

委員会報告 精密検査の手法として大腸CT検査の位置づけおよび必要条件と課題

日本消化器がん検診学会大腸がん検診精度管理委員会

担当理事 斎藤 博 (国立がん研究センター社会と健康研究センター)

委員 金岡 繁 (浜松医療センター消化器内科)

島田 剛延 (宮城県対がん協会がん検診センター)

鈴木 康元 (松島病院大腸肛門病センター松島クリニック)

須田 健夫 (須田胃腸科外科医院)

永田 浩一 (国立がん研究センター社会と健康研究センター)

西田 博 (パナソニック健康保険組合産業保健センター)

西村 元一 (金沢赤十字病院外科)

野崎 良一 (大腸肛門病センター高野病院)

樋渡 信夫 (ひろせ会広瀬病院)

松浦 邦彦 (北海道対がん協会釧路がん検診センター)

松田 一夫 (福井県健康管理協会)

松田 尚久 (国立がん研究センター中央病院検診センター)

山口 和也 (ちば県民保健予防財団総合健診センター)

1. 要約

大腸CT検査の診断精度は国内外の大規模な前向き研究によって検討されており、近年の報告ではいずれも10mm以上のポリープや癌に対する感度は90%以上を示している。表面型病変に対する診断精度には限界が指摘されているものの、総じて見れば10mm以上のポリープや癌に対する感度は大腸内視鏡検査と同等で、一方、注腸X線検査より精度が高いことが示されている。

重大な偶発症は少ないが、稀に穿孔が発生する。11の文献をメタアナリシスした報告では、無症状者に対して実施した場合の穿孔頻度は0.02%で、穿孔例の68%は保存的に治療され、32%に手術が施行されていた。偶発症による死亡例は報告されておらず、安全性は高いと言える。

被ばく量を可能な限り低下させるよう努めるべきで、そのためには管電流を体型に合わせて調整する自動露出機構は必須であるし、(超)低線量撮影とノイズを大幅に低減して画質を向上させる逐次近似(応用)再構成法は有用である。これらの対策により、十分な画質を保ちながら、被ばく量を注腸X線検査に比べ半減できる。

以上より、大腸CT検査は大腸がん検診の精密検査法として十分な方法と判断される。既に、診療報酬における大腸CT検査撮影加算が認められて実施されていることも勘案すると、検診の場においても早急に精密検査法として承認すべきである。つまり、精検方法に関する指針に大腸CT検査の位置づけ

を明記する必要がある。

現在の指針では「精密検査を全大腸内視鏡検査で行うことが困難な場合においては、S状結腸内視鏡検査と注腸エックス線検査（二重造影法）の併用による精密検査を実施するものとする。」とある。これを「精密検査を全大腸内視鏡検査で行うことが困難な場合は、大腸CT検査あるいは、S状結腸内視鏡検査と注腸X線検査の併用法のいずれかを実施する。」という趣旨に変更することが妥当である。ただし、全ての場合における位置づけとして、全大腸内視鏡検査と同等に大腸CT検査を精密検査法のひとつとするのかについては更なる議論を要する。また、わが国における大腸CT検査の実態把握のために、検診の精密検査法として実施されている大腸CT検査の精度・偶発症・被ばく量・処理能力等を調査し、この位置づけの妥当性に関して今後も検討を継続する必要がある。

また、良好な精度と高い安全性を得るためには、前処置（水溶性造影剤によるタギング前処置など）、腸管拡張（炭酸ガスによる自動送気）、撮影（低線量）、読影（内視鏡類似像による3次元像と2次元像を用いた標準読影方法）といった科学的根拠に基づく付帯条件を元に標準化を図る必要がある。こうした面においても、本学会は積極的に関与していくべきである。

2. はじめに

精検方法（診断法）としての大腸CT検査の精度（感度・特異度）は、国内外の大規模な複数の前向き研究によって検討されているが、概ね一致する結果が得られており、検診の精密検査法としての位置づけを判断する根拠は提示されているとあって良い。国内では2012年に診療報酬における大腸CT検査撮影加算が認められており、臨床の場では既に大腸内視鏡検査に次ぐ精検方法として普及が進みつつある。しかしながら、がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針（指針）では「精密検査を全大腸内視鏡検査で行うことが困難な場合においては、S状結腸内視鏡検査と注腸エックス線検査（二重造影法）の併用による精密検査を実施するものとする。」と記載されたままであることから、検診の場では普及が遅れ、さらに臨床での取り扱いとの違いから対応に苦慮する状況も増えつつある。従来指針を継続するのか、新たに大腸CT検査を指針に組み込むのか、早急な回答が求められている。

一方で、漸減傾向にはあるものなお高い大腸がん死亡率、そして高齢化に伴い毎年増加している大腸がん死亡者数、さらに大腸内視鏡検査のキャパシティが上限に近付きつつある状況（医療施設調査、厚生労働省）から、現在以上の件数の精密検査を大腸内視鏡だけで対応することは現実的には難しいと思われる。要精検率やサーベイランスコロノスコーピーの間隔を適正化するなど大腸内視鏡検査の需要数をコントロールする検討を行うとともに、検診の場における大腸CT検査の活用を検討する必要がある。

しかしながら、その実施に際しては注意すべき点がある。診療報酬における大腸CT検査撮影加算が認められてから、年数が浅い検査であるため、十分に実施できる医療機関は少ない。そのため、科学的データに基づいた標準的な方法に対する理解が必ずしも十分とは言えない。例えば、読影法について病変の拾い上げを大腸展開像で行う方法が日本では紹介されることが多いが、この読影方法は前向きに検討されておらず、欧米のガイドライン、コンセンサス、あるいは実地パラメータにおいて推奨されていない。大腸展開像による拾い上げを読影で行うためにはエビデンスの裏づけが求められる。

大腸CT検査の検査目的として検診、精密検査、そして診断（術前検査）に大別される。本提言では、精密検査法として大腸CT検査は妥当なのか否か、妥当ならば他の検査法との関係を考慮した位置づけをどうすべきか、既存の知見を踏まえ検査精度や安全性を考慮した標準的な前処置・撮影・読影法をどう考えるか、について述べる。

3. 大腸CT検査の現在の位置づけ—海外のガイドライン

Point

- 大腸CT検査の精度評価は2000年以降に急速にすすめられた。
- 英国の大腸がん検診ガイドラインでは、大腸内視鏡検査の実施が適さない場合や盲腸まで挿入できなかった場合には、大腸CT検査を用いることが勧められている。
- 欧州消化器内視鏡学会と欧州腹部消化管放射線学会による大腸CT検査適応ガイドラインでは、大腸腫瘍の診断、大腸内視鏡検査が不完全であった場合、大腸内視鏡検査の実施が適さない場合などには大腸CT検査を用いることが強く勧められている。
- 米国の3学術団体による大腸がん検診ガイドラインでは、大腸腫瘍の診断が可能な検診検査法として大腸CT検査を記載しているが、前述の2つのガイドラインでは検診法としては推奨されておらず見解は一致していない。

