

Coloscopie virtuelle : mythe ou réalité ?

MODULE 2

Thierry PONCHON

Fédération des Spécialités Digestives, Hôpital Edouard Herriot, 69003 Lyon.

TABLE DES MATIÈRES

TECHNIQUE

- Préparation du patient
- Matériel
- Analyse des images

RÉSULTATS

- Détection des lésions chez les patients avec symptômes ou à risque élevé de cancer colorectal
- Autres indications
 - Coloscopie incomplète
 - Lésions extracoliques
 - Divers

TOLÉRANCE

AVANCÉES TECHNOLOGIQUES

- Marquage des selles et de la paroi
- Traitement des images
- Coloscopie virtuelle par résonance magnétique (RM)

COÛT

LIMITES DE LA COLOSCOPIE ET CONSÉQUENCES POUR LA COLOSCOPIE VIRTUELLE

DISCUSSION

CONTENTS

Virtual colonoscopy: myth or reality?

TECHNICAL CONSIDERATIONS

- Patient's preparation
- Material
- Image's analysis

RESULTS

- Detection of lesions in symptomatic patients or in high-risk patients for colorectal carcinoma
- Other indications
 - Incomplete colonoscopy
 - Extracolonic lesions
 - Miscellaneous

TOLERANCE

TECHNOLOGICAL ADVANCES

- Stool and colic wall labelling
- Imaging processing
- Magnetic resonance virtual colonoscopy

COST

LIMITS OF COLOSCOPY AND CONSEQUENCES FOR VIRTUAL COLOSCOPY

DISCUSSION

La coloscopie virtuelle désigne la représentation tridimensionnelle du côlon simulant les images obtenues lors de la coloscopie. Cette coloscopie est obtenue par reconstruction à l'aide d'un logiciel graphique à partir d'images de scanner ou de résonance magnétique (RM). Ce sont les possibilités d'acquisition rapide de coupes fines et du traitement d'images qui ont permis cette évolution.

En fait, à côté de cette imagerie simulant la coloscopie, il est possible d'obtenir d'autres formes d'imagerie 2D ou 3D du côlon, certes moins impressionnantes et moins symboliques, mais tout aussi intéressantes. C'est la raison pour laquelle les auteurs anglosaxons parlent de colographie scanner ou de colographie RM. Nous utiliserons dans ce texte le terme de coloscopie virtuelle pour obéir au titre proposé, mais ceux de colographie scanner ou RM nous paraissent plus appropriés.

Les premiers travaux cliniques datent de 1994. Devant l'engouement et la polémique suscités par les images obtenues, les sociétés savantes (ASGE, SFED), puis l'ANAES en France en 2001, ont rapidement pris position sur l'intérêt de la méthode.

Technique

Préparation du patient

L'exploration par scanner du côlon nécessite un côlon propre, distendu et sans péristaltisme. La préparation pour la coloscopie virtuelle doit être aussi stricte que pour la coloscopie, voire même plus stricte. En effet, alors que le liquide résiduel peut être facilement aspiré en coloscopie, il gêne l'interprétation de la coloscopie virtuelle ; il en est de même des résidus solides faciles à identifier en coloscopie, beaucoup plus difficiles à différencier des polypes en coloscopie virtuelle. Les deux préparations les plus utilisées sont comme pour la coloscopie le polyéthylène glycol et le phospho-soda. Idéalement, il faut une préparation d'excellente qualité et « sèche », c'est-à-dire avec le moins de liquide résiduel possible. Pour cette raison, le phospho-soda est le plus utilisé. Dans une étude non randomisée, Macari et al. [1] ont montré que la préparation par phospho-soda donne moins de liquide résiduel que la préparation par polyéthylène glycol.

La distension colique est également une étape indispensable : elle est réalisée en décubitus dorsal puis en décubitus ventral, à l'aide d'une sonde rectale. Elle utilise de l'air ou du CO₂. Le CO₂ a l'avantage par rapport à l'air d'être plus rapidement résorbé par la muqueuse colique, ce qui est plus confortable pour le patient. Des études sont en cours pour démontrer l'intérêt de l'insufflation par CO₂ et de l'insufflation contrôlée électroniquement. A noter qu'il existe une technique d'imagerie du côlon par scanner qui utilise l'eau pour distendre le côlon : le côlon est alors analysé à l'aide d'un « trackball » ou par reconstruction 2D. Cette technique n'est pas appelée coloscopie virtuelle mais « hydroCT ». Le recours au glucagon pour lever les spasmes coliques n'a pas démontré son efficacité pour améliorer la qualité des images et pour augmenter la sensibilité de la détection des polypes [2-4]. Dans une étude récente portant sur 96 examens, 74 réalisés avec glucagon et 22 sans glucagon, Morrin et al. [5] ont montré que le passage en décubitus ventral améliore plus la distension colique, que le glucagon.

Matériel

La plupart des résultats concerne le scanner hélicoïdal monobarrette. Le scanner multibarrette, plus récent, permet une acquisition plus rapide (15 à 20 secondes pour l'abdomen et le pelvis), ce qui limite les artefacts liés aux mouvements respiratoires, tels que les plis tronqués. Le multibarrette permet surtout une collimation plus fine de l'ordre du millimètre, ce qui augmente la sensibilité de la méthode pour la détection des petits polypes.

L'examen se déroule dans deux positions, habituellement en décubitus dorsal puis en décubitus ventral pour supprimer les effets d'une éventuelle insuffisance de préparation. Chen et al. [6] ont montré que la distension colique était de meilleure qualité et que la sensibilité pour détecter des polypes était plus élevée lorsque les 2 positions étaient employées. Ceci permet également de mobiliser les matières et de les distinguer des images fixes tels que les polypes sessiles.

La dose de radiation est proche de 1,1 rem, supérieure à celle du lavement baryté (0,60 rem) mais nettement inférieure à celle d'un examen tomodensitométrique abdominopelvien (1,5 rem) [7, 8]. La réduction de la dose de radiation reste cependant une préoccupation des équipes : une réduction des doses de 75 % semble ne pas nuire à la qualité de l'examen [9].

Analyse des images

L'analyse des images ne passe pas que par l'interprétation des vues 3D. Les images 2D, axiales, coronales et sagittales sont également très informatives et sont souvent utilisées en première intention, les images 3D étant employées pour résoudre des difficultés d'interprétation. Royster et al. [10] ont montré que les images 2D et 3D étaient complémentaires. Dachman et al. [11] ont mesuré le temps nécessaire à l'interprétation à partir d'une série de 44 examens : l'analyse première des images 2D axiales raccourci le temps d'interprétation. De même, Macari et al. [12] ont observé un temps d'analyse inférieur avec les images axiales bi-dimensionnelles complétées secondairement par les images 3D, ceci sans perte de sensibilité.

Afin de faciliter l'interprétation, les logiciels les plus récents permettent de coupler l'analyse des images obtenues en décubitus ventral et en décubitus dorsal ou bien les images endoluminales obtenues dans le sens antérograde et dans le sens rétrograde.

Le temps nécessaire à la préparation des patients varie de 10 à 20 minutes, celui du traitement des images de 30 à 60 minutes et l'interprétation dure environ 10 minutes.

Résultats

Détection des lésions chez les patients avec symptômes ou à risque élevé de cancer colorectal

Les premières études ont concerné des patients ayant un cancer démontré par coloscopie. Puis, la plupart des études ont comparé coloscopie virtuelle et coloscopie standard chez des patients à risque de polypes ou chez des patients symptomatiques. La coloscopie virtuelle était pratiquée avant la coloscopie standard et l'interprétation des images était réalisée en aveugle par un ou deux radiologues.

