

ECO-COLOR-DOPPLER E FISTOLA ARTERO-VENOSA: UTILIZZO PRE E POST-CHIRURGICO

Pasquale Zamboli¹, Maria Calabria¹, Andrea Camocardi¹, Fulvio Fiorini², Alessandro D'Amelio³, Carmelo Lo Dico⁴, Antonio Granata⁵

¹Cattedra di Nefrologia, Seconda Università degli Studi di Napoli - Presidio Ospedaliero S.M.d.P. degli Incurabili di Napoli, Napoli

²S.O.C. Nefrologia e Dialisi, Ospedale S.M. della Misericordia, Rovigo

³U.O.C. Nefrologia e Dialisi, AO "Vito Fazzi", Lecce

⁴Centro Emodialisi Ippocrate, Agrigento

⁵U.O.C. Nefrologia e Dialisi, Ospedale "San Giovanni di Dio", Agrigento

Color-Doppler imaging and arteriovenous fistula: preoperative evaluation and surveillance

The native arteriovenous fistula (AVF) is the preferred vascular access for hemodialysis because of the lower incidence of complications and longer survival in comparison to grafts and central venous catheters. The use of color-Doppler sonography in the surgery of vascular accesses has increased the number of patients that are eligible for AVF as it allows to optimize the search for vessels suitable for surgical intervention (preoperative vascular mapping). Furthermore, color-Doppler imaging (CDI) has improved the survival of native AVF by increasing the early diagnosis of complications (postoperative surveillance). CDI is the only imaging technique able to provide both morphological and functional information about native vascular access and it is the only tool directly available to the nephrologist. This aspect is undoubtedly an additional value. Here we present a survey of the applications of CDI in the surgery and follow-up of AVF, with particular reference to preoperative mapping, AVF maturation and surveillance.

Conflict of interest: None

Financial support: None

KEY WORDS:

Access flow measurement, Eco-Colour-Doppler (ECD), Arterio-venous fistula (AVF), Preoperative mapping, AVF monitoring and surveillance

PAROLE CHIAVE:

Calcolo della portata, Eco-Color-Doppler (ECD), Fistola Arterio-Venosa (FAV), Mapping pre-chirurgico, Monitoraggio e sorveglianza FAV

Indirizzo degli Autori:

Prof. Pasquale Zamboli
Via A. De Gasperi 6
80040 Poggioreale (NA)
e-mail: pzamboli@gmail.com

INTRODUZIONE

La fistola artero-venosa confezionata con vasi nativi (FAV) rappresenta l'accesso vascolare di scelta per il paziente emodializzato in quanto, a parità di flusso, presenta minore incidenza di complicanze e più lunga sopravvivenza rispetto alle protesi e ai cateteri venosi centrali (1, 2). Tuttavia, a causa del crescente numero di anziani e di comorbidità (quali il diabete mellito e le vasculopatie) tra i pazienti che necessitano di cominciare la terapia dialitica, il confezionamento e il mantenimento di una FAV pervia e ben funzionante sono diventati sfide impegnative per i nefrologi e i chirurghi vascolari per l'inadeguatezza dei vasi utilizzati (3). L'avvento dell'Eco-Color-Doppler (ECD) nell'armamentario di chi si occupa di chirurgia degli accessi

vascolari ha, da un lato, aumentato il numero di pazienti in cui si riesce a confezionare una FAV con vasi nativi (grazie all'individuazione di vasi idonei all'intervento mediante il *mapping* pre-chirurgico) e, dall'altro, ha migliorato la sopravvivenza delle FAV grazie alla diagnosi precoce (monitoraggio post-operatorio) e alla conseguente tempestiva correzione delle possibili complicanze dell'accesso vascolare. Scopo di questa *review* è quello di fornire una panoramica sulle possibili applicazioni dell'ECD nell'ambito del confezionamento e del *follow-up* delle FAV, con particolare riferimento a:

- mapping* pre-chirurgico
- maturazione della FAV
- monitoraggio/sorveglianza della FAV (*follow-up* e diagnosi precoce delle complicanze).

MAPPING VASCOLARE PRE-OPERATORIO

La valutazione e la scelta dei vasi sanguigni da utilizzare per il confezionamento di una FAV sono state effettuate per decenni esclusivamente attraverso l'esame obiettivo degli arti superiori in quanto tale esame può essere effettuato al letto del paziente e non richiede costi ed equipaggiamenti aggiuntivi. Tuttavia, se l'esame fisico dell'arto superiore fornisce informazioni accettabili sul circolo venoso superficiale (palpabilità delle vene e valutazione del loro calibro, della loro pervietà e del loro decorso), molto più limitate sono le informazioni fornite relativamente al circolo arterioso, di cui permette di valutare soltanto la palpabilità dei polsi arteriosi e la pervietà dell'arco palmare con il test di Allen (4-6). L'esame obiettivo, inoltre, risulta da solo insufficiente in una percentuale considerevole di pazienti (~25-50%) (5, 7).

Rispetto all'esame obiettivo, l'ECD, pur richiedendo più tempo, un'apposita strumentazione e una certa esperienza da parte dell'operatore, fornisce più informazioni sul circolo venoso superficiale/profondo dell'avambraccio e tantissime informazioni sul circolo arterioso attraverso una procedura totalmente non-invasiva, sicura e ripetibile (4). L'ECD rappresenta l'unica metodica strumentale che permette di valutare contemporaneamente in un'unica immagine sia l'anatomia (*B-Mode*) che il flusso ematico (Color-Doppler e Doppler pulsato); inoltre, è l'unica tecnica direttamente gestibile da chi andrà a confezionare l'accesso vascolare e ciò costituisce senza ombra di dubbio un valore aggiunto. Sebbene alcuni Autori contestino l'uso routinario dell'ECD pre-operatorio (riservandolo solo a quei casi in cui l'esame clinico rileva delle anomalie) (8, 9), sono le stesse Linee Guida internazionali a suggerirne ormai l'esecuzione in tutti i pazienti candidati al confezionamento di una FAV come completamento naturale dell'esame fisico (10).

Requisiti tecnici minimi ed esecuzione dell'esame

Al fine di effettuare una soddisfacente mappatura del circolo dell'arto superiore, l'ecografo utilizzato deve disporre di una sonda lineare con una frequenza minima di 7 MHz per lo studio in *B-Mode* e di 5 MHz per lo studio Doppler (11). Il paziente può essere studiato in posizione supina (con moderato sollevamento del tronco tale da non piegare l'articolazione del gomito) o, in alternativa, può essere seduto di fronte all'operatore con l'avambraccio poggiato su un tavolino porta-oggetti. La posizione supina viene preferita dalla maggior parte degli esaminatori in quanto rende più semplice lo studio delle strutture vascolari del braccio e del distretto succlavio-ascellare ed è, inoltre, più comoda per il paziente (11, 12). L'esame dovrebbe

essere eseguito in un ambiente adeguatamente climatizzato e utilizzando *gel* riscaldato in modo da non indurre vasocostrizione delle strutture da studiare (11, 12). Una corretta metodologia d'esame presuppone che vengano valutati consecutivamente sia il distretto arterioso che quello venoso seguendo con scansioni trasversali e/o longitudinali le arterie (a partire dalla radice dell'arto verso la mano) e le vene (partendo dalla periferia verso lo stretto toracico superiore). La scelta di cominciare l'esame dal distretto arterioso o da quello venoso viene lasciata alla preferenza del singolo operatore e alle caratteristiche del singolo paziente. Per una corretta valutazione del circolo dell'arto superiore, devono necessariamente essere valutati sia l'aspetto morfologico (*B-Mode*) che quello flussimetrico (Color-Doppler e Doppler pulsato) dei vasi arteriosi e venosi.

