

Radiation dose evaluations during radiological contrast studies in patients with morbid obesity

Valutazioni dosimetriche in esami contrastografici eseguiti su pazienti affetti da obesità patologica

O. Rampado¹ • L. Luberto² • R. Faletti² • E. Garelli¹ • M.C. Cassinis² • R. Ropolo¹ • G. Gandini²

¹Struttura Complessa Fisica Sanitaria I, ASO San Giovanni Battista e della Città di Torino (Molinette), Corso Bramante 88/90, 10126 Torino, Italy

²SCDU Radiodiagnostica 4, Radiologia Diagnostica e Interventistica Università di Torino, ASO San Giovanni Battista e della Città di Torino (Sede Molinette), Via Genova 3, 10126 Torino, Italy

Correspondence to: O. Rampado, Tel.:+39-011-6335373, Fax:+39-011-6634547, e-mail: orampado@molinette.piemonte.it

Received: 16 August 2007 / Accepted: 30 October 2007 / Published online: 25 October 2008

© Springer-Verlag 2008

Abstract

Purpose. The purpose of this study was to evaluate the radiation dose to patients during radiological contrast studies performed after vertical banded gastroplasty (VBG) or Roux-en-Y gastric bypass (RYGBP) surgery in patients with morbid obesity.

Materials and methods. Dose evaluations were performed on a sample of 39 patients (32 women and 7 men) with a mean weight of 117 kg (range 68–175 kg) and a mean body mass index (BMI) of 43.7 (range 22.2–54.9). Between the second and seventh postoperative day, patients underwent radiological follow-up after oral administration of approximately 70 ml of water-soluble iodinated contrast material (Gastrografin) and images acquired in anteroposterior, right and left oblique projections with the patient upright and then supine. Exposure conditions, dose-area product (DAP) and entrance skin dose (ESD) were recorded for each procedure. On the basis of these data, the effective dose (ED) was calculated using simulation software based on the Monte Carlo method for determining the absorbed dose to organs. To assess the optimal exposure conditions and the dose contributions of fluoroscopy and radiography, the effective dose rates were also evaluated using Plexiglas phantoms of different thickness to simulate different patient sizes.

Results. The phantom measurements showed a fourfold dose increase when passing from normal-sized patients to obese patients. Mean DAP value obtained from in-vivo measurements was 70 Gy cm² (range 17–147 Gy cm²), and

Riassunto

Obiettivo. Scopo del lavoro è stato quello di valutare la dose al paziente nel corso di esami contrastografici eseguiti in pazienti affetti da obesità patologica sottoposti ad interventi chirurgici di gastroplastica o bypass gastrico.

Materiali e metodi. Le valutazioni sono state effettuate per 39 esami, su di un campione di pazienti costituito da 32 donne e 7 uomini, con peso medio di 117 kg (intervallo 68–175 kg) e con indice di massa corporea medio di 43,7 (intervallo 22,2–54,9). I pazienti operati nell'arco di tempo della durata dello studio sono stati sottoposti a controllo radiologico post-operatorio tra la II e la VII giornata mediante somministrazione per os di circa 70 ml di MdC iodato idrosolubile (Gastrografin) e acquisizione di radiogrammi eseguiti dapprima in ortostatismo in proiezione AP, obliqua destra e sinistra e successivamente a paziente supino. Per l'intera durata di ciascuna procedura sono state registrate le condizioni di esposizione e i valori di prodotto dose per area (DAP) e di dose di ingresso al paziente (ESD). Sulla base dei dati rilevati è stato effettuato un calcolo della dose efficace (ED) al paziente utilizzando un programma di calcolo basato sul metodo Monte Carlo per la stima della dose assorbita agli organi. Al fine di valutare le condizioni ottimali di esposizione e i contributi alla dose totale legati alla scopia e alla grafia, sono state inoltre effettuate misure di dose con fantocci di plexiglass di diversi spessori per simulare i pazienti di diversa corporatura.

Risultati. Le misurazioni su fantoccio hanno dimostrato

mean effective dose was 21 mSv (range 5–45 mSv).

Conclusions. When performing radiological contrast studies in patients with morbid obesity, every possible precaution should be taken to minimise patient dose. Special care should be taken to evaluate justification of the radiological procedure.

Keywords Radiological contrast studies · Obese patients · Patient dose

che il passaggio da spessori analoghi a quelli dei pazienti normotipo a quelli dei pazienti oggetto dello studio può comportare un aumento di dose di un fattore quattro. Il valore medio di prodotto dose per area ottenuto nelle misurazioni in vivo è stato di 70 Gy cm² (intervallo 17–147 Gy cm²), mentre il valore medio di dose efficace è stato di 21 mSv (intervallo 5–45 mSv).

Conclusioni. *Nell'esecuzione di esami contrastografici in pazienti obesi occorre adottare tutte le precauzioni possibili per ridurre al minimo la dose al paziente. Particolare attenzione deve essere posta alla giustificazione dell'esame.*

Parole chiave *Esami radiologici contrastografici · Pazienti obesi · Dose al paziente*

Introduction

Obesity is a morbid condition that has recently become so widespread as to be recognised as a social disease. The ineffectiveness of medical therapy alone, mainly in the form of pharmacotherapy and psychiatric support, in a relatively high proportion of obese individuals has led to the widespread use of bariatric surgery. Bariatric surgery is based on the following techniques: vertical banded gastroplasty (VBG), Roux-en-Y gastric bypass (RYGBP), adjustable silicone gastric banding (ASGB) and biliopancreatic diversion (BPD).

VBG, introduced by Mason in 1980 [1], is a technique that reduces gastric volume by creating a 30-ml gastric pouch with mechanical staplers. This pouch is continuous with the oesophagus and communicates with the remaining portion of the stomach through a tight orifice (neopylorus), with an inner diameter of approximately 1 cm. The neopylorus is reinforced by a polypropylene band to prevent dilatation. The pouch is separated from the remaining gastric cavity by a partition line consisting of two to four linear staples. VBG reduces calorie intake thanks to the early feeling of satiety resulting from the small size of the gastric pouch.

RYGBP surgery involves dividing the stomach with a linear stapler to create an isolated proximal gastric pouch of 30–50 cm³, with an antecolic gastrojejunal anastomosis and a Roux-en-Y enteroenteral anastomosis.

ASGB is a gastric restriction procedure in which a small biocompatible band is positioned around the proximal portion of the stomach to create a gastric pouch of approximately 50 cm³ in volume. The procedure requires the creation of a small surgical access to insert the gastric band, which is connected to a subcutaneous reservoir. Injection of a radiopaque isotonic solution or saline through the reservoir allows the diameter of the pseudopylorus to be calibrated.

