

SEZIONE I ACCESSO VASCOLARE

Capitolo 1	<u>Guida all'accesso vascolare</u>	3
Capitolo 2	<u>Accesso venoso centrale</u>	23
Capitolo 3	<u>Il catetere vascolare a permanenza</u>	41

SEZIONE II PRATICHE COMUNI

Capitolo 4	<u>Profilassi alimentare</u>	63
Capitolo 5	<u>Tromboprofilassi venosa</u>	83
Capitolo 6	<u>Analgesia e sedazione in terapia intensiva</u>	99

SEZIONE III MONITORAGGIO FISILOGICO

Capitolo 7	<u>Ossimetria e capnografia</u>	123
Capitolo 8	<u>Catetere arterioso polmonare</u>	137
Capitolo 9	<u>Ossigenazione sistemica</u>	155

SEZIONE IV TERAPIA CON FLUIDI ENDOVENOSI

Capitolo 10	<u>Fluidi endovenosi</u>	177
Capitolo 11	<u>Gestione dei fluidi</u>	197

SEZIONE V COMPONENTI EMATICI

Capitolo 12	<u>Anemia e trasfusioni di globuli rossi</u>	217
Capitolo 13	<u>Piastrine e plasma</u>	237

SEZIONE VI SINDROMI DA SHOCK

Capitolo 14	<u>Approcci allo shock clinico</u>	259
Capitolo 15	<u>Shock emorragico</u>	281
Capitolo 16	<u>Shock cardiogeno</u>	299
Capitolo 17	<u>Sindromi da shock infiammatorio</u>	315

SEZIONE VII DISTURBI CARDIACI

Capitolo 18	<u>Insufficienza cardiaca acuta</u>	337
Capitolo 19	<u>Tachiaritmie</u>	357
Capitolo 20	<u>Sindromi coronariche acute</u>	379
Capitolo 21	<u>Arresto cardiaco</u>	399

SEZIONE VIII DISORDINI RESPIRATORI

Capitolo 22	<u>Embolia polmonare acuta</u>	419
Capitolo 23	<u>Asma e BPCO in UTI</u>	435
Capitolo 24	<u>Sindrome da distress respiratorio acuto</u>	453

SEZIONE IX GESTIONE RESPIRATORIA

Capitolo 25	<u>Ossigenoterapia</u>	477
Capitolo 26	<u>Ventilazione non invasiva</u>	497
Capitolo 27	<u>Ventilazione meccanica convenzionale</u>	513
Capitolo 28	<u>Il paziente ventilatore-dipendente</u>	531
Capitolo 29	<u>Polmonite associata a ventilazione meccanica</u>	549
Capitolo 30	<u>Svezzamento dalla ventilazione meccanica</u>	565

SEZIONE X DISORDINI DELL'EQUILIBRIO ACIDO-BASE

Capitolo 31	<u>Analisi dell'equilibrio acido-base</u>	583
Capitolo 32	<u>Acidosi lattica e chetoacidosi</u>	597
Capitolo 33	<u>Alcalosi metabolica</u>	615

SEZIONE XI DISTURBI RENALI ED ELETTROLITICI

Capitolo 34	<u>Danno renale acuto</u>	627
Capitolo 35	<u>Sodio</u>	645
Capitolo 36	<u>Potassio</u>	663
Capitolo 37	<u>Magnesio</u>	677
Capitolo 38	<u>Calcio e fosforo</u>	689

SEZIONE XII ADDOME E PELVI

Capitolo 39	<u>Insufficienza epatica</u>	705
Capitolo 40	<u>Pancreatite acuta</u>	721
Capitolo 41	<u>Infezioni addominali in terapia intensiva</u>	731
Capitolo 42	<u>Infezioni delle vie urinarie in UTI</u>	745

SEZIONE XIII ALTERAZIONE DELLA TEMPERATURA CORPOREA

Capitolo 43	<u>Disturbi della termoregolazione</u>	755
Capitolo 44	<u>La febbre in terapia intensiva</u>	771

SEZIONE XIV DISTURBI DEL SISTEMA NERVOSO

Capitolo 45	<u>Disturbi dello stato di coscienza</u>	791
Capitolo 46	<u>Disturbi del movimento</u>	809
Capitolo 47	<u>Ictus acuto in terapia intensiva</u>	827

SEZIONE XV NUTRIZIONE E METABOLISMO

Capitolo 48	<u>Fabbisogno nutrizionale</u>	849
Capitolo 49	<u>Nutrizione enterale</u>	867
Capitolo 50	<u>Nutrizione parenterale</u>	885
Capitolo 51	<u>Disfunzione surrenalica e tiroidea</u>	897

SEZIONE XVI SOVRADOSAGGI E INTOSSICAZIONI

Capitolo 52	<u>Sovradosaggi da farmaci</u>	911
Capitolo 53	<u>Intossicazioni non farmacologiche</u>	929

SEZIONE XVII APPENDICI		
Appendice 1	Unità di misura e conversioni	945
Appendice 2	Intervalli di riferimento selezionati	951
Appendice 3	Il corpo umano: una macchina meravigliosa	955

Guida all'accesso vascolare

Non si sbaglia quando si definisce l'uomo un animale che costruisce attrezzi.

Charles Babbage (a)

INTRODUZIONE

Uno dei più sensazionali eventi di autosperimentazione medica ebbe luogo in un piccolo ospedale tedesco nell'estate del 1929, quando un intrepido specializzando in chirurgia, di nome Werner Forssmann, si inserì un catetere uretrale in plastica nella vena basilica del braccio destro e lo fece avanzare fino all'atrio destro (1). Si trattò del primo caso documentato di cateterismo cardiaco destro in un soggetto umano, ma il dottor Forssmann non ricevette alcun riconoscimento perché aveva agito senza il consenso dei propri superiori. Anzi, fu prontamente sospeso dal suo internato per azioni giudicate inappropriate e sconsiderate. Al momento della sospensione, si sentì dire che "simili metodi sono adatti a un circo, non a un ospedale che si rispetti" (1). In seguito il dottor Forssmann divenne un medico di campagna, ma gli sforzi nel campo dell'incannulamento vascolare gli furono finalmente riconosciuti nel 1956, quando gli fu conferito il Premio Nobel per la Medicina.