Mapping arterioso pre-operatorio

L'ECD arterioso pre-operatorio dovrebbe prevedere la valutazione delle arterie succlavia, ascellare, brachiale, radiale e ulnare (13). In realtà, nella pratica clinica la maggior parte degli operatori comincia l'esame del circolo arterioso a partire dalla porzione distale dell'arteria succlavia o direttamente dall'arteria brachiale (4, 14), valutando la porzione più prossimale dell'arteria succlavia solo nel caso di riscontro di anomalie a livello di tali segmenti.

L'ECD consente un'accurata valutazione del circolo arterioso dell'arto superiore mediante l'analisi di una serie di parametri morfologici e funzionali (5, 15). La valutazione morfologica delle arterie include lo studio del diametro vasale, dello spessore e delle alterazioni di parete, delle anomalie di decorso e della presenza di lesioni steno-ostruttive. Lo studio funzionale prevede, invece, la valutazione del flusso ematico e della capacità dell'arteria a dilatarsi.

Il diametro interno delle arterie può essere misurato sia in scansione longitudinale che in scansione trasversale (12), ma il taglio longitudinale, grazie alla visualizzazione dello strato intimale della parete vasale superficiale e profonda, permette una più precisa misurazione della distanza intima-intima e, quindi, del diametro interno del vaso (4). La precisione di tale misurazione è stata dimostrata mettendo a confronto il diametro vasale misurato ecograficamente con il diametro misurato direttamente sull'arteria nel corso dell'intervento chirurgico ed evidenziando il buon grado di correlazione tra queste due misurazioni (16). La relazione tra diametro arterioso e *outcome* della FAV è stata studiata sulle fistole radio-cefaliche. Il fallimento immediato (nello stesso giorno dell'intervento chirurgico) e il fallimento precoce (nel corso delle prime 8-12 settimane dopo l'intervento chirurgico) risultano molto

frequenti quando vengono scelte per il confezionamento della FAV arterie di calibro ridotto (<1.5-1.6 mm): Malovrh riporta un fallimento immediato del 55% e un fallimento precoce del 64% per arterie con diametro ≤ 1.5 mm rispetto a percentuali molto più basse, 8% e 17% rispettivamente, per arterie con diametro >1.5 mm (16). Parmar et al. riportano un 46% di fallimento precoce per arterie con diametro <1.5 mm rispetto a nessun fallimento per diametri >1.5 mm (17). Wong et al. andavano incontro a un fallimento precoce per tutte le FAV confezionate con arterie di diametro ≤ 1.6 mm (6). In un altro studio, le fistole pervie avevano un diametro radiale pre-operatorio di 2.7 mm rispetto a 1.9 mm delle FAV che andavano incontro a fallimento (18). Un diametro minimo di 2 mm è stato suggerito da Silva et al. che, in presenza di tale caratteristica dell'arteria radiale, riportavano un 8% di fallimento precoce e un 83% di pervietà primaria a 1 anno (19). Tuttavia, poiché in letteratura viene riportata una percentuale di successo della FAV di circa il 50% anche in presenza di un diametro arterioso <1.5 mm (17), al momento non è corretto indicare un valore soglia ideale per il diametro dell'arteria radiale, ma dobbiamo limitarci a concludere che maggiore è il diametro dell'arteria utilizzata per l'intervento chirurgico e più probabile sarà il successo della FAV in termini di pervietà e sopravvivenza (5, 6, 16, 18, 19). Questo anche in considerazione del fatto che il diametro arterioso rappresenta solo uno dei fattori che possono influenzare il successo nel confezionamento di una fistola e che esso va valutato insieme agli altri parametri clinico-ecografici che nel complesso ci possono dare indicazioni sullo stato anatomico-funzionale dell'arteria e possono indirizzarci nella scelta della sede di confezionamento della FAV (la qualità funzionale dell'arteria è importante ai fini di un successo della FAV e non è necessariamente correlata al diametro interno del vaso, vedi, per esempio, il caso delle FAV pediatriche).

Non vi sono, invece, raccomandazioni relativamente al diametro dell'arteria brachiale in quanto, considerato il suo calibro costituzionalmente più ampio rispetto all'arteria radiale, tale valutazione risulta essere meno cruciale per il buon esito dell'intervento chirurgico (4).

La presenza di un'arteriopatia che può inficiare il successo della FAV può essere facilmente valutata con l'esame *B-Mode* ad alta risoluzione mediante la valutazione dello spessore e delle alterazioni di parete. Le alterazioni della parete arteriosa sono, infatti, frequenti nei pazienti affetti da insufficienza renale cronica, soprattutto se anziani, diabetici e aterosclerotici (5). Lo spessore medio-intimale viene valutato in scansione longitudinale sulla parete distale dell'arteria, presenta una buona correlazione con la misurazione istologica e il suo aumento sembrerebbe essere strettamente correlato al fallimento della fistola (20). Le calcificazioni

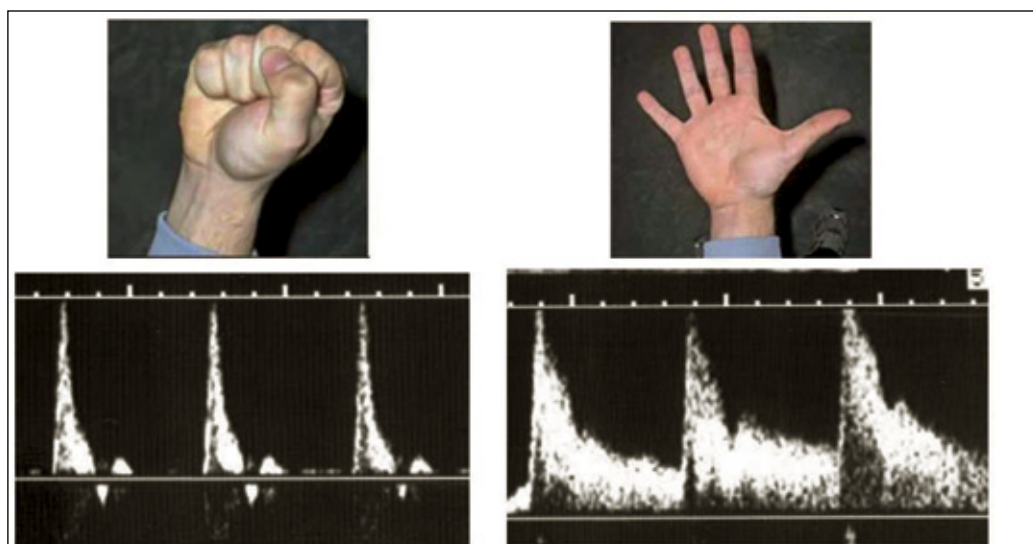
vengono individuate ecograficamente sotto forma di iperecogenicità (+/- eventuale cono d'ombra) della parete arteriosa e di irregolarità della lamina intimale. Sebbene tali alterazioni di parete siano facilmente identificabili, risultano essere difficilmente quantificabili; esse, inoltre, non rappresentano una controindicazione al confezionamento della fistola ma possono influenzarne l'*outcome* o comunque determinare difficoltà chirurgiche (12).

L'ECD rappresenta una metodica molto accurata anche per l'identificazione di lesioni arteriose stenotiche (sensibilità e specificità del 91% e del 100% per l'arteria succlavia, del 93% e del 100% per le arterie del braccio e dell'89% e del 99% per le arterie dell'avambraccio rispettivamente) e ostruttive (sensibilità del 90% e specificità del 99%) (21) e per la diagnosi di anomalie vascolari quali la biforcazione a livello della porzione più prossimale del braccio dell'arteria omerale.

Lo studio funzionale arterioso prevede, come già accennato, la valutazione del flusso ematico e della capacità dell'arteria a dilatarsi. Il flusso ematico può essere valutato in scansione longitudinale mediante la misurazione del diametro vasale e della velocità media del sangue in cm/sec (vedi calcolo portata di seguito), ma il suo valore predittivo sull'*outcome* della FAV è stato specificamente valutato soltanto da uno degli studi sull'argomento presenti in letteratura (5); in particolare, in tale studio il flusso dell'arteria radiale nel gruppo di pazienti che andavano incontro a successo nel confezionamento di FAV radio-cefalica era >50 mL/min (5).

