

Stenting virtuale delle arterie iliache: una nuova tecnica per la scelta di stent ed endoprotesi mediante angiografia rotazionale tridimensionale. Esperienza preliminare

Fabio POZZI-MUCELLI - Antonio CALGARO
Manuel BELGRANO - Stefano CERNIC
Roberto POZZI-MUCELLI

Scopo. Con il termine di Stenting Virtuale (SV) s'intende una nuova funzione presente nella work station di elaborazione 3D di un sistema di angiografia rotazionale (AR). Tale funzione consente la visualizzazione 3D di uno stent/stent-graft nella sede della lesione steno-ostruttiva o aneurismatica da trattare. Vengono presentati i risultati preliminari ottenuti con tale programma a livello di lesioni segmentarie steno-ostruttive ed aneurismatiche del distretto iliaco.

Materiale e metodi. Sono stati inclusi nella valutazione 17 pazienti sottoposti ad angiografia diagnostica con AR per la presenza di una o più lesioni stenotiche (19 casi) od ostruttive (2 casi) o aneurismatiche (2 casi) localizzate a livello dell'arteria iliaca comune e/o esterna trattate con successo stenting in 22/23 casi. In tutti i casi è stata effettuata, preliminarmente alla procedura di angioplastica con posizionamento di stent, l'AR e si sono ottenute le elaborazioni tridimensionali sulle quali è stato applicato il programma di SV a livello della lesione steno-ostruttiva.

Risultati. Si sono confrontate le misure (lunghezza, diametro prossimale e distale dello stent/stent-graft) fornite dal programma con quelle della protesi realmente impiantata. In 22/23 procedure effettuate successivamente vi è stata una buona concordanza tra le misure fornite dallo stenting virtuale e lo stent impiantato. In un solo caso di aneurisma iliaco molto tortuoso ed allungato, il sistema forniva delle misure della lunghezza non corrette.

Conclusioni. Il programma di SV si è dimostrato affidabile, veloce ed ha consentito una scelta più oggettiva dello stent da collocare nella lesione steno-ostruttiva nella quasi totalità dei casi. In casi di aneurismi di marcata tortuosità tale sistema tende a proporre uno stent non appropriato. Potrebbe essere opportuna la possibilità di un intervento manuale nella definizione del percorso ottimale dello stent all'interno delle sacche aneurismatiche.

PAROLE CHIAVE: Angiografia, rotazionale - Angiografia, tridimensionale - Arterie iliache, stenosi - Stent, protesi.

Virtual stenting of iliac arteries: a new technique for choosing stents and stent-grafts by means of 3D rotational angiography. Preliminary data

Purpose. Virtual stenting (VS) is a new tool in the 3D processing work station of rotational angiography (RA) systems. This tool enables the 3D visualization of a stent or stent-graft in the site of a stenotic, obstructive or aneurysmal lesion to be treated. We report the preliminary results obtained with this software in the treatment of segmental stenotic, obstructive or aneurysmal lesions of the iliac artery. **Materials and methods.** Seventeen patients underwent rotational angiography and 3D reformations for one or more stenoses (19 cases), obstructive lesions (2 cases) or aneurysms (2 cases) of the common and/or external iliac artery and were treated with stents in 22/23 of cases. In all cases, the VS tool was applied to the stenotic-obstructive lesion on the identified on the 3D angiogram obtained before the stenting procedure.

Results. The measurements of the stents/stent-grafts (length, proximal and distal diameter) provided by the tool were compared to those of the stent deployed. In 22/23 procedures, the measurements of virtual stenting and those of the deployed stent showed a good level of concordance. The system failed to provide correct measurements in only one long and tortuous iliac aneurysm.

Conclusions. The "virtual stenting" tool proved to be reliable and fast, and enabled a more objective selection of the stent to be deployed on a stenotic-obstructive lesion in almost all cases. In cases of aneurysms of marked tortuosity, the system tends to suggest an inappropriate stent. The possibility of manually defining the optimal stent path within the aneurysmal sac might be useful.

KEY WORDS: Angiography, rotational - Angiography, 3D - Iliac arteries, stenosis - Stent, stent-graft.

Introduzione

Le nuove terapie endovascolari per la ricanalizzazione delle arteriopatie ostruttive del distretto aorto iliaco sono ormai da considerarsi una realtà nella pratica clinica poiché in grado di determinare la guarigione con tassi di morbilità e mortalità inferiori a quelli della chirurgia [1]. A riprova di questi risultati il ricorso alle tecniche endovascolari avviene con percentuali sempre maggiori [2].

Momento fondamentale per la corretta riuscita di tale tipo di trattamento è la scelta dello stent di dimensioni appropria-

Introduction

The new endovascular treatments for recanalization of aorto-iliac occlusive artery disease have become a reality in clinical practice since they are able to lead to recovery with morbidity and mortality rates lower than surgery [1]. This is confirmed by the increasingly frequent use of endovascular techniques [2].

Crucial to the success of this kind of treatment is the selection of a stent of appropriate size for the lesion to be

te per la lesione da trattare [3]. Nella pratica clinica, mentre nelle endoprotesi aortiche la scelta si basa sulle misure fornite dalla Tomografia Computerizzata (TC) [3, 4], a livello iliaco la scelta si basa su una valutazione spesso soggettiva del diametro del vaso alla preliminare angiografia o su una valutazione empirica mediante programmi che sono disponibili nelle apparecchiature angiografiche digitali [5].

Recentemente è stata proposta l'angiografia tridimensionale ottenuta da un'Angiografia Rotazionale (AR) per la scelta delle dimensioni dello stent [6, 7]. Diverse apparecchiature angiografiche di ultima generazione sono infatti dotate della possibilità di effettuare angiografie rotazionali, vale a dire con rotazione del complesso tubo-intensificatore di brillantezza intorno al vaso da esaminare in corso di iniezione selettiva del mezzo di contrasto. Da tali acquisizioni così dette "rotazionali" con opportuni software e work station si possono ottenere immagini tridimensionali. Il sistema è stato sviluppato prevalentemente per la valutazione dei vasi arteriosi intracranici [8, 9] ma esistono preliminari esperienze anche a livello extracranico [10, 11].