BPD (Scopinaro procedure) is a complex malabsorption

Introduzione

L'obesità è diventata ormai uno stato morboso che, negli ultimi anni, ha assunto le caratteristiche di malattia sociale. In un numero piuttosto elevato di obesi la sola terapia medica, costituita prevalentemente dalla terapia farmacologica e dal supporto psichiatrico, risulta inefficace e da tale insuccesso deriva la grande diffusione della chirurgia bariatrica. La chirurgia dell'obesità si basa sugli interventi di gastroplastica verticale (VBG), di bypass gastrico su ansa alla Roux (RYGBP), di banding gastrico (ASGB) e di diversione bilio-pancreatica (BPD).

La gastroplastica verticale, introdotta da Mason nel 1980 [1], è un intervento di riduzione della capacità gastrica che prevede la creazione, mediante l'utilizzo di suturatici meccaniche, di una "tasca" gastrica del volume di 30 ml in continuità con l'esofago e comunicante con la restante porzione dello stomaco tramite uno stretto orificio, neopiloro, del calibro interno di circa 1 cm; il neopiloro è rinforzato con una benderella di polipropilene al fine di evitarne la successiva dilatazione. La "tasca" è separata dalla restante cavità gastrica da una linea di partizione costituita da due a quattro suture create con una suturatrice lineare. La gastroplastica verticale riduce l'apporto calorico determinando precocemente il senso di sazietà, date le ridotte dimensioni della tasca gastrica.

Il bypass gastrico consiste invece nella creazione di una tasca gastrica prossimale isolata della capacità di 30–50 cc, con il confezionamento di una gastro-digiuno anastomosi antecolica e di una entero-entero anastomosi su ansa alla Roux, mediante l'utilizzo di una suturatrice lineare in grado di sezionare lo stomaco.

Il bendaggio gastrico è un intervento di tipo restrittivo che consiste nel posizionamento di una banderella di materiale biocompatibile attorno alla porzione craniale dello stomaco al fine di creare una tasca gastrica del volume di

procedure that is not always reversible and seldom implemented. It involves reducing the volume of the gastric cavity by partial resection and creating a gastroenteral anastomosis to exclude the duodenum and jejunum from the alimentary canal to induce malabsorption of dietary fat.

Indications for surgery are a body mass index (BMI) in excess of 40 kg/m² or of 35 kg/m² associated with obesity-related disorders or with complications or failures of previous bariatric surgery [2].

Contrast-enhanced radiological studies are obtained in the immediate postoperative period or in the later follow-up to document the morphological and functional outcome of the procedure and identify possible complications (fistulas, stenoses, anastomotic dehiscence) [3]. Contrast-enhanced radiological studies are among the imaging procedures that deliver the highest patient radiation doses [4]. In particular, it is well known that the exposure parameters needed to ensure adequate image quality in obese patients are characterised by higher kV and mA values than those used in normal-size patients, with faster absorption of skin dose and higher values of effective dose [5].

The purpose of this study was to evaluate the dose delivered to patients during contrast-enhanced imaging studies performed after VBG or RYGBP surgery for pathological obesity.

Materials and methods

Between October and December 2006, 39 contrast-enhanced studies were carried out in 39 patients who had undergone bariatric surgery, and specifically VBG (n=24) and RYGBP (n=15). The patient population comprised 32 women and 7 men (age range 18–60 years; mean age 43 years; median age 41 years) with a weight of 68–175 kg (mean weight 117 kg; median weight 113 kg) and a BMI ranging from 22.2–54.9 (mean 43.7; median 44.1). Imaging procedures were performed with a remote-controlled Philips Omnidagnost Eleva system (Philips Medical Systems, Best, The Netherlands).

In 37/39 patients, the examination was conducted in the immediate postoperative period (first or second day) using iodinated water-soluble contrast agents (Gastrografin, sodium amidotrizoate+meglumine amidotrizoate, Schering) to exclude the presence of fistulas or anastomotic dehiscence (Fig. 1). The remaining 2/39 patients, who were undergoing 12-month postoperative follow, were administered barium (Prontobarium HD, barium sulphate, Bracco) with the double-contrast technique (Fig. 2). Plain radiographs of the chest and abdomen were obtained before contrast administration in all cases. The contrast studies were obtained in the anteroposterior, right and left oblique projections with the patient upright and lying down, with

circa 50 cc. L'intervento prevede l'inserimento attraverso un piccolo accesso chirurgico della benderella gastrica collegata ad un reservoir sottocutaneo. L'iniezione di una soluzione radio-opaca isotonica o di una soluzione salina attraverso il reservoir consente di calibrare il diametro dello pseudopiloro.

La diversione biliopancreatica (intervento di Scopinaro) fa parte degli interventi chirurgici di tipo "malassorbitivo", è una procedura complessa, non sempre reversibile, raramente applicata. Essa consiste nella riduzione di volume della cavità gastrica mediante una resezione parziale e nel successivo confezionamento di una gastro-entero anastomosi che esclude il duodeno ed il digiuno dal transito alimentare causando il malassorbimento soprattutto dei grassi alimentari.

Le indicazioni al trattamento chirurgico sono rappresentate da un indice di massa corporea (body mass index, BMI) superiore a 40 kg/m² o a 35 kg/m² in presenza di patologie associate all'obesità oppure da complicanze o insuccessi di una precedente chirurgia bariatrica [2].

Gli esami radiologici con mezzo di contrasto, eseguiti nell'immediato post-operatorio o a distanza, consentono di documentare gli esiti morfologici e funzionali dell'intervento e le eventuali complicanze (fistole, stenosi, deiscenze anastomotiche) [3]. Le procedure contrastografiche si annoverano tra gli esami radiologici che comportano maggiori dosi al paziente [4]. In particolare è noto che per i pazienti obesi i parametri di esposizione necessari a garantire un'adeguata qualità dell'immagine sono caratterizzati da valori di kV e di mA maggiori di quelli impiegati per i pazienti normotipo, con un accumulo più rapido di dose alla cute e con valori maggiori di dose efficaci [5].

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare la dose al paziente nel corso di esami contrastografici eseguiti in pazienti sottoposti ad interventi chirurgici di gastroplastica o di bypass gastrico per obesità patologica.

Materiali e metodi

Nel trimestre compreso tra ottobre e dicembre 2006 sono stati eseguiti 39 esami contrastografici in altrettanti pazienti sottoposti ad interventi chirurgici per il trattamento dell'obesità di cui 24 VBG e 15 RYGBP. Il campione di pazienti era composto da 32 femmine e 7 maschi, di età compresa fra 18–60 anni (media 43 anni, mediana 41 anni), con peso di 68–175 kg (medio 117 kg, mediano 113 kg), e indice di massa corporea compreso nell'intervallo 22,2–54,9 (medio 43,7, mediano 44,1). Le procedure sono state eseguite con un apparecchio telecomandato Philips Omnidagnost Eleva (Philips Medical Systems, Best, Olanda).