Dopo l'intervento chirurgico, in presenza di un'adeguata maturazione delle fistole, l'arteria che rifornisce di sangue la FAV tende a dilatarsi (a causa di una riduzione delle resistenze periferiche) provocando un incremento del flusso sanguigno all'interno dell'accesso vascolare e determinando una trasformazione dello spettro Doppler arterioso da trifasico (ad alta resistenza) a bifasico (a bassa resistenza). Tale capacità dell'arteria di andare incontro a un aumento del calibro vasale (distensibilità) può essere determinata nel pre-operatorio valutando le variazioni dello spettro Doppler dell'arteria radiale durante il cosiddetto "test dell'iperemia reattiva" (Fig. 1) (5). Con il termine di iperemia reattiva si intende il fisiologico incremento del flusso ematico all'interno di un'arteria dopo un periodo di ischemia. Nel suddetto test, l'ischemia viene indotta chiedendo al paziente di serrare la mano a pugno per 2 minuti mentre l'incremento di flusso nel vaso arterioso (iperemia reattiva) viene osservato immediatamente dopo la riapertura del pugno (5). Lo spettro Doppler dell'arteria, normalmente trifasico e ad alta resistenza durante la fase dell'ischemia, si trasforma in uno spettro bifasico a bassa resistenza

Fig. 1 - Test dell'iperemia reattiva. A sinistra, fase dell'ischemia (pugno chiuso) con relativo spettro Doppler; a destra, fase dell'iperemia reattiva (apertura della mano) con relativo spettro Doppler.



durante la fase dell'iperemia reattiva (se il vaso è ben funzionante e quindi capace di dilatarsi) (Fig. 1) (5). Tale variazione dello spettro Doppler può essere quantificata attraverso il calcolo dell'indice di resistenza (IR) [$IR = (\text{velocità di picco sistolico} - \text{velocità telediastolica}) / \text{velocità di picco sistolico}$]: in particolare, quanto maggiore sarà l'iperemia reattiva, tanto minore sarà l'IR (5). Lo studio di Malovrh ha mostrato che la mancanza di iperemia reattiva (intesa come un $IR > 0.7$ dopo l'apertura del pugno) indica che il flusso arterioso non aumenta sufficientemente durante il test e ciò predice l'immediato fallimento della fistola dopo l'intervento chirurgico (5). In base a quanto detto, risulta evidente che il test dell'iperemia reattiva rappresenta un ottimo indice dello stato funzionale dell'arteria e risulta essere particolarmente utile nella scelta dell'arteria e quindi della sede (polso, avambraccio o regione del gomito) dove effettuare l'intervento chirurgico.

Mapping venoso pre-operatorio

L'ECD venoso pre-operatorio prevede la valutazione del sistema venoso superficiale e profondo dell'arto superiore, dal polso fino alle vene centrali; per queste ultime, in particolare, l'esame ecografico consente un'agevole valutazione fino alla porzione più distale della vena succlavia, mentre la porzione prossimale della vena succlavia e la vena anonima non sempre risultano essere direttamente visualizzabili (11). La vena cava superiore, invece, non può essere valutata mediante ECD a causa della sua sede anatomica all'interno della gabbia toracica.

Il circolo venoso superficiale viene valutato in scansione trasversale, dopo il posizionamento di un laccio

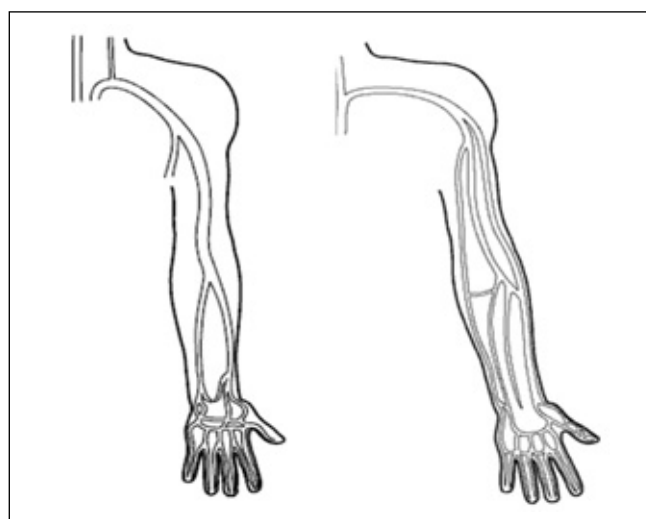


Fig. 2 - Esempio di schema per il mappaggio pre-operatorio. A sinistra, mappaggio arterioso; a destra, mappaggio venoso.

emostatico alla radice dell'arto, a partire dalla vena cefalica al polso fino al suo sbocco nel sistema venoso profondo (4); anche la vena basilica dovrebbe essere valutata lungo tutto il suo decorso, mentre essa viene spesso esaminata solo nel caso in cui la vena cefalica non viene ritenuta adeguata per il confezionamento della FAV (4). Tale valutazione nel complesso permette di tracciare una vera e propria mappa del circolo venoso superficiale (Fig. 2).

I parametri ecografici utili per valutare l'adeguatezza di una vena superficiale per il confezionamento di una FAV includono l'aspetto della parete venosa, il decorso del vaso, la pervietà vasale, il

diametro e la distensibilità vasale e la presenza di circoli collaterali (4, 11).

Una vena normale si caratterizza per la presenza di una parete sottile e regolare, di un lume completamente anecogeno e di una totale comprimibilità alla pressione esercitata con la sonda (22). Il decorso del vaso deve essere sufficientemente rettilineo (per almeno 8-10 cm) e deve avere una profondità inferiore ai 6 mm rispetto al piano cutaneo in modo da consentire un'agevole venipuntura (23). La pervietà della vena viene valutata mediante una compressione intermittente esercitata con la sonda che provoca il totale collabimento delle pareti vasali (4); l'assenza di comprimibilità della vena sotto la pressione del trasduttore, spesso associata alla presenza di materiale ecogeno all'interno del lume vasale, è indice di ostruzione (22). Nei casi dubbi, la pervietà della vena può essere stabilita valutando la presenza di segnale colore dopo l'accensione del modulo Color-Doppler con basse frequenze di ripetizione dell'impulso o valutando la presenza del tracciato Doppler in scansione longitudinale (22). Uno spettro Doppler venoso normale si caratterizza per un flusso continuo e a bassa velocità (che diventa fasico con la respirazione e l'attività cardiaca man mano che si risale verso le vene centrali); l'assenza di tale flusso conferma l'ostruzione. L'analisi dello spettro Doppler può essere utilizzata anche per valutare indirettamente e con buona accuratezza la pervietà delle vene anonime e della vena cava superiore. Infatti, la presenza a livello della vena succlavia e della vena giugulare interna di una curva velocimetrica fasica con gli atti respiratori e con il ciclo cardiaco è un indice indiretto di pervietà della vena anonima omolaterale e della vena cava superiore; al contrario, la presenza di una curva monofasica indica la presenza di una steno-occlusione (5, 11, 12, 24). Tuttavia, nel sospetto di lesioni steno-trombotiche dei vasi centrali, dovrebbe essere comunque effettuato un esame flebografico (23).