大腸CT検査とは、腸管前処置を行った後に大腸を炭酸ガス等で拡張した状態でCT装置による撮像を行い、得られたデータからワークステーションを用いて2次元・3次元像を構築し読影する検査方法である。1994年にVinigらがはじめて大腸CT検査を報告したが¹⁾、2000年以降に精検方法（診断法）としての精度評価が急速にすすめられた。精度評価を経て出された代表的な3つの欧米のガイドラインにおける大腸CT検査の位置づけを説明する。

1つ目に、英国National Health Service (NHS) が策定した大腸がん検診の画像診断に関するガイドライン²⁾では、大腸内視鏡検査の実施が適さない場合や盲腸まで挿入できなかった場合には、大腸CT検査を用いることが勧められている。さらに、この英国のガイドラインにおいては「大腸内視鏡検査の代用としてまず用いるべきなのは大腸CT検査であり、注腸X線検査ではない」とも述べており、各精検方法の位置付けが明確になっている。この他、受診者への説明と同意、前処置、撮影法、内視鏡類似像^{註1)}による3次元像とmulti-planar reconstruction (MPR) による2次元像に基づく読影法、トレーニングなどについても言及されており、精検法としての大腸CT検査を考える上で参考になる資料である。

2つ目に、欧州消化器内視鏡学会 (ESGE, European Society of Gastrointestinal Endoscopy) と欧州腹部消化管放射線学会 (ESGAR, European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology) が合同で策定した大腸CT検査適応ガイドラインでは、大腸CT検査の検査目的別に声明と推奨が出されている³⁾。大腸腫瘍の診断、大腸内視鏡検査が不完全であった場合、大腸内視鏡検査の実施が適さない場合などでは大腸CT検査を用いることが強く勧められている（表1）。また、大腸CT検査で6 mm以上のポリープが1個以上指摘された場合には、内視鏡治療への紹介を推奨している。

3つ目に、米国癌協会 (ACS, American Cancer Society)、大腸がんにおける米国多学会共同作業部会 (US Multi-Society Task Force on Colorectal Cancer)、および米国放射線医学会 (ACR, American College of Radiology) が合同で策定した大腸がん検診ガイドラインでは複数の検査方法が挙げられている（表2）⁴⁾。ACSでは複数のオプションを用意している理由として、第一に検査を完全に遂行してもらうため（腸管前処置などが障害となり得ること）、第二に完全なるゴールドスタンダードが存在しないこと（治療すべき病変の5-10%が大腸内視鏡検査でも偽陰性となること）、第三に便を用いる検査以外は偶発症があり、そのリスクが検査によってばらつきがあること、そして第四に受診者には検査の好みがあること、を挙げている⁵⁾。複数のオプションを用意することは、受診者が様々な観点から検査法を選択することを可能にし、結果として検診受診率の向上につなげることを目標としている。この他、検査による効果、前処置、撮影法、内視鏡類似像による3次元像と2次元像に基づく読影法などに

表1 欧州消化器内視鏡学会と欧州腹部消化管放射線学会が合同で策定した大腸CT検査適応ガイドライン

検査目的	大腸CT検査の推奨	エビデンスレベル	補足
大腸腫瘍の診断	強い推奨	高	この検査目的で、注腸X線は推奨されない。
大腸内視鏡検査が不完全に終わった場合	強い推奨	中	大腸内視鏡検査の同日または次の日に実施
閉塞性大腸がんを認める場合	強い推奨	中	経静脈的造影により病変の部位診断とステージング
大腸内視鏡検査が禁忌あるいは行えない場合	強い推奨	高	腹部有症状、大腸腫瘍が疑われる場合
検診(一番最初の検査)	弱い推奨~推奨しない	中	検診として行う場合には、受診者に検査の性質、利益と不利益を適切に説明する。
大腸がん根治術後のサーベイランス	弱い推奨	低	大腸内視鏡検査が実施できない場合に経静脈的造影で行う。

推奨とエビデンスレベルはGRADEシステム(Atkins D, et al. Grading quality of evidence and strength of recommendations. BMJ 2004; 328: 1490., Dumonceau JM, et al. European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline Development Policy. Endoscopy 2012; 44: 626-629.)に基づいている。

表2 米国癌学会、大腸がんにおける米国多学会共同作業部会、および米国放射線医学会が策定したジョイントガイドラインに基づく、大腸がん・腺腫の早期発見のために50歳以上の平均的リスクの米国市民に推奨されている検査方法²⁾

大腸がん・腺腫の検出に有効な検査方法		
検査方法	検査間隔	被検者が検診の検査方法を選択するために伝えておくべき内容
S状結腸鏡検査	5年毎	腸管前処置が必要。通常、鎮静剤を用いないため多少の苦痛を伴う場合がある。検査範囲に限界がある。検査で陽性の場合には大腸内視鏡検査が必要となる。
大腸内視鏡検査	10年毎	腸管前処置が必要。鎮静剤の使用に伴い1日拘束される。帰宅に付添いが必要である。穿孔や出血のリスクがある。
注腸X線検査	5年毎	腸管前処置が必要。6ミリ以上のポリープが指摘された場合には大腸内視鏡検査を受ける必要がある。大腸内視鏡検査の際には、追加の腸管前処置が必要である。検査に伴うリスクは低い。
大腸CT検査	5年毎	腸管前処置が必要。6ミリ以上のポリープが指摘された場合、大腸内視鏡検査を受ける必要があり、同日に実施できない場合には腸管前処置が改めて必要となる。検査に伴うリスクは低い。腸管外病変が指摘された場合には追加の検査が必要となることがある。
主に大腸がんを検出するための検査方法		
化学的便潜血検査 免疫学的便潜血検査	毎年	自宅で2日法あるいは3日法を行う。1日法では効果が少ない。検査が陽性の場合、大腸内視鏡検査を受けることが勧められる。陰性の場合でも毎年受ける必要がある。
便DNA*検査	推奨頻度 未定	適切な便サンプルが必要で、これを専用容器で送付する必要がある。便潜血検査に比べ高価である。検査が陽性の場合、大腸内視鏡検査を受けることが勧められる。陰性の場合の推奨検査間隔は、根拠がなく不明である。

*便DNA検査はガイドラインに掲載され、かつては実施されていたが、2015年9月現在、米国では実施されていない。

についても言及されている。ただし、前述の2つのガイドラインでは大腸CTを検診法として強く推奨しておらず見解は一致していない。

以上3つの欧米のガイドラインは科学的根拠に基づいたものである。一方、日本では科学的根拠に基づいて示された基準が現在のところ存在しない。

注釈

注1) 内視鏡類似像は、日本語では仮想内視鏡像、フライスルー像とも呼ばれる。英語ではendoluminal image, virtual endoscopy, fly-throughなどとも呼ばれる。