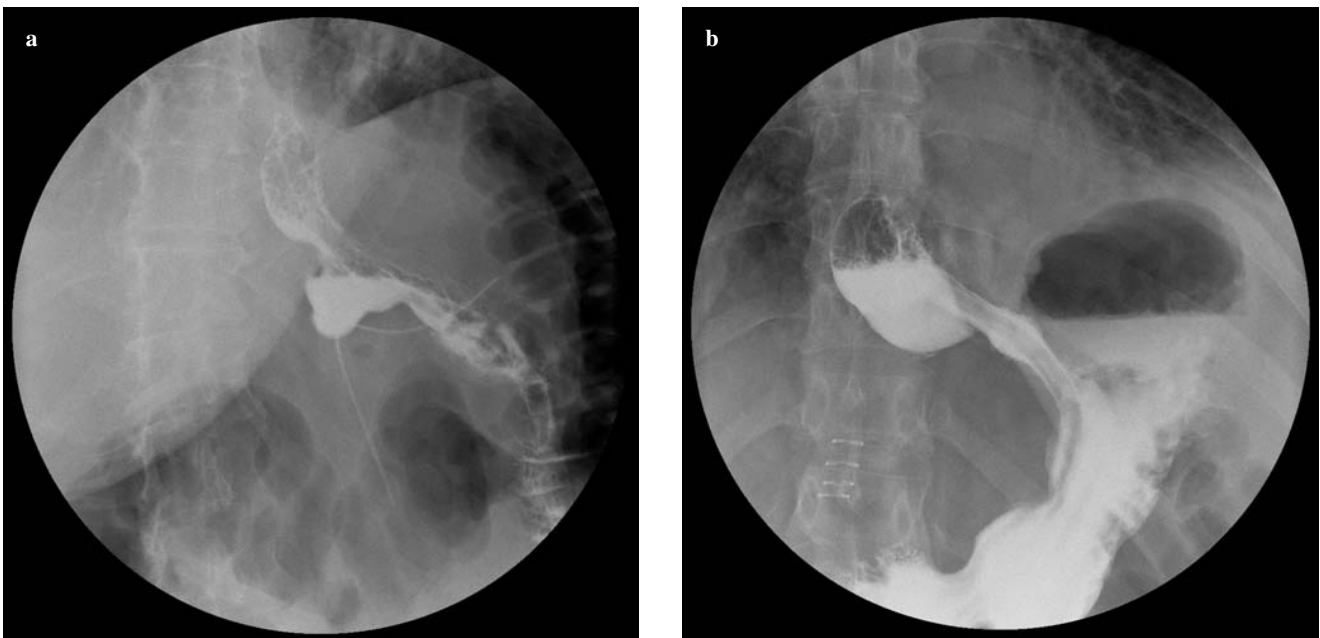


Fig. 1a,b Normal radiological findings immediately after Roux-en-Y gastric bypass (a) and vertical banded gastroplasty (b).

Fig. 1a,b Quadro radiologico normale nell'immediato post-operatorio di by-pass gastrico (a) e gastroplastica verticale (b).



Fig. 2 Late postoperative follow-up after vertical banded gastroplasty with finding of a gastrogastric fistula.

Fig. 2 Controllo a distanza di gastroplastica verticale con reperto di fistola gastro-gastrica.

additional projections whenever needed to show complications or solve diagnostic doubts. In 22 cooperating patients with VBG, projections in the supine position (Fig. 3) were also obtained, as these have been shown to be very useful for identifying gastrogastric fistulas. All studies were completed by a panoramic radiograph of the abdomen to

In 37/39 pazienti oggetto del nostro campione, l'esame è stato eseguito nell'immediato post operatorio (I-II giornata) utilizzando MdC iodato idrosolubile (Gastrografin, sodio amidotrizoato+meglumina amidotrizoato, Schering) allo scopo di escludere la presenza di tragitti fistolosi o deiscenze anastomotiche (Fig. 1), mentre in 2/39 soggetti, trattandosi di un controllo a distanza (12 mesi) nell'ambito di un programma di follow-up post operatorio, è stato somministrato MdC baritato (Prontobarrio HD, Bario Solfato, Bracco) impiegando la tecnica del doppio contrasto (Fig. 2). Preliminarmente all'assunzione del MdC sono sempre stati eseguiti radiogrammi diretti del torace e dell'addome; gli esami contrastografici sono stati eseguiti sia in orto sia in clinostatismo nelle proiezioni antero-posteriore, obliqua destra e sinistra con proiezioni aggiuntive ogniqualvolta queste si siano rese necessarie per dimostrare complicanze o dirimere dubbi diagnostici. In 22 pazienti portatori di gastroplastica verticale collaboranti è stato inoltre possibile realizzare proiezioni in decubito supino (Fig. 3), di fondamentale ausilio, ad esempio, per identificare la presenza di fistole gastro-gastriche. A conclusione dell'esame è sempre stato eseguito un radiogramma panoramico dell'addome per valutare la regolare canalizzazione enterica distale.

Al fine di determinare le condizioni ottimali di esposizione sono state effettuate misure di dose utilizzando fantocci di plexiglas di diverso spessore per simulare le diverse tipologie di pazienti; mediante una camera a ionizzazione trasmissiva Diamentor M4KDK a doppio canale



Fig. 3 Early postoperative follow-up after vertical banded gastroplasty with the patient supine and with normal opacification of the gastric fundus.

Fig. 3 Controllo post-operatorio precoce di gastroplastica verticale a paziente supino con regolare opacizzazione del fondo gastrico.

evaluate the correct distal intestinal canalisation.

To determine the optimal exposure conditions, dose measurements were taken using Plexiglas phantoms of different thickness to simulate the various kinds of patients. A double-channel transmission ionisation chamber Diamontor M4KDK (PTW, Freiburg) was used to measure the dose-area product (DAP) rates (in Gy cm²/s) and the entrance skin dose (ESD) rates (in mGy/s) at different exposure setting selected by the operator. In particular, the rates were measured for different fluoroscopy modes (normal and low dose), for different image intensifier diameters and magnifications, for the presence or absence of field-limiting diaphragms and for different phantom thicknesses. Measurements were also obtained during radiography through the acquisition of repeated images and recording of the DAP values for each image.

The in-vivo dose assessments involved measuring the DAP and ESD values. Both data were provided by the system itself, which has an integrated transmission ionisation chamber. On the basis of the ESD values, we were able to determine whether these imaging studies exceed the dose threshold for injury to the skin established by the International Radiation Protection Committee [6].