Il diametro della vena deve essere valutato in più punti dell'arto superiore e può essere misurato sia in scansione longitudinale che trasversale (12), evitando di esercitare un'eccessiva pressione con la sonda (mediante l'utilizzo di abbondanti quantità di gel), per non sottostimare tale misura. Mentre è ormai diffusamente accettato che le fistole confezionate con vene di piccole dimensioni (<1.6 mm) vanno in genere incontro a fallimento precoce (6), non vi è, tuttavia, accordo su quale sia il diametro minimo della vena cefalica che predice una buona maturazione della FAV radiocefalica. In base ai loro risultati, Silva et al. suggeriscono, in presenza di laccio emostatico, un diametro venoso minimo ≥ 2.5 mm (19) mentre, in assenza di laccio emostatico, Mendes et al. suggeriscono un diametro venoso minimo > 2 mm (25). Anche per le vene

del braccio non esistono indicazioni ben documentate sul diametro venoso minimo ma viene comunque raccomandato un valore di almeno 3 mm (12).

Dopo il confezionamento della FAV, la vena tende a dilatarsi sotto l'influenza dell'aumentato flusso ematico. Tale capacità della vena a dilatarsi (distensibilità venosa) può essere valutata nel corso del *mapping* pre-operatorio misurando il diametro venoso prima del posizionamento per almeno 2 minuti di un laccio emostatico (o di uno sfigmomanometro insufflato a 50-60 mmHg) e dopo e valutandone l'incremento percentuale (12, 26). L'effetto della distensibilità venosa sull'*outcome* della fistola è stato valutato in due studi: Malovrh nel suo studio conclude che la distensibilità venosa predice il fallimento immediato della FAV in quanto nelle fistole confezionate con successo la percentuale di dilatazione era del 48% contro l'11% delle fistole andate incontro a fallimento (5); Lockhart et al. riportano che l'utilizzabilità in dialisi delle fistole era simile per le vene cefaliche con diametro ≥ 2.5 mm e per le vene di più piccole dimensioni che raggiungevano un diametro ≥ 2.5 mm solo dopo il posizionamento del laccio emostatico, concludendo che la distensibilità venosa dovrebbe essere testata soprattutto nel caso di vene apparentemente di piccolo calibro per valutarne meglio il "vero" diametro massimo (27, 28).

Alcuni Autori hanno suggerito un'associazione tra la presenza e il diametro di circoli collaterali con la mancata maturazione della FAV. Wong et al. hanno evidenziato che la presenza di circoli collaterali a meno di 5 cm della sede scelta per il confezionamento dell'anastomosi può alterare la funzionalità della fistola (6), mentre Beathard et al. hanno evidenziato l'importanza delle dimensioni dei circoli collaterali dimostrando una più frequente mancata maturazione della FAV in presenza di grossi circoli collaterali (29).

MATURAZIONE DELLA FAV E CALCOLO DELLA PORTATA

Quale ruolo ha l'ECD nel valutare la maturazione di una FAV?

Con il termine **maturazione** si intende lo sviluppo di quelle caratteristiche fisiche che rendono una **FAV adeguata alla venipuntura** con aghi di grosso calibro (23). Molto spesso è proprio il mancato raggiungimento della maturazione che rende le FAV non utilizzabili per la dialisi. Infatti, nonostante gli evidenti vantaggi in termini di morbilità e mortalità nel lungo termine che fanno delle FAV l'accesso vascolare di scelta per i pazienti in emodialisi (23), l'anastomosi artero-venosa con vasi nativi risulta essere gravata da un'elevata incidenza di occlusione precoce e di mancata maturazione (il "*failure to mature* o *FTM*" degli anglosassoni) nel

periodo post-operatorio. In particolare, il FTM della FAV radio-cefalica presenta un'incidenza del 30-60% nelle varie casistiche pubblicate (13, 30).

Ma come si fa a valutare la corretta maturazione di una FAV? Generalmente, l'esame obiettivo condotto da un infermiere esperto di dialisi è sufficiente e affidabile nel giudicare matura (e quindi pungibile) una fistola (13). Il problema sorge in quei casi in cui la fistola non appare chiaramente matura all'esame ispettivo, come nei soggetti obesi o nelle FAV a lenta maturazione; in tali casi, l'esame ecografico e le sue valutazioni emodinamiche (calcolo della portata della FAV e dell'IR) possono aiutarci a capire se la FAV è idonea all'incannulamento o se siamo di fronte a un FTM che evolverà in una trombosi o in una fistola a bassa portata.

Nei soggetti obesi, per esempio, i vasi venosi, anche se presenti e ben sviluppati, possono essere difficilmente visibili e palpabili a causa della loro profondità; in tali casi, un ECD della FAV può permetterci di capire se la fistola è matura e un *mapping* ecografico delle vene efferenti può agevolare i primi incannulamenti e semplificare le successive punture (13). A tal proposito, è fondamentale ricordare che Rayner et al. (31) hanno proposto, e le Linee Guida K-DOQI hanno richiamato (23) con l'appellativo di "Regola del 6", le caratteristiche ecografiche che sanciscono che una fistola è matura e, quindi, pungibile: portata ematica >600 mL/min, diametro della vena efferente ≥ 6 mm e profondità della vena efferente ≤ 6 mm rispetto al piano cutaneo.

Per quanto riguarda le FAV a lenta maturazione è fondamentale determinare se la fistola si sta sviluppando, seppure lentamente, o se, invece, sta andando incontro a un FTM. In tale situazione, l'ECD e, in particolare, il calcolo periodico della portata dell'accesso vascolare a livello dell'arteria brachiale ci permettono di fare questa diagnosi differenziale. Prima del confezionamento di una FAV, infatti, lo spettro Doppler dell'arteria brachiale è classicamente trifasico (ad alta resistenza) e la portata oscilla tra gli 80 e i 150 mL/min (22, 32); immediatamente dopo il confezionamento dell'anastomosi artero-venosa, a causa della creazione di un "*locus minoris resistentiae*", la curva velocità/tempo dell'arteria brachiale diventa bifasica (a bassa resistenza) e il flusso ematico aumenta drammaticamente nelle prime 24 ore e tende, poi, ad aumentare più gradualmente e in tempi variabili fino alla completa maturazione dell'accesso vascolare (32). Lomonte et al. hanno valutato in 17 FAV radio-cefaliche la portata sull'arteria brachiale prima dell'intervento chirurgico e dopo 1, 7, 28 e 258 giorni dal confezionamento dell'anastomosi artero-venosa confermando che il più drammatico aumento percentuale del flusso della FAV si verifica dopo 1 giorno e rappresenta circa il 50% del flusso che la FAV raggiungerà dopo

28 giorni; successivamente l'incremento è meno ripido (33). In particolare, gli Autori concludono che la misurazione della portata della FAV valutata più volte nel corso del primo mese dopo l'intervento chirurgico può aiutarci a individuare le fistole che matureranno correttamente rispetto a quelle che andranno incontro a un FTM: in particolare, in base ai dati raccolti, si può concludere che la fistola avrà una buona maturazione se il flusso ematico sarà compreso tra 250-500 mL/min e tra 500-900 mL/min rispettivamente dopo 1 giorno e dopo 1 mese dal confezionamento dell'anastomosi (33). Al contrario, se i flussi misurati sono più bassi rispetto ai *range* indicati o, peggio ancora, se la portata dell'arteria brachiale tende a calare con il passare del tempo, la FAV non riuscirà ad avere una buona maturazione ed esiterà o in una trombosi o in un accesso con bassa portata che non potrà essere utilizzato in dialisi. Pertanto, nel corso della valutazione della maturazione di una FAV, il calcolo della portata mediante ECD dovrebbe sempre integrare l'esame clinico in quanto consente di valutare l'*outcome* dell'accesso vascolare e, in caso di FTM, permette di individuarne e, se possibile, di correggerne la causa.