4. 大腸CT検査の精度に関するエビデンス

4.0. エビデンスの水準評価方法

本稿で引用されているエビデンスは臨床診断がんに対する評価を行ったものではなく、大腸CT検査の精検方法としてのエビデンス評価を行った研究を整理した。検査法の精度評価をするためには、検診目的であれば健常者を測定対象とすべきであるし、臨床診断であれば患者が測定対象であり、エビデンスの水準評価においては明確に区別されなければならない。そのため、本稿では精検方法としてのエビデンスの水準評価は表3に準拠してPhase表記を行った。当該しない研究に対するエビデンスの水準評価は、European guidelines for quality assurance in colorectal cancer screening and diagnosis, 5th edition.に従ってLevel表記を行った(表4)。

Point

- 欧米では精検方法(診断法)としての精度評価(Phase II~III)が完了している。
- 日本でも精検方法(診断法)としての精度評価(Phase II)が完了している。
- 高い精度を示した試験ではいずれも、経口造影剤による前処置(タギング)が行われていること、3次元像として内視鏡類似像を読影で採用している。
- オランダのintention to treat (ITT) 解析において、受診勧奨対象者100人あたりの腫瘍性病変の検出率(adenoma detection rate)は、受診率が低い大腸内視鏡検査に比べて受診率が高い大腸CT検査の方が高い傾向であることが報告されている(Level II)。

4.1. 欧米諸国における大腸CT検査の精度評価研究

米国では2000年台前半から、大腸がん検診目的における大腸CT検査の精度評価(Phase II~III)として、大腸内視鏡検査に対する非劣性試験が行われてきた。当初、米国で行われた4つの臨床試験では大腸CT検査の精度結果に大きな違いが生じた。Pickhardtらによる試験(Phase III)⁶⁾では10ミリ以上の病変の感度が94%と良好であったのに対して、同時期に行われた他の3つの試験(Phase II)^{7)~9)}では35~72%と不良な結果であった。成績に乖離が生じた原因として、タギング(造影剤の服用)の有無、あるいは読影医に対するトレーニング実施の有無、などが挙げられている(表5)。そこで、検査プロトコルや読影トレーニングなど当時の最新の検査方法に基づいたNational CT colonography Trial (ACRIN6664, Phase III)¹⁰⁾が実施され、その結果として大腸内視鏡検査に対する大腸CT検査の非劣性が証明された(表5)。このACRIN6664の成功を受けて、大腸CT検査が有効な大腸がん検査法として米国大腸がん検診ガイドラインに掲載された(表5)⁴⁾。さらに、Zalisらは腸管前処置として腸管洗浄剤や下剤を一切使用しなくても、タギングやコンピュータ支援診断を活用することで高い精度の大腸CT

表3 新しいスクリーニング法の精度評価研究の階層

	測定対象	研究方法/有病例の把握方法	測定目的	対象病度	意義1/保留
Phase I	臨床診断がん(有症状) 正常対照	後ろ向き	がんに対する感度・特異度	臨床診断がん	主に進行がんに対する精度 既存の検査とのおよその比較 過大評価になる*
Phase II	有症状者を含む患者集団	前向き 全例に内視鏡検査**	前がん病変を含む 検査の感度・特異度	全病期のがん 前がん病変	検診での精度の近似値 過大評価になる
Phase III	検診対象集団(健常者)	前向き 全例に内視鏡検査** がん登録での追跡***	検診における感度・特異度・受容度など	//	検診での精度の測定値

* 臨床診断がんに対する感度・特異度を表すが、検診の感度は代表しない(大幅な過大評価になる)

** 全例に内視鏡検査を行って検診対象集団に含まれる有病例(感度算出の分母)を把握

*** スクリーニング検査陰性例に含まれるか(陰性例)をがん登録で追跡し把握し集団に含まれる有病例を把握

感度算出の分母は一般に**では過大評価(感度は過小評価)、***では過小評価(感度は過大評価)になるので真の感度は両者の中間になる。

斎藤 博, 他. 大腸がん検診のエビデンスと今後の研究の展望. 日消誌 2014; 111: 453 - 463.

表4 Level of the evidence

Level	Criteria
I	Multiple randomised controlled trials (RCTs) of reasonable sample size, or systematic reviews (SRs) of RCTs.
II	One RCT of reasonable sample size, or 3 or less RCTs with small sample size.
III	Prospective or retrospective cohort studies; diagnostic cross sectional accuracy studies.
IV	Retrospective case-control studies or SRs of case-control studies, time-series analyses.
V	Case series; before/after studies without control group, cross sectional surveys.
VI	Expert opinion.

European guidelines for quality assurance in colorectal cancer screening and diagnosis, 5th edition. International Agency for Research on Cancer, WHO.

表5 大腸CTの内視鏡に対する非劣性試験

筆頭者	Johnson ⁷⁾	Cotton ⁸⁾	Rockey ⁹⁾	Pickhardt ⁶⁾	Johnson ¹⁰⁾	Zalis ¹¹⁾	Graser ¹²⁾	Regge ¹³⁾	Heresbach ¹⁴⁾	Nagata ^{16,17)}	Utano ¹⁸⁾	
発表年	2003	2004	2005	2003	2008	2012	2009	2009	2011	2012	2013	
主な実施国	米国	米国	米国	米国	米国	米国	ドイツ	イタリア	フランス	日本	日本	
精度のPhase	II	II	II	III	III	III	III	II	II	II	II	
症例数	703	615	614	1,253	2,600	694	311	1,103	845	1,260	321	
タキシング	使用薬剤	無	無	無	水溶性造影剤 + バリウム	水溶性造影剤 + バリウム	水溶性造影剤	水溶性造影剤	水溶性造影剤単独 or 水溶性造影剤 + バリウム or 無	水溶性造影剤 + バリウム	水溶性造影剤	水溶性造影剤
	有無	90%で有	無	不明	不明	有	無	有	無~有	不明	99.4%が無	無
鎮静剤	使用薬剤	10%でグルカゴン	-	不明	不明	グルカゴン	-	ブスコパン	使用施設ではブスコパン	不明	0.6%でブスコパン	-
	ガスの注腸法	不明	手動 or 器械	不明	不明	原則器械	器械	手動 or 器械	手動 or 器械	原則器械	器械	器械
注入ガス	不明	空気 or 炭酸ガス	空気 or 炭酸ガス	炭酸ガス	原則炭酸ガス	炭酸ガス	空気 or 炭酸ガス	空気 or 炭酸ガス	原則炭酸ガス	炭酸ガス	炭酸ガス	
使用する3次元像	フライスルー	フライスルー	不明	フライスルー	フライスルー	フライスルー	フライスルー	フライスルー	フライスルー	フライスルー	フライスルー	
患者別感度 (≥10mm)	35-72%	55%	59%	94%	90%	91%	92%	90%	75-92%	92%	93%	
患者別特異度 (≥10mm)	97-98%	96%	96%	96%	86%	85%	98%	84%	95-98%	99%	98%	

検査が可能であることを証明した (Phase III)¹¹⁾。大腸内視鏡検査や注腸X線検査では、多量の腸管洗浄剤が必要であることから、Zalisらの成功は大腸CT検査の大きな利点を証明したといえる。