I risultati ottenuti da Forssmann furono possibili grazie all'utilizzo di un catetere in plastica flessibile che poteva seguire in modo sicuro il decorso del sistema venoso durante l'avanzamento. Si trattò di una svolta epocale rispetto alla pratica tradizionale di incannulamento dei vasi sanguigni con aghi rigidi e cannule metalliche, che segnò l'inizio dell'era moderna dell'incannulamento vascolare con una vasta gamma di cateteri flessibili in plastica, come quelli descritti in questo capitolo.

FONDAMENTI DEL CATETERISMO

I cateteri vascolari sono realizzati in polimeri plastici sintetici chimicamente inerti, biocompatibili e resistenti alla degradazione chimica e termica. I cateteri utilizzati per l'incannulamento a breve termine (da giorni a settimane) sono in genere realizzati in *poliuretano*, un polimero versatile e flessibile, in grado di offrire una resistenza alla trazione sufficiente a evitare l'inghinocchiamento del catetere durante l'inserimento (le fibre elastiche utilizzate nei capi d'abbigliamento elasticizzati sono realizzate in poliuretano).

I cateteri utilizzati per l'accesso vascolare a lungo termine (mesi) sono in genere realizzati in *silicone*, che è molto più flessibile del poliuretano (per es. la tettarella dei biberon è in silicone) e ha meno probabilità di causare danni vascolari. A causa del-

la loro flessibilità, i cateteri in silicone sono difficili da inserire per via percutanea e sono utilizzati principalmente come cateteri impiantabili (per es. per la chemioterapia a lungo termine).

Calibro del catetere

Il calibro di un catetere vascolare corrisponde al suo *diametro esterno*. Esistono due unità di misura del calibro dei cateteri: gauge e french. La correlazione tra le due misure è mostrata nella Tabella 1.1.

Misura gauge

Il sistema in gauge fu introdotto (in Inghilterra) per la misurazione dei fili di ferro pieni ed è stato successivamente adottato per gli aghi e i cateteri cavi. La misura gauge esprime il numero di fili (o cateteri) che possono essere posizionati affiancati in un determinato spazio ed è inversamente proporzionale al diametro esterno (OD); in altre parole, maggiore è la misura del calibro, maggiore è il numero di cateteri che possono essere inseriti in un determinato spazio e minore è il loro OD. Purtroppo, l'OD effettivo per ogni misura gauge non è standardizzato e varia a seconda del produttore. Le misure gauge sono comunemente utilizzate per gli aghi, per i cateteri a lume singolo a foro piccolo e per i canali di infusione dei cateteri multilume; le misure variano in genere da 16 (diametro massimo) a 21 gauge (diametro minimo).

Misura french

Il sistema french, che prende il nome dal Paese di origine, fu introdotto per la misurazione dei tubi cavi (cateteri) e fornisce una misura più predicibile rispetto al sistema gauge. La scala french inizia da zero e ogni incremento di un'unità french rappresenta un aumento del diametro esterno di 0,33 millimetri (2):

$$\text{misura french (Fr)} \times 0,33 = \text{OD (mm)}. \quad (1.1)$$

Le misure french sono utilizzate per i cateteri multilume e per i cateteri a lume singolo a foro grande; le dimensioni variano in genere da 4 (1,2 mm OD) a 9 french (3,2 mm

Tabella 1.1 Correlazione tra misure french e gauge		
Misura french	Misura gauge	Diametro esterno
1	27	0,4 mm
3	20	0,9 mm
4	18	1,2 mm
5	16	1,7 mm
7	13	2,4 mm
9	11	3,2 mm

Dal catalogo 2016 di Access Technologies (disponibile su www.norfolkaccess.com).

OD). La misura french è utilizzata anche per i cateteri urinari, i tubi nasogastrici e i tubi di drenaggio pleurico.

Flusso attraverso i cateteri

I fattori che influenzano il flusso attraverso tubi stretti e rigidi (come i cateteri) sono stati descritti per la prima volta da un ingegnere civile tedesco (Gotthilf Hagen) e da un medico francese (Jean Marie Poiseuille), che lavoravano in modo indipendente intorno alla metà del XIX secolo. Le loro osservazioni sono espresse nella seguente equazione, nota come equazione di Hagen-Poiseuille (3)

$$Q = \Delta P \times (\pi r^4 / 8 \mu L). \quad (1.2)$$

Questa equazione afferma che la velocità di flusso costante o laminare (Q) in un tubo rigido è direttamente correlata al gradiente di pressione lungo il tubo ($\Delta P = P_{in} - P_{out}$) e alla quarta potenza del raggio del tubo (r^4), ed è inversamente proporzionale alla lunghezza del tubo (L) e alla viscosità del fluido (μ). Il termine tra parentesi equivale al reciproco della resistenza (secondo la relazione: $Q = \Delta P \times 1/R$), quindi la resistenza al flusso può essere espressa come: $R = 8 \mu L / \pi r^4$.