Concludendo, in base a quanto detto e in risposta alla domanda iniziale "Quale ruolo ha l'ECD nel valutare la maturazione di una FAV?", appare evidente che il monitoraggio ultrasonografico può accompagnare la maturazione di una fistola fino al suo utilizzo, in particolare qualora si compia lentamente o nei soggetti con vasi non facilmente valutabili all'esame obiettivo (obesi); in particolare, l'ECD è forse l'unico esame strumentale che, mediante il calcolo della portata, consente una valutazione della FAV anche durante la maturazione. Un ECD prima dell'utilizzo della FAV dovrebbe, comunque, essere effettuato in tutti i pazienti al fine di acquisire degli elementi basali relativi all'accesso vascolare che possono poi tornare utili in successive valutazioni effettuate per subentrati problemi di utilizzo della fistola stessa (13).

Corretta esecuzione del calcolo della portata ematica di una FAV

Quando eseguito tenendo conto di tutta una serie di criteri di correttezza, il calcolo della portata ematica di una FAV mediante ECD rappresenta una procedura di semplice esecuzione, della durata di pochi minuti e facilmente riproducibile.

Per il calcolo della portata di un vaso con l'ECD si utilizza la formula (**Area x Velocità media x 60**), dove per area si intende l'area di sezione del vaso [cioè, essendo il vaso un cilindro, l'area di sezione è l'area di un cerchio calcolata come $(r^2 \times 3.14)$ in cm^2 (Fig. 3)], la velocità media è quella dei globuli rossi misurata in cm/sec (ricavata dalla registrazione del tracciato Dop-

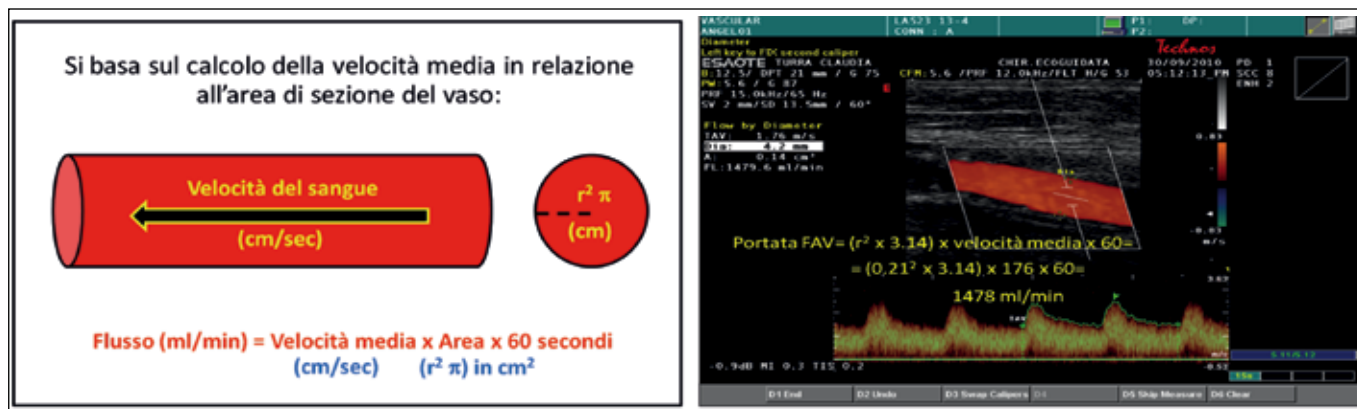


Fig. 3 - Calcolo della portata di una FAV. A sinistra, basi teoriche della formula utilizzata per il calcolo della portata ematica di un vaso sanguigno; a destra, esempio pratico di calcolo della portata di una FAV sull'arteria brachiale ottenuta sia mediante il software dell'ecografo ("Flow by diameter") che mediante calcolo manuale con applicazione della formula proposta ("Portata FAV").

pler nella sede in cui viene misurata l'area del vaso) e 60 sono i secondi presenti in un minuto di tempo (in quanto la portata viene misurata in mL al minuto) (11, 32). La valutazione del diametro vasale e della velocità media del sangue necessaria per il calcolo della portata ematica in base alla formula proposta può essere ottenuta mediante un'unica scansione longitudinale del vaso misurando prima il diametro vasale in *B-Mode* con *zoom* adeguato e poi la velocità media da una curva velocità/tempo (mediante l'opzione TAV, *Time Averaged Velocity*, presente nella maggior parte degli ecografi) ottenuta accendendo il modulo del Doppler pulsato e regolando la Pulse Repetition Frequency (PRF) in modo da non avere artefatti (Fig. 3). Ottenendo le due misure da un'unica scansione si è certi di averle eseguite entrambe nella stessa sede del vaso. In realtà, una volta effettuate le due misurazioni, per ottenere la portata ematica non occorre applicare la formula poiché gli ecografi moderni sono dotati di algoritmi di elaborazione atti a effettuare in automatico la misurazione della portata della FAV (Fig. 3).

Per quanto riguarda la sede di campionamento, dato che in corso di emodialisi pungiamo la vena arterializzata, la vena efferente della FAV dovrebbe essere la sede ideale per valutare l'esatta portata dell'accesso vascolare. In realtà, la misura della portata sulla vena efferente è imprecisa in quanto il vaso è facilmente comprimibile dalla sonda e presenta ampie variazioni di diametro a causa del decorso tortuoso e della presenza di collaterali che rendono impreciso e difficoltoso il calcolo dell'area di sezione del vaso. Inoltre, il versante venoso della FAV è caratterizzato da un flusso particolarmente turbolento che rende più difficoltoso il calcolo della velocità media. A causa di tutti questi particolari, misurare il flusso sull'arteria afferente alla FAV garantisce una maggiore precisione e risulta più facilmente riproducibile; tuttavia, misurare la portata

sull'arteria radiale in una FAV distale può sottostimare il flusso ematico in quanto una porzione variabile del flusso della fistola (25-30% circa) può giungere dall'arteria ulnare attraverso l'arcata palmare; tale "reverse flow" si verifica se il diametro della camera anastomotica è più grande dell'arteria che rifornisce la fistola di sangue arterioso. In base a quanto detto, è pertanto preferibile nella pratica clinica misurare la portata di una FAV sia distale che prossimale/prossimalizzata sull'arteria brachiale (11, 23, 32, 33). Le ragioni che fanno dell'arteria brachiale la sede ideale per la valutazione della portata di una FAV sono molteplici: risulta facilmente campionabile, non è comprimibile con le comuni pressioni esercitate dalla sonda, poco sopra la piega del gomito presenta un decorso obliquo che facilita il posizionamento del volume campione con un corretto angolo di insonazione e ha un flusso laminare che consente di registrare dei tracciati idonei per un preciso calcolo della velocità media. In caso di **fistole prossimali e protesiche**, per una maggiore accuratezza del calcolo della portata, si dovrebbe sottrarre al valore ottenuto il flusso dell'arteria brachiale a valle dell'anastomosi artero-venosa. In alternativa, per le **FAV protesiche** la portata può essere misurata direttamente sul condotto protesico, che, rispetto alle vene efferenti native, presenta un calibro più regolare e una maggiore resistenza alla pressione esercitata con il trasduttore.

Al fine di evitare errori di sovrastima o sottostima nel calcolo della portata di una FAV, occorre rispettare una serie di accorgimenti metodologici durante l'esecuzione della misurazione; innanzitutto, utilizzando la funzione di *zoom*, bisogna essere quanto più precisi possibile nella misurazione del diametro vasale in quanto a variazioni minime del diametro corrispondono importanti variazioni della portata (è evidente infatti che il raggio del vaso, essendo elevato al quadrato,

esercita un ruolo importante nella determinazione del flusso). Durante l'acquisizione della curva velocità/tempo è, inoltre, importante che il volume campione abbia una direzione parallela a quella del flusso ematico mantenendo un angolo di insonazione $<60^\circ$. Il volume campione deve essere sempre posizionato al centro del vaso ma con un'ampiezza tale da campionare il 50-70% del lume vasale, in modo da non valutare soltanto i globuli rossi che scorrono al centro del vaso con velocità maggiore rispetto ai globuli rossi che scorrono più vicini alle pareti. L'acquisizione della curva velocimetrica deve essere quanto più perfetta possibile; ciò si ottiene mediante un'attenta regolazione della PRF che elimini ogni tipologia di artefatti.

