

造影理論を再考

- 肝臓編 -

座長 秋田県立脳血管研究センター 放射線科診療部 佐々木 文昭(Sasaki Fumiaki)

【座長集約】

本年のテクニカルミーティングCT分野は造影理論の再考をテーマに開催しました。肝臓造影CTで求められる画像、それを得るためのパラメータとしては様々なものがありますが、今回は①後期動脈相の撮影タイミング、②門脈相の造影効果の2点について造影効果の適正化、検査の再現性を目的に再考してみました。

後期動脈相の撮影タイミングに関しては、岩手医科大学附属病院 中央放射線部の小上康之さんより撮影タイミング固定法とBolus Tracking法(BT法)を使用している2施設のデータ比較、撮影タイミングに影響を与える因子について報告していただきました。近年、装置の進歩により上腹部の撮影時間は5秒前後と短くなっており以前に比べ厳密な撮影タイミングが求められます。BT法での撮影開始タイミングは最大14秒もの差が見られたことから解かるように固定法ではタイミングを外してしまう症例がある程度存在する事は事実です。今回の比較は患者背景も異なる2つの施設の比較ではありますがBT法はCT値の変動を抑え視覚評価でも造影タイミング不良症例数を抑えていることが伺えました。しかし、BT法を用いても少なからず撮影タイミング不良例が含まれており、これらの要因としては肝硬変や門脈圧亢進など門脈循環の影響が考えられました。また、撮影タイミングに影響を与える因子として、高齢となるほど撮影開始時間が遅くなり個々のバラつきが大きくなる傾向が見られ、やはり加齢による心機能の低下が要因として考えられました。

門脈相の造影効果に関しては、JR仙台病院 放射線科の佐々木哲也さんより造影効果に影響を与える被験者因子について報告していただきました。一般的には造影剤量は体重により規定されていますが徐脂肪体重や体表面積を指標とした造影剤量設定法の有用性に関する報告も多数みられます。佐々木さんからは肝機能、年齢、体格、性別が造影効果にどのように影響を与えるかを検討いただき、ガイドラインにある体重規定法だけでは造影効果の再現性には不十分であり造影効果に影響を与える因子の把握が重要と報告されました。さらに体組成を考慮し身長、体重、性別の3項目を用いた新たな造影剤量設定法を紹介いただきました。

今回、お二人の検討から肝多時相CTにおける再現性の向上に向けヒントを得ることが出来たと思います。今一度演者のお二人に感謝申し上げます。また、視覚評価、データ解析のご協力いただいた岩手医科大学附属病院の太田佳孝氏にこの場を借りて感謝申し上げます。

最後に、次回のテクニカルミーティングCT分野についてお知らせいたします。次回も「造影理論を再考」をテーマに予定しています。対象を血管とし、CT-Angioに必要な技術、知識を検証していきたいと思っております。次回も今回同様多くの方のご参加、活発な討議をよろしくお願いいたします。

肝ダイナミック CT における後期動脈相の撮影タイミングを再考する

岩手医科大学附属病院 中央放射線部 小上 康之(Kokami Yasuyuki)

【はじめに】

多血性肝細胞癌の診断における肝ダイナミックCTの役割の一つとして、後期動脈相を適切なタイミングで撮影して早期濃染をとらえることが重要になるが、そのためには腹部大動脈最大CT値到達時間(腹部大動脈ピーク時間)を的確に予測する必要がある。造影剤の注入ヨード量の規定投与と注

入時間を一定にすることで、患者間のTime Enhancement Curve(TEC)のばらつきを最小限にすることは可能である。しかし、造影剤の到達時間は個々の患者パラメータの違いによって個人差が生じるため、後期動脈相の撮影タイミングを固定した方法では不適當となる場合がある。

Table 1 使用機器および撮影条件

項目	固定法		BT法	
CT装置	Light Speed VCT 64 (GE)	Light Speed VCT 64 (GE)	Aquilion 16 (東芝)	Aquilion 64 (東芝)
注入器	Dual Shot GX (根本杏林堂)	Dual Shot GX (根本杏林堂)	Dual Shot (根本杏林堂)	Auto enhance A-250 (根本杏林堂)
管電圧	120kV	120kV	120kV	120kV
管電流 (設定SD)	CT-AEC (9.0~9.88)	CT-AEC (11.0)	CT-AEC (10.0)	CT-AEC (10.0)
回転速度	0.6~0.7sec/rot	0.6~0.8sec/rot	0.5~0.75sec/rot	0.5~0.75sec/rot
ピッチファクタ	0.984	0.984	0.938	0.844
収集条件	0.625mm×64列	0.625mm×64列	2mm×16列	1mm×32列
再構成スライス厚	5mm	3mm	3mm	3mm
再構成関数	Std	std	FC13	FC13
その他	-	ASiR(50%)	-	AiDR 3D(Mild)