L'equazione di Hagen-Poiseuille dimostra inoltre che il flusso varia in senso opposto alle variazioni di lunghezza di un catetere, come si evince dal grafico a destra nella Figura 1.1 (5). Si noti che il passaggio da un catetere di 5 cm (2 pollici, lunghezza comune per i cateteri venosi periferici) a un catetere di 15 cm (6 pollici, lunghezza comune per i cateteri venosi centrali) è associato a una riduzione del

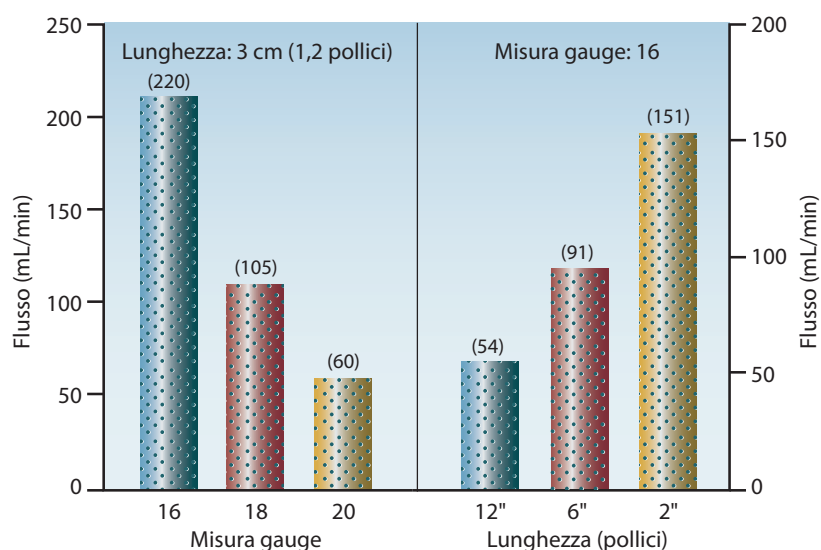


FIGURA 1.1 Grafici che mostrano l'influenza del diametro del catetere (*a sinistra*) e della sua lunghezza (*a destra*) sulla velocità di flusso. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni. Dati tratti dai riferimenti bibliografici 4 e 5.

40% del flusso; un ulteriore passaggio a un catetere di 30 cm (12 pollici, lunghezza disponibile per i cateteri venosi centrali) è associato a un'ulteriore riduzione del 40% del flusso.

Le informazioni appena presentate indicano che quando è necessaria l'infusione rapida di un volume, la scelta adeguata è un catetere a foro grande, quella ideale è un catetere corto a foro grande.

Pressione di infusione

La resistenza al flusso creata dai cateteri vascolari può essere superata aumentando il gradiente di pressione del flusso (cioè il ΔP dell'equazione 1.2). In un sistema di infusione per gravità, ciò si ottiene aumentando l'altezza del contenitore per infusione (sacca o flacone) rispetto al sito di incannulamento: per esempio, un'altezza di 68 cm (27 pollici) creerà una pressione di infusione di 50 mmHg (o una libbra per pollice quadrato, psi), mentre un aumento dell'altezza a 100 cm (39 pollici) aumenterà la pressione di infusione a 75 mmHg (1,5 psi) (6).

POMPE DI INFUSIONE: i fluidi e i farmaci somministrati per via endovenosa sono in genere erogati a velocità di infusione (o di dose) specifiche; questo controllo si ottiene con pompe di infusione programmabili che regolano la pressione di infusione (fino a 15 psi) per erogare una velocità di infusione (o di dose) preselezionata. Esistono due tipi di pompe di infusione: le *pompe volumetriche*, in grado di erogare un litro di fluido (da una sacca o da un flacone) a velocità di flusso comprese tra 0,1 e 1.000 mL/ora, e le *siringhe temporizzate* che funzionano con un volume inferiore (fino a 100 mL) ed erogano fluidi a velocità comprese tra 0,1 e 100 mL/ora (6). Le pompe volumetriche sono dispositivi di uso generale utilizzati per la somministrazione di fluidi e della maggior parte dei farmaci per via endovenosa, mentre le pompe a siringa sono comunemente usate per l'analgesia controllata dal paziente. Esistono anche pompe di infusione specializzate per la rianimazione in caso di emorragia massiva. Questi dispositivi erogano fluidi o emoderivati riscaldati a velocità fino a 1,5 L/min se abbinati a "cateteri per infusione rapida" specializzati, che hanno in genere un diametro di 7-8 french e una lunghezza di 5-6 cm (2-2,5 pollici).

CATETERI PER USO GENERALE

I cateteri endovenosi sono classificati come cateteri centrali o periferici in base alla seguente semplice distinzione: i cateteri centrali possono essere fatti avanzare in una delle vene cave, i cateteri periferici no. Di seguito vengono descritti i cateteri periferici e centrali utilizzati nell'assistenza quotidiana ai pazienti in terapia intensiva. I cateteri con funzioni specifiche, come i cateteri per emodialisi e i cateteri per arteria polmonare, sono descritti in altre sezioni del libro (si veda il Capitolo 8).

Cateteri periferici

I cateteri periferici vengono generalmente inseriti in una delle vene delle estremità superiori e non vengono fatti avanzare oltre la spalla. Sono stati identificati tre tipi distinti di cateteri periferici (7,8): cateteri periferici corti (lunghezza <6 cm),

cateteri periferici lunghi (lunghezza da 6 a <15 cm) e cateteri midline (lunghezza da 15 a 20 cm).

Cateteri periferici corti

Il metodo tradizionale di incannulamento delle vene periferiche prevede l'uso di un catetere di 16-22 G, lungo 3-5 cm (1-2 pollici), che viene posizionato in una vena visibile o palpabile (generalmente degli arti superiori) utilizzando un dispositivo catetere-su-ago simile a quello mostrato nella Figura 1.2. La punta del catetere è arretrata rispetto alla punta dell'ago introduttore ed è rastremata per favorire l'avanzamento atraumatico del catetere nel vaso sanguigno e prevenire danni ai tessuti. Quando la punta dell'ago sonda penetra nella vena, nel mozzo trasparente dell'ago compare un "ritorno" di sangue. A questo punto, il catetere viene fatto avanzare sopra l'ago e nel lume del vaso sanguigno.

L'incannulamento con cateteri periferici corti è preferibile perché consente un accesso vascolare rapido (quando una vena superficiale è visibile o palpabile), sebbene il tentativo iniziale di incannulamento fallisca in circa un terzo dei casi (9). Il principale svantaggio dei cateteri corti consiste nel limitato "tempo di permanenza" (tempo in cui un catetere a permanenza rimane funzionale); il tasso di fallimento riportato di questi cateteri è del 40-60% entro i primi 3 giorni (8). Le cause comuni di fallimento includono flebite localizzata, occlusione o dislocazione del catetere e perforazione vascolare con stravasamento dei liquidi infusi. I cateteri periferici corti sono particolarmente problematici nei pazienti in terapia intensiva, spesso agitati e soggetti alla dislocazione dei cateteri.