To quantify the stochastic risk of radiation-induced fatal tumours, we assessed the effective dose. The effective dose was estimated by the PCXMC computer programme (STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland), which is based on Monte Carlo simulations [7]. To verify the correctness of the calculations made during the

(PTW, Freiburg) sono stati misurati i ratei di prodotto dose per area (espressi in Gy cm²/s) e i ratei di dose in ingresso (espressi in mGy/s) al variare dei parametri di esposizione selezionati dall'operatore. In particolare i ratei sono stati misurati per le diverse tipologie di scopia (modalità "normal" e modalità "low dose"), per i diversi diametri e per i relativi ingrandimenti dell'intensificatore di brillantezza, per la presenza o meno di diaframmi e infine per i diversi spessori del fantoccio. Le misure sono state eseguite anche in modalità grafia, con acquisizione di immagini ripetute registrando i valori di DAP per immagine.

Le valutazioni di dose in vivo sono state effettuate in termini di DAP e di dose superficiale di ingresso (ESD). Entrambi i dati sono stati forniti direttamente dall'apparecchiatura che è dotata di camera a ionizzazione trasmissiva integrata. Sulla base dei valori di ESD ottenuti è stato possibile valutare se questo tipo di esami comportino l'insorgenza di danni alla cute, per i quali esistono valori soglia di dose indicati dalla Commissione Internazionale di Radioprotezione [6].

Per quantificare il rischio stocastico di induzione di tumori letali conseguenti all'esposizione è stato necessario invece valutare la dose efficace (E). Il calcolo di E è stato realizzato con l'uso del programma PCXMC (STUK. Radiation and Nuclear Safety Authority, P.O. Box 14, FIN-00881 Helsinki, Finlandia), che utilizza dati derivanti da simulazioni Monte Carlo [7]. Per effettuare correttamente il calcolo durante le procedure sono stati registrati i valori di DAP per ciascuna proiezione impiegata insieme con i valori di KV, mA, tempo di scopia, numero di immagini in grafia, distanza fuoco paziente, diametro dell'intensificatore di brillantezza, presenza dei diaframmi e indicazione del punto di ingresso del centro del fascio sul paziente (e conseguentemente sul fantoccio software impiegato per il calcolo). Tutti questi dati sono stati quindi utilizzati per simulare con il programma di calcolo le diverse fasi dell'esame e ottenere il valore totale di E conseguente. Per il calcolo della dose agli organi il programma di calcolo ha tenuto conto delle dimensioni reali del paziente desunte sulla base del peso e dell'altezza di ciascuno.

Risultati

Nelle Figure 4 e 5 sono riportati i valori di dose efficace ottenuti per i diversi diametri dell'IB (intensificatore di brillantezza) selezionabili sia per l'esposizione in scopia (mSv per minuto) sia per l'esposizione in grafia (mSv per immagine). In entrambi i casi si nota un lieve incremento di rateo di dose efficace all'aumentare dell'ingrandimento (utilizzo dei diametri minori). Passando da un diametro di 38 cm ad uno di 25 cm si ha un aumento di dose efficace per minuto del 12% e un aumento della dose efficace per immagine del

procedures, DAP values of each projection were recorded, along with the kV and mA values, fluoroscopy time, number of radiographic images, focus–patient distance, image intensifier diameter, presence of diaphragms and specification of the beam entrance point on the patient (and, consequently, on the software phantom used for the calculation). All data were then used by the computer programme to simulate the different stages of the study and provide the total effective dose. To calculate the dose to organs, the computer programme took into account the actual size of each patient based on their weight and height.

Results

Figs. 4 and 5 show the effective dose values obtained for the different image intensifier diameters that can be selected for fluoroscopy (mSv per minute) and radiography (mSv per image). In both cases, a slight increase in effective dose rate is seen as the magnification increases (use of smaller diameters). Passing from a 38-cm to a 25-cm diameter, the effective dose per minute increases by 12% and the effective dose per image by 29%. Instead, if we consider the ESD, the dose rate increases by 19% for fluoroscopy and by 56% for radiography, for the same change in diameter from 38 cm to 25 cm. The smaller variations in effective dose result from the fact that the increase in point dose, related to greater magnification, are in part compensated for by the smaller irradiated field.

With regard to the use of diaphragms, we verified that diaphragm closure does not involve significant ESD changes but leads to a reduction of the exposed area, hence of the DAP and the effective dose, with the changes in

29%. Se si considera invece la ESD gli incrementi di rateo di dose variando il diametro da 38 cm a 25 cm risultano essere del 19% per la scopia e del 56% per la grafia. Le variazioni meno accentuate per la dose efficace sono conseguenza del fatto che l'aumento di dose puntuale legato al maggior ingrandimento è in parte compensato dalla minor area irradiata.

Riguardo l'utilizzo dei diaframmi, abbiamo verificato che la chiusura dei diaframmi non comporta grosse variazioni di ESD, ma determina una diminuzione dell'area esposta e quindi del DAP e della dose efficace, con l'andamento qualitativo mostrato in Figura 6. I valori sono stati ottenuti con un diametro dell'IB di 38 cm, una distanza fuoco IB di 110 cm e uno spessore del fantoccio di 25 cm.

I ratei di dose efficace al variare dello spessore del fantoccio sono riportati nelle Figure 7 e 8. Per quanto riguarda la scopia si è osservato un brusco aumento nel passaggio da 20 a 30 cm di spessore, mentre si è constatato un leggero decremento da 30 a 35 cm. Ciò è dovuto al fatto che già con 30 cm di plexiglass l'apparecchio raggiunge i valori massimi consentiti di 110 kV e di 6 mA. I ratei di ESD e di DAP sono quindi costanti per spessori maggiori di 30 cm e il leggero decremento di dose efficace è dovuto alla diversa distribuzione di dose agli organi al variare dello spessore del paziente. Con 30 cm di spessore il rateo di dose efficace è circa 4 volte maggiore di quello che si ottiene con 20 cm. Il comportamento osservato in grafia è stato diverso, in quanto i valori dei parametri di esposizione (in particolare dei mAs per singola immagine) hanno mostrato un incremento anche per spessori maggiori di 30 cm. Passando da uno spessore di 25 cm ad uno spessore di 35 cm si è avuto anche in questo caso un incremento di un fattore 4 sulla dose efficace.

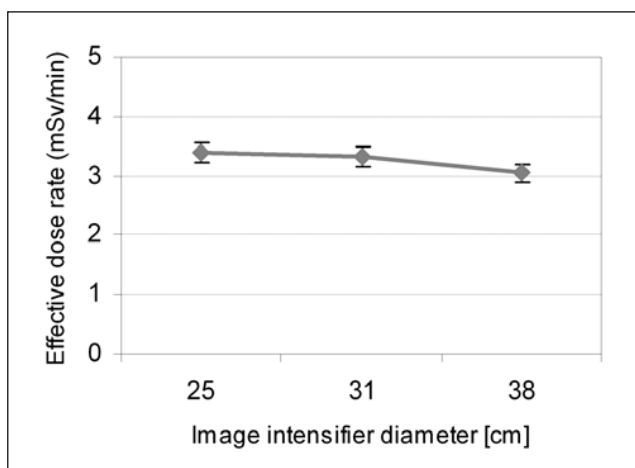


Fig. 4 Effective dose rates per minute of fluoroscopy for different image-intensifier diameters.