MONITORAGGIO/SORVEGLIANZA DELLA FAV (FOLLOW-UP E DIAGNOSI PRECOCE DELLE COMPLICANZE)

Di fronte a una FAV ben funzionante, il ruolo del nefrologo consiste nel garantirne la più lunga sopravvivenza possibile mediante la prevenzione, la diagnosi precoce e il trattamento tempestivo delle complicanze. A tale scopo, le Linee Guida internazionali indicano per l'accesso vascolare uno specifico percorso di monitoraggio (esame obiettivo della FAV prima di ogni seduta emodialitica) e sorveglianza (*test* del ricircolo, pressioni venose/arteriose, calcolo della portata e altri parametri che forniscono informazioni sul corretto funzionamento della FAV e che devono essere praticati con cadenza mensile) (23). La misurazione del flusso ematico viene oggi riconosciuta come il miglior metodo di sorveglianza dell'accesso vascolare (23) in quanto valori ridotti di portata o una loro diminuzione nel tempo sono predittivi di trombosi sia per le FAV native che per quelle protesiche (32, 34-36). Esistono diverse metodiche per il calcolo del flusso ematico di una FAV (ECD, Angio-RMN, *ultrasound dilution technique*, *crit-line*, infusione di glucosio, differenziale di conducibilità, *dialysance* ionico) e non vi è una chiara preferenza per nessuna di queste da parte delle principali Linee Guida internazionali (10, 23). L'ECD rispetto alle altre metodiche indicate presenta lo svantaggio di non poter essere utilizzato in corso di emodialisi, ma ha il grande vantaggio di poter documentare la bassa portata di una FAV e di ricercarne contemporaneamente la causa (per esempio, visualizzare direttamente la presenza di una stenosi e stabilirne con precisione la sede e la severità) (11, 13, 32). Al fine di evitare interferenze emodinamiche (ipotensione) che possono indurre una sottostima della portata della FAV, il calcolo del flusso ematico mediante ECD non deve essere effettuato nell'immediato periodo post-dialitico ma è preferibile effettuare la misurazione nel giorno interdialitico o prima dell'inizio della seduta dialitica.

I dati presenti in letteratura mostrano che, alla valutazione della portata con ECD, una FAV ben funzionante presenta dei flussi di 700-1300 mL/min (32, 33) e che portate ematiche <500 mL/min (11, 23) e <300 mL/min (11, 32) sono indicative rispettivamente di disfunzione dell'accesso vascolare e di possibile imminente trombosi. In aggiunta a questi valori assoluti, ulteriori studi hanno dimostrato che, nel caso di misurazioni mensili consecutive, una riduzione della portata $>25\%$ in un ristretto arco di tempo (1-4 mesi) in un accesso precedentemente stabile e con flusso ematico >1000 mL/min necessita di un approfondimento diagnostico strumentale sulla FAV in quanto è predittiva per la presenza di stenosi e di trombosi dell'accesso vascolare (13, 23, 34-36).

Il calcolo della portata della FAV mediante ECD può risultare, inoltre, particolarmente utile nel valutare l'efficacia di un intervento terapeutico messo in atto per risolvere una complicanza dell'accesso vascolare. In particolare, il mancato incremento della portata ematica di almeno il 20% dopo un intervento terapeutico (per esempio, una PTA per correggere una stenosi) indica il fallimento del trattamento e la necessità di una procedura alternativa (23).

Come precedentemente accennato, nel processo di sorveglianza della FAV l'ECD può essere utilizzato oltre che per il calcolo della portata anche come esame diagnostico finalizzato alla ricerca della causa di malfunzionamento dell'accesso vascolare. Tuttavia, a differenza del calcolo della portata, che risulta piuttosto semplice e che richiede poco tempo, lo studio ECD sistematico di una FAV risulta essere un esame impegnativo che richiede maggiore dispendio di tempo e una certa esperienza da parte dell'operatore. Tale esame (ma più in generale la diagnostica per immagini) è, pertanto, consigliato solo dopo la comparsa di anomalie alle indagini di monitoraggio/sorveglianza e nel caso di problemi nella regolare esecuzione della seduta emodialitica (difficoltà nella venipuntura, insufficiente flusso ematico intradialitico, elevate pressioni venose, prolungato sanguinamento dopo la rimozione degli aghi-fistola) piuttosto che nella ricerca sistematica di alterazioni dell'accesso vascolare.

Relativamente ai requisiti tecnici minimi di esecuzione dell'esame e alla posizione del paziente, vale quanto già accennato per il *mapping* pre-chirurgico; data la posizione relativamente superficiale dei vasi interessati al confezionamento di una FAV, è fondamentale ricorrere a sonde lineari a frequenza molto elevata (7.5-13 MHz) per ottenere il massimo dettaglio anatomico sulle pareti vasali e in particolare per poter valutare con accuratezza il versante parietale superficiale della vena efferente, soggetto potenzialmente ai maggiori danni da puntura (circa 300 punture/anno con aghi-cannula di grosso calibro da 15-16 Gauge)

(22). La parete della vena efferente dista, infatti, solo qualche millimetro dal piano cutaneo e l'uso di trasduttori a frequenza più bassa può rendere difficoltoso apprezzare lesioni nel suo contesto per l'impossibilità di ottenere una focalizzazione su piani così superficiali (22). Dato il decorso quasi sempre parallelo al piano cutaneo dei vasi della FAV e la conseguente necessità di ottenere un angolo di incidenza corretto (30-60°) del fascio ultrasonoro con la direzione del flusso, l'esame Doppler va eseguito con trasduttori con orientamento del fascio regolabile (funzione di "steering") (22).

La metodologia d'esame dovrebbe seguire i seguenti step:

- studio del versante arterioso afferente (compresa la valutazione della portata della FAV)
- studio della camera anastomotica
- studio del versante venoso efferente.

Per un'esauritiva valutazione della FAV, ciascuno dei 3 distretti in esame deve essere necessariamente esaminato mediante scansioni sia trasversali che longitudinali valutando sia l'aspetto morfologico (in B-Mode) che quello flussimetrico (con il Color-Doppler e il Doppler pulsato).

Di seguito vengono descritti separatamente (per motivi meramente didattici, in quanto nell'esecuzione pratica dell'esame le 3 valutazioni vengono in genere condotte anche contestualmente) i reperti B-Mode, Color-Doppler ed Eco-Doppler tipici di una FAV ben funzionante. La descrizione dei quadri ecografici relativi alle principali complicanze di una FAV renderebbe questa review eccessivamente lunga e, pertanto, viene rimandata a testi specialistici sull'argomento (22, 32).

Valutazione morfologica (B-Mode)

L'indagine viene in genere iniziata prossimalmente dall'arteria brachiale. In condizioni di normalità, le arterie appaiono, in sezione longitudinale, come una banda completamente anecogena delimitata da due pareti a struttura tristratificata. Con la tecnica *real-time*, le arterie sono ben riconoscibili dalle vene per la presenza di movimenti parietali sincroni con la sistole cardiaca e la mancata compressione con la sonda.