欧州でも、ドイツ (Phase III)¹²⁾、イタリア (Phase II)¹³⁾、およびフランス (Phase II)¹⁴⁾からも大腸CT検査の大腸内視鏡検査に対する非劣性が相次いで証明された (表5)。

さらに、健常者集団8,844名を2群にランダム割付して大腸内視鏡検査とがんを含む腫瘍性病変の発見率を比較した研究 (Level II)がオランダから報告されている¹⁵⁾。この研究では通常のRCTとは異なり、ランダム化後に受診案内を行っており、受診率を含めて比較したもので、通常の検診環境を模したデザインとなっている。受診者100名あたりのadvanced adenomaの発見率は大腸内視鏡検査が8.2に対して大腸CT検査で5.6と大腸内視鏡検査で有意に高かったが ($P=0.02$)、10ミリ以上のadenomaの場合ではそれぞれ6.3, 5.4と差がなく ($P=0.3$)、10ミリ以上のadenomaにがんを含めた場合でもそれぞれ6.8, 5.9と差がなかった ($P=0.3$)。一方、受診率は大腸CT検査が有意に優れていたため、受診勧奨対象者100人あたりのadvanced adenomaの発見率は大腸内視鏡検査が1.8に対して大腸CT検査で1.9と差が消失し ($P=0.7$)、10ミリ以上のadenomaの場合ではそれぞれ1.4, 1.8 ($P=0.1$)、10ミリ以上のadenomaにがんを含めた場合にはそれぞれ1.5, 2.0 ($P=0.07$)と有意差はないものの大腸CT検査で高い傾向があった。

こうした精度評価を受けて、欧米諸国における検診目的の大腸CT検査は着実に普及が進んでいる。ただし、高い精度を示した試験ではいずれも経口造影剤によるタギング^{注2)}前処置が行われていること、読影で用いられている3次元像は内視鏡類似像に限られている (表5)。

4.2. 日本における大腸CT検査の精度評価研究

欧米諸国に遅れを取ったものの、日本初の大規模精度評価としてJapanese National CT Colonography Trial (JANCT: 大腸3D-CT検査と大腸内視鏡検査による大腸腫瘍検出能の精度比較に関する検討, UMIN試験ID: 2097, ClinicalTrials.gov ID: NCT997802, Phase II)^{16),17)}が行われた。概要はJDDW2012で発表され、成績は6mm以上の大腸ポリープ・腫瘍に対する患者別の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率が、それぞれ87%, 92%, 79%, 95%であった。大腸CT検査の6mm以上の大腸ポリープ・腫瘍に対する検出精度は先行する欧米の臨床試験と同様に高いことが示された。

次いで、腸管洗浄剤の用量を従来の半分以下にした「低用量PEG-CM法を用いた大腸3D-CTの検査精度に関する多施設共同試験 (UMIN試験ID: 6665, Phase II)¹⁸⁾が実施された。腸管前処置以外の研究デザインはJANCTにおおよそ準拠して実施された。概要は第72回日本医学放射線学会総会で報告され、成績は6mm以上の大腸ポリープ・腫瘍に対する患者別の感度、特異度、陽性適中率、陰性適中率が、それぞれ90%, 93%, 83%, 96%であった。UMIN6665の結果はJANCTと同等であり、日本でも低用量腸管前処置の臨床応用が可能であることが示された。

日本の2つの精度評価によって、大腸CT検査の診断精度は日本の消化器内視鏡専門医の内視鏡診断に対しても非劣性であることが証明された。さらに、欧米の臨床試験では放射線科医だけが読影を担当したのに対して、本邦の検証では放射線科専門医のみならず読影トレーニングを受けた複数の消化器科 (消化器関連学会) 専門医も読影に参加し、その読影成績は良好であった。つまり、適切なトレーニングを受けることで放射線科医はもちろん消化器科医も診断に参加する妥当性が証明された。日本での精密検査目的の大腸CT検査はまだ普及しているとは言えないが、精度評価の成功を受けて今後は急速な普及が期待される。

注釈

注2) タギングとは、造影剤で残渣にタグをつけ病変との識別を可能にすることである。

5. 大腸CT検査の標準化に求められる内容

Point

- 腸管前処置では水溶性造影剤を服用してタギングを行うことが推奨される (LevelⅢ)。
- 前投薬ではグルカゴンの使用は勧めないが、ブチルスコポラミン臭化物もその使用を推奨する根拠は乏しい。
- 精検方法 (診断法) としての大腸CT検査を行う場合、被曝線量は可能な限り低くすべきである。
- 標準読影法で使用される3次元像として内視鏡類似像は前向き評価によるエビデンス (PhaseⅡ～Ⅲ) があるが、大腸展開像^{注3)}には科学的根拠に乏しく、PhaseⅡ以上の前向き評価が今後必要である。

5.1. 腸管前処置

最も重要なこととして、精検方法 (診断法) としての大腸CT検査では精度を保つためにタギングは必須の手法である。タギングとは、ガストログラフィン[®]などの水溶性造影剤を服用することで、腸管内の残渣を造影剤でタグをつけることである。タギングを行わない大腸CT検査は、残渣と病変の区別が困難となり精度が低下する。したがって、タギングは精検方法 (診断法) としての大腸CT検査では原則として行う必要がある。欧米のガイドライン等でも、タギングの実施が推奨されている (LevelⅢ)^{2)~4), 19), 20)}。タギングの実施に際して、あらかじめヨードアレルギーの有無は事前に聴取しておかなければならない²⁾。

大腸CT検査の腸管前処置の主な目的は腸管を洗浄することではなく、腸管内の残渣に造影剤を均一に混ぜることである^{2)~4), 19)~21)}。したがって、大腸内視鏡検査の前処置のように2000mL前後の腸管洗浄剤や下剤の服用が必須というわけではない。腸管洗浄剤や下剤を一切使用せず、タギングを行うだけでも検査を実施することが可能である。多量の腸管洗浄剤を服用しなければいけないことは被検者の受容性を下げる主要な原因であり²²⁾、大腸CT検査で腸管前処置を軽減できることは腸管前処置を苦手とする被検者に有用である¹¹⁾。ただし、腸管洗浄剤や下剤を減量するにつれて、腸管内の固形残渣が増えるため、読影に習熟を要する点に注意が必要である。

腸管洗浄剤や水溶性造影剤の服用時期や服用量には様々な方法が提案されているため、標準化に際しては、幾つかの基本的な腸管前処置法を提示する必要がある。検査を実施する側が腸管前処置法を十分に理解することはもちろんだが、高齢者も含めた受診者が正しく実施できるよう、リーフレット等を用いて手順をわかりやすく説明する等の配慮も求められる。

なお、大腸内視鏡挿入困難例に対して同日に大腸CT検査を行うことがあるが、この場合に追加でタギング処置を行うのか行わないのか今後の検討が必要である^{23)~25)}。