Table 2 対象症例の患者背景

項目	固定法(JR仙台) N=231	BT法(岩手医大) N=280
性別	男性 (%)	147 (63.6)
	女性 (%)	84 (36.4)
年齢 (歳)	平均値±SD	57.8±10.0
体重 (kg)	平均値±SD	59.4±9.8
		66.4±11.6
		59.8±10.1

肝ダイナミックCTにおける後期動脈相の撮影タイミングの決定には、主に撮影開始時間固定(固定)法、Bolus Tracking(BT)法が用いられている。そこで今回、固定法とBT法における造影効果、ならびに撮影タイミングに関して比較検討したので報告する。

【方法】

使用機器および撮影条件はTable 1に示す。なお、いずれの装置も上腹部領域の撮影時間は4~6秒程度となっている。

造影剤注入プロトコールは、注入ヨード投与量を600 mgI/kg、注入時間を30秒とし、固定法、BT法いずれも同一条件下で比較検討した。なお、使用造影剤は300 mgI/mlのみを対象として行った。

今回は個人情報に配慮した上、JR仙台病院で行われている40秒の固定法と、当院で行われているBT法で比較検討を行った。対象症例の患者背景をTable 2に示す。

撮影プロトコールは、固定法は造影剤注入開始から40秒で撮影開始。一方、BT法は横隔膜レベルの大動脈にROIを置き、造影剤注入開始11秒後からCT透視が開始、CT値30 HU上昇でtriggerが作動、trigger後wait時間20秒で撮影とした。

1. 造影効果

後期動脈相における、腹腔動脈分岐部レベルの腹部大動脈、肝門部レベルの肝実質(右葉・左葉)と門脈のCT値を計測し、単純CTとの差分値を上昇CT値: Enhancement Unit (EU)として評価した。

2. 撮影タイミング

視覚評価の判定基準としては、「門脈が一部造影されている」、「肝実質が少し造影されている」、「肝静脈が造影されていない」のすべてが満たされている場合は「良好」、門脈がまだ造影されていない場合は「早い」、門脈全体が強く造影され肝実質も強く造影されている場合や、肝静脈が造影されている場合は「遅い」の3段階とし、3人の技師によって評価した。