Sulla base di tali osservazioni abbiamo voluto verificare l'efficacia di un nuovo programma denominato "Stenting Virtuale" (SV) implementato sulla work station tridimensionale delle immagini angiografiche ottenute mediante angiografia rotazionale (AR). Tale programma consente di visualizzare uno stent o uno stent/graft nella sede della lesione da trattare prima che questo sia effettivamente posizionato. Tale stent può essere modificato dall'operatore sia nella sua lunghezza che nel suo diametro al fine di risultare ottimale per la lesione da trattare.

Scopo di questo lavoro è di riportare la nostra esperienza preliminare con tale applicazione a livello delle arterie iliache: in particolare si è voluto verificare se le dimensioni dello stent (lunghezza e diametro) fornite da tale programma erano paragonabili alle dimensioni degli stent realmente impiantati.

Materiale e metodi

Nel periodo settembre 2003-marzo 2004, 17 pazienti (12 m, 5 f; età media: 71,4) sono stati sottoposti ad angiografia rotazionale con successive elaborazioni tridimensionali per la valutazione del distretto iliaco per la presenza di una patologia steno-ostruttiva (21 casi) o aneurismatica (2 casi) localizzata a livello dell'arteria iliaca comune in 14/23 casi e in iliaca esterna in 9/23. In 22/23 casi l'indagine è stata completata dal posizionamento di uno o più stent a livello della lesione riconosciuta.

Le indagini sono state effettuate con il Sistema per Angiografia e Radiologia Interventistica Philips Integris Allura (Philips Medical Systems, Best, Olanda) provvisto dell'opzione per eseguire angiografie rotazionali. Il sistema è collegato ad una workstation da cui si ottengono le elaborazioni tridimensionali (Dell Computer Corporation, Round Rock, USA). La tecnica d'esame prevede che, una volta identificata la sede della lesione alla preliminare angiografia (fig. 1A) si esegua l'AR del distretto iliaco mediante posizionamento di catetere da 5 F a estremità distale diritta o "pig tail" che va collocata a livello dell'aorta sottorenale. Sono stati utilizzati quantitativi variabili tra i 64 e 72 ml e flussi di 8-9 ml/s basandosi

trated [3]. In clinical practice, while the choice of aortic stent-grafts is based on Computed Tomography (CT) measurements [3, 4], at the iliac level the choice is often based on a subjective assessment of the vessel diameter at preliminary angiography or on an empirical evaluation using the software available in digital angiography systems [5].

Recently, the use of 3D Rotational Angiography (RA) has been suggested for stent selection [6, 7]. A number of new angiographic equipment are able to perform rotational angiography, i.e. with rotation of the tube-image intensifier complex around the vessel to be analysed during selective injection of the contrast agent. These rotational acquisitions can yield 3D images thanks to suitable processing software and work stations. Although especially developed to assess intracranial arteries [8, 9] the system has also been used in preliminary extracranial experiences [10, 11].

In this context, we tested the efficacy of a new tool named "Virtual Stenting" (VS) implemented on the 3D processing work station for rotational angiography images. This software allows visualisation of a stent or a stent-graft in the lesion site before actual deployment. The operator may change the length and diameter of the stent to ensure an optimal fit with the lesion to be treated.

The aim of this paper is to report our preliminary experience with this application in the iliac artery: in particular, we aimed to verify whether the dimensions (length and diameter) provided by this tool were comparable to those of the stents subsequently deployed.

Materials and Methods

Between September 2003 and March 2004, 17 patients (12 males, 5 females, mean age 71.4) underwent rotational angiography with 3D reformations for assessment of stenotic-obstructive (21 cases) or aneurysmal lesion (2 cases) of the common iliac artery in 14/23 cases and of the external iliac artery in 9/23 cases. In 22/23 cases the study was completed by deploying one or more stents in the lesion.

The examinations were carried out with the Philips Integris Allura Angiography and Interventional Radiology System (Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) equipped with rotational angiography option. The system is connected to a workstation for the generation of 3D images (Dell Computer Corporation, Round Rock, USA). As regards examination technique, once the site of the lesion has been identified by preliminary angiography (fig. 1A), RA of the iliac artery is performed by placing a 5 F catheter with a straight or pig-tail distal end which is placed in the infrarenal aorta. Based on the subjective assessment of the vessel calibre, quantities of 64 to 72 ml and flows of 8-9 ml/s were used. In all cases a non-ionic contrast agent at a concentration of 350 mgI/ml was used (Iomeron, Bracco, Milan, Italy). Assessment of the iliac artery is performed by using a software named "roll scan", with the C-arm positioned lateral to the patient table. During the rotation it rotates on the C-arm lanes at a speed of 30°/s with a rotation angle of 180° (from -90° to +90°). Preliminary positioning of the structure being examined at the isocentre of the field of view is crucial for a successful examina-