L'arteria brachiale viene seguita fino a raggiungere la piega del gomito dove si divide nell'arteria radiale e nell'arteria ulnare, decorrenti nell'avambraccio rispettivamente sul versante laterale e mediale. Il vaso arterioso afferente alla FAV, in genere l'arteria radiale, presenta un aumento costante e regolare del calibro vasale e modeste tortuosità del decorso, più marcate nel caso di FAV a elevata por-

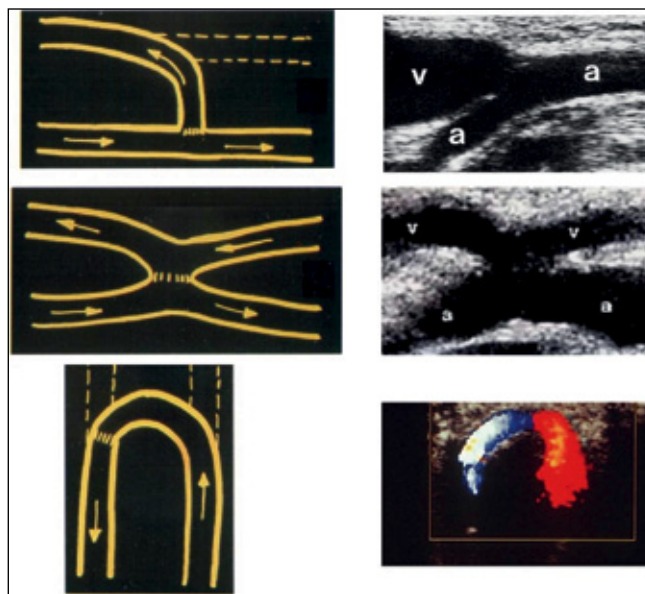


Fig. 4 - Tipologie di FAV e relative scansioni ecografiche longitudinali ottenute sulla regione anastomotica. In alto, FAV in L-T; al centro, FAV in L-L; in basso, FAV T-T.

tata. È inoltre frequente riscontrare una pulsatilità decisamente più accentuata rispetto al vaso analogo dell'arto controlaterale, soprattutto in prossimità dell'anastomosi (22).

L'esplorazione del versante arterioso continua sino a raggiungere distalmente, in corrispondenza del polso, l'anastomosi chirurgica, dal decorso frequentemente curvilineo. Sulla regione anastomotica è possibile rilevare una pulsatilità elevatissima tanto da generare il "fremito" dovuto alla turbolenza del flusso, percepibile sia palpatariamente sia ecograficamente come fini e rapidi movimenti vibratorii dei tessuti che circondano il vaso (22). Il tipo di immagine ecografica ottenuto sulla regione anastomotica ci può aiutare a definire la tipologia di FAV (T-T, L-T o L-L) (Fig. 4).

Se, a causa della non linearità della camera anastomotica, non si riesce a ottenere tale tipologia di immagini, la valutazione della presenza o meno del tratto arterioso e venoso distale rispetto al punto di confezionamento della FAV consentirà di individuare il tipo di anastomosi praticata.

La vena efferente si presenta tortuosa ed ectasica e con tratti di calibro variabile dovuti in genere al danno di parete indotto dalle venipunture ripetute. Le pareti vasali appaiono in genere lievemente ispessite per fenomeni di iperplasia intimale, fattore quest'ultimo che rende il vaso in grado di sopportare l'esecuzione delle periodiche e ripetute punture con aghi di grosso calibro (22).

Valutazione Color-Doppler

L'accensione del colore conferma la pervietà dei vasi esaminati. Come regola generale, anche per la FAV si usa regolare l'apparecchiatura in modo da "mappare" convenzionalmente il flusso arterioso in avvicinamento (quindi in rosso) e il flusso venoso in allontanamento (quindi in blu).

Tra i parametri che devono essere regolati per una corretta analisi flussimetrica, assume particolare importanza la frequenza di ripetizione dell'impulso (PRF). La PRF deve essere in genere regolata su valori più elevati (1000-6000 Hz) rispetto a quelli comunemente utilizzati nello studio dell'arto superiore, data la maggiore velocità di flusso presente nei vasi che partecipano alla formazione della FAV (22). Bisogna tenere presente che si tratta di una regolazione "dinamica", da variarsi più volte nel corso dell'esame per evitare sia l'insorgenza di *aliasing*, soprattutto in vicinanza dell'anastomosi dove il flusso è più rapido, sia una mancata codifica del flusso vasale venoso, cosa che accadrebbe, per esempio, dopo aver esaminato la FAV con PRF alte, nella successiva esplorazione del versante venoso efferente (22). Valori di PRF più bassi (inferiori a 1000 Hz) possono essere selezionati quando si è di fronte a un vaso apparentemente pervio, per aspetto morfologico e in seguito a manovre di compressione, ma privo di flusso endoluminale codificabile. È il caso che si verifica, per esempio, in corrispondenza dei grossi aneurismi venosi, per l'elevato calibro del lume che può determinare notevole rallentamento del flusso. Ricorrere a PRF basse è inoltre consigliabile, se non proprio necessario, per l'esplorazione dei vasi collaterali nel caso di FAV trombizzate o complesse (22).

Nella valutazione con Color-Doppler della FAV, il ramo arterioso afferente appare caratterizzato da flusso relativamente omogeneo e di tipo laminare (velocità massima al centro del vaso e velocità minima in periferia in prossimità delle pareti). In prossimità dell'anastomosi, si ha un incremento della velocità di flusso (dimostrato dall'apparire di tonalità di colore più chiaro, fino al bianco) e della turbolenza del flusso (dimostrata dall'alternarsi disordinato di rosso e blu nello stesso tratto del lume vasale). Per l'elevata portata e l'alternarsi di tratti successivi di diverso calibro, è frequente riscontrare nella vena efferente, soprattutto nel suo tratto più vicino all'anastomosi, zone a flusso vorticoso, che conferiscono alternata codifica di colore nel lume vasale con un caratteristico andamento spiroidale (22). Allontanandosi progressivamente dalla FAV, il calibro vasale tende a ridursi, le vorticosità diminuiscono e il flusso venoso diviene gradualmente più omogeneo e regolare (22).

Valutazione Eco-Doppler

In una FAV normale, l'Eco-Doppler mostra sul versante arterioso afferente una notevole riduzione delle resistenze periferiche rispetto all'arto contralaterale, con flusso anterogrado di cospicua entità durante tutta la fase diastolica (22). Avvicinandosi progressivamente all'anastomosi, si possono osservare nell'arteria afferente un progressivo e costante aumento della velocità (esteso sia alla fase sistolica che a quella diastolica) e un allargamento dello spettro, che risulta massimo in vicinanza dell'anastomosi, dove raggiunge la linea basale con scomparsa della finestra acustica (22). In corrispondenza dell'anastomosi, si osservano profili di flusso di tipo turbolento puro, con cancellazione della fascietà arteriosa, spettro ampio (esteso sopra e sotto la *baseline*) e velocità di picco sistolica elevata ed estremamente variabile in istanti successivi (22). Sul versante venoso, in prossimità dell'anastomosi, il flusso si presenta "arterializzato", conservando una netta fascietà sisto-diastolica e con spettro particolarmente ampio. Allontanandosi gradualmente dalla FAV, la fascietà arteriosa tende progressivamente a perdersi, la velocità media diminuisce e lo spettro assume le caratteristiche di un flusso venoso regolare (22).

RIASSUNTO

La FAV confezionata con vasi nativi rappresenta l'accesso vascolare di scelta per il paziente emodializzato in quanto, a parità di flusso, presenta minore incidenza di complicanze e più lunga sopravvivenza rispetto alle protesi e ai cateteri venosi centrali (1, 2).

L'avvento dell'ECD nell'armamentario di chi si occupa di chirurgia degli accessi vascolari ha, da un lato, aumentato il numero di pazienti in cui si riesce a confezionare una FAV con vasi nativi (grazie all'individuazione di vasi idonei all'intervento mediante il mapping pre-chirurgico) e, dall'altro, ha migliorato la sopravvivenza delle FAV grazie alla diagnosi precoce (monitoraggio post-operatorio) delle complicanze dell'accesso vascolare.

L'Eco-Color-Doppler è l'unica tecnica in grado di dare informazioni sia morfologiche che di funzionalità (flusso) dell'accesso vascolare; inoltre, è l'unica tecnica (tra quelle di diagnosi e per immagini) direttamente gestibile dal nefrologo e ciò rappresenta sicuramente un valore aggiunto.