【結果】

今回のデータより算出されたBT法における後期動脈相の撮影開始時間は、平均で35.7±2.5秒となった。その撮影開始時間と被検者数をFig.1に示す。

1. 造影効果

大動脈の造影効果の分布を比較すると、BT法では固定法に比べて、ばらつきが抑えられており、

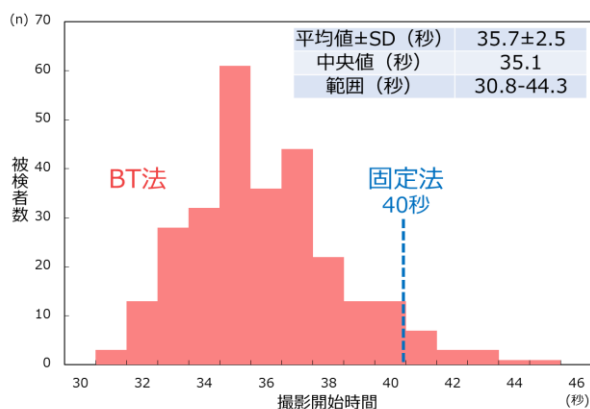


Fig.1 BT法の撮影開始時間と被検者数の関係

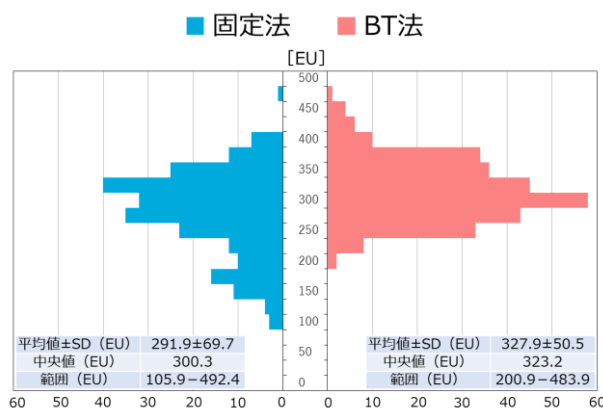


Fig.2 大動脈造影効果の分布

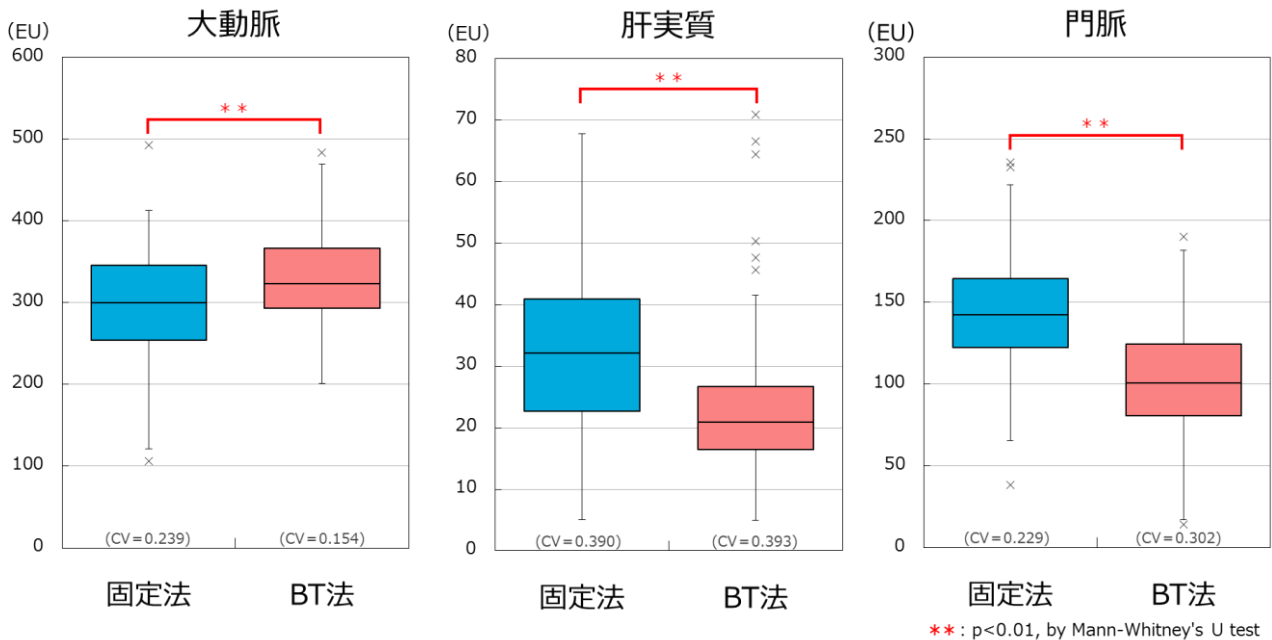


Fig.3 大動脈・肝実質・門脈の造影効果

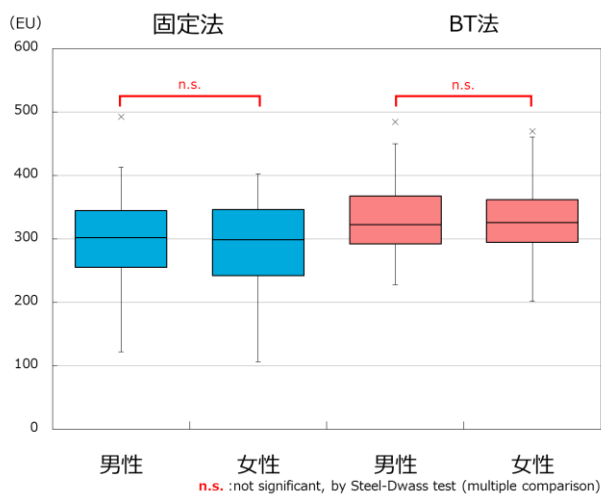


Fig.4 大動脈の造影効果と性別の関係

なおかつ極端に造影効果の低い症例もなかった (Fig.2)。また、大動脈の造影効果はBT法が有意に高く ($P < 0.01$)、肝実質および門脈の造影効果はいずれも固定法が有意に高い ($P < 0.01$) 結果となった (Fig.3)。

大動脈の造影効果と性別の関係には、固定法・BT法のいずれも有意差は認められなかった (Fig.4)。また、大動脈の造影効果に体重の違いによる影響もほとんどみられなかったが、固定法では体重によらず一定の割合で造影不良の症例がみられた (Fig.5)。大動脈の造影効果と年齢の関係より、固定法・BT法のいずれも加齢に伴って造影効果がわずかに上昇する傾向がみられた (Fig.6)。

BT法における撮影開始時間と年齢および大動脈の造影効果の関係より、加齢に伴って撮影開始時間の個人差が末広がりが大きくなり、特に遅延が強くなる傾向がみられた (Fig.7)。また、撮影開始