5.2. 前投薬の是非

大腸CT検査撮像時の被検者の負担は炭酸ガスを緩徐に注腸する程度であり、しかも64列CTでは撮像時間は2体位の合計で20秒程度である。注腸造影検査のように頻回の体位変換は必要ない。大腸CT検査用の細いカテーテルを肛門から数センチほど挿入する必要があるが、大腸内視鏡検査のように深部腸

管への物理的な器具の挿入や、注腸造影検査のように経肛門的なバリウム注入の必要もない。そのため大腸への刺激が少なく、蠕動も少ないことから、鎮痙剤の使用については意見が分かれる。米国では、グルカゴンは無効で^{26),27)}、ブチルスコポラミン臭化物はアメリカ食品医薬品局 (Food and Drug Administration) の承認がなく国内で使用できないことから、鎮痙剤を用いないとする立場である²⁰⁾。英国では腸管拡張を改善するため禁忌でなければ投与すべきとしているが、グルカゴンは勧めていない²⁾。欧州では受診者の状況 (憩室の存在や過去の大腸内視鏡検査結果) によってはブチルスコポラミン臭化物の使用が望ましく、禁忌の場合にはグルカゴンをを用いることも考えるとする意見が多い¹⁹⁾。ただし、ブチルスコポラミン臭化物使用を推奨している根拠となる研究は、いずれもエビデンスレベルが十分ではない。

de Haanらの検討²⁸⁾では、ブチルスコポラミン臭化物使用群はグルカゴン使用群に比べて背臥位と腹臥位の両体位でS状結腸の拡張が有意に良好であったと報告している (Level IV)。しかし、この研究は後ろ向きの検討であり、さらに両群の振り分けにもバイアスがかかっている。つまり、グルカゴン使用群はブチルスコポラミン臭化物禁忌症例を割り当てており、グルカゴン使用群はブチルスコポラミン臭化物使用群に比べて身体的に脆弱な可能性があるためこの2群を比較することは必ずしも適当ではない。Taylorらもブチルスコポラミン臭化物の使用が腸管拡張を有意に改善したと報告している²⁹⁾。しかし、この検討では自動送気装置ではなく手動送気であること、プラセボを使用する二重盲検での検討ではないことなど研究デザインに課題が残る (Level III)。エビデンスレベルの観点からこれら二つの報告で大腸CT検査にブチルスコポラミン臭化物を常時使用とする根拠は必ずしも十分ではない。

Bruzziら³⁰⁾およびIannaconeら³¹⁾の報告では、ブチルスコポラミン臭化物の使用は腸管拡張の改善に寄与しないため、ルーチンで使用すべきでないとしている (Level II)。両研究は前向きにランダム化して群分けしているものの、ルームエアの手動送気による検討であった。また、非ランダム化による炭酸ガスの手動送気による検討³²⁾でも、ブチルスコポラミン臭化物の使用は腸管拡張の改善に寄与しなかったと報告されている (Level III)。しかし、これらの検討も研究デザイン上の制約があるため、ブチルスコポラミン臭化物の使用が不要だと結論つけることはできない。

大腸CT検査におけるブチルスコポラミン臭化物の有用性の是非については、従来の研究のいずれもがその研究デザインに課題があった。そこで、前向きに群分けをランダム化し、プラセボを使用した二重盲検による研究による、ブチルスコポラミン臭化物と自動送気装置の必要性を前向きに検討する評価が行われた (Level II)³³⁾。その結果、自動送気の使用は腸管拡張を有意に改善するものの、ブチルスコポラミン臭化物を使用した場合とプラセボを使用した場合とで腸管拡張に差を認めないというものであった。米国のACRIN6664や日本のUMIN6665をはじめとした複数の精度評価研究で^{10),11),18)}、鎮痙剤が使用されずに良好な精度であった事実もある (表5)。

現状では、グルカゴンの使用は勧めないが、ブチルスコポラミン臭化物もその使用を推奨する根拠は乏しいということになる。なお、検査に伴う苦痛が比較的少なく検査時間も短いため鎮痛剤や鎮静剤の使用は不要である。

5.3. 撮影方法

専用の直腸カテーテルならびに炭酸ガス自動送気装置の使用を基本とする。1回の息止めの範囲内(25秒未満)で大腸全体を撮影するために、CT装置は16列以上のCT装置を使用すべきである²⁰⁾。

低線量撮影による2体位撮影を行うが、被ばく量は可能な限り低下させるよう努めるべきである (ALARA : as low as reasonably achievable)^{2)~4),20)}。低線量大腸CT検査に関して、適切な範囲で線量

を低減すること、画像ノイズを低減することに着目した検討が報告されている^{34)~38)}。精検目的の大腸CT検査はきれいな画像を得ることが目的ではなく、6 mm以上の大腸腫瘍性病変を拾い上げられるだけの画質が得られれば良い³⁹⁾。

管電流を体型に合わせて調整する自動露出機構は、現在多くの商用CT装置に装備されていることから、この使用は低線量大腸CT検査に必須である^{2), 20)}。画像ノイズが著しく増加するために従来は読影が難しかった超低線量大腸CT検査であるが、商用CT装置に最近装備されるようになった画像再構成方法「逐次近似（応用）再構成法」によりノイズを大幅に低減した画質の担保が可能となった。超低線量大腸CT検査の読影には、逐次近似（応用）再構成法は必須な技術といえる³⁶⁾。ALARAの原則を遵守するには、自動露出機構を使用した低線量撮影とすること、さらに逐次近似（応用）再構成法が使用できる環境下では超低線量撮影と画質を向上させる逐次近似（応用）再構成法を用いて診断能を維持しながら、できる限り線量を低減して撮影するように努めるべきである^{2), 20), 36)}。

5.4. 読影方法

読影方法は、3次元像から始めるprimary 3D reading^{注4)}、2次元像から始めるprimary 2D reading^{注5)}の2種類がある^{19), 20)}。Primary 3D readingでは、内視鏡類似像で直腸から始まり盲腸に至るまで内腔を飛んでいくようにして粘膜面を読影していく^{注6)}。盲腸まで行ったら、カメラを反転して直腸まで戻り、死角のないように読影する。この作業を2体位で行い、病変を認めた場合は両体位でマッチングする。Primary 2D readingは内腔に死角を作らないように2Dの横断像で直腸から腸管の内腔を追跡していく方法である^{注7)}。Primary 3D readingでもprimary 2D readingでも精度に差はないことが示されている⁴⁰⁾。

一方、3次元像には内視鏡類似像以外では、日本で多用されている大腸展開画像などもあるが、大腸展開画像を用いることについては議論がある。欧米および日本におけるPhase II～Ⅲの精検方法（診断法）として精度評価が行われた3次元像は内視鏡類似像のみであり（表5）、内視鏡類似像以外の3次元像を読影に使用することを推奨したガイドライン、コンセンサス、あるいは、クライテリアは一切ない^{2), 4), 19), 20), 41)}。