Cateteri periferici lunghi

I cateteri periferici lunghi (noti anche come "cateteri a permanenza prolungata") hanno generalmente una lunghezza di 8 cm (circa 3 pollici) e sono stati introdotti per migliorare la stabilità e il tempo di permanenza dei cateteri periferici corti. Gli studi clinici hanno confermato il maggior tempo di permanenza dei cateteri più lunghi (cir-

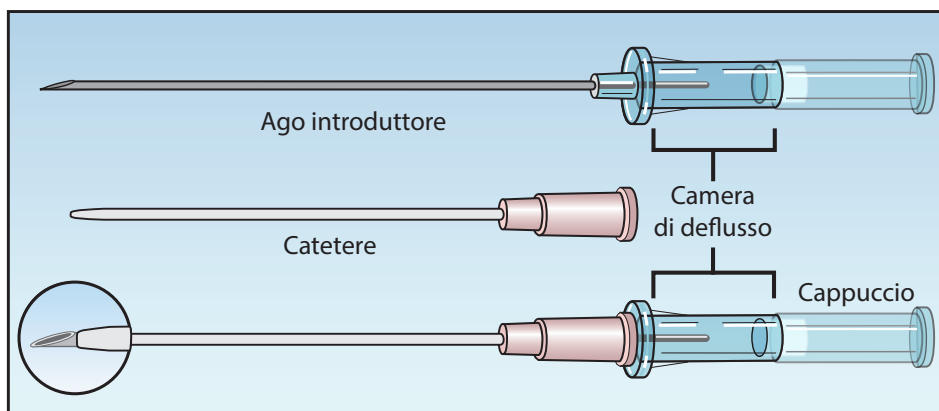


FIGURA 1.2 Catetere su ago utilizzato per incannulare le vene periferiche superficiali.

ca 7-9 giorni) (10). Nonostante questo vantaggio, i cateteri periferici lunghi non hanno avuto grande diffusione (perlomeno negli Stati Uniti), probabilmente a causa della crescente popolarità dei cateteri midline (si veda oltre).

Cateteri midline

I cateteri midline sono i più lunghi tra i cateteri venosi periferici (15-20 cm di lunghezza) e vengono inseriti in una delle tre vene profonde sopra la fossa antecubitale: le vene basilica, brachiale o cefalica (Fig. 1.3). Il sito di inserzione preferito è la vena basilica che risale il braccio mantenendosi a una certa distanza da arterie e nervi (a differenza della vena brachiale). Poiché le vene principali del braccio sono situate in profondità, per l'inserimento di un catetere midline si utilizza una guida ecografica (si veda oltre per una descrizione dell'incannulamento guidato da

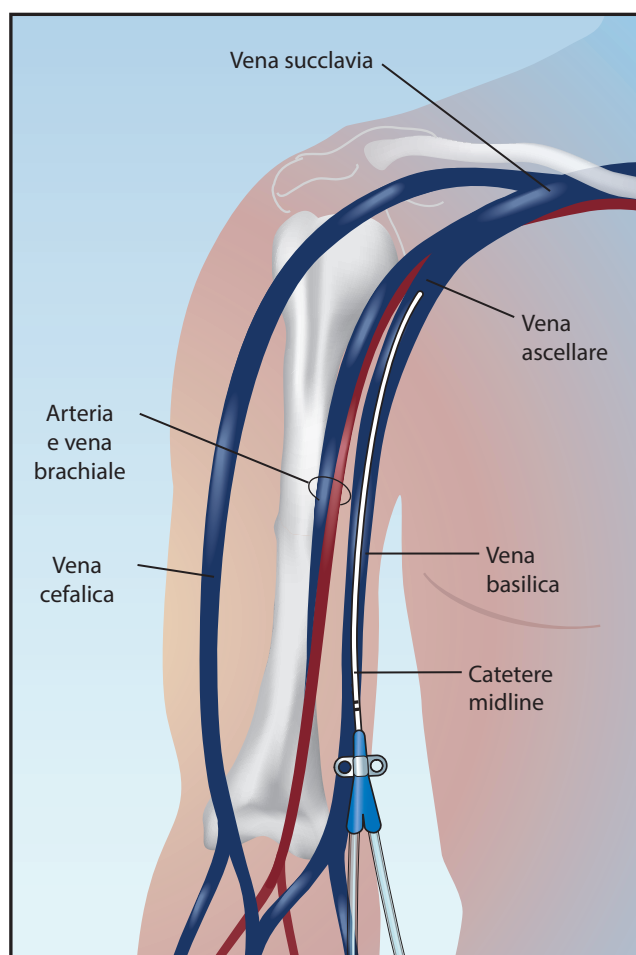


FIGURA 1.3 Illustrazione delle vene principali del braccio, con un catetere midline nella vena basilica (la vena più utilizzata per l'inserzione del catetere midline).

ultrasuoni). Se correttamente posizionati e gestiti, i cateteri midline possono rimanere funzionali per settimane; in uno studio clinico, per esempio, il tempo medio di permanenza dei cateteri midline è stato di 14 giorni (11). Lo stesso studio ha dimostrato inoltre la possibilità di effettuare l'infusione di vasopressori attraverso i cateteri midline per 7-8 giorni senza evidenza di stravaso o compromissione degli arti (11).