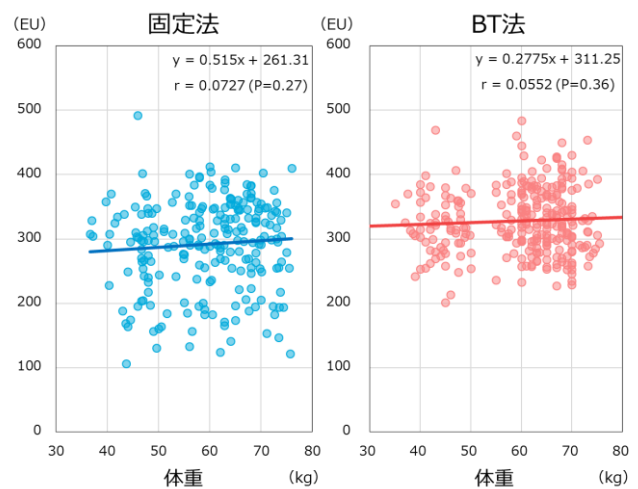


Fig.5 大動脈の造影効果と体重の関係

時間の遅延に伴って大動脈の造影効果が高くなる傾向がみられた。

2. 撮影タイミング

撮影タイミングの比較として、視覚評価での良好な割合は固定法の83%に対して、BT法は93%と高い結果となった (Fig.8)。それぞれの特徴としては、固定法の不良であった症例は遅いタイミングが多かったのに対し、BT法の不良であった症例の多くは早いタイミングであるという結果になった。

また、腹部大動脈の造影効果と視覚評価の関係より、固定法では視覚評価において遅い評価のグループの大動脈の造影効果が、良好の評価グループに対して優位に低い ($P < 0.01$) 結果となった (Fig.9)。一方、BT法でも、遅い評価のグループは低い ($P < 0.05$) 結果となったが、固定法ほどの大きな低下はみられなかった。