L'interprétation des résultats de ces études n'est pas facile :

- les critères d'inclusion des patients étaient variables : il s'agissait généralement de patients à risque élevé de cancer colorectal, si bien que les résultats de ces études ne peuvent pas être extrapolés au dépistage de masse d'une population à risque moyen.

- la préparation était variable selon les études, ainsi que le matériel et les protocoles d'acquisition et d'interprétation des examens. Le niveau d'expérience des opérateurs était très disparate, alors que le rôle de l'expertise sur la qualité des résultats a été clairement démontré [13-15].

- les effectifs étaient faibles et les intervalles de confiance larges.

- les polypes étaient classés selon leur diamètre, or l'imperfection de la mesure des dimensions d'une lésion est bien connue en imagerie.

- la moitié des études rapportées l'a été sous la forme d'abstract ou de communication orale.

La concordance inter-observateur a été diversement appréciée. Pescatore et al. [15] ont trouvé une faible concordance, mais les opérateurs avaient une expérience limitée de la technique. Avec 3 opérateurs expérimentés, McFarland et al. [16] ont montré une bonne concordance inter-observateur et également une bonne reproductibilité de l'interprétation.

Les résultats détaillés des études les plus pertinentes sont présentés dans les tableaux I, II, III et IV, en prenant comme unité expérimentale soit le polype, soit le patient. Seules y sont colligées les études ayant fait l'objet d'un article original. Dans la majorité de ces études, l'interprétation des images scannographiques a été réalisée par deux radiologues travaillant ensemble ou séparément. Les résultats dédoublés correspondent aux résultats des radiologues ayant travaillé séparément. Deux études sont similaires en terme d'indication et de méthodologie, celle de Yee et al. [17] portant sur 300 patients et celle de Fenlon et al. [19] portant sur 100 patients. Les patients inclus présentaient des symptômes évocateurs ou un risque élevé de polypes. Tous les cancers présents ont été détectés, 8 dans l'étude de Yee et al. [17] et 3 dans l'étude de Fenlon et al. [19]. Cette dernière étude a été publiée à trois reprises, une première fois sur 20 patients [10], une seconde fois sur 38 [18], et enfin, dans le *New England Journal of Medicine* [18]. La sensibilité était excellente, supérieure à 90 % pour les polypes de diamètre supérieur à 10 mm, elle passait à environ 80 % pour les polypes de diamètre compris entre 5 et 10 mm et à 55 % pour les polypes plus petits.

Hara et al. [20] ont comparé scanner monobarrette et scanner multibarrette pour la détection des polypes chez 237 patients à risque élevé de lésions néoplasiques. Ils ont noté une meilleure qualité de l'examen et moins d'artefacts liés à la respiration avec le scanner multibarrettes, comme on pouvait s'y attendre. La sensibilité était plus élevée, mais la spécificité était plus basse avec le scanner monobarrette qu'avec le scanner

Tableau I. – Résultats des études comparatives avec la coloscopie. Tous polypes.
Results of comparative studies with colonoscopy. All polyps.

	Nbre pts	sens/polype	sens/patient	spé/patient
Yee [17]	300	90 %	70 %	72 %
Fenlon [18]	100	71 %	82 %	84 %
Macari [22]	42	38 %	100 %	86-100 %
Dachman [23]	44	36-37 %	38-50 %	86-93 %
Pescatore [15]	50	ND	71-75 %	62-69 %
Rex [24]	46	22 %	ND	ND
Laghi [25]	46	ND	94 %	94 %

Nbre pts : nombre de patients, sen = sensibilité, spé = spécificité.

multibarrette ; cependant, les différences n'étaient pas statistiquement significatives. Morrin et al. [21] ont rapporté des résultats similaires sur une petite série de 33 patients à risque élevé de cancer colo-rectal.

Deux études récentes ont été particulièrement commentées par les hépatogastroentérologues, mais n'ont pas fait encore l'objet d'une publication. P. Cotton [28] a présenté lors de la réunion 2002 de l'AGA les résultats préliminaires (sur 418 patients) d'une étude menée sur un total de 600 patients ayant des symptômes ou à risque dans 9 centres ; 17 % des patients avaient des polypes de plus de 6 mm de diamètre. Les résultats ont été très mauvais : la sensibilité de la coloscopie virtuelle pour

tous les polypes a été de 36 % et la spécificité de 88 %. Pour les polypes de plus de 1 cm de diamètre, la sensibilité a été de 47 %, chiffre particulièrement décevant par rapport à celui des autres études, et la spécificité de 95 %. Lors de la présentation, il est apparu que le nombre de patients inclus par centre était très variable et que les centres qui ont inclus le plus n'étaient pas forcément ceux qui avaient les meilleurs résultats. B. Saar et al. [29] ont présenté lors de la réunion précédente de l'AGA en 2001 une étude identique menée à Munich dans un seul centre sur 117 patients avec des symptômes ou à risque. Les 8 cancers présents ont été détectés. La sensibilité par polype a été de 83 % et la spécificité de 95 %. Cinq lésions planes diagnostiquées en coloscopie n'ont pas été vues par la coloscopie virtuelle.

Tableau II. – Résultats des études comparatives avec la coloscopie. Diamètre du polype supérieur à 10 mm.
Results of comparative studies with colonoscopy. Polyp diameter > 10 mm.

	Nbre pts	sens/polype	sens/patient	spé/patient
Yee [17]	300	90,2 %	100 %	
Fenlon [18]	100	91 %	96 %	96 %
Hara [20]	237	80-89 %	78-100 %	90-93 %
Fletcher [26]	180	75 %	85 %	93 %
Morrin [21]	33	91 %	86 %	100 %
Macari [22]	42	100 %	100 %	100 %
Dachman [23]	44	83 %	83 %	100 %
Pescatore [15]	50	38-63 %	ND	74 %
Rex [24]	46	80 %	83 %	ND
Kay [27]	38	91 %	90 %	82 %
Laghi [25]	66	93 %	ND	ND

Nbre pts : nombre de patients, sen = sensibilité, spé = spécificité, ND = non déterminée.

Tableau III. – Diamètre du polype entre 5 et 9,9 mm.
Polyp diameter 5-9.9 mm.

	Nbre pts	sens/polype	sens/patient	spé/patient
Yee [17]	300	80,1 %	93 %	ND
Fenlon [18]	100	82 %	82 %	ND
Rex [24]	46	43 %	43 %	ND
Kay [27]	38	62 %	67 %	75 %
Laghi [25]	66	85 %	ND	ND
Macari [22]	42	67 %	ND	ND

Nbre pts : nombre de patients, sen = sensibilité, spé = spécificité, ND = non déterminée.

Tableau IV. – Diamètre du polype inférieur à 5 mm.
Polyp diameter < 5 mm.

	Nbre pts	sens/polype	sens/patient
Yee [17]	300	59,1 %	82 %
Fenlon [18]	100	55 %	ND
Rex [24]	38	11 %	25 %
Laghi [25]	66	24 %	ND
Macari [22]	42	20 %	ND

Nbre pts : nombre de patients, sens = sensibilité, ND = non déterminée.