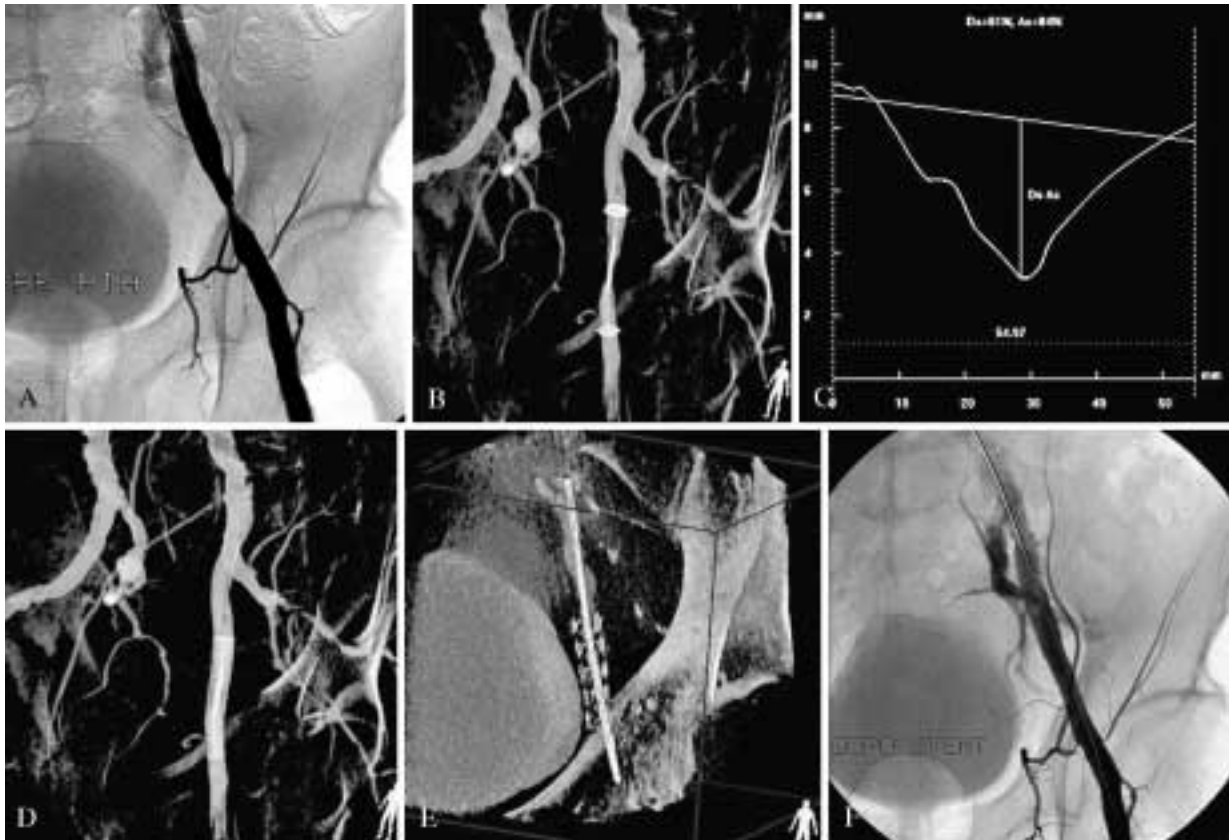


Fig. 1. — Stenting virtuale: stenosi iliaca. A) La preliminare angiografia del distretto iliaco dimostra la presenza di una stenosi breve dell'arteria iliaca esterna sinistra. B) L'elaborazione tridimensionale in Gradient Rendering conferma la stenosi: con un "click" del "mouse" si decide dove collocare lo stent (anelli giallo e verde) ed il programma automaticamente traccia una linea (azzurra) che rappresenta il tratto di vaso in cui si disporrà lo stent. C) È possibile quindi avere una rappresentazione grafica con le misure del vaso nel tratto valutato (linea azzurra e gialla) mentre la linea bianca rappresenta il diametro ottimale dello stent. In D viene visualizzato lo stent virtuale come una struttura a rete di colore arancione. E) Elaborazione tridimensionale in Volume Rendering dopo posizionamento dello stent. F) Angiografia finale di controllo che dimostra la regolarizzazione del calibro dell'arteria iliaca esterna.

Virtual stenting: iliac stenosis. A) The preliminary angiogram of the iliac arteries shows a short stenosis of the left external iliac artery. B) 3D angiography displayed in Gradient Rendering confirms the stenosis: with the click of the mouse the exact site of the stent is defined (yellow and green rings) and the programme automatically traces a path (in blue) indicating the vessel segment where the stent will be deployed. C) A graphic with all the measures of the evaluated vessel may be shown (blue and yellow line), while the white line defines the optimal diameter of the stent. D) The virtual stent is shown as an orange mesh. E) Volume rendered 3D angiography after deployment of the stent. F) Final angiogram showing the good result after the left external iliac artery stenting.

sulla valutazione soggettiva del calibro dei vasi. In tutti i casi è stato utilizzato mdc non ionico alla concentrazione di 350 mgI/ml (Iomeron, Bracco, Milano, Italia). Nel caso di valutazione del distretto iliaco si usa il programma denominato "roll scan" e l'arco a C deve essere posizionato lateralmente rispetto al lettino porta paziente; nel corso della rotazione esso ruota sulle corsie dell'arco che lo supporta alla velocità di rotazione di 30°/s con angolo di rotazione di 180° (da -90° a +90°). È fondamentale per una buona riuscita dell'esame cercare di posizionare preliminarmente la struttura in esame nell'isocentro del campo di scopia. Vengono quindi effettuate due acquisizioni rotazionali: una prima e una dopo l'iniezione del mdc con i quantitativi e flussi prima ricordati.

Per quanto riguarda l'elaborazione tridimensionale una volta trasferito il set di dati delle due acquisizioni (tempo richie-

tion. Two rotational acquisitions are then performed, one before and one after the contrast agent is injected in the manner described above.