Il lungo tempo di permanenza dei cateteri midline li ha resi una scelta popolare quando si prevede un accesso venoso di molti giorni. In effetti, i cateteri midline sono attualmente considerati un'alternativa più sicura ai "cateteri centrali a inserzione periferica" o PICC (descritti nella sezione successiva), molto più lunghi e tradizionalmente preferiti per l'accesso venoso prolungato. Studi comparativi hanno dimostrato che i cateteri midline sono associati a una minore incidenza di occlusioni del catetere e di batteriemie catetere-correlate rispetto ai PICC (12). Sebbene esista un rischio leggermente più elevato di trombosi venosa profonda (TVP) correlata all'uso dei cateteri midline, l'incidenza di TVP con i cateteri midline è bassa (<5%) e la differenza tra midline e PICC è minima (<2%) (13).

I cateteri midline sono disponibili in lunghezze di 15 e 20 cm e possono avere da uno a tre canali di infusione. Il catetere a doppio lume lungo 15 cm è fra i più utilizzati (Tab. 1.2). Si noti che a una maggiore lunghezza del catetere midline corrisponde una riduzione della portata di flusso; in questo caso, la velocità di flusso per gravità in ciascun lume del catetere midline è solo il 20% circa della velocità di flusso del catetere periferico corto. Nonostante questa riduzione del flusso, la sua portata per gravità nel catetere midline rimane superiore al flusso massimo fornito dalle pompe di infusione volumetriche (cioè 1 L/ora).

Cateteri centrali

Come accennato in precedenza, i cateteri venosi centrali hanno un'estremità che raggiunge una delle vene cave. Esistono due tipi di cateteri centrali, in base alla posizione del sito di inserzione: i *cateteri centrali a inserzione periferica* (PICC) vengono inseriti in

Tabella 1.2 Caratteristiche comparative di cateteri periferici selezionati

Catetere	Misura	Lunghezza	Flusso (L/ora)*
Catetere periferico corto ¹	18 G	3 cm (1,2 pollici)	6,0
Catetere periferico lungo ²	18 G	8 cm (3,1 pollici)	3,7
Catetere midline a doppio lume ²	Misura: 5,5 Fr Lumi: 18 G	15 cm (6 pollici)	1,3/lume

* Tutte le velocità di flusso si riferiscono al flusso d'acqua per gravità da un'altezza di 101,5 cm (40 pollici).

¹ Dati ottenuti da www.emupdates.com (accesso 17/05/2022).

² Dati per i cateteri Arrow® ottenuti da www.teleflexvascular.com (visitato il 17/5/2022). G: misura gauge; Fr: misura french.

una delle vene del braccio, mentre i *cateteri centrali a inserzione centrale* (comunemente noti come *cateteri venosi centrali*) vengono inseriti in una delle vene principali in corrispondenza dell'ingresso toracico o nell'inguine.

Cateteri centrali a inserzione periferica

I cateteri centrali a inserzione periferica (PICC) sono essenzialmente una versione più lunga dei cateteri midline: vengono cioè inseriti attraverso le stesse vene dei cateteri midline, ma sono abbastanza lunghi da poter essere fatti avanzare fin nella vena cava superiore. Questi cateteri hanno avuto larga diffusione come alternativa più sicura ai cateteri venosi centrali nei casi di incannulamento problematico delle vene periferiche o in previsione di un accesso vascolare mantenuto per più di una settimana (14). Tuttavia, l'affermarsi dei cateteri midline come alternativa più sicura ai PICC ha decretato un declino costante della popolarità dei PICC nei pazienti ospedalizzati.

I PICC sono disponibili in lunghezze che vanno da 40 a 55 cm e possono avere da uno a tre canali di infusione. La scelta più diffusa è il PICC a doppio lume, lungo 50 cm (Tab. 1.3). Si noti che la maggiore lunghezza del PICC comporta una marcata riduzione della portata di flusso: per esempio, il PICC della Tabella 1.3 ha una lunghezza tripla rispetto al catetere midline della Tabella 1.2 e la portata di flusso risultante è solo il 20% di quella del catetere midline. La compromissione della portata di flusso dei PICC può spiegare l'incidenza relativamente elevata di occlusioni in questi cateteri (12).

Cateteri venosi centrali

I cateteri venosi centrali (CVC) hanno un ruolo fondamentale nel fornire un accesso venoso sicuro e multifunzionale nei pazienti critici (si veda il Capitolo 2 per la descrizione dell'inserzione dei CVC). Questi cateteri sono disponibili in lunghezze di 15, 20 e 30 cm e possono avere fino a 4 canali di infusione. Il CVC più utilizzato è un catetere a triplo lume, come quello mostrato nella Figura 1.4. Si noti che il lume distale ha un foro più grande (16 G) rispetto ai lumi prossimale e mediale (18 G); di conseguenza, la portata di flusso nel lume distale è più che doppia rispetto a quella degli altri lumi, come indicato nella Tabella 1.3. Per questo motivo, il lume distale di un CVC è il più adatto per infusioni rapide.

Tabella 1.3 Caratteristiche comparative dei cateteri centrali selezionati

Catetere	Misura	Lunghezza	Lumi	Flusso (L/ora)*
CVC a triplo lume	7 Fr	20 cm (8 pollici)	Distale (16 G)	2,28
			Mediale (18 G)	0,91
			Prossimale (18 G)	0,99
PICC a doppio lume	5,5 Fr	50 cm (20 pollici)	Distale (18 G)	0,26
			Prossimale (18 G)	0,27

* Tutte le velocità di flusso si riferiscono al flusso d'acqua per gravità da un'altezza di 40 pollici.

Dati per i cateteri Arrow® ottenuti da teleflexvascular.com (accesso 18/05/2022). CVC: catetere venoso centrale; PICC: catetere centrale a inserzione periferica; G: misura gauge; Fr: misura french.