Les données actuelles ne sont pas suffisantes pour moduler les résultats en fonction du caractère adénomateux ou hyperplasique des polypes et en fonction du caractère vilieux ou tubuleux des adénomes.

L'évaluation rétrospective des images montre que les erreurs pour les polypes de plus de 5 mm de diamètre sont corrigibles dans la moitié des cas et liées à des problèmes d'interprétation ou de technique. Mais dans l'autre moitié des cas, aucune explication ne peut être fournie et il semble s'agir d'une limite de base de la méthode. Pour les polypes de moins de 5 mm de diamètre, les erreurs sont principalement liées à un manque de résolution des images.

Au total, malgré les limites décrites plus haut des études, il est possible de conclure que :

— la coloscopie virtuelle présente actuellement des performances insuffisantes pour les lésions de moins de 5 mm de diamètre, dont on peut bien sûr discuter l'intérêt clinique de la détection, leur potentiel évolutif étant diversement apprécié.

— les résultats pour les polypes plus volumineux sont meilleurs mais discordants. En particulier ; les études de Cotton et de Saar font apparaître que des lésions de plus de 1 cm de diamètre peuvent être omises, surtout si elles sont planes.

Autres indications

COLOSCOPIE INCOMPLÈTE

Quatre études ont été menées chez des patients pour lesquels la coloscopie avait été incomplète en raison d'une sténose : Morin et al. [30] ont pu explorer, chez 40 patients, 96 % des segments coliques et ont détecté la cause du caractère incomplet de la coloscopie dans 74 % des cas. Ces résultats étaient supérieurs à ceux du lavement baryté. Macari et al. [31] ont mis en évidence des polypes dans les segments non explorés par la coloscopie chez 2 patients sur 10, alors que la coloscopie virtuelle était normale dans les 8 autres cas. Fenlon et al. [32] ont conduit une étude chez 29 patients avec cancer obstructif et ont vu le cancer chez les 29 patients plus 2 cancers additionnels et 24 polypes dans le côlon en amont de la sténose. Une quatrième étude [33] a été réalisée chez 34 patients ayant eu une coloscopie incomplète dont 29 fois en raison d'un cancer. La sensibilité et la spécificité pour le diagnostic de cancer a été respectivement de 100 et de 96 %.

Dans le même registre, Fletcher et al. [34] se sont intéressés à la place de la coloscopie virtuelle dans la détection d'une récurrence chez des patients opérés pour cancer colorectal. 50 patients ont eu une coloscopie virtuelle qui s'est accompagnée d'une distension efficace chez 37 patients (74 %). Chez 11 patients, le sigmoïde n'a pas été correctement visible en cas d'hémi-colectomie droite. Dans cette étude, la coloscopie virtuelle avait une précision diagnostique élevée pour le diagnostic de récurrence (94 %) et de lésions métachrones (92 %). Des métastases ont été

trouvées chez 5 patients. Les auteurs concluaient évidemment que la coloscopie virtuelle est un bon examen de deuxième intention après la coloscopie quand celle-ci est incomplète. Il faut rappeler qu'en cas de cancer colorectal, le taux de cancers synchrones varie de 1,5 à 9 % et le taux d'adénomes associés de 27 à 55 %. D'où l'importance de disposer d'une bonne exploration du côlon, complémentaire de l'endoscopie, lorsque celle-ci est incomplète.

La coloscopie virtuelle (ou une technique plus simple de colographie scanner) dispose ainsi de plusieurs atouts pour devenir l'examen de référence dans ces cas non rares d'examen coloscopique incomplet.

LÉSIONS EXTRA-COLIQUES

Le scanner permet évidemment un examen des organes extra-coliques que ne permet pas la coloscopie. Hara et al. [35] ont analysé l'incidence des lésions extra-coliques chez 264 patients à risque élevé de cancer colo-rectal et ayant eu une coloscopie virtuelle. Trente patients (11 %) avaient des lésions extra-coliques considérées comme sérieuses : masses néoplasiques ou indéterminées de plus de 1 cm de diamètre, anévrisme aortique, hernie inguinale, pneumothorax. Six patients ont été opérés en raison de ces lésions extra-coliques. Une autre étude du même type [36] a porté sur 100 patients. Des lésions extra-coliques ont été trouvées chez 15 patients, la plupart des ces lésions étant bénignes et ne nécessitant pas de traitement. Ces résultats plaident un peu pour la coloscopie virtuelle mais ne sont pas décisifs : ce n'est pas pour cette raison que la coloscopie virtuelle pourrait devenir un élément du dépistage. En fait, le problème doit plutôt être vu en sens inverse. Chez un patient porteur d'un cancer colorectal connu, le scanner est souvent réalisé dans le cadre du bilan d'extension pour rechercher des métastases ou d'autres lésions susceptibles de modifier la conduite à tenir. Il peut alors être intéressant d'analyser la lésion initiale dans le même temps, afin de préciser la localisation (qui est souvent mal évaluée en coloscopie), ce qui pourrait modifier le geste chirurgical, et afin de préciser l'extension locale, ce qui a moins d'intérêt, en l'état actuel des recommandations thérapeutiques.

DIVERS

De rares travaux ont concerné la polypose adénomateuse familiale [37], et les maladies inflammatoires coliques [38]. Gollub et al. [39] dans une série de 61 patients ayant eu une radiothérapie abdominopelvienne ou une chirurgie colique n'ont pas observé de différences concernant la qualité de la distension et la préparation par rapport à des patients non traités au préalable. Ng et al. [40] ont suggéré d'employer la coloscopie virtuelle au lieu de la coloscopie chez les patients âgés ou en mauvais état général pour faire le diagnostic de cancer du caecum ou du côlon droit de manière moins invasive. Dans leur étude portant sur 30 cancers, la sensibilité a été de 90 % et la spécificité de 98 %. Il s'agit d'une indication rare mais intéressante de colographie scanner, beaucoup plus d'ailleurs que de coloscopie virtuelle.

Tolérance

Même si l'adjectif « virtuelle » laisse penser qu'il n'y a pas intervention directe sur le patient et que la technique n'est pas invasive, la coloscopie virtuelle pose des problèmes de tolérance, liés à la préparation colique mais surtout à l'insufflation colique. Cinq études ont été menées pour comparer la tolérance à la coloscopie virtuelle et la tolérance à la coloscopie. Il faut évidemment interpréter ces résultats avec précaution, les conditions de réalisation de la coloscopie étant comme chacun sait en France, très différentes de celles des autres pays européens.

Trois études sont en faveur de la coloscopie virtuelle. Dans l'étude sur la coloscopie virtuelle réalisée lors d'explorations endoscopiques incomplètes, c'est-à-dire dans des conditions particulières, chez 40 patients, Morrin et al. [30] ont observé que la tolérance était meilleure lors de la coloscopie virtuelle que lors de la coloscopie. Dans une série de 111 patients présentée par Svensson et al. [41], 12 patients ont préféré la coloscopie et 56 la colographie scanner. Moins de patients se sont plaints de douleur avec la colographie scanner (57 %) qu'avec la coloscopie (26 %). Thomeer et al. [42] ont conduit la même étude sur 124 patients et ont observé le même résultat : 71 % préféraient la coloscopie virtuelle, 24 % la coloscopie et 5 % n'avaient pas de préférence. Pour ces patients, la coloscopie virtuelle présentait l'intérêt d'être mieux supportée et de durer moins longtemps que la coloscopie mais également de ne pas nécessiter de sédation.