As regards 3D processing, once the data set from the two acquisitions has been transferred (time required 75 s) to the workstation, these are displayed in real-time on the monitor. The images are viewed as non-subtracted data with a reconstruction matrix of 256³. The possible processing options are Volume Rendering, Gradient Rendering, Shaded Surface Display. In "virtual stenting", the option "Gradient Rendering" is used because it enables representation of the semi-transparent vessel on which the different stages of virtual stent deployment will be accurately visualized (fig. 1B, D). This representation is provided by the "automatic vessel analysis" function: the operator clicks on

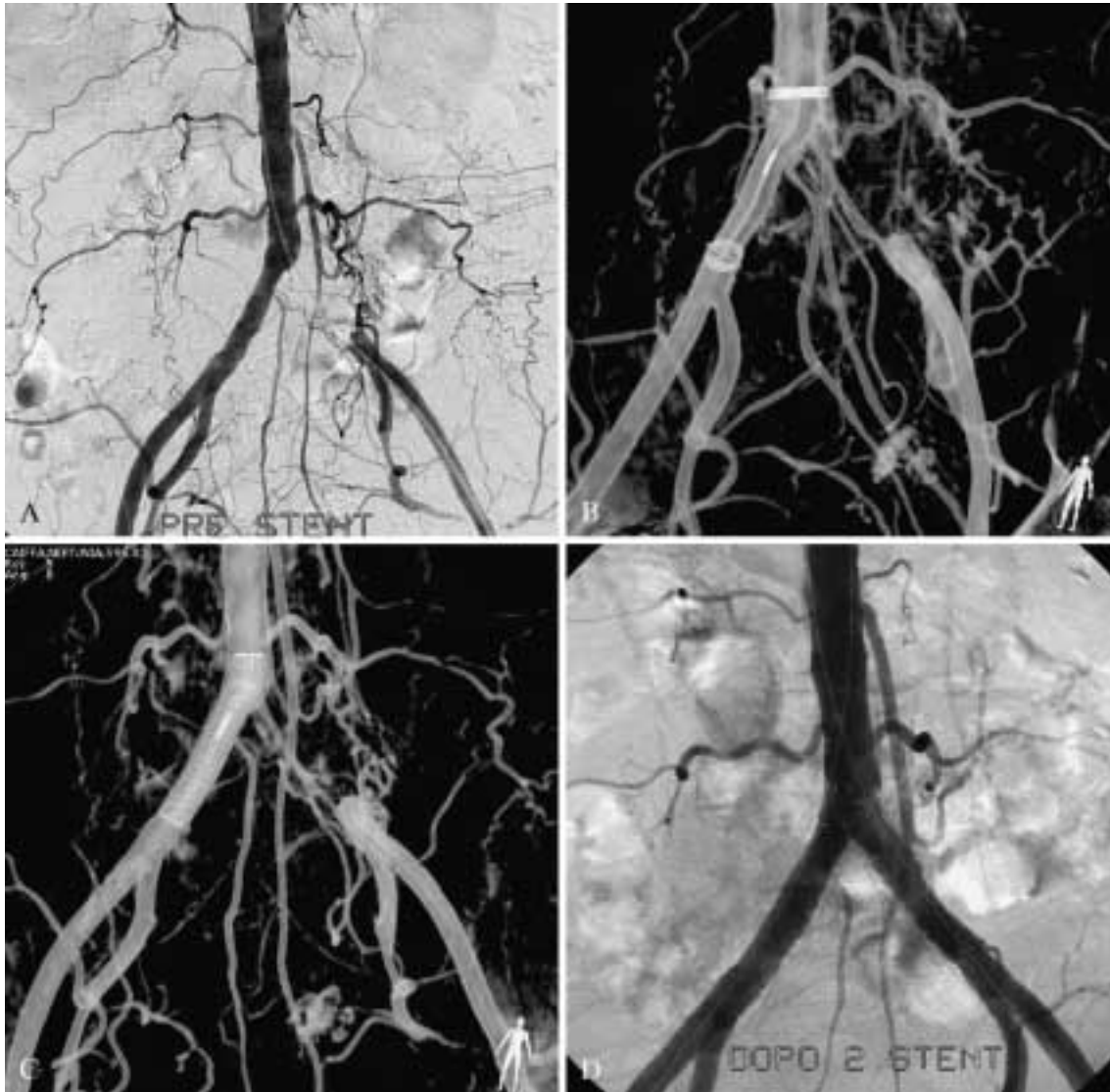


Fig. 2. — Stenting virtuale: ostruzione iliaca. A) L'angiografia preliminare dimostra un'ostruzione completa dell'arteria iliaca comune di sinistra che è stato possibile oltrepassare con guida idrofilica. B, C) L'elaborazione 3D in gradient rendering dimostra la preliminare valutazione fatta sull'iliaca controlaterale. Ci si è basati sulle misure fornite sul lato sano per la scelta dello stent a sinistra. D) Risultato finale: buon ripristino del calibre vasale a sinistra dopo impianto di stent autoespandibile del diametro di 9 mm e della lunghezza di 40 mm.

Virtual stenting: iliac obstruction. A) The preliminary angiogram shows complete occlusion of the left common iliac artery which was successfully negotiated with a hydrophilic guidewire. B, C) The 3D Gradient Rendering angiography shows the evaluation with the VS tool done on the contralateral common iliac artery. The correct stent for the left side was chosen based on the measurements of the right side. D) Final result: satisfactory appearance of the left iliac artery after deployment of a self-expandable stent (9 mm x 40 mm).

sto 75 s) alla workstation dedicata queste vengono visualizzate sul monitor in tempo reale. Le immagini sono visualizzate sotto forma di dati non sottratti con una matrice di ricostruzione di 256^3 : diverse sono le elaborazioni possibili: Volume Rendering, Gradient Rendering, Shaded Surface Display. Per lo "stenting virtuale" si utilizza l'elaborazione denominata "gradient rendering" che consente una rappresentazione del vaso semitrasparente sul quale risulteranno poi ben dimostrabili le varie fasi del posizionamento dello stent virtuale (fig. 1B,

the points on the vessel where the stent is to start and finish, and two rings of different colour will appear on the image to delimit the segment to be assessed (fig. 1B). Then the software automatically traces a line across the point of greatest stenosis, which will be marked in yellow (fig. 1B). If the tracing is correct a graphic representation of the segment showing the variation of the vessel calibre (blue-yellow line) and the optimal stent diameter calculated as the average of the minimum and maximum diameters (y-axis values) and its length (x-axis value) (fig. 1C). At the same