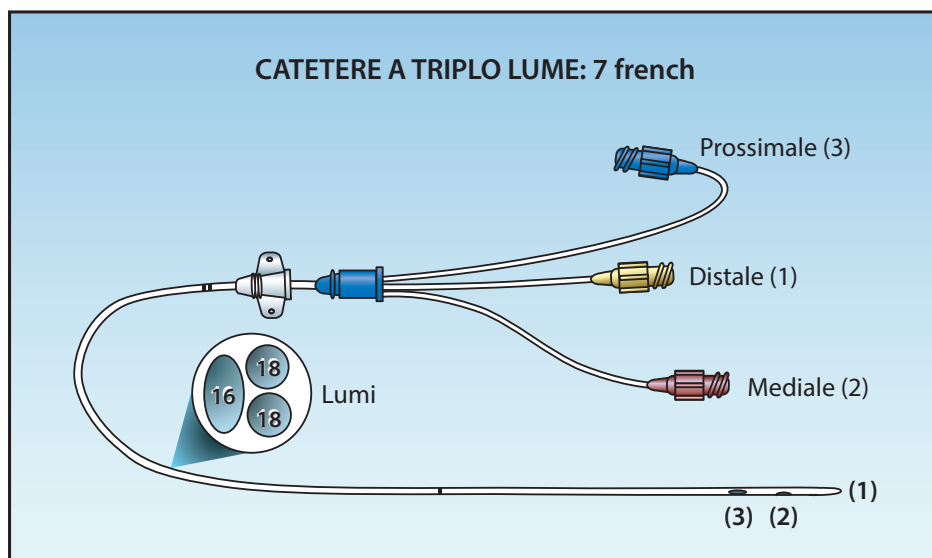


FIGURA 1.4 Catetere venoso centrale a tre lumi, che mostra le dimensioni in gauge di ciascun lume e la posizione delle porte di deflusso all'estremità distale del catetere. Questo è il modello attualmente più diffuso per i cateteri venosi centrali.

L'inserzione di CVC è stata un punto fermo dell'assistenza ai pazienti nelle unità di terapia intensiva, ma la popolarità dei CVC è in calo, perché sono emerse alternative più sicure (come i PICC e i cateteri midline).

Filo guida

L'incannulamento di tutte le vene, tranne quelle più superficiali e palpabili, avviene facendo avanzare il catetere su un filo guida posizionato nel lume della vena. La tecnica di incannulamento vascolare assistito da filo guida, introdotta per la prima volta da un angiografo svedese di nome Sven-Ivar Seldinger (e nota come *tecnica di Seldinger*) (15), è illustrata nella Figura 1.5. Un ago sonda a foro piccolo viene utilizzato per la puntura del vaso target. Quando la punta dell'ago penetra nel vaso, un filo sottile con una punta flessibile viene fatto passare attraverso l'ago e introdotto nel lume del vaso sanguigno (la punta flessibile riduce il rischio di lesioni endoteliali durante l'avanzamento del filo guida). L'ago viene quindi ritirato sul filo guida e il catetere viene fatto avanzare su di esso e nel lume del vaso sanguigno (nella pratica attuale, sul filo guida viene fatto avanzare dapprima un "catetere dilatatore" per creare un tratto che faciliti l'inserimento del catetere).

Riepilogo

I vantaggi e gli svantaggi dei cateteri vascolari per uso generale sono riassunti nella Tabella 1.4. Di seguito è riportato un breve riassunto di come questi cateteri vengono utilizzati per l'assistenza ai pazienti in terapia intensiva. I cateteri periferici

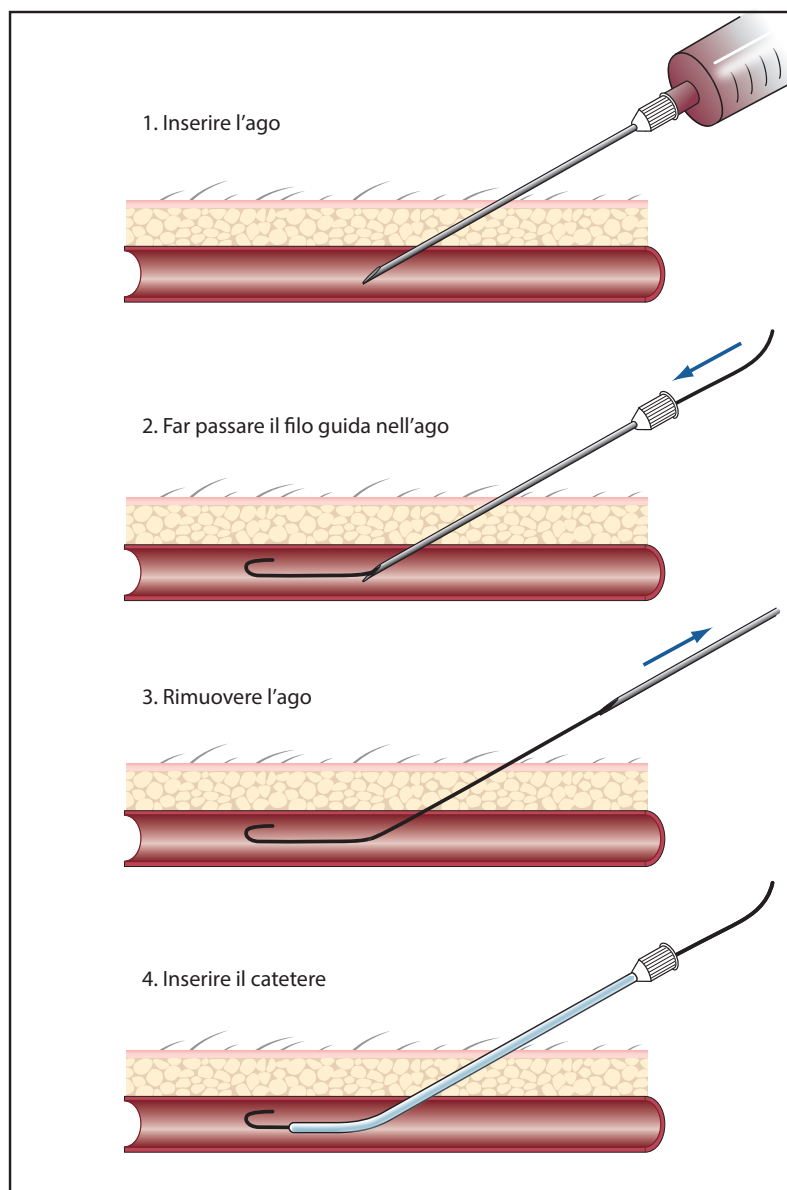


FIGURA 1.5 Fasi di incannulamento dei vasi sanguigni con filo guida (tecnica di Seldinger).