Questa review fornisce una panoramica sulle possibili applicazioni dell'ECD nell'ambito del confezionamento e del follow-up delle FAV, con particolare riferimento al mapping pre-chirurgico, alla maturazione della FAV e al monitoraggio/sorveglianza della FAV.

DICHIARAZIONE DI CONFLITTO DI INTERESSI

Gli Autori dichiarano di non avere conflitto di interessi.

CONTRIBUTI ECONOMICI AGLI AUTORI

Gli Autori dichiarano di non avere ricevuto sponsorizzazioni economiche per la preparazione dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

1. III. NKF-K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Vascular Access: update 2000. *Am J Kidney Dis* 2001; 37 (Suppl. 1): S137-81.
2. Gibson KD, Gillen DL, Caps MT, et al. Vascular access survival and incidence of revisions: a comparison of prosthetic grafts, simple autogenous fistulas, and venous transposition fistulas from the United States Renal Data System Dialysis Morbidity and Mortality Study. *J Vasc Surg* 2001; 34: 694-700.
3. Konner K, Hulbert-Shearon TE, Roys EC, et al. Tailoring the initial vascular access for dialysis patients. *Kidney Int* 2002; 62: 329-38.
4. Ferring M, Henderson J, Wilmlink A, et al. Vascular ultrasound for the pre-operative evaluation prior to arteriovenous fistula formation for haemodialysis: review of the evidence. *Nephrol Dial Transplant* 2008; 23: 1809-15.
5. Malovrh M. Native arteriovenous fistula: preoperative evaluation. *Am J Kidney Dis* 2002; 39: 1218-25.
6. Wong V, Ward R, Taylor J, et al. Factors associated with early failure of arteriovenous fistulae for haemodialysis accesses. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1996; 12: 207-13.
7. Wells AC, Fernando B, Butler A, et al. Selective use of ultrasonographic vascular mapping in the assessment of patients before haemodialysis access surgery. *Br J Surg* 2005; 92: 1439-43.
8. Nursal TZ, Oguzkurt L, Tercan F, et al. Is routine preoperative ultrasonographic mapping for arteriovenous fistula creation necessary in patient with favorable physical examination findings? Results of a randomized controlled trial. *World J Surg* 2006; 30: 1100-7.
9. Allon M, Lockhart ME, Lilly RZ, et al. Effect of preoperative sonographic mapping on vascular access outcomes in hemodialysis patients. *Kidney Int* 2001; 60: 2013-20.
10. Tordoir J, Canaud B, Haage P, et al. EBPG on vascular Access. *Nephrol Dial Transplant* 2007; 22 (Suppl. 2): ii88-117.
11. Wiese P, Nonnast-Daniel B. Colour Doppler Ultrasound in Dialysis Access. *Nephrol Dial Transplant* 2004; 19: 1956-63.
12. Malovrh M. The role of sonography in the planning of arteriovenous fistulas for hemodialysis. *Semin Dial* 2003; 16: 299-303.
13. Davidson I, Chan D, Dolmatch B, et al. Duplex ultrasound evaluation for dialysis access selection and maintenance: a practical guide. *J Vasc Access* 2008; 9: 1-9.
14. Ferring M, Claridge M, Smith SA, et al. Routine preoperative vascular ultrasound improves patency and use of arteriovenous fistulas for hemodialysis: a randomized trial. *Clin J Am Soc Nephrol* 2010; 5 (12): 2236-44.
15. Robbin ML, Gallicchio MH, Deierhoi MH, et al. US vascular mapping before hemodialysis access placement. *Radiology* 2000; 217: 83-8.
16. Malovrh M. Non-invasive evaluation of vessels by duplex sonography prior to construction of arteriovenous fistulas for haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 1998; 13: 125-9.
17. Parmar J, Aslam M, Standfield N. Pre-operative radial arterial diameter predicts early failure of arteriovenous fistula for haemodialysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2007; 33: 113-5.
18. Lemson MS, Leunissen KM, Tordoir JH. Does pre-operative duplex examination improve patency rates of Brescia-Cimino fistulas? *Nephrol Dial Transplant* 1998; 13: 1360-1.
19. Silva MB Jr, Hobson RW, Pappas PJ, et al. A strategy for increasing use of autogenous hemodialysis access procedures: impact of pre-operative non invasive evaluation. *J Vasc Surg* 1998; 27: 302-7.
20. Ku YM, Kim YO, Kim J, et al. Ultrasonographic measurement of intima-media thickness of radial artery in pre-dialysis uremic patients: comparison with histological examination. *Nephrol Dial Transplant* 2006; 21: 715-20.
21. Wittenberg G, Schindler T, Tschammler A, et al. Value of color coded duplex ultrasound in evaluating arm blood vessels-arteries and haemodialysis shunts. *Ultraschall Med* 1998; 19: 22-7.
22. Rabbia C, Matricardi L. *Eco-Color-Doppler Vascolare*. Minerva Medica, III Edizione 2006.
23. NKF-K/DOQI. Clinical practice guidelines for vascular access update 2006. *Am J Kidney Dis* 2006; 48 (Suppl. 1): s176-322.
24. Patel MC, Berman LH, Moss HA, et al. Subclavian and internal jugular vein at Doppler US: abnormal cardiac pulsatility and respiratory phasicity as a predictor of complete central occlusion. *Radiology* 1999; 211: 579-83.
25. Mendes RR, Farber MA, Marston WA, et al. Prediction of wrist arteriovenous fistula maturation with preoperative vein mapping with ultrasonography. *J Vasc Surg* 2002; 36: 460-3.
26. Planken RN, Keuter XH, Hoeks AP, et al. Diameter measurement of the forearm cephalic vein prior to vascular access creation in end-stage renal disease patients: graduated pressure cuff versus tourniquet vessel dilatation. *Nephrol Dial Transplant* 2006; 21: 802-6.
27. Lockhart ME, Robbin ML, Fineberg NS, et al. Cephalic vein measurement before forearm fistula creation: does use of a tourniquet to meet the venous diameter threshold increase the number of usable fistulae? *J Ultrasound Med* 2006; 25: 1541-5.
28. Planken RN, Tordoir JH, Duijm LE, et al. Current techniques for assessment of upper extremity vasculature prior to hemodialysis vascular access creation. *Eur Radiol* 2007; 17: 3001-11.
29. Beathard GA, Arnold P, Jackson J, et al. Aggressive treatment of early fistula failure. *Kidney Int* 2003; 64: 1487-94.
30. Dember LM, Beck GJ, Allon M, et al. Effect of clopidogrel on early failure of arteriovenous fistula for hemodialysis: a randomized controlled trial. *JAMA* 2008; 299 (18): 2164-71.
31. Rayner HC, Pisoni RL, Gillespie BW, et al. Outcomes and practice patterns study. Creation, cannulation and survival of arteriovenous fistulae: data from the Dialysis Outcomes and Practice Study. *Kidney Int* 2003; 63: 323-30.
32. Napoli M. *Eco color doppler & accessi vascolari per emodialisi*. Wichtig Editore, I edizione Marzo 2010.
33. Lomonte C, Casucci F, Antonelli M, et al. Is there a place for duplex screening of the brachial artery in the maturation of arteriovenous fistulas? *Semin Dial* 2005; 18 (3): 243-6.
34. May RE, Himmelfarb J, Yenicesu M, et al. Predictive measures of vascular access thrombosis: a prospective study. *Kidney Int* 1997; 52: 1656-62.
35. Smits JH, Van der Linden J, Haegen EC, et al. Graft surveillance: venous pressure, access flow or the combination? *Kidney Int* 2001; 59: 1551-8.
36. Kim YO, Yang CW, Yoon SA, et al. Access blood flow as a predictor of early failures of native arterio-venous fistulas in hemodialysis patients. *Am J Nephrol* 2001; 21: 221-5.