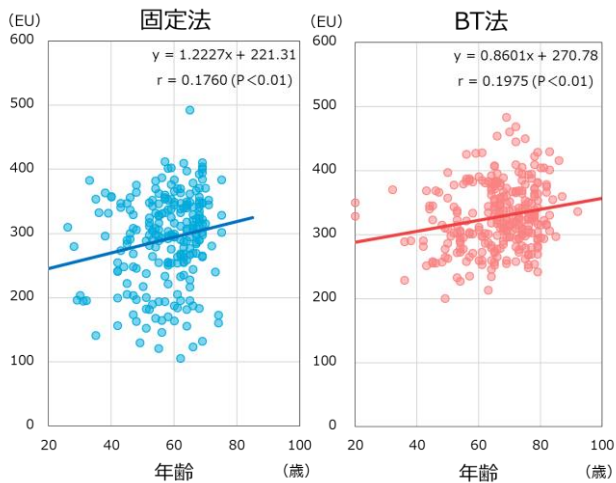


Fig.6 大動脈の造影効果と年齢の関係

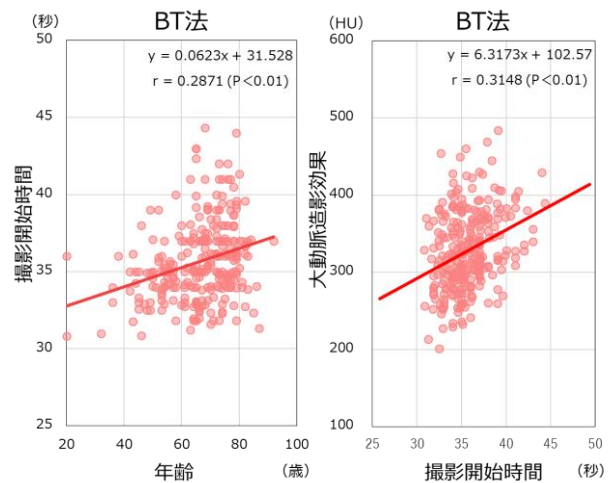


Fig.7 BT法における撮影開始時間と年齢および大動脈の造影効果の関係

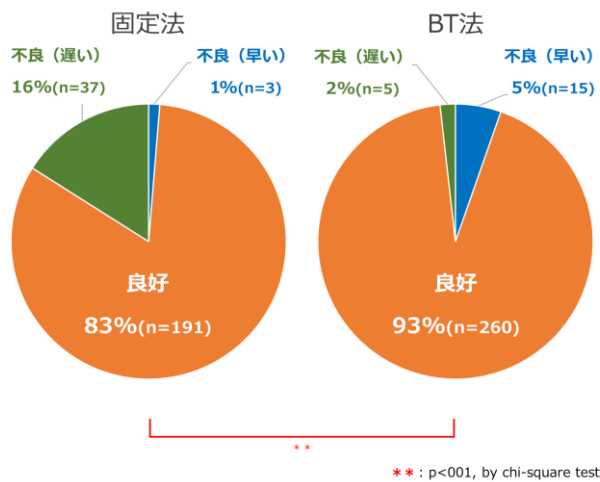


Fig.8 撮影タイミングの視覚評価

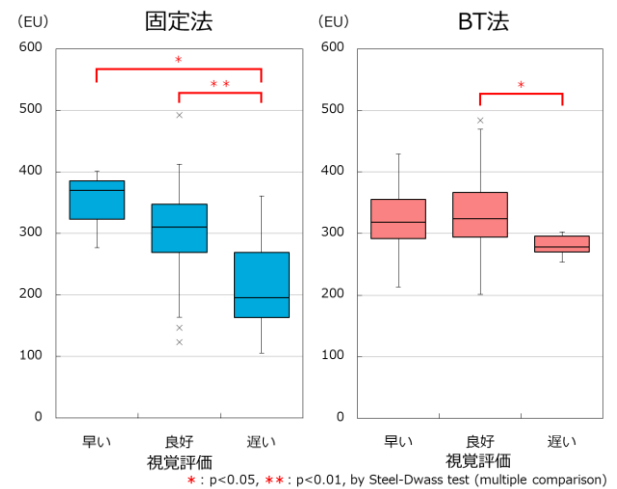


Fig.9 腹部大動脈の造影効果と撮影タイミングの視覚評価の関係

【考察】

今回の検討から、固定法では一定の造影不良症例が存在し、再現性に対してはBT法による患者要因の補正が有効であるという結果が得られた。また、加齢に伴う撮影タイミングのばらつきは、循環動態の変化を示唆するもので、高齢者に対してBT法は特に有効と考える。

しかし、当院のプロトコルではBT法による患者補正にも関わらず、撮影タイミングが早い症例が存在した。早かった症例はいずれも肝硬変を基礎とした疾患であった。BT法は、「Trigger位置」、「Trigger CT値」、「Trigger後のwait時間」を設定するが、今回の結果から更なる検討が必要と考える。

【まとめ】

肝ダイナミックCTでは各種パラメータに影響されず、十分な造影効果が得られ、適切な撮影タイミングで撮影された画像が求められる。今回の検討よりBT法は固定法に比べ、造影効果、視覚評価で良

好な結果が得られた。特に年齢による循環補正に有効であり、疾患の影響を加味することによりさらに精度を高められる可能性がある。

最後に、日常的に検査頻度が高いと思われる肝ダイナミックCTにおいて、固定法とBT法のどちらを用いて行うかの判断としては、安全性という点に関わっていると考える。固定法では撮影開始直前まで患者の近くに立って造影剤の漏れや患者状態をしっかりと観察できることが可能であるのに対し、BT法ではCT透視が開始されるため観察者は早々に退避しなければならない。そのため検査の安全性を優先する場合は固定法を、検査精度を優先する場合にはBT法と、それぞれの施設の方針によって使い分けられているのではないかと考える。今回の検討を踏まえて、固定法、BT法それぞれの特徴を熟知した上で、安全面と検査精度のバランスから撮影法を選択して臨床に活用していきたい。

【参考文献】

- 1) 市川智章 他：CT 造影理論 医学書院
- 2) 八町淳 他：CT 造影技術 メディカルアイ
- 3) 吉川秀司 他：他施設共同研究による肝細胞癌診断のための Bolus Tracking を使用した CT

検査における動脈優位相撮影の造影方法および設定値の検討 日本放射線技術学会雑誌 Vol.70 No.8 805-813 2014

肝ダイナミックCTにおける門脈相の至適造影剤量を再考する

JR仙台病院 放射線科 佐々木 哲也(Sasaki Tetsuya)

【はじめに】

肝ダイナミック造影CTにおける門脈相は、正常肝実質の造影効果が最大となるタイミングで、乏血性肝腫瘍(肝転移)の検出や、肝区域の分類・血管浸潤の評価といった悪性腫瘍の病期診断や遠隔転移の検索に有用な撮影時相である¹⁻²⁾。造影効果に影響を与えるおもな造影条件に、注入時間・注入速度・造影剤投与量の3つが挙げられるが、門脈相の肝実質については注入時間や注入速度にはほぼ依存せず³⁾、造影剤投与量にのみ依存する⁴⁾といわれている。

現在のガイドライン¹⁻²⁾が推奨する造影剤量は、体重規定520~600 mgI/kgとなっており、それに対応する肝実質の造影効果は50~60 HU程度⁵⁻⁷⁾の上昇が目安となるが、臨床においては、適正な造影効果を「確実に」得られるわけではない。Fig.1には、当院での肝ダイナミック造影CTの門脈相(520あるいは600 mgI/kgを30秒注入し70秒後より撮影)の造影効果を示す。適正な造影効果(上昇値50~60 [HU])にあたるのは、520 mgI/kgで39%、600 mgI/kgでは33%と、4割にも満たない頻度であった。すなわち、ガイドラインの推奨条件では、再現性の観点からも不十分であり、改善の余地が残されている。そこで今回、門脈相の造影効果に影響を与

