiphasic-injection method (MIM)を考案し、Peak enhancementの特性を調整した。また、Utsunomiyaらは段階的に造影剤と生理食塩水を混合させて注入するプロトコールにて心臓の機能解析を含めた3D-CTAに適した造影法とした。しかし、TECが段階的に大きく変化するため、タイミングによってはEnhancementが大きく変動することが懸念された。

この問題は、注入速度を連続的に変化させることで改善できる。そこで本研究では、注入速度を可変させるパラメータをVariation factor (VF)と定義し、これを用いて注入速度を連続的に変化させるVariable-injection method (VIM)と称する造影法を考案した。そして、従来法であるSIMと同一の総ヨード負荷量および注入時間で、VFを用いたVIMのPeak enhancementの特性を解析することにより、その有用性を評価することとした。

【方法】TEC phantomによりTECを取得した。造影剤の到達時間はEnhancementが10HU以上になった時点から2秒前とし、3回一組に3つのプロトコールの実験を行った。また、CT値(HU)はスキャン位置のホースの中心部で断面積の80%程度のRegion of interest (ROI)にて測定し、造影剤注入前のCT値を減じた。そして、プロトコールをマスクした状態で1名の診療放射線技師(Tsukimata T)が計測した。

① TEC phantomによるSIMの解析

注入速度を一定にしたSIMにおいて注入時間を変化させTECが形成される過程を検証するために、ヨード使用量を12000mgI、18000mgI および24000mgI、注入速度を720mgI/s として比

較した(造影剤用量が50mL、75mLおよび100mLで、injection flow rateはすべて3mL/s)。それぞれをプロトコール1(i)、プロトコール1(ii)およびプロトコール1(iii)とした。そして、TECを解析するポイントをPeak enhancement、Time to peak enhancement、Contrast medium arrival timeとした。また、Time to peak enhancementからContrast medium arrival timeを減じた時間をPeak timeと定めて解析に加えた。

② TEC phantom によるPeak enhancement特性の検討

VFの違いによるVIMおよびSIMの関係を評価するために、VFを0.3、0.5、1.0、1.5と変化させTECを取得した。すべてヨード使用量は24000mgIとし、造影剤用量は100mLとした。注入時間は35秒で、これをプロトコール2(A)[i-iv]とした。次に、VIMにおける注入時間の変化を評価するために、同様にVFを0.3、0.5、1.0、1.5と変化させ25秒注入のTECを取得した。これをプロトコール2(B)[i-iv]とした。すべてヨード使用量は24000mgIとした(造影剤用量:100mL)。また、方法②の解析ポイントに加えPeak enhancementの80%をEnhancementが持続する時間と定め、Enhancement timeとして比較した。

【結果】

- ① Peak enhancementおよびTime to peak enhancement(s)の関係を求めると、プロトコール1(i)は 165.7 ± 6.5 (HU)、 25.3 ± 1.2 秒、1(ii)は 207.7 ± 6.5 (HU)、 34.7 ± 1.2 秒、1(iii)は 229.7 ± 5.5 (HU)、 42.7 ± 1.2 秒であった。それぞれのPeak timeを求めると、プロトコール1(i)は15.3、1(ii)は24.7、1(iii)は32.7秒であった。Peak timeを比較すると、プロトコール1(ii、iii)は注入時間とほぼ等しくなったが、プロトコール1(i)は1.4秒短くなった。
- ② VFを変化させたVIMの関係を比較すると、プロトコール2(A)[i-iv]および2(B)[i-iv]ともにVFが1.0より低い場合、Time to peak enhancementがSIMより早くなった。一方、VFが1.0より高い場合はTime to peak enhancementがSIMより遅延した。TECはVFが0.3および1.5のときPeak enhancementの前後で急激な変化を示し、Peak enhancementはSIMより上昇した($P < 0.05$)。一方、VFが0.5のときはSIMより高いEnhancementは得られなかったが、Peak enhancementを中心にTECに急激な変化がなく、Enhancementを持続するような安定した形状になった。

【考察】VFが0.3および0.5のときはVIMはSIMに比べ注入初期に注入速度が上昇することから、動脈系と静脈系および動脈系と実組織Enhancementとのコントラストを向上できると考えられた。また、SIMよりContrast medium arrival timeが早期になることから、実質臓器および静脈系との時間的分離を向上させると考えられた。

【結論】注入時間を変化させることや、ヨード負荷を増加させることなくTECのカスタマイズを行うことで質的診断検査における動脈系と実組織の時間的分離による描出能向上および形状解析による形態診断の精度向上を可能にした。その特性の解析により①、②が臨床応用法として有用と示唆された。

- ① VF=0.3によるVIMは肝質的診断検査等のコントラストの改善が期待できる。
- ② VF=0.5によるVIMはSIMに比べ3D-CTAにおけるより正確な形状解析が可能である。

*なお、本論文の要旨は北米放射線学会(RSNA)2015にてCertificate of Merit賞が授与された。