大腸展開画像は十分な検討が行われてこなかったが、最近のわが国の研究では、読影経験が100症例以下の場合には大腸展開画像による精度は内視鏡類似像に比べて劣っており、特に50症例以下ではその傾向は顕著であったと報告されている⁴²⁾。

以上を踏まえると、①読影の順序はprimary 3D readingとprimary 2D readingのいずれでも良い、②読影の基本として3次元像として内視鏡類似像を用いるべきである、③大腸展開像の使用に関しては科学的根拠に乏しく、Phase II以上の前向き評価が今後必要である。

注釈

注3) 大腸展開像は、仮想展開像、かばやき像、virtual gross pathology, virtual dissection, colon dissection, file viewなどとも呼ばれる。

注4) Primary 3D readingは、3次元像の内視鏡類似像で病変が疑われる領域を拾い上げて、2次元像でその領域の性状（内部CT値や均一性など）・形状・大きさなどを評価して診断する方法である。

注5) Primary 2D readingは、2Dの横断像を基本にして病変が疑われる領域を拾い上げて、3次元像の内視鏡類似像で形状などから真の病変か否かを評価して診断する方法である。

注6) 内視鏡類似像で直腸から始まり盲腸に至るまで内腔を飛んでいくようにして粘膜面を読影してい

くことをfly-throughという。

注7) 2次元像で内腔の粘膜面に死角を作らないように直腸から順に近位側の腸管粘膜面を追跡していく方法はlumen tracking法という。

6. 大腸CT検査の限界と課題

Point

- 表面型病変の検出精度は、隆起型病変の検出精度に比べて有意に低い (Phase II)。
- 医療被曝を避けることはできないが、1検査あたり平均実効線量で5.7–3 mSv程度の低線量撮影が推奨される。
- 大腸CT検査は腸管外病変を診断するには適していない。
- 偶発症として穿孔頻度は0.064～0.13%である。ただし、日本では偶発症に関する全国集計が実施されていない (2016年5月現在)。
- 読影医や一次読影技師は大腸内視鏡検査で病変の有無が確認されている症例データをもとにした標準的読影法によるトレーニングを受けるべきである。日本では認定制度が未整備である。

6.1. 表面型病変の検出精度

大腸CT検査による表面型病変の検出精度は隆起型病変の検出精度に比べて有意に低いと報告されている^{16)~18)}。大腸CT検査の限界として検査担当医は理解したうえで、被検者にあらかじめ説明しておく必要がある。一方、臨床試験JANCTでは、大腸内視鏡検査で見落とされたひだの裏や急峻な屈曲部の病変を、大腸CT検査では指摘できたことが確認されている^{16),17)}。検査の説明に際して長所だけを伝えるのではなく、検査の限界や起こり得る偶発症について被検者に理解・同意してもらうことが重要である。

6.2. 医療被曝

X線を使う検査であるため、安全な範囲の被ばくは避けることができない。被検者自身は被ばくを感じることは出来ないからこそ、検査担当医は検査ごとの使用線量を把握するとともに、十分な知識のもと線量を下げるよう努めなければならない。検診目的でおこなう大腸CT検査は、(超)低線量撮影で行われるべきであり^{19),20),36),39)}、欧州のコンセンサス¹⁹⁾や米国の実地パラメータ²⁰⁾をもとにすれば、1検査あたり平均実効線量で5.7–3 mSv程度に抑えるのが一つの目安である³⁹⁾。最近では、1体位あたり1 mSv未満で撮影された超低線量大腸CT検査の臨床応用も進んでいる³⁶⁾。なお、注腸X線に比較して大腸CT検査の実効線量は有意に低く、被ばくは53%程度にまで低下すると報告されている⁴³⁾。

検診目的の大腸CT検査の普及のために、できる限り低線量で撮影するように努めなければならない。そのために各施設で実効線量を記録すべきである²⁾。

6.3. 腸管外病変の読影の是非

精検目的の大腸CT検査では(超)低線量かつ非造影CTであり、腸管外の評価に制限があることに注意が必要である⁴⁾。つまり、大腸CT検査では腸管外病変を診断するには適していない。レポートに腸管外の所見を記載する場合には、低線量撮影であるため、そして経静脈的造影剤が使用されないために、腸管外病変の診断が限定される旨を明記すべきである²⁾。しかし、拾い上げ不要の病変を指摘してしまう可能性もあり、さらには追加検査による侵襲や合併症も無視できず、そしてコストの増大についても

慎重に判断しなければならない^{3),4),44)}。腸管外病変の診断の是非について、医学的にも経済的にも現状では不明である³⁾。今後、関係学会を含めた議論を経たうえで、腸管外病変の是非についてコンセンサスを形成していく必要がある。

6.4. 偶発症

大腸CT検査は大腸内視鏡検査や注腸造影検査に比較して偶発症の頻度が少ないとされているものの皆無というわけではなく、被検者にその内容と頻度を伝える必要がある。Viningらの大腸CT検査の報告¹⁾から20年以上経過しているが、偶発症を原因とした死亡の報告はない。頻度は少ないものの、ガス送気やカテーテルの挿入手技に伴う大腸穿孔例が報告されている。大腸CT検査の穿孔は稀で、その頻度は0.064～0.13%^{45)～48)}であると報告されている。被検者の症状の有無で頻度をみると、無症状者は0.02%であるのに対し有症状者では0.08%と有症状者で穿孔が多くみられる⁴⁵⁾。なお、穿孔例の68%は保存的治療で改善し、手術を施行したのは32%だった⁴⁵⁾。日本では偶発症に関する全国集計は実施されていないもの(2016年5月現在)、注腸X線検査用の直腸カテーテル留置に伴って生じた直腸穿孔など2例⁴⁹⁾とスクリーニング例が報告されている⁵⁰⁾。また、迷走神経反射の発生頻度は0.1～0.16%と稀で、いずれも3時間以内に改善していた^{51),52)}。

6.5. 読影医・一次読影技師の整備状況

大腸CT検査は新しい検査方法であるため、精度が高い検査を実施するためには、十分なトレーニングを積む必要がある^{2)～4),19),20)}。単に臨床経験を積むだけでは不十分であり、大腸内視鏡検査で病変の有無が確認されている症例データをもとにしたトレーニングを受けるべきである。Liedenbaumらによると初心者を対象にした読影トレーニングの研究から平均で164例程度を読影すれば、読影能力はおおむね経験のある読影者と同等の精度が得られることが示されている⁵³⁾。本邦では熟練した読影医・一次読影技師の整備が遅れており、大腸CT検査の標準化のための正しい読影トレーニングシステムの整備や認定制度も必要である。