corti sono indicati per un accesso endovenoso (EV) rapido nella fase iniziale, ma nei pazienti che trascorrono più di qualche giorno in terapia intensiva è necessario un accesso EV più stabile. Questo è sempre stato fornito dai CVC, ma negli ultimi decenni i PICC hanno iniziato a soppiantare i primi per gli accessi EV a lungo termine. Più recentemente, i cateteri midline si sono imposti come una scelta accettabile per

Tabella 1.4 Riepilogo dei cateteri venosi per uso generale

Tipo di catetere	Vantaggi	Svantaggi
<i>Cateteri periferici</i>		
Catetere corto	• Accesso EV rapido • Basso rischio di setticemia	• Tempo di permanenza limitato • Alto tasso di fallimento
Catetere lungo	• Tempo di permanenza maggiore rispetto ai cateteri corti	• Può richiedere l'inserimento ecoguidato
Catetere lungo	• Tempo di permanenza massimo tra i cateteri periferici • Lumi multipli • Consente infusioni prolungate di vasopressori	• Richiede l'inserimento ecoguidato e un addestramento speciale
<i>Cateteri centrali</i>		
Catetere a inserzione periferica	• Minori rischi e maggiore accettazione da parte del paziente rispetto ai cateteri venosi centrali	• Alto tasso di occlusione • L'aumento della lunghezza può compromettere la velocità di infusione
Catetere venoso centrale	• Il catetere più versatile per uso generale	• Rischio di complicanze gravi

l'accesso EV a lungo termine e stanno sostituendo i CVC e i PICC in questo ambito. I PICC continuano, tuttavia, a essere molto utilizzati per i pazienti che richiedono una terapia endovenosa prolungata (più settimane). Il principale svantaggio dei cateteri midline e dei PICC consiste nella necessità di ricorrere a personale appositamente addestrato per l'inserzione di tali cateteri, il che ne limita la disponibilità. I cateteri venosi centrali rappresentano la scelta di riferimento per l'accesso venoso stabile e sono molto usati soprattutto nei pazienti con instabilità emodinamica potenzialmente fatale.

ECOGRAFIA VASCOLARE

L'introduzione della guida ecografica in tempo reale per guidare l'incannulamento vascolare ha aumentato notevolmente il tasso di successo e la sicurezza dell'incannulamento delle vene centrali e periferiche (16,17). Di seguito viene presentata una breve introduzione alla metodologia.

Metodo

L'ecografia vascolare utilizza sonde ad array lineari che emettono onde ultrasonore ad alta frequenza (5-15 MHz); ciò produce immagini ad alta risoluzione, ma limita la profondità di penetrazione dei tessuti (a circa 9 cm). Le onde riflesse verso la sonda (chiamate *echi*) vengono elaborate da un trasduttore che le converte in immagini in scala di grigi. Gli echi di ampiezza maggiore producono immagini più chiare o più bianche, mentre gli echi di ampiezza minore producono immagini più scure o più nere. Questa metodologia è nota come ecografia B-mode (Brightness-Mode) e produce immagini bidimensionali in scala di grigi. Le onde ultrasonore passano facilmente attraverso i fluidi, quindi i vasi sanguigni avranno un interno grigio scuro o nero sull'immagine ecografica.

Orientamento del fascio di ultrasuoni

Il fascio di ultrasuoni può essere allineato lungo l'asse longitudinale di un vaso sanguigno per riprodurre un'immagine sagittale del vaso (vista longitudinale), oppure può essere orientato in modo da attraversare un vaso sanguigno, riproducendo una sezione del vaso (vista trasversale). La Figura 1.6 illustra questo concetto. Si noti che nella vista longitudinale, l'ago sonda avanza lungo il piano del fascio di

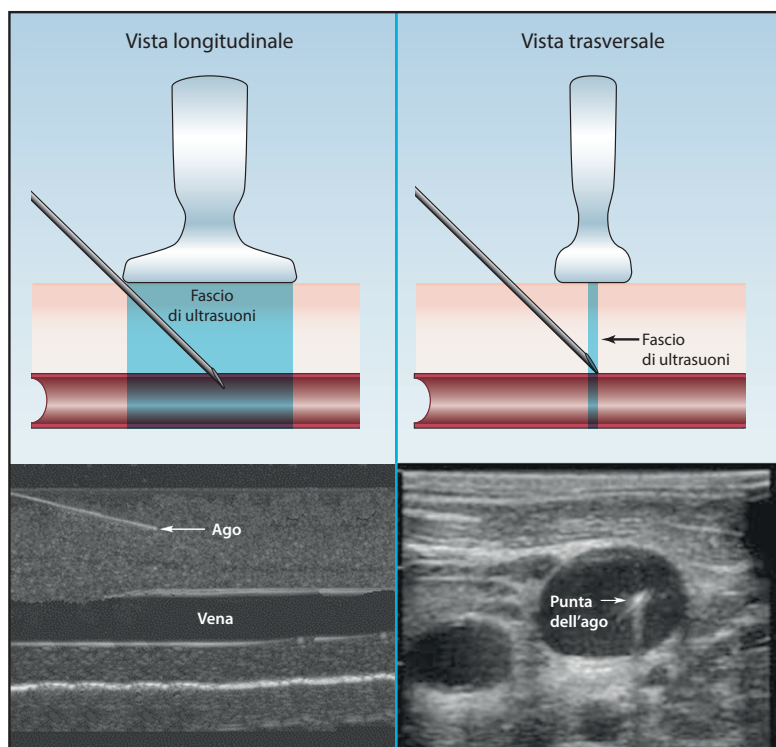


FIGURA 1.6 Orientamento del fascio di ultrasuoni nella vista longitudinale e trasversale e relativa influenza sulla capacità di visualizzare l'ago sonda. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni.

ultrasuoni e può essere visualizzato lungo tutto il suo percorso, mentre nella vista trasversale l'ago sonda non incontra il fascio di ultrasuoni finché non raggiunge il vaso target, dove è visibile solo come un punto ad alta intensità sull'immagine ecografica.