Deux études sont en faveur de la coloscopie. Aberkar et al. [43] à partir d'une série de 259 patients (réponse immédiatement et 24 heures après l'examen), ont rapporté que les patients ressentent un plus grand inconfort et plus de douleurs au cours de la coloscopie virtuelle. De même, Forbes et al. [44] ont rapporté que la coloscopie virtuelle était plus douloureuse que la coloscopie, alors que les autres paramètres (satisfaction, gêne, ...) n'étaient pas statistiquement différents pour les deux examens.

Enfin, une étude virtuelle de la tolérance a été conduite par Angtuaco et al. [45] : mille questionnaires ont été envoyés à des médecins généralistes et 400 à des patients potentiels ; 188 généralistes et 323 patients ont répondu. 67,4 % des patients et 51,6 % des médecins généralistes préféraient la coloscopie virtuelle car elle ne nécessite pas de sédation ; 23,6 % des patients et 52,9 % des médecins reconnaissent la supériorité de la coloscopie standard pour l'étude de la muqueuse. Une fois tous les critères d'évaluation pris en compte, les patients préféraient la coloscopie virtuelle (60,2 % vs 25,7 %) alors que les médecins généralistes préféraient la coloscopie standard (44,9 % vs 30,3 %). Ces résultats peuvent être interprétés de la façon suivante : les médecins sont plus sensibles au diagnostic et aux possibilités thérapeutiques ; alors que les patients acceptent mieux la coloscopie virtuelle dans le cadre du dépistage.

Avancées technologiques

Marquage des selles et de la paroi

L'hypothèse selon laquelle le marquage des selles par un produit de contraste pourrait faciliter la détection des polypes a été soulevée. Il y a eu peu d'études sur le sujet et les résultats ne sont pas convaincants. Callstrom et al. [46] ont montré que la sensibilité de la détection est liée au nombre de doses de produit de contraste employés ainsi qu'au temps pendant lequel le produit de contraste est ingéré.

Fletcher et al. [26] ont employé un marquage des résidus par un produit de contraste chez 89 patients sur une série totale de 180 : ils n'ont pas observé d'amélioration de la sensibilité.

Morrin et al. [47] ont observé, à partir d'une étude menée chez 200 patients, que l'injection intraveineuse de produit de contraste augmentait de 58 à 75 % la sensibilité de la détection des polypes de diamètre compris entre 5 et 9 mm.

Traitement des images

Des travaux sont actuellement menés pour présenter différemment la muqueuse colique, de façon à ce que l'opérateur ait

d'emblée une vue d'ensemble ou la plus large possible de la muqueuse [48-50]. Par exemple, le colon peut être présenté ouvert longitudinalement comme une pièce anatomique.

Par ailleurs, pour économiser du temps à l'opérateur, plusieurs équipes travaillent sur la détection assistée par ordinateur [51-53]. Les polypes sont détectés à partir de leur forme courbe ou de leur volume hémisphérique. Summers et al. [52] ont observé une sensibilité de 71 % du système de détection pour les polypes de plus de 10 mm de diamètre. Yoshida et al. [53] a utilisé un système de détection volumétrique chez 41 patients. Tous les polypes soit 18 ont été trouvés par le détecteur automatique, mais avec un taux élevé de 2,5 faux positifs par patient.

Coloscopie virtuelle par résonance magnétique (RM)

La résonance magnétique permet, selon le même principe que la tomographie, d'obtenir des images de coloscopie virtuelle par reconstruction tridimensionnelle. Cet examen a été proposé et évalué par JF Debatin en Suisse et Allemagne. La distension colique est assurée par un lavement de 2 à 3 litres de mélange eau-gadolinium, dont la progression est contrôlée par résonance. Une reconstruction tridimensionnelle des séquences T1 est réalisée chez le patient en décubitus ventral et dorsal. Des antispasmodiques (N-butyl-scopolamine) sont utiles pour supprimer les artefacts et du gadolinium peut être administré en intraveineux pour souligner la paroi colique et les masses pariétales. L'interprétation utilise les images coronales et les images endoluminales 2D et 3D. L'équipe a débuté son évaluation par des pièces opératoires de colon avec des polypes néoformés [54]. Après une étude préliminaire ayant porté chez 20 patients [55], Luboldt et al. [56] ont publié en 2000 leur expérience à partir d'une série de 132 patients. L'interprétation a été possible chez 127 patients. Les lésions de moins de 5 mm de diamètre n'ont pas été visualisées, alors que 19 des 31 polypes de 6 à 10 mm de diamètre et 26 des 27 polypes de plus de 10 mm de diamètre ont été mis en évidence.

Comme pour la colographie scanner, en vue d'améliorer la tolérance, des essais du marquage des selles permettant de s'affranchir de la préparation colique classique sont en cours. La préparation n'est pas nécessaire si les selles produisent un signal différent des polypes et identique au lavement utilisé pour remplir et distendre le colon. Il y a deux façons de réaliser ce marquage : soit les polypes sont sombres entourés de selles claires et d'un lavement clair ; soit les polypes sont clairs entourés de selles sombres et d'un lavement sombre.

La première approche a été évaluée avec un relatif succès : du gadolinium a été administré par voie orale, en plus du lavement réalisé à base de gadolinium. Knopp et al. [57] ont même exploré une autre voie fondée sur l'excrétion partielle du gadolinium dans la bile. En attendant 16 heures, le gadolinium marque les selles et permet d'obtenir un contraste suffisant.

La deuxième approche a également été évaluée par Lauenstein et al. [58] : 6 patients et 6 volontaires ont ingéré 200 mL de baryte à chacun des 4 repas précédant l'examen et ont eu un lavement baryté complémentaire plus une injection intraveineuse de gadolinium. Cette association baryte intraluminaire et gadolinium intraveineux a permis d'obtenir un bon contraste entre contenu luminal et paroi et a permis la détection de 2 cancers et de 2 polypes chez les patients. La baryte a le double avantage d'être peu chère et largement diffusée. Dans une seconde publication, Lauenstein et al. [59] ont présenté les résultats de cette technique chez 24 autres patients mais avec un simple lavement à l'eau. Tous les cancers [10] et tous les polypes de plus de 8 mm de diamètre ont été détectés. La sensibilité a été de 89,3 % pour les polypes et de 91,7 % pour les patients.

L'avantage majeur de la technique par rapport au scanner est l'absence de radiations ionisantes. Les inconvénients de la technique par rapport au scanner sont évidemment la moindre diffusion de la technologie RM, le coût des appareils, la durée de l'examen et le volume important de la préparation. L'avenir de cette technique dans cette indication reste incertain.

Coût

Une étude sur les coûts [60] qui doit être interprétée avec beaucoup de prudence car les hypothèses de base ne sont pas françaises, a montré que le rapport coût/efficacité de la coloscopie était plus élevé que celui de la coloscopie virtuelle et que le coût par année-vie sauvée était plus élevé avec la coloscopie virtuelle. La compliance à la coloscopie virtuelle doit être de 15 % supérieure à la compliance à la coloscopie ou son coût doit être de 54 % inférieur, pour que les deux examens aient le même rapport coût/efficacité.