7. 提言

大腸CT検査は、精検方法(診断法)としての十分な精度が示されており、偶発症は少なく、被ばく量は注腸X線検査より低いとされる。したがって、「精密検査を全大腸内視鏡検査で行うことが困難な場合は、大腸CT検査あるいは、S状結腸内視鏡検査と注腸X線検査の併用法のいずれかを実施する。」という趣旨に変更することが妥当である。ただし、全ての場合における位置づけとして、全大腸内視鏡検査と同等に大腸CTを精密検査法のひとつとするのかについては更なる議論を要する。また、わが国における大腸CT検査の実態把握のために、検診の精密検査法として実施されている大腸CT検査の精度・偶発症・被ばく量・処理能力等を調査し、この位置づけの妥当性に関して今後も検討を継続する必要がある。

良好な精度と高い安全性のある大腸CT検査を行う付帯条件として、腸管前処置は水溶性造影剤を服用してタギングを行うこと、被ばく線量は可能な限り低くすること、読影の順序はprimary 3D readingとprimary 2D readingのいずれでも良いが3次元像として内視鏡類似像を用いるべきであることが推奨される。また、検査の実施に際しては、下記の必要条件を満たすものとする。

必要条件

説明と同意

検査の概略（前処置，検査時間，検査内容），精度，偶発症，などを事前に説明し，同意を文書で得る。

前処置法

受診者の状態や検査施設の状況を考慮し，適切な前処置法を選択する。原則として，水溶性造影剤（イオン性ヨード造影剤）の経口服用によるタギングを行う。正しく前処置を実施できるよう，受診者が理解しやすい説明書を作成する。

撮影方法

専用の直腸カテーテルならびに炭酸ガス自動送気装置の使用を基本とする。低線量撮影による2体位撮影を行う。画像再構成として逐次近似（応用）再構成法の使用が可能な環境であれば使用することが望ましい。

診断

大腸内視鏡検査で病変の有無が確認された症例による適切なトレーニングを読影医・一次読影技師は行うことを必須とする。精度検証を経ている内視鏡類似像およびMPR像による2体位読影を原則とする。

8. 学会が取り組むことが期待される課題

以下の各項目について，今後検討する必要がある。なお，8.5については平成28年1月12日から「大腸CT検査の実態全国調査」として調査を開始した。

8.1. 検査，診断医および一次読影技師の読影技術の標準化

8.2. 学会による講習・トレーニングの実施，読影資格の認定作業

8.3. 教科書の推薦

8.4. 学会による施設認定作業

8.5. 検査の実施状況ならびに偶発症の全国調査

実施形態については，本委員会と消化管先進画像診断研究会の共催とする。調査結果は英文誌に投稿するものとして，日本消化器がん検診学会理事会の承認を経て日本消化器がん検診学会雑誌にオリジナルの論文を引用する形で内容を紹介・掲載する。

8.6. ガイドライン策定

8.7. 用語集のとりまとめ（次ページ参照）

用語集 (案)

大腸 CT 用語	Terms of CT colonography
管電圧	tube voltage
管電流	tube current
コリメーション	collimation
コンピュータ支援診断	computer-aided detection
実効線量	effective dose
自動送気装置	automated insufflator
自動露出機構	automatic exposure control
手動送気	manual insufflation
スライス厚	slice thickness
大腸 CT 検査	CT colonography
大腸展開像	virtual dissection
タギング	tagging
多断面再構成	multi-planar reconstruction
逐次近似再構成	iterative reconstruction
注腸類似像	CT enema
直腸カテーテル	rectal catheters
電子クレンジング	electronic cleansing
内視鏡類似像	endoluminal image
フィルタ補正逆投影法	filtered back projection
フライスルー	fly-through
プライマリー2D 読影法	primary 2D reading
プライマリー3D 読影法	primary 3D reading

文 献

- 1) Vining DJ, et al. Non-invasive colonoscopy using helical CT scanning, 3D reconstruction and virtual reality. Maui (US) : 23rd annual meeting, Society of Gastrointestinal Radiologists, 1994.
- 2) Guidelines for the use of imaging in the NHS Bowel Cancer Screening Programme. Second edition.
<http://www.cancerscreening.nhs.uk/bowel/publications/nhsbcsp05.pdf>
- 3) Spada C, et al. Clinical indications for computed tomographic colonography : European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) Guideline. Eur Radiol 2015 ; 25 : 331 - 345.

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4291518/pdf/330_2014_Article_3435.pdf

- 4) Levin B, et al. American Cancer Society Colorectal Cancer Advisory Group ; US Multi-Society Task Force ; American College of Radiology Colon Cancer Committee Screening and surveillance for the early detection of colorectal cancer and adenomatous polyps, 2008 : a joint guideline from the American Cancer Society, the US Multi-Society Task Force on Colorectal Cancer, and the American College of Radiology. *CA Cancer J Clin* 2008 ; 58 : 130 - 160.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3322/CA.2007.0018/epdf>
- 5) <http://www.cancer.org/cancer/colonandrectumcancer/index>
- 6) Pickhardt PJ, et al. Computed tomographic virtual colonoscopy to screen for colorectal neoplasia in asymptomatic adults. *N Engl J Med* 2003 ; 349 : 2191 - 2200.
- 7) Johnson CD, et al. Prospective blinded evaluation of computed tomographic colonography for screen detection of colorectal polyps. *Gastroenterology* 2003 ; 125 : 311 - 319.
- 8) Cotton PB, et al. Computed tomographic colonography (virtual colonoscopy) : a multicenter comparison with standard colonoscopy for detection of colorectal neoplasia. *JAMA* 2004 ; 291 : 1713 - 1719.
- 9) Rockey DC, et al. Analysis of air contrast barium enema, computed tomographic colonography, and colonoscopy : prospective comparison. *Lancet* 2005 ; 365 : 305 - 311.
- 10) Johnson CD, et al. Accuracy of CT colonography for detection of large adenomas and cancers. *N Engl J Med* 2008 ; 359 : 1207 - 1217.
- 11) Zalis ME, et al. Diagnostic accuracy of laxative-free computed tomographic colonography for detection of adenomatous polyps in asymptomatic adults : a prospective evaluation. *Ann Intern Med* 2012 ; 156 : 692 - 702.
- 12) Graser A, et al. Comparison of CT colonography, colonoscopy, sigmoidoscopy and faecal occult blood tests for the detection of advanced adenoma in an average risk population. *Gut* 2009 ; 58 : 241 - 248.
- 13) Regge D, et al. Diagnostic accuracy of computed tomographic colonography for the detection of advanced neoplasia in individuals at increased risk of colorectal cancer. *JAMA* 2009 ; 301 : 2453 - 2461.
- 14) Heresbach D, et al. Accuracy of computed tomographic colonography in a nationwide multicentre trial, and its relation to radiologist expertise. *Gut* 2011 ; 60 : 658 - 665.
- 15) Stoop EM, et al. Participation and yield of colonoscopy versus non-cathartic CT colonography in populationbased screening for colorectal cancer : a randomised controlled trial. *Lancet Oncol* 2012 ; 13 : 55 - 64.
- 16) <https://upload.umin.ac.jp/cgi-open-bin/ctr/ctr.cgi?function=brows&action=brows&type=summary&recptno=R000002534&language=J>
- 17) <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00997802>
- 18) <https://upload.umin.ac.jp/cgi-open-bin/ctr/ctr.cgi?function=brows&action=brows&type=summary&recptno=R000007815&language=J>
- 19) Neri E, et al. The second ESGAR consensus statement on CT colonography. *Eur Radiol* 2013 ; 23 : 720 - 729.