D). Per ottenere tale rappresentazione si utilizza la funzione di “analisi vasale automatica”: mediante tale programma si delinea con un semplice “click” del “mouse” sul vaso in esame il punto in cui deve iniziare e deve finire lo stent e sull’immagine compaiono 2 anelli in diversi colori che delimitano il tratto di vaso in cui verrà effettuata la valutazione (fig. 1B). Quindi il programma automaticamente traccia una linea che passa attraverso il punto di maggior stenosi, che sarà evidenziato in giallo (fig. 1B). Se il tracciato risulta corretto si può ottenere la rappresentazione mediante grafico del tratto di vaso valutato in cui si evidenzia il variare del calibro vasale (linea azzurro-giallo) e il diametro ottimale dello stent calcolato come media tra punto di maggior e minor diametro (valori asse y) e la sua lunghezza (valore asse x) (fig. 1C). Allo stesso tempo è visualizzabile lo stent che verrà visualizzato come una struttura giallo-arancione con una fitta trama di maglie incrociate (fig. 1D). In alternativa il programma è in grado di rappresentare anche uno stent-graft virtuale come una struttura tubulare giallo-arancione piena. Nel caso di arteria iliaca ostruita, la valutazione mediante VS è stata effettuata sull’arteria iliaca contralaterale ritenendo che lo stent da collocare debba avere delle misure sovrapponibili a quelle del lato sano (fig. 2). Le procedure di ricanalizzazione sono state effettuate utilizzando generalmente guide idrofiliche 0,035 pollici (Glidewire Terumo, Roma, Italia; Kayak, Boston, Genova, Italia) per valicare la lesione steno-ostruttiva e quindi si è proceduto al rilascio dello stent nella sede della lesione. Sono stati utilizzati sia stent autoespandibili (Luminex, Bard, Roma, Italia; Smart Controll, Cordis, Milano, Italia; Wallstent RP, Boston, Genova, Italia) che “balloon expandable” (Saxx, Bard, Italia, Jostent peripheral graft, Jomed, Ver San, Verona, Italia). In linea di massima si è cercato di sovradimensionare lo stent di circa 1 mm rispetto alle misure fornite dal programma SV, analogamente a quanto fatto anche da altri Autori [12].

Risultati

L’angiografia rotazionale con la successiva elaborazione 3D è riuscita in tutti i casi ed è risultata sempre di qualità diagnostica adeguata in tutti i casi. In nessun caso l’esame è stato considerato inidoneo ai fini della valutazione con il programma di “stenting virtuale”.

Nei 17 pazienti indagati sono state riconosciute 19 stenosi e 2 ostruzioni (figg. 1, 2) di lunghezza variabile tra 15 e 60 mm con diametro vasale prossimale del vaso compreso tra 6,2 e 15

time, one can visualise the stent, which will appear as a yellow-orange structure with tightly interwoven meshes (fig. 1D). Alternatively, the programme can also display a virtual stent-graft as a complete yellow-orange tubular structure. In the case of iliac artery occlusion, the VS assessment was carried out on the contralateral iliac artery on the assumption that the size of the stent to be deployed



Fig. 3. — Stenting virtuale: aneurisma iliaco. A) La preliminare angiografia dimostra aneurisma fusiforme che coinvolge l’arteria iliaca comune e parte dell’iliaca esterna. B) L’elaborazione 3D con la traccia del percorso (linea blu e gialla) dimostra come questa si disponga al centro del lume della sacca aneurismatica, non tenendo conto di quella che può essere la migliore traiettoria. C) Elaborazione Gradient Rendering con visualizzazione dello stent-graft.

Virtual stenting: iliac aneurysm. A) The preliminary angiogram shows a fusiform aneurysm involving the common and part of the external iliac arteries. B) The 3D angiography with the path (blue and yellow line) shows that the line is positioned in the middle of the lumen of the aneurysmal sac, without considering the best track. C) Gradient Rendering angiogram with the stent-graft displayed.

Tabella I. — Confronto stent impiantato vs Stenting Virtuale.

N. Progr.	Iniziali	Età	Sede lesione	Tipo lesione	Misure stent impiantato	Risultato Stenting Virtuale
1	S.L.	78	Arteria iliaca comune sn	Aneurisma*	14 × 38 mm	15/12 × 40 mm
2	G.A.	52	Arteria iliaca comune sn	Stenosi	8 × 38 mm	7,5/7,8 × 45 mm
3	C.A.	74	Arteria iliaca comune sn	Aneurisma		
4	C.AI.	69	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	8 × 60 mm	8,2/7,9 × 62 mm
5	C.AI.		Arteria iliaca comune sn	Stenosi	8 × 60 mm	8,1/8,0 × 53 mm
6	V.E.	66	Arteria iliaca esterna ds	Stenosi	10 × 40 mm	11/11 × 41 mm
7	V.E.		Arteria iliaca esterna sn	Stenosi	10 × 40 mm	10,2/10,7 × 47 mm
8	M.N.	67	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	10 × 30 mm	10,1/10 × 38 mm
9	C.N.	69	Arteria iliaca comune sn	Ostruzione	9 × 40 mm	9,8/10 × 32 mm
10	S.E.	70	Arteria iliaca esterna sn	Stenosi	8 × 40 mm	8,0/7,9 × 39 mm
11	M.L.	75	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	10 × 47 mm	8,2/8,0 × 42 mm
12	M.L.		Arteria iliaca comune sn	Stenosi	10 × 49 mm	9,0/8,4 × 48 mm
13	G.F.	70	Arteria iliaca comune sn	Stenosi	8 × 30 mm	7,1/8,0 × 28 mm
14	P.R.	73	Arteria iliaca esterna sn	Stenosi	7 × 60 mm	7,1/6,0 × 60 mm
15	S.M.	82	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	8 × 20 mm	7,7/7,6 × 19 mm
16	S.M.		Arteria iliaca esterna ds	Stenosi	7 × 40 mm	6,2/5,8 × 75 mm
17	C.U.	75	Arteria iliaca esterna sn	Stenosi	8 × 40 mm	8,2/8,2 × 38 mm
18	M.G.	81	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	10 × 40 mm	9,7/9,5 × 52 mm
19	G.G.	73	Arteria iliaca esterna sn	Stenosi	8 × 47 mm	7,6/6,2 × 56 mm
20	G.G.		Arteria iliaca esterna ds	Stenosi	8 × 40 mm	6,2/6,1 × 65 mm
21	C.B.	77	Arteria iliaca esterna sin	Stenosi	8 × 40 mm	8,5/8,0 × 54 mm
22	H.M.	64	Arteria iliaca comune ds	Stenosi	9 × 40 mm	8,2/8,4 × 44 mm
23	H.M.		Arteria iliaca comune sn	Ostruzione	8 × 60 mm	9,1/8,6 × 71 mm