Limites de la coloscopie et conséquences pour la coloscopie virtuelle

Dans les textes des séminaire 1999 et 2000 de la SNFGE [61, 62], nous avons conduit une analyse sur les limites diagnostiques de la coloscopie. La coloscopie constitue l'examen de référence pour le diagnostic des lésions néoplasiques colorectales, en particulier des lésions néoplasiques superficielles. La sensibilité de cet examen pour le diagnostic des lésions néoplasiques superficielles est rarement remise en question, bien qu'elle ait été peu étudiée : les recommandations issues des conférences de consensus, les recommandations des sociétés savantes et les références médicales opposables s'appuient sur l'infailibilité de la coloscopie dans ce domaine. C'est le risque de récurrence qui justifie les coloscopies de contrôle, en particulier chez les patients ayant eu plusieurs adénomes réséqués, et non pas le risque d'avoir laissé passer une lésion.

En fait, un débat généré par des travaux essentiellement d'origine japonaise, s'est installé pour remettre en question l'infailibilité de la coloscopie, telle qu'elle est pratiquée dans les pays occidentaux. Il a été démontré que d'une part nous laissons échapper des lésions polypoides et que d'autre part nous méconnaissons certaines formes macroscopiques de lésions néoplasiques. Le taux de lésions polypoides manquées est de 15 et 24 % dans deux études américaines ayant consisté à pratiquer 2 coloscopies chez le même patient. Ces chiffres élevés n'ont pas à ce jour été démentis. Les séries japonaises de lésions colorectales néoplasiques indiquent que les lésions polypoides ne représentent que 55 % des lésions néoplasiques colorectales. 42 % des lésions sont planes et 3 % sont déprimées. Pour un même diamètre, le taux de lésions avec envahissement cancéreux de la sous-muqueuse est identique pour les lésions polypoides et les lésions planes et beaucoup plus élevées pour les lésions déprimées. Plus récemment, des taux pratiquement identiques de lésions planes et de lésions déprimées ont été mis en évidence en Angleterre, Suède, Brésil par des endoscopistes japonais ou ayant appris au Japon. Il semble, mais sans que cela ait été prouvé jusqu'à présent, que le diagnostic des lésions planes se soit amélioré en Europe probablement en raison d'une amélioration de la résolution des vidéoendoscopes et d'une sensibilisation des opérateurs à l'existence de ces lésions. En revanche, le diagnostic des lésions déprimées reste exceptionnelle. On estime que ces lésions déprimées pourraient représenter jusqu'à 20 % des cancers.

Les raisons de ce défaut de sensibilité de la coloscopie dans les pays occidentaux sont imprécises : c'est probablement la

pratique de la coloscopie qui doit être remise en question. Les occidentaux s'attachent à rechercher lors d'une insufflation forcée des modifications relativement évidentes de relief, alors que les opérateurs japonais recherchent des modifications mineures de surface mais aussi de couleur et insufflent peu le côlon. En effet, l'insufflation fait disparaître les anomalies vasculaires et donc de couleur et les discrètes variations de surface.

Quelles sont les conséquences pour la coloscopie virtuelle de cette remise en cause de la sensibilité de la coloscopie ?

1) La majorité des études sur la coloscopie virtuelle ont pris comme principe que la sensibilité de la coloscopie est de 100 %. Si cela n'est pas le cas, la sensibilité de la coloscopie virtuelle est inférieure à celle rapportée dans les études alors que sa spécificité pourrait être un peu meilleure (puisque la coloscopie virtuelle pourrait en théorie voir de vraies lésions non vues en coloscopie).

2) On peut s'attendre à ce que les lésions néoplasiques planes et/ou déprimées soient très difficiles à mettre en évidence par coloscopie virtuelle. D'ailleurs plusieurs études l'ont déjà indiqué. Il n'est pas certain que les progrès technologiques puissent améliorer la situation et permettre de détecter par scanner ou IRM des lésions qui ont tendance à échapper à la vision directe.

3) La coloscopie virtuelle est fondée sur la recherche des anomalies de relief et évidemment pas sur la recherche des anomalies de couleur et elle emploie une insufflation forcée. Donc une technique dont on connaît maintenant les limites avec la coloscopie.

On peut dire que la coloscopie virtuelle arrive à un moment où la pratique de la coloscopie évolue ou va évoluer par la prise en compte des résultats japonais. De là à dire que la coloscopie virtuelle arrive trop tard....

Discussion

Il faut d'abord reconnaître et apprécier les avancées technologiques considérables qui ont conduit à ce concept de coloscopie virtuelle. Pour une génération qui a connu les premières images du foie obtenues par échographie, qui a ensuite limité l'échographie et le scanner à l'exploration des organes pleins, qui a vu disparaître dans le même temps la pratique de la radiologie baryté, cette arrivée rapide et si démonstrative de l'imagerie non invasive pour l'exploration des organes creux est étonnante et doit rendre modeste : rien n'est acquis, une technique peut en chasser une autre qui paraissait pourtant bien installée et ce mouvement de balancier ne peut que s'accélérer. Qui aurait pensé que les calculs de la voie biliaire allaient être extraits par la bouche ? Qui aurait pensé que l'ulcère gastroduodénal était une maladie infectieuse ? Qui aurait pensé qu'une grande partie de la chirurgie abdominale se ferait par laparoscopie ? Qui aurait pensé qu'en quelques années les internes si nombreux à vouloir faire la spécialité viendraient presque à disparaître ? Il faut donc se garder de toute esprit sectaire : le progrès apportée par une technique n'est pas irréversible et ne peut être nié. Une technique diagnostique ou thérapeutique si elle se révèle plus efficace et/ou moins contraignante qu'une autre remplace cette dernière rapidement. En est-on là pour la coloscopie virtuelle et pour la coloscopie ?

La coloscopie est actuellement l'examen de référence pour l'exploration de la muqueuse colorectale, en particulier pour le diagnostic des lésions néoplasiques colorectales : 1) concernant le dépistage individuel chez les patients à risque élevé ou très élevé de cancer colorectal, c'est l'examen de première intention, 2) concernant le dépistage de masse chez des patients à risque

moyen, c'est-à-dire la population générale, c'est l'examen de deuxième intention ou de confirmation après le test Hémocult, selon les stratégies actuellement recommandées. Il n'existe pas de technique plus performante et la coloscopie présente également le double avantage de permettre le prélèvement et/ou l'ablation des lésions à risque.

Quel serait l'intérêt de remplacer la coloscopie par une autre technique ? Les aspects négatifs de la coloscopie sont bien connus : complications rares mais dont le taux est quasi incompressible ; mauvaise tolérance de patients conduisant à la pratique de la sédation ou de l'anesthésie générale, elles-mêmes génératrices de contraintes ; contraintes liées à la désinfection des endoscopes ; contraintes liées à la préparation colique ; et finalement coût de l'ensemble. Il est évident que ces points négatifs sont des freins au recours plus large à la coloscopie en particulier dans le cadre du dépistage de masse du cancer colorectal. Il est évident qu'il y a de la place pour une technique performante et non invasive ; c'est-à-dire une technique qui ne laisse pas passer les lésions, qui ne génère pas de faux positifs, qui ne nécessite pas de préparation, pas de sédation ou d'anesthésie, pas de désinfection. La coloscopie est ce qui se fait de mieux actuellement, mais elle est loin d'être l'examen idéal. La place d'une technique est fonction de ses performances et des contraintes engendrées : les performances de la coloscopie sont élevées mais les contraintes sont non négligeables. A cela il faut rajouter le fait que l'on commence à admettre que certaines lésions peuvent être omises lors de la coloscopie et donc que les performances ne sont pas optimales comme on le pensait.