- 20) ACR-SAR-SCBT-MR practice parameter for the performance of computed tomography (CT) colonography in adults.
<http://www.acr.org/~media/A81531ACA92F45058A83B5281E8FE826.pdf>
- 21) Nagata K, et al. Full-laxative versus minimum-laxative fecal-tagging CT colonography using 64-detector row CT : prospective blinded comparison of diagnostic performance, tagging quality, and patient acceptance. *Acad Radiol* 2009 ; 16 : 780 - 789.
- 22) de Wijkerslooth TR, et al. Reasons for participation and nonparticipation in colorectal cancer screening : a randomized trial of colonoscopy and CT colonography. *Am J Gastroenterol* 2012 ; 107 : 1777 - 1783.
- 23) Pullens HJ, et al. CT-colonography after incomplete colonoscopy : what is the diagnostic yield? *Dis Colon Rectum* 2013 ; 56 : 593 - 599.
- 24) Chang KJ, et al. Fluid tagging for CT colonography : effectiveness of a 2-hour iodinated oral preparation after incomplete optical colonoscopy. *J Comput Assist Tomogr* 2011 ; 35 : 91 - 95.
- 25) 野崎良一, 他. 全大腸内視鏡検査不成功例に対するCT colonographyの有用性. *日消がん検診誌* 2008 ; 46 : 735 - 745.
- 26) Yee J, et al. The usefulness of glucagon hydrochloride for colonic distention in CT colonography. *AJR Am J Roentgenol* 1999 ; 173 : 169 - 172.
- 27) Morrin MM, et al. CT colonography : colonic distention improved by dual positioning but not intravenous glucagon. *Eur Radiol* 2002 ; 12 : 525 - 530.
- 28) de Haan MC, et al. Colon distension, perceived burden and side-effects of CT-colonography for screening using hyoscine butylbromide or glucagon hydrochloride as bowel relaxant. *Eur J Radiol* 2012 ; 81 : e910 - e916.
- 29) Taylor SA, et al. Optimizing colonic distention for multi-detector row CT colonography : effect of hyoscine butylbromide and rectal balloon catheter. *Radiology* 2003 ; 229 : 99 - 108.
- 30) Bruzzi JF, et al. Efficacy of IV Buscopan as a muscle relaxant in CT colonography. *Eur Radiol* 2003 ; 13 : 2264 - 2270.
- 31) Iannacone R, et al. Role of glucagon and hyoscine bromide (Buscopan) in CT Colonography : a placebo-controlled study. Abstract presented at RSNA 2003.
http://rsna2003.rsna.org/rsna2003/VBK/conference/event_display.cfm?em_id=3101240
- 32) 永田浩一, 他. 大腸3D-CT検査で良好な腸管拡張を得るために鎮痙剤は必要か? *日本大腸肛門病学会誌* 2010 ; 63 : 127 - 133.
- 33) Nagata K, et al. Colonic distension at CT colonography : randomized evaluation of both intravenous hyoscine butylbromide and automated insufflation. *AJR Am J Roentgenol* 2015 ; 204 : 76 - 82.
- 34) van Gelder RE, et al. CT colonography at different radiation dose levels : feasibility of dose reduction. *Radiology* 2002 ; 224 : 25 - 33.
- 35) Brenner DJ, et al. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007 ; 357 : 2277 - 2284.
- 36) Nagata K, et al. Evaluation of dose reduction and image quality in CT colonography : Comparison of low-dose CT scans with iterative reconstruction and routine-dose CT scans with filtered back

- projection. *Eur Radiol* 2015 ; 25 : 221 - 229.
- 37) Costello JE, et al. CT radiation dose : current controversies and dose reduction strategies. *AJR Am J Roentgenol* 2013 ; 201 : 1283 - 1290.
 - 38) Yee J, et al. Advances in CT Colonography for Colorectal Cancer Screening and Diagnosis. *J Cancer* 2013 ; 4 : 200 - 209.
 - 39) Liedenbaum MH, et al. Radiation dose in CT colonography--trends in time and differences between daily practice and screening protocols. *Eur Radiol* 2008 ; 18 : 2222 - 2230.
 - 40) Hara AK, et al. ACRIN CT colonography trial : does reader's preference for primary two-dimensional versus primary three dimensional interpretation affect performance? *Radiology* 2011 ; 259 : 435 - 441.
 - 41) Yee J, et al. ACR Appropriateness Criteria colorectal cancer screening. *J Am Coll Radiol* 2014 ; 11 : 543 - 551.
 - 42) 馬嶋健一郎, 他. 大腸CTの読影法「大腸展開像」vs「仮想内視鏡像」: Pilot studyによる比較. *日消がん検診誌* 2015 ; 53 : 600 - 606.
 - 43) Neri E, et al. CT colonography versus double-contrast barium enema for screening of colorectal cancer : comparison of radiation burden. *Abdom Imaging* 2010 ; 35 : 596 - 601.
 - 44) Rutter CM, et al. Extracolonic findings from CTC : balancing risks and benefits. *AJR Am J Roentgenol* 2009 ; 193 : W470.
 - 45) Bellini D, et al. Perforation rate in CT colonography : a systematic review of the literature and meta-analysis. *Eur Radiol* 2014 ; 24 : 1487 - 1496.
 - 46) Halligan S, et al. CT colonography in the detection of colorectal polyps and cancer : systematic review, meta-analysis, and proposed minimum data set for study level reporting. *Radiology* 2005 ; 237 : 893 - 904.
 - 47) Bowles CJ, et al. A prospective study of colonoscopy practice in the UK today : are we adequately prepared for national colorectal cancer screening tomorrow? *Gut* 2004 ; 53 : 277 - 283.
 - 48) Sosna J, et al. Colonic perforation at CT colonography : assessment of risk in a multicenter large cohort. *Radiology* 2006 ; 239 : 457 - 463.
 - 49) Kato T, et al. Iatrogenic Colon Perforation due to Computed Tomographic Colonography. *Case Rep Gastroenterol* 2015 ; 9 : 171 - 178.
 - 50) 満崎克彦, 他. スクリーニングCT colonographyにて生じたS状結腸穿孔の1例. *日消がん検診誌* 2015 ; 53 : 810 - 816.
 - 51) Iafrate F, et al. Adverse events of computed tomography colonography : an Italian National Survey. *Dig Liver Dis* 2013 ; 45 : 645 - 650.
 - 52) Neri E, et al. Vasovagal reactions in CT colonography. *Abdom Imaging* 2007 ; 32 : 552 - 555.
 - 53) Liedenbaum MH, et al. Evaluation of a standardized CT colonography training program for novice readers. *Radiology* 2011 ; 258 : 477 - 487.