*aneurisma arteria ipogastrica: posizionato stent ricoperto per coprire l'origine dell'arteria ipogastrica

mm e distale compreso tra 5,8 e 12,1 mm. In un unico caso si trattava di un asse iliaco diffusamente aneurismatico e tortuoso che non si è ritenuto idoneo al trattamento endovascolare. In questo caso, infatti, le misure fornite dal programma SV risultavano poco attendibili in quanto il percorso tracciato dal programma e lo stent-graft proposto apparivano eccessivamente lunghi e tortuosi (fig. 3). Nell'ultimo caso si trattava di un'aneurisma del tratto iniziale dell'arteria ipogastrica di sinistra che è stato trattato mediante posizionamento di alcune spirali metalliche a valle della lesione aneurismatica e mediante il posizionamento di uno stent ricoperto collocato al passaggio tra arteria iliaca comune ed esterna di sinistra in modo di "coprire" l'origine dell'arteria ipogastrica. La tabella I mette a confronto le misure degli stent impiantati (diametro x lunghezza) con le misure (diametro prossimale/diametro distale x lunghezza dello stent virtuale). Come illustrato, vi è stata una sostanziale concordanza sia nelle misure dei diametri che

would be similar to that of the healthy side (fig. 2). The recanalization procedures were normally performed with 0.035 inch hydrophilic guidewires (Glidewire Terumo, Roma, Italy; Kayak, Boston, Genova, Italy) to negotiate the stenotic-occlusive lesion before releasing the stent. Both self-expandable (Luminex, Bard, Rome, Italy; Smart Controll, Cordis, Milan, Italy; Wallstent RP, Boston, Genova, Italy) and balloon expandable (Saxx, Bard, Italy; Jostent peripheral graft, Jomed, Ver San, Verona, Italy) stents were used. As a rule, we used stents 1 mm larger than indicated by the VS measurements, consistent with other authors [12].

Results

Rotational angiography and the subsequent 3D processing was successful in all cases and its diagnostic quality

Table I. — Comparison: implanted vs Virtual Stent.

Patient No.	Initials	Age	Lesion site	Lesion type	Actual stent size (diam/length)	Virtual Stent Size (prox/distal diam/length)
1	S.L.	78	Left common iliac artery	Aneurysm*	14 × 38 mm	15/12 × 40 mm
2	G.A.	52	Left common iliac artery	Stenosis	8 × 38 mm	7.5/7.8 × 45 mm
3	C.A.	74	Left common iliac artery	Aneurysm		
4	C.AI.	69	Right common iliac artery	Stenosis	8 × 60 mm	8.2/7.9 × 62 mm
5	C.AI.		Left common iliac artery	Stenosis	8 × 60 mm	8.1/8.0 × 53 mm
6	V.E.	66	Right external iliac artery	Stenosis	10 × 40 mm	11/11 × 41 mm
7	V.E.		Left external iliac artery	Stenosis	10 × 40 mm	10.2/10.7 × 47 mm
8	M.N.	67	Right common iliac artery	Stenosis	10 × 30 mm	10.1/10 × 38 mm
9	C.N.	69	Left common iliac artery	Occlusion	9 × 40 mm	9.8/10 × 32 mm
10	S.E.	70	Left external iliac artery	Stenosis	8 × 40 mm	8.0/7.9 × 39 mm
11	M.L.	75	Right common iliac artery	Stenosis	10 × 47 mm	8.2/8.0 × 42 mm
12	M.L.		Left common iliac artery	Stenosis	10 × 49 mm	9.0/8.4 × 48 mm
13	G.F.	70	Left common iliac artery	Stenosis	8 × 30 mm	7.1/8.0 × 28 mm
14	P.R.	73	Left external iliac artery	Stenosis	7 × 60 mm	7.1/6.0 × 60 mm
15	S.M.	82	Right common iliac artery	Stenosis	8 × 20 mm	7.7/7.6 × 19 mm
16	S.M.		Right external iliac artery	Stenosis	7 × 40 mm	6.2/5.8 × 75 mm
17	C.U.	75	Left external iliac artery	Stenosis	8 × 40 mm	8.2/8.2 × 38 mm
18	M.G.	81	Right common iliac artery	Stenosis	10 × 40 mm	9.7/9.5 × 52 mm
19	G.G.	73	Left external iliac artery	Stenosis	8 × 47 mm	7.6/6.2 × 56 mm
20	G.G.		Right external iliac artery	Stenosis	8 × 40 mm	6.2/6.1 × 65 mm
21	C.B.	77	Left external iliac artery	Stenosis	8 × 40 mm	8.5/8.0 × 54 mm
22	H.M.	64	Right common iliac artery	Stenosis	9 × 40 mm	8.2/8.4 × 44 mm
23	H.M.		Left common iliac artery	Occlusion	8 × 60 mm	9.1/8.6 × 71 mm

*hypogastric artery aneurysm: a covered stent was deployed over the origin of the hypogastric artery.

della lunghezza. Solo nei due casi di ostruzione abbiamo lievemente sottodimensionato il diametro dello stent rispetto alle misure fornite dal programma SV: in realtà in entrambi i casi ci si è basati sulle misure fornite dalla valutazione fatta sull'iliaca controlaterale (fig. 2), tuttavia si è preferito non dilatare eccessivamente il vaso sede dell'ostruzione per non avere complicazioni. Il risultato finale è stato comunque adeguato (fig. 2D). Per quanto riguarda la lunghezza si è cercato di scegliere uno stent con le misure che più si avvicinavano a quelle indicate dal programma di VS ma in due procedure con lesioni piuttosto lunghe ci si è limitati a posizionare uno stent più corto rispetto alla stenosi per mancanza di dispositivo delle misure adeguate e si è completata la procedura effettuando la sola angioplastica nel tratto non sottoposto a "stenting". In tutti i casi vi è stato un soddisfacente risultato angiografico al termine della procedura.

was adequate in all cases. In no case were the images inappropriate for assessment with the "virtual stenting" tool.