える「被検者因子」を評価し、更なる再現性の向上を図った当院の取り組みを紹介したい。

【使用機器および撮影プロトコル】

使用機器は、Lightspeed VCT (GEヘルスケア・ジャパン)、自動注入器は、Dual Shot GX (根本杏林堂)、造影剤はイオヘキソールとイオパミドール(濃度300 mgI/ml)である。管電圧は120 kV、管電流はAEC (自動露出機構)でNoise Index 9.0~9.88の設定とした。造影条件は、体重規定600 mgI/kgの造影剤(300 mgI/ml)を前腕~肘窩静脈に30秒で注入し、注入開始から70秒後に上腹部を撮像した症例を対象とした。造影効果は、肝門部レベルの5~6スライス(スライス厚5 mm/再構成間隔5 mm)の画像を使用し、造影前後の正常肝実質のCT値を10点測定し、差分CT値の削除平均値を造影効果とした。なお、統計解析はノンパラメトリック検定を使用した。

【造影効果に影響を及ぼす被検者因子】

門脈相の造影効果に影響を与える因子として、検査のハード面に関わる因子(CT装置の実効エネルギー、CT値の校正、インジェクタの性能、造影剤の性状など)と、検査のソフト面に関わる因子(管電圧や撮影タイミングの設定、穿刺部や穿刺針の選択、造影剤投与量の決定など)、さらに被検者に関わる因子(性別や体重、年齢など)が挙げられる。各施設においては、すでにプロトコルが確立されており、ある程度一定の環境下で検査が行われることから、臨床において最も造影効果の影響を与

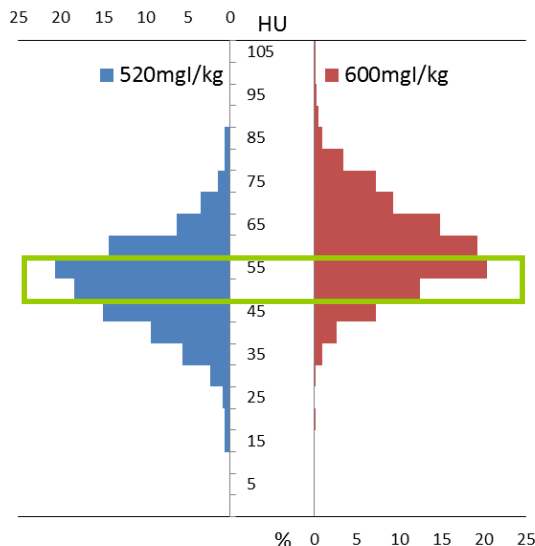


Fig.1 当院における造影効果の分布



Fig.2 造影効果の計測部

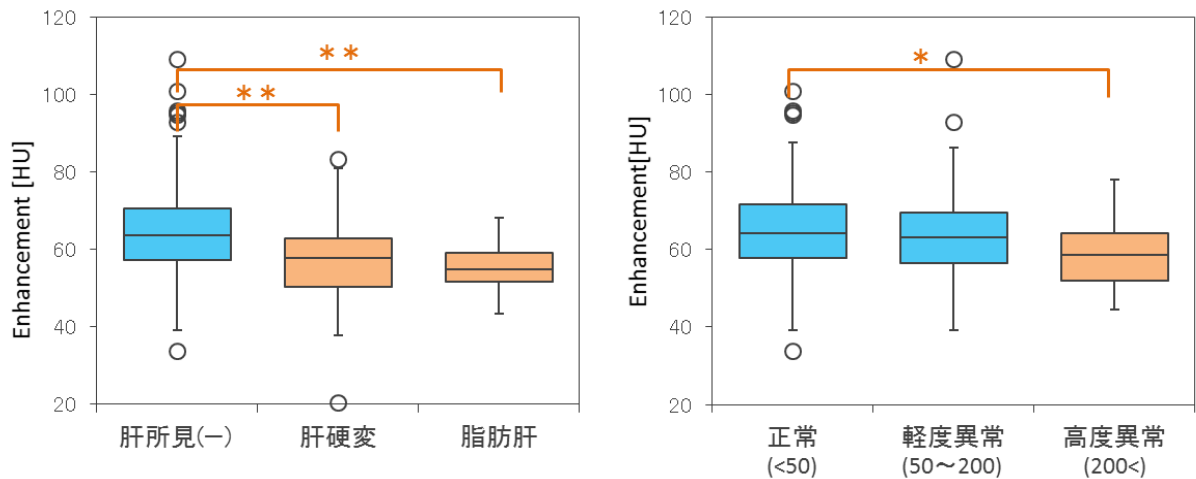


Fig.3 びまん性肝疾患の有無(A)および肝機能異常(γ -GTP)の有無(B)の造影効果 A | B

えるのは「被検者因子」と推測される。よって今回、造影効果に影響を与える因子として、「びまん性肝疾患の有無」、「年齢」、「性別」、「体重」の4項目について解析していきたい。

