

造影効果の指標である造影効果指数(CE Index)の検証

JR仙台病院 放射線科 ○佐々木 哲也(Sasaki Tetsuya)
里村 美奈斗 千葉 幸 菊地 良宏 飯野 啓二 松橋 俊夫

【はじめに】

造影CTの造影効果をあらわす指標に造影効果指数(Contrast Enhancement Index:以下、CE Index)がある。CE Indexは、単位体重規定投与ヨード量あたりに上昇するCT値(Δ HU/mgI/kg)と定義され、異なる投与ヨード量(mgI/kg)の造影効果を体系的に評価できる指標として論文等で採用されてきた¹⁻²⁾。しかし、CE Indexは投与ヨード量と造影効果(Δ HU)の間に正比例関係(近似式: $y=ax$ または $y=ax+b$ の線形関係)が成り立つことが大前提である。今回、ファントム実験と臨床評価からCE Indexの正当性を検証したので報告する。

【方法】

1.ファントム実験:濃度300mgI/mlのヨード造影剤(IohexolとIopamidol)を0.1~5.0%に希釈した水溶液を60mlシリンジに封入し、腹部を模した楕円形水ファントム内に配置して、CT装置(Lightspeed VCT:GE Healthcare)で撮像した。撮像条件は、管電圧:120kVp、X線出力:200mAs、再構成関数:standard、スライス厚/再構成間隔:5.0/.0mmとした。得られた希釈溶液のCT画像からROIを使って平均CT値を10スライス分測定し、濃度0%(蒸留水)からの上昇CT値(Δ HU)を求めた(Fig.1)。

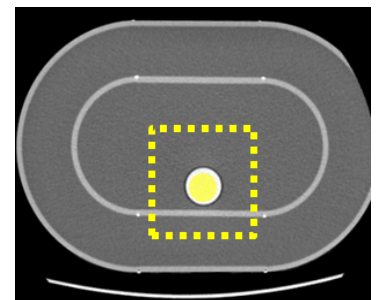


Fig.1 測定レイアウト

2.臨床評価:2011年4月から2017年9月に施行した、肝ダイナミック造影CT(濃度300mgI/ml換算量を右肘静脈から30秒で注入し、後期動脈相:40秒、門脈相:70秒、平衡相:180秒後に撮像)症例のうち、検査情報を前向きに取得した1095例(造影剤投与ヨード量420~630mgI/kg)を抽出した。これまでの検討から、臨床における造影効果は、被検者に関連する複数の因子によって大きく変動することがわかっている。よって、今回は1095例の中から、①性別:男性、②年齢:55~75歳、③体重:55~75kg、④BMI:20~25kg/m²、⑤eGFR:55~75ml/min/1.73m²、⑥穿刺部位:右肘静脈(尺側・正中・橈側皮静脈のいずれか)の条件を満たした115例を対象とした。造影効果の評価部位は、各時相における腹腔動脈分岐レベルの腹部大動脈と肝門部レベルの肝実質とした。各測定部位におけるCT値を、ROIを使って10点ずつ測定し、造影前後の差分CT値(Δ HU)の削除平均値を求めた。なお、後期動脈相における肝実質は、造影効果の正確な測定が困難なことから、今回は除外した。

【結果】

1.ファントム実験:希釈したヨード造影剤の濃度(%)と上昇CT値(Δ HU)の関係を示す(Fig.2)。濃度と上昇CT値の間に非常に強い正の相関を認め、近似直線: $y=ax+b$ でいずれも切片bがほぼ0を示す正比例の関係を認めた($p<0.01$)。

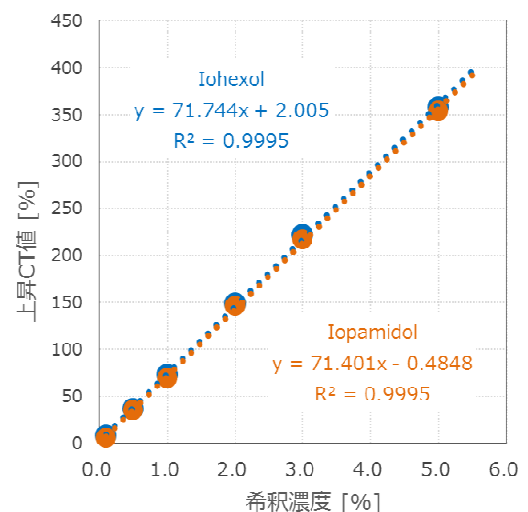


Fig.2 ファントム実験

2.臨床評価:対象115例の被検者背景に大きな偏りがないかを確認するため、投与ヨード量(mgI/kg)と上記条件①~⑥の多変量解析を行った。結果、投与ヨード量と⑤eGFRの間に有意な正の相関($p<0.05$)を示したが、それ以外の因子に有意な相関を認めなかった。各時相における投与ヨード量(mgI/kg)と造影効果(Δ HU)の関係を示す(次頁Fig. 3)。いずれの部位と時相でも両者の関係は近似式: $y=ax+b$ (切片 $b>0$)で与えられる正の相関を認めた($p<0.01$)。また、症例数を確保できた420mgI/kg群と600mgI/g群における実際のCE Indexを比較したところ、後期動脈相と門脈相において420mgI/kg群の方が有意に高い結果となった($p<0.05$)。