Fig. 4 Valori di rateo di dose efficace per minuto di scopia per i diversi diametri di IB selezionabili.

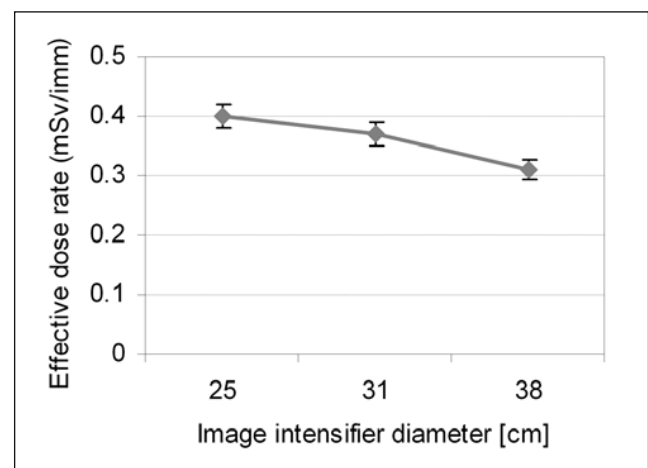


Fig. 5 Effective dose rates per radiography image for different image-intensifier diameters.

Fig. 5 Valori di rateo di dose efficace per immagine di grafia per i diversi diametri di IB selezionabili.

quality shown in Fig. 6. The values were obtained with an image-intensifier diameter of 38 cm, a focus-intensifier distance of 110 cm and a phantom thickness of 25 cm.

The effective dose rates for the various phantom thicknesses are shown in Figs. 7 and 8. During fluoroscopy, an abrupt increase in effective dose was observed when passing from a thickness of 20 cm to 30 cm and a slight decrease from 30 cm to 35 cm. This happens because the system reaches the maximum allowed values of 110 kV and 6 mA, even with 30 cm of Plexiglas. The ESD and DAP rates are therefore constant for thicknesses exceeding 30 cm, and the slight decrease in effective dose is due to the different organ dose distribution with changes in patient thickness. With a

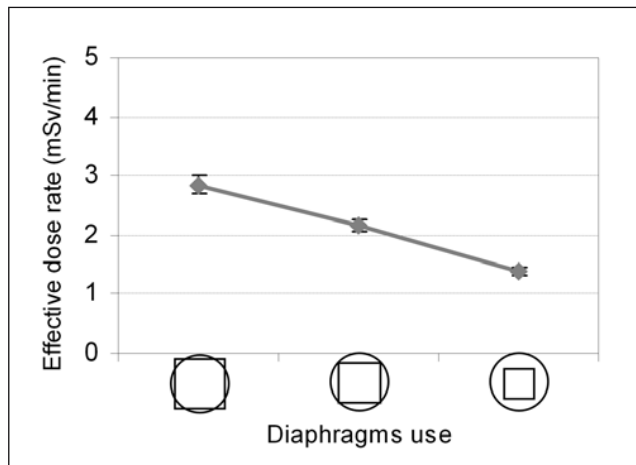


Fig. 6 Effective dose rates per minute of fluoroscopy with different diaphragms.

Fig. 6 Valori di rateo di dose efficace per minuto di scopia con fasci diaframmati.

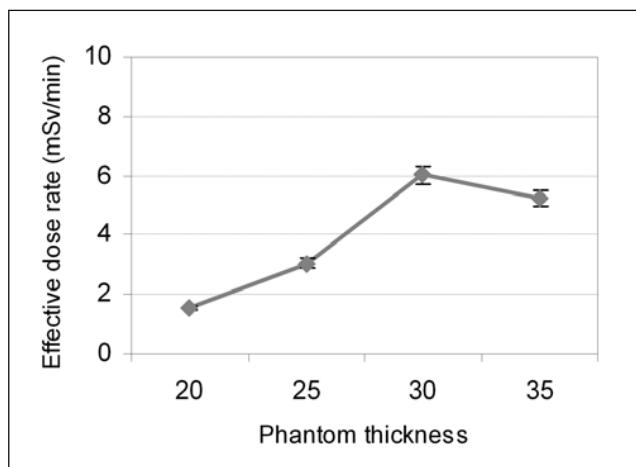


Fig. 7 Effective dose rates per minute of fluoroscopy with different phantom thicknesses.

Fig. 7 Valori di rateo di dose efficace per minuto di scopia con diversi spessori di fantoccio.

Sulla base di queste valutazioni è stato possibile stimare l'entità dei contributi alla dose legati alla scopia e alla grafia. Al variare dello spessore si è verificato come un minuto di scopia sia equivalente a circa 10 immagini di grafia per gli spessori più elevati e a circa 23 immagini per spessori minori. Si è inoltre constatato che i parametri di esposizione scelti in automatico dall'apparecchio fanno riferimento ad un paziente identificato sulla base dei dati anagrafici e morfologici inseriti (data di nascita, altezza e peso) prima dell'inizio dell'esame, e presentano un'elevata dipendenza dall'età del paziente (paziente neonato, pediatrico o adulto), e la possibilità, per i pazienti adulti, di scegliere fra 4 categorie: small, normal, large e extra large. La diversa tipologia dei pazienti non condiziona i parametri di esposizione in scopia e i valori scelti dipendono solo dallo spessore, mentre riguardo la grafia, i valori selezionati, anche a parità di spessore, dipendono dal tipo di paziente. Ne deriva che con uno spessore di 30 cm i valori di kV selezionati sono di 105 per un paziente normal e di 115 per un paziente extra large, tali da ridurre la dose in ingresso e migliorare la qualità di immagine, con una sensibile diminuzione anche in termini di rateo di dose efficace da 0,31 mSv/immagine a 0,28 mSv/immagine.

L'apparecchiatura fornisce inoltre la possibilità di lavorare con scopia in modalità "low dose", per ridurre la dose al paziente. Si è verificato che tale modalità dimezza i mA utilizzati e di conseguenza tutte le grandezze dosimetriche, con un effetto peggiorativo sulla qualità dell'immagine e un notevole incremento del rumore. Per tali motivi la modalità "low dose" è stata spesso incompatibile con i pazienti oggetto di questo studio.