Est-ce que la coloscopie virtuelle peut remplacer la coloscopie, au moins partiellement dans certaines indications ? Pour tenter de répondre à cette question, il faut artificiellement scinder la discussion en trois parties :

1) Est-ce que le rapport actuel performances/contraintes de la coloscopie virtuelle est suffisant ?

2) Est-ce qu'il y a des possibilités d'améliorer le rapport performances/contraintes de la coloscopie virtuelle ?

3) Si les performances diagnostiques de la coloscopie deviennent équivalentes à celles de la coloscopie et/ou si les contraintes de la coloscopie virtuelle deviennent très faibles, est-ce qu'alors la coloscopie virtuelle pourra remplacer la coloscopie ?

1) Est-ce que le rapport actuel performances/contraintes de la coloscopie virtuelle est suffisant pour que celle-ci remplace la coloscopie ? Certainement pas : Les performances diagnostiques ne sont pas suffisantes, en particulier pour les lésions de petite taille et pour les lésions non polypoïdes, alors que toutes les contraintes n'ont pas été maîtrisées, en particulier celles liées à la préparation et à l'insufflation, ce qui fait que l'acceptabilité de la coloscopie virtuelle par la population n'est pas forcément meilleure que celle de la coloscopie. La coloscopie virtuelle pose également actuellement des problèmes d'accessibilité aux appareils et des problèmes de coût. Le rapport de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé sur la « place de la coloscopie virtuelle dans le dépistage du cancer colorectal » est très clair à ce sujet : « la coloscopie virtuelle est une technique d'imagerie encore au stade de développement et ses modalités de réalisation ne sont pas optimisées. L'ensemble des données actuelles ne permet pas à l'heure actuelle de recommander l'utilisation de la coloscopie virtuelle dans le dépistage du cancer colo-rectal ». Un certain nombre de radiologues en France ont reconnu qu'il n'était pas raisonnable de conduire une étude multicentrique comparative coloscopie-coloscopie virtuelle, alors que le protocole en avait déjà été rédigé. Pour ces radiologues, cette étude serait à envisager dans 10 ans. Il faut reconnaître aussi que le temps d'interprétation n'est pas négligeable et même si les images rappellent certains films de science-fiction, on imagine aisément que l'interprétation puisse devenir fastidieuse, en l'absence de possibilité thérapeutique immédiate. Pour finir,

imaginons qu'en 2002, la coloscopie virtuelle soit la méthode de référence en l'absence de la coloscopie et que du fait d'une évolution technologique dans l'optique, la coloscopie apparaisse : nul doute que la coloscopie connaîtrait alors un engouement important et s'imposerait par rapport à la coloscopie virtuelle.

2) Est-ce qu'il y a des possibilités d'améliorer le rapport performances/contraintes de la coloscopie virtuelle ? Très certainement : la sensibilité de la méthode devrait croître et il est possible que certaines techniques évoquées plus haut permettent d'éviter la préparation colique, voire la distension. Cependant, on doute que la coloscopie virtuelle puisse permettre le diagnostic des lésions planes et des lésions déprimées et on a vu plus haut le poids carcinologique que ces lésions sont susceptibles de représenter. Par ailleurs, la coloscopie de son côté a aussi beaucoup progressé : les cas d'examen incomplet en l'absence de sténose sont rares, la vidéoendoscopie haute résolution et surtout une meilleure analyse des images permettent maintenant de mieux détecter les lésions non polypoïdes. On peut d'ailleurs imaginer que l'arrivée de la coloscopie virtuelle constitue un stimulus pour améliorer la coloscopie, plus d'ailleurs pour les fabricants que pour les opérateurs eux-mêmes : adoption de la technique japonaise pour la détection des lésions planes ou des petits cancers, systèmes de déplissement du colon pour éviter les angles morts, optimisation du système de rigidité variable (coloscope long et très souple avec rigidité variable), voire capsule dirigeable, La coloscopie virtuelle, en tout cas celle basée sur le scanner ou l'IRM, pourrait ne jamais rattraper son retard.

3) Si les performances diagnostiques de la coloscopie virtuelle s'améliorent et/ou si les contraintes de la coloscopie virtuelle deviennent très faibles, est-ce qu'alors la coloscopie virtuelle pourra remplacer la coloscopie ? Certainement pas. Tout d'abord, ce sont les performances de l'examen qui priment et non pas la réduction des contraintes : si les contraintes disparaissent mais si les performances restent significativement inférieures à celles de la coloscopie, cela ne sera pas suffisant. Par ailleurs et surtout, la coloscopie permet le prélèvement et le traitement des lésions détectées, domaine dans lequel la coloscopie a beaucoup progressé grâce aux techniques de résection muqueuse et d'hémostase qui permettent la résection des lésions larges. Il serait très étonnant que la coloscopie virtuelle arrive à un niveau tel de caractérisation des lésions qu'elle puisse permettre de distinguer les adénomes des polypes hyperplasiques ou qu'elle puisse faire le diagnostic de dysplasie. Il serait encore plus étonnant que la coloscopie virtuelle par une technique quelconque qu'il faudrait probablement inventer, puisse permettre la destruction ou l'ablation des lésions. La coloscopie virtuelle ne pourra certainement pas remplacer la coloscopie dans ses fonctions de caractérisation et ses fonctions thérapeutiques. La coloscopie virtuelle ne pourra donc certainement pas complètement remplacer la coloscopie mais pourrait se situer en amont de la coloscopie pour sélectionner les cas nécessitant une coloscopie ou un geste chirurgical.

Dans le cas du dépistage de masse, la coloscopie virtuelle pourrait remplacer dans les stratégies le test Hémocult. Mais tout reste à démontrer : la sensibilité supérieure de la coloscopie virtuelle par rapport au test Hémocult pourrait-elle faire contre-poids à ses inconvénients (temps, coût) ?

Dans le cas du dépistage individuel chez les patients à risque élevé, la coloscopie virtuelle pourrait trouver sa place en évitant une coloscopie chez 50 à 70 % des patients. Mais au prix de 30 à 50 % de coloscopies virtuelles inutiles puisqu'elle n'éviteraient pas la coloscopie. Là encore, une évaluation en particulier économique serait à conduire.

En fait, en même temps que la technologie de la coloscopie virtuelle évolue, celle des autres méthodes évoluent aussi. Ce sont

peut-être les techniques biologiques, fondées sur la recherche des anomalies génétiques dans les selles (une sorte de coloscopie biologique) ou plus probablement dans le sang qui pourraient s'imposer et permettre de sélectionner la population de patients à risque à soumettre aux examens morphologiques. Comme signalé plus haut, le problème des contraintes liées à la coloscopie a été perçu par les fabricants et des solutions sont envisageables pour réduire ces contraintes.

La conclusion découle de ce qui est indiqué plus haut mais peut être considérée comme une opinion personnelle qui n'engage que son auteur : la coloscopie virtuelle arrive trop tard pour être utilisée à large échelle et même si elle progresse, elle sera toujours en retard pour être utilisée à large échelle. Il y a un certain nombre d'arguments pour penser qu'il s'agit d'une fausse piste certes séduisante sur le plan de l'imagerie et de la technologie. Elle a trop de contraintes pour être un examen de dépistage ou de sélection, elle n'est pas assez performante (manque de sensibilité, en particulier insuffisance pour les lésions planes et déprimées ; pas de caractérisation des lésions ; pas de traitement des lésions) pour être l'examen final décisif (qui fait que le problème est réglé pour quelque temps). La coloscopie virtuelle est en quelque sorte coincée entre d'un côté les examens biologiques et de l'autre la coloscopie. Même si elle progresse, sa place potentielle va devenir de plus en plus étroite entre des examens biologiques de sélection plus performants et une coloscopie optimisée. La réponse à la question posée dans le titre est donc « mythe ». Mais c'est une réponse d'endoscopiste. Confirmation dans 10 ans.