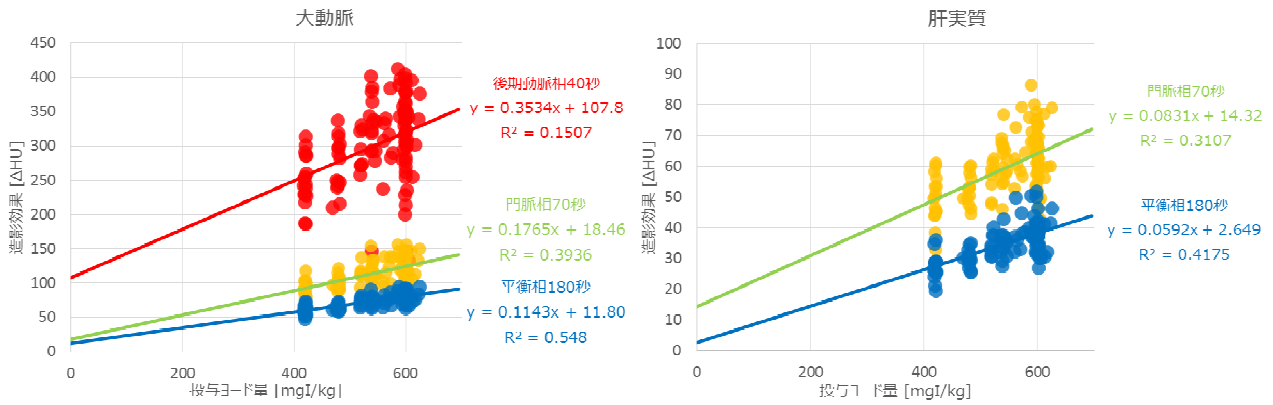


Fig.3 臨床評価 (左:大動脈、右:肝実質)

【考察】

投与ヨード量 (mgI/kg) と造影効果 (ΔHU) の関係を示す近似式 ($y=ax+b$) について再考する。CE Indexは、両者の関係を示す近似式の傾き (a) に相当する。今回の検証から、後期動脈相と門脈相において420mgI/kg群と600mgI/kg群の実際のCE Indexに有意差を認めたことから、CE Indexの正当性を示す近似式の線形性 (すなわち傾きaが常に一定) が否定された。また、実際には投与ヨード量 (mgI/kg) がゼロのときに造影効果が正の値をとることはない。すなわち切片 (b) は限りなくゼロに近い値となる。以上のことから、両者の関係を示す近似式は、切片 (b) が0ゼロとなる非線形 (累乗) の近似式で与えられると考える (Fig.4)。

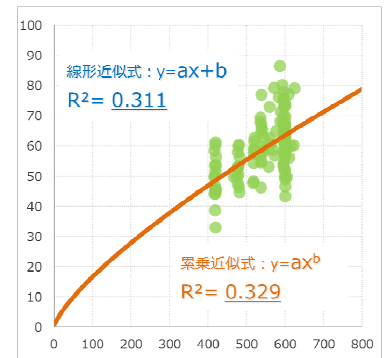


Fig.4 臨床の近似式

次に、ファントム実験と臨床評価の結果に生じた乖離について論じる。臨床における造影効果の分布を非線形で表した場合、実際には投与量が多くなる領域で造影効果がそれほど上がらないことを意味する (Fig.5)。これは、ファントムでは見出せない、生体に固有の作用が影響していると考える。寺澤ら³⁾は、この影響として「心拍出量」と造影剤の「浸透圧」について言及している。後期動脈相は、血液循環のファーストパスを捉える時相で心機能の影響を強く受ける。投与ヨード量が多くなる領域では、注入速度が4.0~5.0ml/secとなり、心拍出量の限界を超える造影剤が心腔内に入り込むことで、造影効果がプラトーとなることが予想される。また、門脈相は実質臓器のヨード分布が平衡となるタイミングで、造影剤の性質 (浸透圧) の影響を強く受けると考える。寺澤らは、「血液より浸透圧の高い造影剤が血管内に大量に注入されると血管外から血管内へ水分が移行する」としており、今回の結果もこの考察を示唆するものであった。

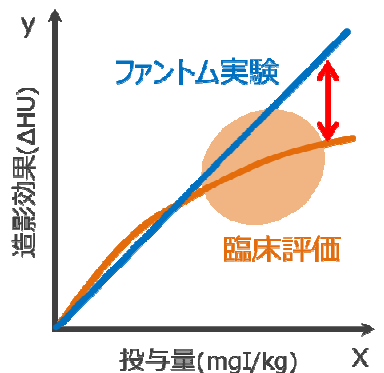


Fig.5 ファントム実験と臨床評価

【まとめ】

造影効果の指標である造影効果指数 (CE Index) の正当性をファントム実験と臨床評価から検証した。結果、臨床においてCE Indexの正当性が否定され、その背景には生体における心拍出量の影響や造影剤の浸透圧の影響が示唆された。

【参考文献・図書】

- 1) Heiken JP et al :Dynamic incremental CT: Effect of volume and concentration of contrast material and patient weight on hepatic enhancement. Radiology, 195, 1995
- 2) 山口 功 ほか :造影剤増強効果に影響を与える被検者因子および造影剤因子について. 日放技学誌, 58(4), 2002.
- 3) 寺澤 和晶 ほか :CT造影剤特性が造影効果に及ぼす影響. 日放技学誌, 67(12), 2011.