対象は、2010年10月～2016年9月に当院で施行された肝ダイナミック造影CTのうち、前向きに検査情報を取得した567例である。

1. びまん性肝疾患の有無

びまん性肝疾患(肝硬変や脂肪肝)を有する臨床画像では、造影効果が相対的に低下することが「経験的に」知られており、臨床研究では除外症例として扱われることが多い⁵⁾。しかし、造影効果の変動を「定量的」に示す報告は見受けられない。Fig.3-Aに、びまん性肝疾患の有無で症例を分類した際の造影効果の分布を示す。肝硬変や脂肪肝を有する造影効果は有意に低下していることがわかる。さらに、肝所見を認めない(肝硬変や脂肪肝と診断されなかった)症例を、肝機能異常(γ -GTP)の有無で3群に分類し造影効果を比較したところ、やはり高度異常群(γ -GTP<200)で有意に造影効果が低下することがわかった。

実質臓器の造影効果は、細胞外液腔に分布するヨードの濃度を反映する。よって、肝実質内のヨード循環を阻害する病態(繊維組織や脂肪滴の沈着)は、造影効果を低下させる因子となり得る。さらに、この機序は肝機能異常と密接に関係し、視覚的・形態的な変化とならなくとも造影効果は「連続的に」低下すると考える。

2. 年齢

年齢(加齢)が造影効果に与える影響についてはすでに報告されており、その中で山口ら⁸⁾は、平衡相(180秒後)における肝実質の造影効果[$\text{HU}/\text{gI}/\text{kg}$]と年齢の関係について、加齢に伴い造影効果が上昇する傾向を示している。Fig.4に

は、年齢別に階層分類した当院の造影効果を示す。山口らの報告とは反して、加齢に伴い造影効果が有意に低下する傾向を認めた($r=-0.238$, $p<0.01$)。

Fig.4は同一被検者を継時的に追って評価したわけではないので、推測の域をでることができないが、加齢にともなう生理的変化(体内水分量の減少による肝実質の末梢血液量の低下)によって肝実質内のヨード分布量が減少した結果、造影効果が低下したと考える。

山口らの報告と挙動が一致しない点については、撮影時相が異なる点や造影効果の指標が異なる点が挙げられる。山口らが造影効果の指標としたCE index[$\text{HU}/\text{gI}/\text{kg}$]は、体重規定投与量[gI/kg]とそれに伴うCT値上昇[HU]が正比例(線形)関係であることが大前提となるが、これに対する検証はなされていないことに留意していただきたい。

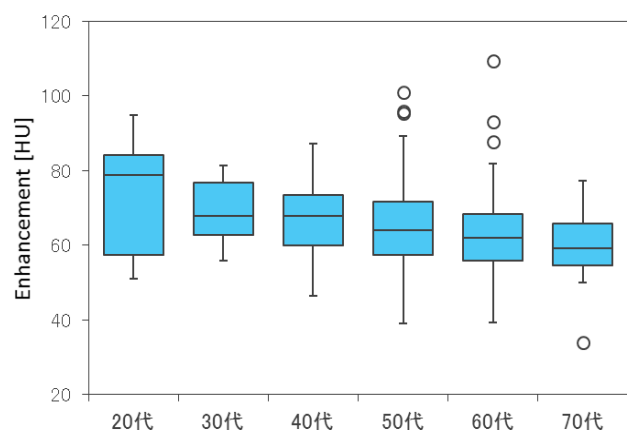


Fig.4 年齢(年代)と造影効果の関係

3. 性別・体重

近藤ら⁹⁾は、高体重(肥満)群に対し体重規定法で造影剤量を決定すると過剰投与の危険があることを示した。また、男女間の体格や造影効果の違いについては、すでに山口ら⁸⁾の報告がなさ