Surtout, il ne faudrait pas que ce concept ambitieux de coloscopie virtuelle fasse oublier que le scanner dans ces versions plus modestes 2D ou « hydroCT » présentent déjà quelques applications intéressantes pour le côlon-rectum :

- exploration du côlon en amont des sténoses avant la chirurgie,
- possibilité de diagnostic de cancer chez des patients âgés en mauvais état général,
- localisation pré-chirurgicale du cancer si un scanner est réalisé dans le cadre du bilan d'extension d'un cancer connu.

RÉFÉRENCES

1. Macari M, Lavelle M, Pedrossa I, Milano A, Dicker M, Megibow AJ, Xue X. Effect of different bowel preparations on residual fluids at CT colonography. *Radiology* 2001;218:274-7.
2. Yee J, Hung RK, Akerkar GA, Wall SD. The usefulness of glucagon hydrochloride for colonic distension in CT colonography. *Am J Roentgenol* 1999;173:1-4.
3. Yee J, Hung RK, Steinauer-Gebauer AM, Akerkar GA, Wall SD, McQuaid KM. Colonic distension and prospective evaluation of colorectal polyp detection with and without glucagon during CT colonography. *Radiology* 1999;213:256.
4. Morrin MM, Kruskal JB, Farrell RJ, Reynolds KF, Raptopoulos VD. Does glucagon improve colonic distension and polyp detection during CT colonography ? *Radiology* 1999;213:341.
5. Morrin MM, Farrell RJ, Keogan MT, Kruskal JB, Yam CS, Raptopoulos V. CT colonography : colonic distension improved by dual positioning but not intravenous glucagon. *Eur Radiol* 2002;12: 525-30.
6. Chen SC, Lu DS, Hecht JR, Kadell BM. CT colonography. value of scanning in both the supine and prone position. *Am J Roentgenol* 1999;172:595-99.
7. McFarland EG, Brink JA. Helical CT colonography. The challenge that exists between advancing technology and generalizability. *Am J Roentgenol* 1999;173:549-59.
8. Johnson CD, Ahlquist DA. Computed tomography colonography : a new method for colorectal screening. *Gut* 1999;44:301-5.
9. Hara AK, Johnson CD, Reed JE, Ahlquist DA, Nelson H, Ehman RL, et al. Reducing data size and radiation dose for CT colonography. *Am J Roentgenol* 1997;168:1181-4.
10. Royster AP, Fenlon HM, Clarke PD, Nunes DP, Ferrucci JT. CT colonoscopy of colorectal neoplasms : two-dimensional and three-dimensional virtual-reality techniques with colonoscopic correlation. *Am J Roentgenol* 1997;169:1237-42.
11. Dachman AH, Kuniyoshi JK, Boyle CM, Samara Y, Hoffmann KR, Rubin DT, et al. CT colonography with three-dimensional problem solving for detection of colonic polyps. *Am J Roentgenol* 1998;171: 989-95.
12. Macari M, Milano A, Lavelle M, Berman P, Megibow AJ. Comparison of time-efficient CT colonography with two- and three-dimensional colonic evaluation for detecting colorectal polyps. *Am J Roentgenol* 2000;174:1543-9.
13. Gluecker T, Meuwly JY, Pescatore P, Schnyder P, Delarive J, Jornod P, et al. Effect of investigator experience in CT colonography. *Eur Radiol* 2002;12:1405-9.
14. Spinzi G, Belloni G, Martegani A, Sangiovanni A, Del Favero C, Minoli G. Computed tomographic colonography and conventional colonoscopy for colon diseases : a prospective, blinded study. *Am J Gastroenterol* 2001;96:394-400.
15. Pescatore P, Gluecker T, Delarive J, Meuli R, Pantoflickova D, Duvoisin B, et al. Diagnostic accuracy and interobserver agreement of CT colonography (virtual colonoscopy). *Gut* 2000;47:126-30.
16. McFarland EG, Brink JA, Pilgram TK, Heiken JP, Balfe DM, Hirselt DA, et al. Spiral CT colonography : reader agreement and diagnostic performance with two- and three-dimensional image-display techniques. *Radiology* 2001;218:375-83.
17. Yee J, Akerkar GA, Hung RK, Steinauer-Gebauer AM, Wall SD, McQuaid KR. Colorectal neoplasia : performance characteristics of CT colonography for detection in 300 patients. *Radiology* 2001;219: 685-92.
18. Fenlon HM, Nunes DP, Schroy PC, Barish MA, Clarke PD, Ferrucci JT. A comparison of virtual and conventional colonoscopy for the detection of colorectal polyps. *N Engl J Med* 1999;341:1496-503.
19. Fenlon HM, Nunes DP, Clarke PD, Ferrucci JT. Colorectal neoplasm detection using virtual colonoscopy : a feasibility study. *Gut* 1998;43:806-11.
20. Hara AK, Johnson CD, MacCarty RL, Welch TJ, McCollough CH, Harmsen WS. CT colonography : single-versus multi-detector row imaging. *Radiology* 2001;219:461-5.
21. Morrin MM, Farrell RJ, Kruskal JB, Reynolds K, McGee JB, Raptopoulos V. Utility of intravenously administered contrast material at CT colonography. *Radiology* 2000;217:765-71.
22. Macari M, Milano A, Lavelle M, Berman P, Megibow AJ. Comparison of time-efficient CT colonography with two- and three-dimensional colonic evaluation for detecting colorectal polyps. *Am J Roentgenol* 2000;174:1543-9.
23. Dachman AH, Kuniyoshi JK, Boyle CM, Samara Y, Hoffmann KR, Rubin DT et al. CT colonography with three-dimensional problem solving for detection of colonic polyps. *Am J Roentgenol* 1995;171: 989-95.
24. Rex DK, Vining D, Kopecky KK. An initial experience with screening for colon polyps using spiral CT with and without CT colonography (virtual colonoscopy). *Gastrointest Endosc* 1999;50:309-13.
25. Laghi A, Iannaccone R, Carbone I, Catalano C, Panebianco V, Di Giulio E, et al. Computed tomographic colonography (virtual colonoscopy) : blinded prospective comparison with conventional colonoscopy for the detection of colorectal neoplasia. *Endoscopy* 2002;34:441-6.
26. Fletcher JG, Johnson CD, Welch TJ, MacCarty RL, Ahlquist DA, Reed JE et al. Optimisation of CT colonography technique : prospective trial in 180 patients. *Radiology* 2000;216:704-11.
27. Kay CL, Kulling D, Hawes RH, Young JW, Cotton PB. Virtual endoscopy-comparison with colonoscopy in the detection of space-occupying lesions of the colon. *Endoscopy* 2000;32:226-32.