I risultati delle misure effettuate in vivo sono illustrati

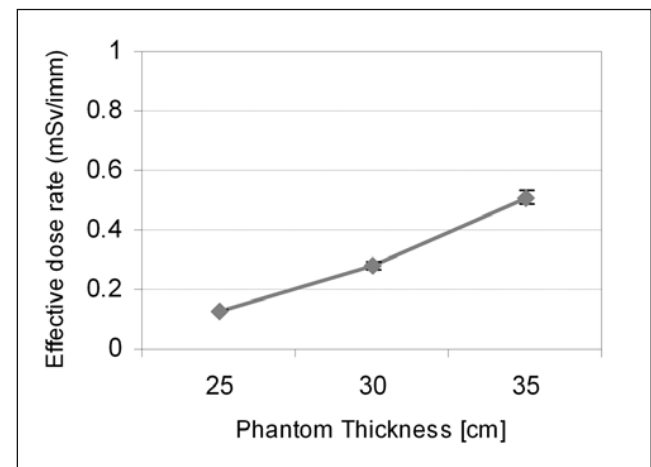


Fig. 8 Effective dose rates per radiographic image with different phantom thicknesses.

Fig. 8 Valori di rateo di dose efficace per immagine di grafia con diversi spessori di fantoccio.

thickness of 30 cm, the effective dose rate is approximately four times greater than that obtained with 20 cm. The behaviour observed during radiography was different because the values of the exposure parameters (especially mAs per image) increased, even with thicknesses exceeding 30 cm. If the thickness changed from 25 cm to 35 cm, there was again a fourfold increase in effective dose.

Based on these evaluations, we were able to estimate the dose contribution from fluoroscopy and radiography. With varying thicknesses, it was confirmed that 1 min of fluoroscopy is equivalent to approximately ten radiographic images for large thicknesses and to approximately 23 radiographic images for small thicknesses. It was also found that the exposure parameters automatically selected by the system refer to a patient identified from the personal details and the morphological data entered (date of birth, height, and weight) before the examination and are highly dependent on the patient's age (infant, child or adult), with the option, for adult patients, to choose among four categories: small, normal, large and extralarge. The different patient types do not influence exposure parameters for fluoroscopy, and the values selected only depend on the thickness. In contrast, for radiography, the values selected depend on the type of patient, even with unchanged thicknesses. Hence, with a thickness of 30 cm, the selected kV values are 105 for a normal patient and 115 for an extralarge patient, such that the ESD is reduced and image quality is improved, with a marked decrease of effective dose rate, from 0.31 to 0.28 mSv/image.

The system also allows one to work with low-dose fluoroscopy to reduce the patient dose. It was confirmed that this mode halves the mA and consequently all dose quantities, with a reduction of image quality and a marked increase in noise. Therefore, the low-dose mode was often incompatible with the patients in this study.

The results of the in vivo measurements are shown in Table 1. The mean values and standard deviations, the lowest and highest values and the indicators of the statistical distribution in the first and third quartile are specified for each quantity. The calculation of these values did not include data from two patients who had undergone surgery a few years earlier and had a BMI less than 30, the threshold value for obesity.

With regard to exposure parameters, we observed a moderate dispersion of the kV and mA values, close to the maximum values allowed by the device, as had been found in the phantom measurements. By contrast, there was greater variability in total fluoroscopy time and in the number of images, which depends on several factors that make these studies impossible to standardise in terms of number of projections and duration. This variability also affects dose magnitudes.

With regard to the ESD, even the maximum values were well under the lowest ESD threshold for deterministic

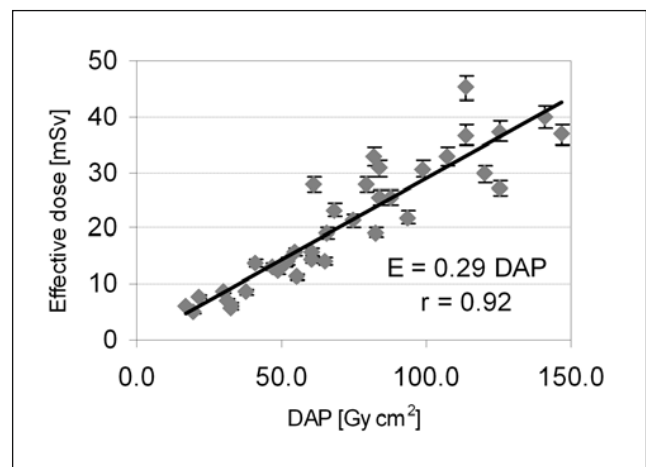


Fig. 9 Correlation between effective dose and dose-area-product values for the procedures in question.

Fig. 9 Correlazione tra i valori di dose efficace e i valori di DAP per gli esami considerati.

nella Tabella 1. Per ciascuna grandezza sono indicati i valori medi con le relative deviazioni standard, i valori minimi e massimi e gli indicatori della distribuzione statistica di I e III quartile. Dal calcolo di questi valori sono stati esclusi i dati relativi agli esami di due pazienti che avendo effettuato l'intervento alcuni anni prima presentavano un indice di massa corporea inferiore a 30, valore solitamente assunto come soglia per definire lo stato di obesità.

Riguardo ai parametri di esposizione si nota una dispersione non elevata dei valori di kV e di mA, vicini ai massimi consentiti dall'apparecchio, già evidenziati nelle misure con fantoccio. Al contrario si apprezza una maggiore variabilità per quanto riguarda il tempo totale di scopia e il numero di immagini, conseguente a diversi fattori che rendono questi esami non standardizzabili come numero di proiezioni e durata di ciascuna procedura. Tale variabilità si ripercuote anche sulle grandezze dosimetriche.

Per quanto riguarda l'ESD si osserva come anche i valori massimi siano stati notevolmente al di sotto della prima soglia di dose alla cute per insorgenza di danni deterministici, che è di 2000 mGy corrispondente ad un probabile eritema temporaneo (riferimento ICRP).

I valori di dose efficace hanno raggiunto invece livelli piuttosto elevati, con un massimo di 45 mSv e un valore di III quartile di 29 mSv. Tali valori sono stati calcolati a partire dai valori degli incrementi di DAP per ciascuna delle proiezioni effettuate per ogni esame, utilizzando il software di simulazione PCXMC considerando i valori reali di altezza e peso. I coefficienti che permettono di passare dal DAP al valore di E sono quindi differenti per le diverse proiezioni, i diversi valori di kV e le diverse dimensioni dei

effects, which amounts to 2,000 mGy, corresponding to probable transient erythema (International Commission on Radiological Protection).

The effective dose values were relatively high, with a maximum value of 45 mSv and 29 mSv in the third quartile. These values were derived from the values of the DAP increases for each of the projections in each study, using the PCXMC simulation software and considering the real height and weight values. As a consequence, the coefficients to obtain the effective dose value from the DAP vary for different projections, kV values, and patient sizes. However, to verify whether it is possible – as a first approximation – to consider one conversion coefficient from DAP to effective dose only for this type of study and patients, Fig. 6 shows the behaviour of effective dose relative to the measured DAP values. The linear interpolation shows a good correlation ($r=0.92$), with a coefficient of 0.29 mSv per Gy cm². The largest difference between the estimated effective dose values and those of the interpolation line is around 65%, whereas 90% of the data show differences below 30%.