In the 17 patients studied, we found 19 stenoses and 2 obstructions (figs. 1, 2) 15-60 mm in length with a proximal vessel diameter between 6.2 and 15 mm and a distal diameter between 5.8 and 12.1 mm. Only in one case was the iliac axis so diffusely aneurysmal and tortuous that it was not considered eligible for endovascular treatment; in fact, the measurements provided by the VS tool appeared unreliable in that the path traced by the software and the suggested stent-graft were too long and tortuous (fig. 3). The past case was an aneurysm of the initial tract of the left hypogastric artery, which was treated by deploying a number of metallic coils below the aneurysm and placing a covered stent at the passage between the common and the left external iliac artery so as to "cover" the origin of the hypogastric artery. Table I compares the measurements of the implanted stents (diameter x length) with those of the vir-

Discussione

La scelta dello stent nelle procedure interventistiche endovascolari costituisce un momento cruciale sia per il successo immediato della stessa che per quello a lungo termine. A livello iliaco il sovradimensionamento del calibro del vaso può essere responsabile della rottura dello stesso alla preliminare angioplastica [13-15] ma tale evento è stato riportato anche dopo il posizionamento di stent [16] e il sovra o sottodimensionamento dello stent può avere effetti negativi sulla parete vasale nella sede della procedura e compromettere la pervietà del vaso a lungo termine [17].

Anche la lunghezza dello stent va accuratamente valutata poiché la scelta di stent di lunghezza inadeguata determina la necessità d'impianto di un secondo stent con aumento del costo della procedura. L'esperienza da noi condotta dimostra che il programma di VS è utilizzabile nella maggior parte dei casi ed è in grado di fornire delle misure accurate e una visualizzazione virtuale tridimensionale molto efficace di come lo stent o lo stent graft si posizionerà ed adatterà alla conformazione del vaso.

Peraltro pure la TC offre la possibilità di avere immagini tridimensionali dell'aorta e dei vasi iliaci che, come riporta in letteratura [18], consentono di visualizzare la morfologia, il decorso e le angolazioni dell'aorta e dei vasi iliaci; tuttavia tali elaborazioni non consentono, almeno al momento attuale, una rappresentazione virtuale di come si disporrà lo stent graft o lo stent in quel vaso.

Tale informazione, a nostra conoscenza, è ottenibile solo mediante il software qui presentato.

Ulteriore vantaggio che si vuole sottolineare è la rapidità con cui si ottengono tali elaborazioni: in particolare l'elaborazione tridimensionale si può ottenere in tempo reale e pure il programma di stenting virtuale agisce in tempo reale con pochi "click" del "mouse".

Vanno tuttavia ricordati pure i limiti: innanzi tutto questo tipo di valutazione richiede sempre l'esecuzione di un'angiografia per via arteriosa; va comunque precisato che questo in realtà non costituisce un reale limite in quanto nella totalità dei casi si tratta comunque di pazienti che vengono ad eseguire una procedura di ricanalizzazione endovascolare. Ulteriori limiti sono dati dall'impossibilità di utilizzare il programma nel caso di occlusione iliaca bilaterale e dai risultati inadeguati che il programma offre in caso di aneurismi molto voluminosi o tortuosi in quanto la traccia che il programma propone non risulta sempre la più idonea alla situazione anatomica e non tiene conto della modificazione indotta nell'anatomia vasale all'atto dell'inserimento di una guida rigida.

Sarebbe pertanto auspicabile che si potesse intervenire manualmente per modificare il tracciato che farà lo stent virtuale all'interno della lesione aneurismatica. Teoricamente questo limite è ovviabile eseguendo l'acquisizione angiografica preliminare con una guida rigida già inserita nel vaso da trattare. Ulteriore limitazione è data dal campo di vista dei sistemi di angiografia che può essere al massimo di 38 cm e questo può limitare la valutazione di lesioni che talvolta possono essere molto lunghe e coinvolgere estesamente anche l'aorta addominale.

tual stents (proximal diameter /distal diameter x length). There is a substantial concordance between the diameters and lengths. In only two obstructions did we slightly underestimate stent diameter as compared to the measurement provided by the VS tool; in both cases we based our choice on the measurement performed on the contralateral iliac artery (fig. 2), but we decided not to dilate the obstructed vessel excessively so as to avoid complications. At any rate, the final result was adequate (fig. 2D). As for stent length, we selected stents of dimensions as close as possible to those indicated by the VS tool; nonetheless, in two procedures on long lesions we had to position stents shorter than the stenosis owing to unavailability of adequately sized stents and we completed the procedure with angioplasty alone in the remaining segment. In all cases, postprocedural angiography showed satisfactory results.

Discussion

The selection of the stent to be used in endovascular procedures is crucial to success in both the short and long term. At the iliac level, overestimation of the vessel diameter may lead to rupture during preliminary angioplasty [13-15] — this event has, however, also been reported after stent deployment [16] — whereas an oversized or undersized stent may negatively affect the vessel wall at the site of the procedure and compromise vessel patency in the long-term [17]. The length of the stent needs to be accurately evaluated as well since stents of inadequate length can result in a need to implant a second stent with increased procedure costs. Our experience demonstrates that the VS tool can be used in most cases and can give accurate measurements and a very effective virtual 3D rendering of the stent or stent-graft position and fit. Also CT provides 3D images of the aorta and iliac vessels with depiction of the morphology, course and angles of the vessels [18]; the technique does not however allow, at least at the moment, the virtual representation of the position of the stent or stent-graft in that vessel. To our knowledge, this information can only be obtained by means of the software described in this paper.