28. Cotton P, Durkalski VL, Palesh YY, Mauldin PD, Pineau BC, Vining DJ, et al. Comparison of virtual colonoscopy and colonoscopy in the detection of polyps/masses. *Gastrointest Endosc* 2002;55 : AB 98.
29. Saar B, Egger K, Meining A, Mayr P, Frimberger E, Helmberger H, et al. Evaluation of virtual MR-colonography compared to colonoscopy. *Gastrointest Endosc* 2001;53 : AB 72.
30. Morrin MM, Kruskal JB, Farrell RJ, Goldberg SN, McGee JB, Raptopoulos V. Endoluminal CT colonography after an incomplete endoscopic colonoscopy. *Am J Roentgenol* 1999;172:913-8.
31. Macari M, Berman P, Dicker M, Milano A, Megibow AJ. Usefulness of CT colonography in patients with incomplete colonoscopy. *Am J Roentgenol* 1999;173:561-4.
32. Fenlon HM, McAneny DB, Nunes DP, Clarke PD, Ferrucci JT. Occlusive colon carcinoma : virtual colonoscopy in the preoperative evaluation of the proximal colon. *Radiology* 1999;210:423-8.
33. Neri E, Giusti P, Battolla L, Vaghi P, Boraschi P, Lencioni R, et al. Colorectal cancer : role of CT colonography in preoperative evaluation after incomplete colonoscopy. *Radiology* 2002;223:615-9.
34. Fletcher JG, Johnson CD, Krueger WR, Ahlquist DA, Nelson H, Ilstrup D, et al. Contrast-enhanced CT colonography in recurrent colorectal carcinoma : feasibility of simultaneous evaluation for metastatic disease, local recurrence, and metachronous neoplasia in colorectal carcinoma. *Am J Roentgenol* 2002;178:283-90.
35. Hara AK, Johnson CD, MacCarthy RL, Welch TJ. Incidental extracolonic findings at CT colonography. *Radiology* 2000;215:353-7.
36. Edwards JT, Wood CJ, Mendelson RM, Forbes GM. Extracolonic findings at virtual colonoscopy : implications for screening programs. *Am J Gastroenterol* 2001;96:3009-12.
37. Macari M, Green JC, Berman P, Milano A. Diagnosis of familial adenomatous polyposis using two-dimensional and three-dimensional CT colonography. *Am J Roentgenol* 1999;173:249-50.
38. Tarjan Z, Zagoni T, Gyorke T, Mester A, Karlinger K, Mako EK. Spiral CT colonography in inflammatory bowel disease. *Eur J Radiol* 2000;35:193-8.
39. Gollub MJ, Ginsberg MS, Cooper C, Thaler HT. Quality of virtual colonoscopy in patients who have undergone radiation therapy or surgery : how successful are we ? *Am J Roentgenol* 2002;178:1109-16.
40. Ng CS, Doyle TC, Pinto EM, Courtney HM, Miller R, Bull RK, et al. Caecal carcinomas in the elderly : useful signs in minimal preparation CT. *Clin Radiol* 2002;57:359-64.
41. Svensson MH, Svensson E, Lason A, Hellstrom M. Patient acceptance of CT colonography and conventional colonoscopy : prospective comparative study in patients with or suspected of having colorectal disease. *Radiology* 2002;222:337-45.
42. Thomeer M, Bielen D, Vanbeckevoort D, Dymarkowski S, Gevers A, Rutgeerts P, Hiele M, Van Cutsem E, Marchal G. Patient acceptance for CT colonography : what is the real issue ? *Eur Radiol* 2002;12:1410-15.
43. Akerkar GA, Yee J, Hung R, McQuaid K. Patient experience and preferences toward colon cancer screening : a comparison of virtual colonoscopy and conventional colonoscopy. *Gastrointest Endosc* 2001;54:310-5.
44. Forbes Gm, Mendelson RM. Patients acceptance of virtual colonoscopy. *Endoscopy* 2000;32:274-5.
45. Angtuaco TL, Banaad-Omiotek GD, Howden CW. Differing attitudes toward virtual and conventional colonoscopy for colorectal cancer screening : surveys among primary care physicians and potential patients. *Am J Gastroenterol* 2001;96:887-93.
46. Callstrom MR, Johnson CD, Fletcher JG, Reed JE, Ahlquist DA, Harmsen WS, et al. CT colonography without cathartic preparation : feasibility study. *Radiology* 2001;219:693-8
47. Morrin MM, Farrell RJ, Kruskal JB, Reynolds K, McGee JB, Raptopoulos V. Utility of intravenously administered contrast material at CT colonography. *Radiology* 2000;217:765-71.
48. Gokturk SB, Tomasi C, Acar B, Beaulieu CF, Paik DS, Jeffrey RB Jr et al. A statistical 3-D pattern processing method for computer-aided detection of polyps in CT colonography. *IEEE Trans Med Imaging* 2001;20:1251-60.
49. Nappi J, Yoshida H. Automated detection of polyps with CT colonography : evaluation of volumetric features for reduction of false-positive findings. *Acad Radiol* 2002;9:386-97.
50. Paik DS, Beaulieu CF, Jeffrey RB Jr, Karadi CA, Napel S. Visualization modes for CT colonography using cylindrical and planar map projections. *J Comput Assist Tomogr* 2000;24:179-88.
51. Summers RM, Beaulieu CF, Pusanik LM, Malley JD, Jeffrey RB Jr, Glazer DI, et al. Automated polyp detector for CT colonography : feasibility study. *Radiology* 2000;216:284-90.
52. Summers RM, Johnson CD, Pusanik LM, Malley JD, Youssef AM, Reed JE. Automated polyp detection at CT colonography : feasibility assessment in a human population. *Radiology* 2001;219:51-9.
53. Yoshida H, Masutani Y, MacEneaney P, Rubin DT, Dachman AH. Computerized detection of colonic polyps at CT colonography on the basis of volumetric features : pilot study. *Radiology* 2002;222:327-36.
54. Schoenenberger AW, Bauerfeind P, Krestin GP, Debatin JF. Virtual colonoscopy with magnetic resonance imaging : in vitro evaluation of a new concept. *Gastroenterology* 1997;112:1863-70.
55. Luboldt W, Bauerfeind P, Wildermuth S, Marincek B, Fried M, Debatin JF. Colonic masses : detection with MR colonography. *Radiology* 2000;216:383-8.
56. Luboldt W, Debatin JF. Virtual endoscopic colonography based on 3D MRI. *Abdom Imaging* 1998;23:568-72.
57. Knopp MV, Giesel FL, Radeleff J, Von Tengg-Kobligh H. Bile-tagged 3d magnetic resonance colonography after exclusive intravenous administration of gadobenate dimeglumine, a contrast agent with partial hepatobiliary excretion. *Invest Radiol* 2001;36:619-23.
58. Lauenstein T, Holtmann G, Schoenfelder D, Bosk S, Ruehm SG, Debatin JF. MR colonography without colonic cleansing : a new strategy to improve patient acceptance. *Am J Roentgenol* 2001;177: 823-7.
59. Lauenstein TC, Goehde SC, Ruehm SG, Holtmann G, Debatin JF. MR colonography with barium-based fecal tagging : initial clinical experience. *Radiology* 2002;223:248-54.
60. Sonnenberg A, Delco F, Bauerfeind P. Is virtual colonoscopy a cost-effective option to screen for colorectal cancer ? *Am J Gastroenterol* 1999;94:2268-74.
61. Ponchon T. Diagnostic endoscopique des lésions néoplasiques superficielles du tube digestif. *Gastroenterol Clin Biol* 2000;24:B109-B122.
62. Ponchon T. Nouveautés diagnostiques en endoscopie. *Gastroenterol Clin Biol* 2001;25:B197-B208.