Discussion

The measurements in phantoms allowed us to identify the optimal working conditions with regard to patient dose. These conditions were taken into account during the performance of radiological contrast studies: steps were taken to minimise fluoroscopy time and the number of images obtained using the maximum diameter of the image intensifier with field-limiting diaphragms. Given that contrast studies of the digestive system are among those delivering the highest patient doses, there is a justified concern and effort to optimise study protocols to achieve both diagnostic

pazienti. Tuttavia, al fine di verificare se sia possibile in prima approssimazione considerare un unico coefficiente di trasformazione da DAP a E per questa tipologia di esami e di pazienti, in Fig. 6 è riportato l'andamento dei valori di E rispetto ai valori di DAP misurati. L'interpolazione lineare mostra una buona correlazione ($r=0,92$), con un coefficiente di 0,29 mSv per Gy cm². La differenza massima tra i valori di E stimati e quelli della retta di interpolazione è di circa il 65%, mentre il 90% dei dati presenta differenze inferiori al 30%.

Discussione

L'insieme delle misure effettuate su fantoccio ha permesso di identificare le condizioni di lavoro ottimali dal punto di vista della dose al paziente, delle quali si è tenuto conto nel corso dell'esecuzione degli esami contrastografici: si è posta infatti attenzione a ridurre al minimo il tempo di scopia e il numero di immagini effettuate, utilizzando il massimo diametro dell'IB con campi diaframmati. Poiché gli esami contrastografici dell'apparato digerente si annoverano fra quelli che comportano maggiori dosi al paziente sono comprensibili l'interesse e gli sforzi rivolti ad ottimizzare i protocolli di studio nel rispetto della qualità diagnostica e del contenimento della dose.

Recentemente Morrell et al. [11] hanno dimostrato l'utilità, dal punto di vista della riduzione della dose, di una filtrazione aggiuntiva di alcuni decimi di mm di rame [7]. Nel nostro studio però non è stato possibile utilizzare tale espediente in quanto avrebbe comportato un aumento del carico anodico non sopportabile dall'apparecchiatura.

Se si confrontano i valori di DAP e di E risultanti dal nostro studio con quelli riferiti in letteratura per esami

Table 1 Summary of results from some dosimetric studies on contrast-enhanced examinations reported in the literature

Authors	Patient type	Fluoroscopy time (min)	Dose-area product (Gy cm ²)	Effective dose (mSv)
Geleijns [8]	Standard (70 kg male)	1.7–7.0 (min–max)	7–56 (min–max)	2.5–19 (min–max)
Carroll [9]	70±20 kg	1.5–4.5 (min–max)	0.5–43.7 (min–max)	–
Delichas [10]	74±15 kg	3±1.8 (mean±SD)	25±11 (mean±SD)	8.6±4 (mean±SD)
Martin [4]	70±20 kg	1.1–2.8 (min–max)	2–13.7 (min–max)	0.7–2.7 (min–max)

Tabella 1 Sintesi dei risultati di alcuni studi di dosimetria per esami contrastografici riferiti in letteratura

Autori	Indicazioni tipo paziente	T scopia (min)	DAP (Gy cm ²)	E (mSv)
Geleijns J [8]	Standard (uomo 70 kg)	1,7–7,0 (Min–Max)	7–56 (Min–Max)	2,5–19 (Min–Max)
Carroll EM [9]	70±20 kg	1,5–4,5 (Min–Max)	0,5–43,7 (Min–Max)	–
Delichas MG [10]	74±15 kg	3±1,8 (Media±DS)	25±11 (Media±DS)	8,6±4 (Media±DS)
Martin CJ [4]	70±20 kg	1,1–2,8 (Min–Max)	2–13,7 (Min–Max)	0,7–2,7 (Min–Max)

quality and dose containment.

Recently, Morrell et al. showed the usefulness, for dose reduction, of additional filtration with a 0.3-mm copper filter [11]. In our study, however, we were unable to implement this measure, as it would have implied increasing the tube load to a level not tolerated by our equipment.

If the DAP and effective dose values of our study are compared with those in the literature for radiological contrast studies in normal-sized patients, significant differences can be observed. Table 2 summarises the results of some recent multicentric studies. The DAP and effective dose values show a very high level of dispersion but are approximately lower than those of our study by a factor similar to the one found in phantom measurements between the largest and smallest thicknesses, except in the study by Martin et al. [4], who report even lower values. Conversely, as regards fluoroscopy times, the values obtained in our study are comparable to those in the literature.

To our knowledge, the literature contains only one study of the dosimetric aspects of radiological contrast studies in obese patients [12], in whom the reported DAP and effective dose values were considerably lower as a result of short examination times and the low tube current used. These technical parameters were used mainly to study calibration in fluoroscopically guided gastric banding (85% of cases), a procedure that usually requires short fluoroscopy times and few radiographic images.

As Bryk et al. [5] emphasised, the performance of fluoroscopic examinations in obese patients is very difficult.

contrastografici in pazienti normotipo si osservano notevoli differenze. Nella Tabella 2 sono riportati in sintesi i risultati di alcuni recenti studi multicentrici. I valori di DAP e di E presentano una dispersione molto elevata, ma risultano approssimativamente inferiori a quelli del nostro studio per un fattore simile a quello riscontrato nelle misure in fantoccio tra gli spessori più grandi e quelli minori, ad eccezione di Martin et al. [4] che riportano valori ancora più bassi. Al contrario, riguardo i tempi di scopia i valori ottenuti nel studio sono confrontabili con quelli della letteratura.

Per quanto ci è dato conoscere, esiste in letteratura un solo lavoro che riporta dati dosimetrici relativi ad esami contrastografici in pazienti obesi [12], in cui i valori di DAP e di E riferiti sono notevolmente inferiori, legati ai tempi brevi e ai bassi valori di corrente anodica utilizzati. Infatti tali parametri tecnici sono stati impiegati per lo studio prevalentemente di calibrazione di bendaggi gastrici sotto guida radiosopica (85% dei casi), procedura che solitamente richiede brevi tempi di scopia ed un ridotto numero di acquisizioni radiografiche.