A further advantage is the short time required to obtain these images. In particular, the 3D images can be obtained in real time and the virtual stenting software as well acts in real time with a few clicks of the mouse.

The method's limits should also be borne in mind. Firstly, this kind of assessment always requires arterial angiography; this, however, does not constitute a true limit given that all the patients are referred to us for endovascular recanalization procedures. Further limits are: the inability to use the tool with bilateral iliac occlusions; the tool's poor performance in very massive or tortuous aneurysms, since the pathway suggested is not always the most suitable for the anatomic situation and it does not take into account the change in vessel anatomy brought about by insertion of a stiff guidewire. It would therefore be useful to be able to intervene manually to modify the pathway to be followed by the virtual stent inside the aneurysm. In theory this limit can be overcome by performing the preliminary angiographic acquisition with a stiff guidewire already inserted in the vessel to be treated. Another limit is the field of view of angiography systems which can reach a maximum of 38 cm, a width that can impair the assessment of long lesions with extensive involvement of the abdominal aorta.

Conclusioni

In conclusione riteniamo che il programma qui presentato sia potenzialmente utile ed in grado di fornire le misure minime sia per quanto riguarda il diametro dello stent che la sua lunghezza ottimale. Riteniamo che soprattutto nei casi maggiormente complessi a livello iliaco esso possa rendere più oggettiva e precisa la scelta dello stent con un minimo allungamento del tempo della procedura legato all'esecuzione dell'acquisizione rotazionale.

Conclusions

Virtual Stenting is a potentially useful tool able to provide the minimum measurements for both stent diameter and optimal length. Particularly in the more complex cases at an iliac level it may make stent selection more objective and accurate with only a slight increase in procedure time related to the rotational acquisition.

Bibliografia/References

- 1) Faries P, Morrissey NJ, Teodorescu V *et al*: Recent advances in peripheral angioplasty and stenting. *Angiology* 53: 617-626, 2002.
- 2) Ali AT, Modrall JC, Lopez J *et al*: Emerging role of endovascular grafts in complex aorto iliac occlusive disease. *J Vasc Surg* 38: 486-491, 2003.
- 3) Chuter TA: The choice of stent-graft for endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Cardiovasc Surg* 44: 519-525, 2003.
- 4) Ouriel K, Tanquilut E, Greenberg RK, Walker E: Aortoiliac morphologic correlations in aneurysms undergoing endovascular repair. *J Vasc Surg* 38: 323-328, 2003.
- 5) Beregi JP, Martin-Teule C, Trogrlic S *et al*: Quantitative angiography: state of the art for peripheral vascular applications. *J Radiol* 80: 835-841, 1999.
- 6) van den Berg JC, Overtoom TT, de Valois JC, Moll FL: Using three-dimensional rotational angiography for sizing of covered stents. *AJR* 178: 149-152, 2002.
- 7) van den Berg JC, Moll FL: Three-dimensional rotational angiography in peripheral endovascular interventions. *J Endovasc Ther* 10: 595-600, 2003.
- 8) Anxionnat R, Bracard S, Ducrocq X *et al*: Intracranial aneurysms: clinical value of 3D digital subtraction angiography in the therapeutic decision and endovascular treatment. *Radiology* 218: 799-808, 2001.
- 9) Hochmuth A, Spetzger U, Schumacher M: Comparison of three-dimensional rotational angiography with digital subtraction angiography in the assessment of ruptured cerebral aneurysms. *AJNR* 23: 1199-205, 2002.
- 10) Hagen G, Wadstrom J, Magnusson A: 3D rotational angiography of transplanted kidneys. *Acta Radiol* 44: 193-198, 2003.
- 11) Iwai R, Tsumura K, Kuwayama N *et al*: Three-dimensional DSA imaging and 3-dimensional measurement of cross section for internal carotid artery stenosis. *No To Shinkei* 55: 661-667, 2003.
- 12) Rabbia C, Rossato D, Savio D, Margarita G: Lo stenting percutaneo nel trattamento delle lesioni steno-ostruttive iliache. Esperienza con stent di Palmaz in 156 procedure. *Radiol Med* 86: 308-320, 1993.
- 13) Chong WK, Cross FW, Raphael MJ: Iliac artery rupture during percutaneous angioplasty. *Clin Radiol* 41: 358-359, 1990.
- 14) Formichi M, Raybaud G, Benichou H, Ciosi G: Rupture of the external iliac artery during balloon angioplasty: endovascular treatment using a covered stent. *J Endovasc Surg* 5: 37-41, 1998.
- 15) Allaire E, Mellièrè D, Poussier B *et al*: Iliac artery rupture during balloon dilatation: what treatment? *Ann Vasc Surg* 17: 306-314, 2003.
- 16) Redman A, Cope L, Uberoi R: Iliac artery injury following placement of the memotherm arterial stent. *Cardiovasc Intervent Radiol* 24: 113-116, 2001.
- 17) Vernhet H, Demaria R, Juan JM *et al*: Arterial stenting and overdilation: does it change wall mechanics in small-caliber arteries? *J Endovasc Ther* 9: 855-862, 2002.
- 18) Filis KA, Arko FR, Rubin GD, Zarins CK: Three-dimensional CT evaluation for endovascular abdominal aortic aneurysm repair. Quantitative assessment of the infrarenal aortic neck. *Acta Chir Belg* 103: 81-86, 2003.

*Dott. Fabio Pozzi-Mucelli
U.C.O. di Radiologia
Università di Trieste
Ospedale di Cattinara
Strada di Fiume, 34100 Trieste, Italia
Tel: 0039 040 3994372,
Fax: 0039 040 3994500
e-mail: pozzi-mucelli@libero.it*