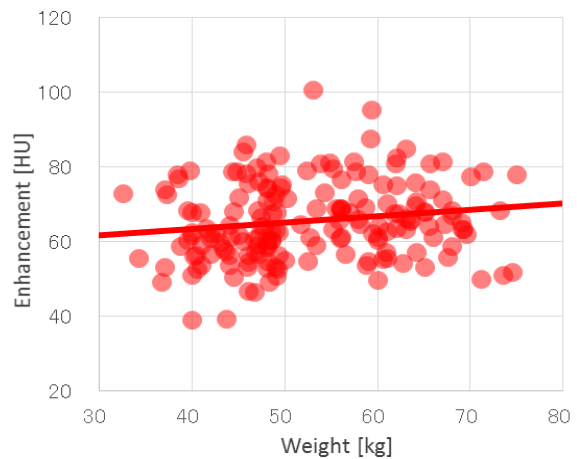
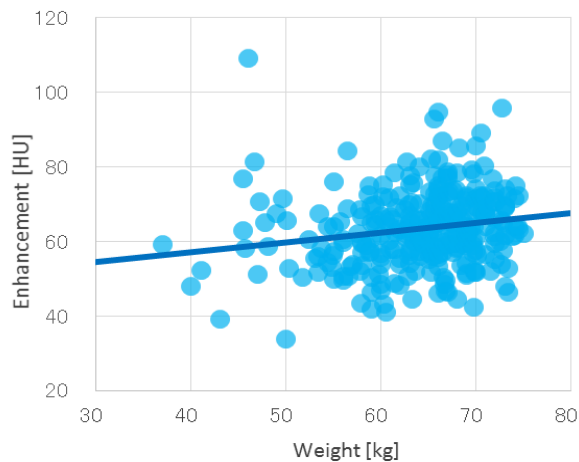


Fig.5 体重[kg]と造影効果の関係(A:男性, B:女性) A | B

れている。Fig.5に男女それぞれの体重と造影効果の分布を示す。男女ともに体重と造影効果の間には有意な正の相関を認めた(男性: $r=0.177$, $p<0.01$, 女性: $r=0.160$, $p<0.05$)。また、体重で階層分類した男女間の造影効果を比較したところ、50 kg台と60 kg台で女性の方が有意に高い結果となった(Fig.6)。

【まとめ】

以上から、造影効果を低下させる因子として「びまん性肝疾患」と「加齢」が、造影効果を上昇させる因子として「体重増加」と「女性」が挙げられた。実際は、これら因子は同一被検者に複数存在するため、必ず造影効果を変動させるとは限らないが、これら因子の存在を知ることは、臨床において説明や予測に有用な情報となり得る。ぜひ明日から臨床の現場に役立てていただきたい。

また、今回のテクニカルミーティングでは、造影効果の更なる再現性の向上を目的に開発した実

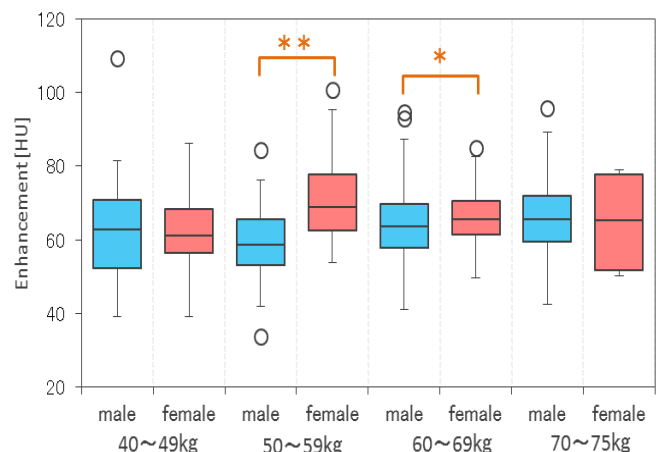


Fig.6 体重で階層分類した男女間の造影効果

質組織量で規定する造影剤投与量決定法(Parenchymal Volume:PV法)の有用性について紹介した。詳細については、近い将来論文として報告するので、そちらを参照していただきたい。

【参考文献・図書】

- 1) 日本医学放射線学会. 画像診断ガイドライン (2013年度版). 金原出版 2013: 210-212
- 2) 日本放射線技術学会. X線CT撮影における標準化 ~GALACTIC~ (改訂2版). 2015: 52-53
- 3) Bae KT, et al. Aortic and hepatic peak enhancement at CT: effect of contrast medium injection rate-pharmacokinetic analysis and experimental porcine model. Radiology 1998; 206(2): 455-464
- 4) 市川智章 編集: CT造影理論. 医学書院 2004: 125-126
- 5) Heiken JP, et al. Dynamic incremental CT: effect of volume and concentration of contrast material and patient weight on hepatic enhancement. Radiology 1995; 195(2): 353-357
- 6) Yasuyuki Y, et al. Abdominal helical CT: evaluation of optimal doses of intravenous contrast material-a prospective randomized study. Radiology 2000; 216(3): 718-723
- 7) 近藤浩史 ほか. 造影CTにおける至適造影剤量を探る. 映像情報メディカル 2010; 42(8): 678-681
- 8) 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 2002; 8(4): 517-523
- 9) Kondo H, et al. Abdominal multidetector CT in patients with varying body fat percentages: estimation of optimal contrast material dose. Radiology 2008; 249(3): 872-877