Come è stato sottolineato da Bryk [5], l'esecuzione di esami fluoroscopici in pazienti obesi presenta notevoli difficoltà. L'esperienza del nostro studio conferma che l'elevato spessore di tessuto da attraversare comporta valori elevati di dose e una qualità dell'immagine nettamente inferiore a quella ottenibile nei pazienti normotipo. La qualità dell'immagine è ridotta sia per la minor fluenza di fotoni che raggiunge il rivelatore sia per il maggior contributo di

Table 2 Exposure parameters and dosimetric quantities measured during the described radiological procedures

		Mean±SD	Min–max	1st–3rd quartile
Exposure parameters	Fluoroscopy voltage (kV)	104±6	87–110	101–108
	Fluoroscopy current (mA)	4.8±0.9	2.9–6.0	4.2–5.5
	Fluoroscopy time (min)	3.81±1.49	1.33–6.52	2.64–5.10
	Number of images	28±19	8–82	11–37
Dose quantities	ESD (mGy)	312±141	111–653	238–393
	DAP (Gy cm ²)	70±36	17–147	47–92
	ED (mSv)	21±11	5–45	13–29

SD, standard deviation; Min, minimum; Max, maximum ESD, entrance skin dose; DAP, dose-area product; ED, effective dose

Tabella 2 Valori dei parametri di esposizione registrati e delle grandezze dosimetriche misurate nel corso degli esami radiologici considerati

		Media±DS	Min–Max	I–III quartile
Parametri di esposizione	Tensione scopia [kV]	104±6	87–110	101–108
	Corrente scopia [mA]	4,8±0,9	2,9–6,0	4,2–5,5
	Tempo scopia [min]	3,81±1,49	1,33–6,52	2,64–5,10
	Numero di immagini	28±19	8–82	11–37
Grandezze dosimetriche	ESD [mGy]	312±141	111–653	238–393
	DAP [Gy cm ²]	70±36	17–147	47–92
	E [mSv]	21±11	5–45	13–29

DS, deviazione standard; Min, minimo; Max, massimo; ESD, entrance skip dose; DAP, dose-area product; ED, effective dose

Our experience confirms that the greater thickness of the tissue to be traversed leads to high dose values and a significantly poorer image quality compared with normal-sized patients. Image quality is poor because of both the lower photon flux reaching the detector and the greater scatter radiation. Poor image quality requires longer examination times and does not allow the dose-saving mode to be used.

Operators performing this kind of examination must consequently be aware that dose rates are remarkably higher than in normal-sized patients, and they should take all optimisation measures compatible with the performance of the examination. The number and frequency of follow-up examinations must also be scheduled considering the overall dose that may derive from the diagnostic course as a whole.

Conclusions

In our study, we obtained phantom-based and in vivo dose measurements for radiological contrast studies of the gastrointestinal tract in obese patients who had undergone VBG and RYGBP. The results show that the DAP and effective dose values are far higher than those evaluated in normal-sized patients. For radiation protection purposes, it is essential to enter the height and weight correctly when recording patient data and to conduct the diagnostic investigation as quickly, and acquiring as few radiographs, as possible, collimating the beam on the region of interest and limiting the use of magnification to what is strictly necessary. The studies should be carried out during follow-up only when needed to evaluate the postoperative course, and the number of examinations per year should be kept to a minimum.

Acknowledgements This work was supported in part by the research project Riduzione del rischio associato all'esposizione a radiazioni ionizzanti per fini medici (Reduction of risk associated with exposure to ionising radiation for medical purposes) – Compagnia San Paolo di Torino.

Conflict of interest statement The authors declare that they have no conflict of interest to the publication of this article.

References/Bibliografia

- Mason EE, Printen KJ, Blommers TJ et al (1980) Gastric bypass in morbid obesity. *Am J Clin Nutr* 33:395–405
- European Association for Endoscopic Surgery (E.A.E.S.) (2005) Evidence-based guidelines of the European Association for Endoscopic Surgery (E.A.E.S.). *Surg Endosc* 19:200–221
- Toppino M, Cesarani F, Comba A et al (2001) The role of early radiological studies after gastric bariatric surgery. *Obes Surg* 11:447–454
- Martin CJ (2004) A review of factors affecting patient doses for barium enemas and meals. *Brit J Radiol* 77:864–868
- Bryk SG, Censullo ML, Wagner LK et al (2006) Endovascular and interventional procedures in obese patients: a review of procedural technique modifications and radiation management. *J Vasc Interv Radiol* 17:27–33
- ICRP (2001) Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICR Publication 85
- Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A (1997) PCXMC. A PC based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety. STUKA 139

radiazione diffusa. La ridotta qualità dell'immagine rende necessario prolungare i tempi di esecuzione dell'esame e non consente di utilizzare la modalità di esposizione con risparmio di dose.

Gli operatori che eseguono questo tipo di esame devono pertanto essere consapevoli che i tassi di dose sono notevolmente maggiori di quelli riscontrabili nei pazienti normotipo al fine di poter adottare tutte le misure di ottimizzazione compatibili con l'esecuzione dell'esame. Anche il numero e la frequenza degli esami di controllo da eseguire nel follow-up devono essere programmati tenendo conto della dose complessiva che può derivare dall'intero percorso diagnostico.

Conclusioni

Nel nostro studio abbiamo effettuato misure di dose su fantoccio e in vivo per esami contrastografici del tratto gastro-enterico in pazienti obesi sottoposti a interventi di gastroplastica verticale e bypass gastrico e i risultati ottenuti dimostrano che i valori di DAP e di E sono decisamente superiori a quelli valutati per i pazienti normotipo. Ai fini protezionistici è pertanto necessario inserire correttamente i dati relativi ad altezza e peso al momento della registrazione del paziente e svolgere l'indagine diagnostica nel minor tempo possibile, acquisendo il minor numero di grafie possibile, collimando il fascio sulla regione di interesse e limitando l'uso degli ingrandimenti allo stretto necessario. Gli esami devono essere effettuati nel follow-up solo se necessari per valutare il decorso post operatorio e il numero di esami per anno deve essere minimizzato.

Ringraziamenti *L'esecuzione di questo lavoro è stato in parte possibile grazie ai finanziamenti del progetto di ricerca "Riduzione del rischio associato all'esposizione a radiazioni ionizzanti per fini medici – Compagnia San Paolo di Torino".*

8. Geleijns J, Broerse JJ, Chandie Shaw MP et al (1998) A comparison of patient dose for examinations of the upper gastrointestinal tract at 11 conventional and digital X-ray units in The Netherlands. *Brit J Radiol* 71:745–753
9. Carroll EM, Brennan PC (2003) Radiation doses for barium enema and barium meal examinations in Ireland: potential diagnostic reference levels. *Brit J Radiol* 76:393–397
10. Delichas MG, Hatzioannou K, Papanastassiou E et al (2004) Radiation doses to patients undergoing barium meal and barium enema examinations. *Rad Prot Dosim* 109:243–247
11. Morrell RE, Rogers AT, Jobling JC et al (2004) Barium Enema: use of increased copper filtration to optimize dose and image quality. *Brit J Radiol* 77:116–122
12. Moro L, Cazzani C, Tomarchio O et al (2007) Patient dose during radiological examination in the follow up of bariatric surgery. *Rad Prot Dosimetry* 123:113–117