Quale vista è migliore?

Nessuna delle due viste è chiaramente superiore all'altra e ciascuna presenta vantaggi e svantaggi. Il vantaggio della vista trasversale consiste nella maggiore facilità di localizzazione della vena target e nella possibilità di visualizzare sia la vena che l'arteria associata (il che riduce il rischio di puntura arteriosa), mentre lo svantaggio è la limitata capacità di visualizzare l'ago sonda. La vista longitudinale consente di visualizzare l'ago sonda, il filo guida e il catetere durante l'incannulamento, ma non è in grado di visualizzare l'arteria associata e richiede una vena che abbia un decorso relativamente rettilineo.

Attualmente, la vista trasversale sembra essere la più utilizzata per localizzare il vaso target e confermare l'eventuale perforazione del vaso con l'ago sonda. La vista longitudinale è più indicata per confermare il posizionamento intraluminale del filo guida e del catetere (si veda oltre).

Protocollo

Il protocollo raccomandato per l'incannulamento vascolare ecoguidato comprende le seguenti fasi (16): *a*) identificazione della vena target, *b*) verifica della perforazione della vena con l'ago sonda e *c*) conferma del posizionamento intraluminale del filo guida e del catetere.

Distinzione tra vene e arterie

Esistono due metodi per distinguere le arterie dalle vene utilizzando l'ecografia. Il metodo più semplice (e più diffuso) consiste nel determinare la comprimibilità del vaso sanguigno; in altre parole, quando si applica una pressione alla cute sovrastante un vaso sanguigno, una vena collassa molto più facilmente di un'arteria. Questo è illustrato nella Figura 1.7, che mostra come una pressione esercitata sulla pelle sopra una vena giugulare interna e sulla vicina arteria carotide determini la compressione della vena, mentre l'arteria rimane intatta (un'eccezione a questo comportamento è la presenza di trombosi venosa, poiché una vena piena di trombi non è comprimibile).

Un'altra tecnica di imaging per identificare arterie e vene è l'eco-color Doppler, in cui la variazione di frequenza prodotta dalla direzione del flusso sanguigno (effetto Doppler) viene convertita in immagini a colori e sovrapposta all'immagine ecografica in scala di grigi (18). Un esempio è mostrato nella Figura 1.8, dove il colore rosso indica l'arteria femorale e il colore blu la vena femorale. Questi colori non sono specifici per arterie e vene, ma rappresentano la direzione del flusso sanguigno rispetto alla sonda ecografica (l'assegnazione dei colori è indicata nella legenda dei colori della Fig. 1.8).

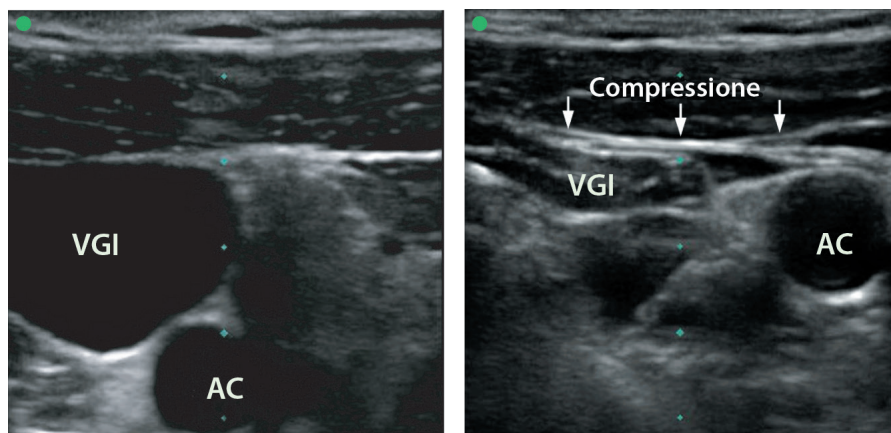


FIGURA 1.7 Comprimibilità per l'identificazione delle vene. L'immagine *a sinistra* è una vista trasversale della vena giugulare interna (VGI) e dell'arteria carotide (AC) alla base del collo, mentre l'immagine *a destra* mostra la compressione della vena quando si applica una pressione verso il basso sulla cute sovrastante. I punti verdi indicano l'aspetto laterale di ciascuna immagine.

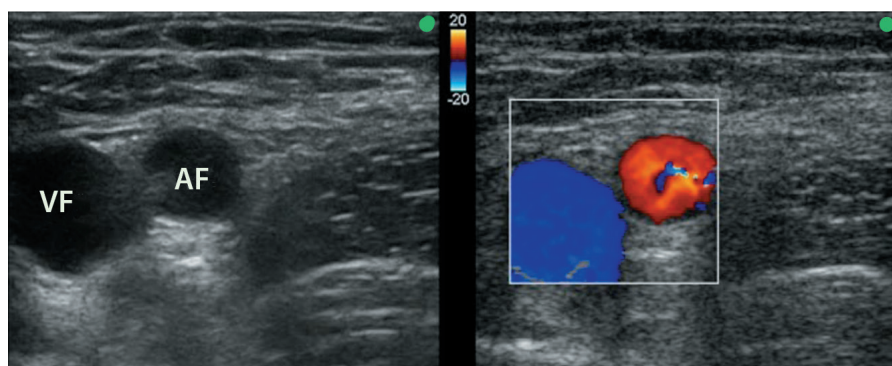


FIGURA 1.8 Imaging eco-color Doppler per l'identificazione di arterie e vene. L'immagine *a sinistra* è una vista trasversale dell'arteria femorale (AF) e della vena femorale (VF) nell'inguine, mentre quella *a destra* è un'immagine eco-color Doppler degli stessi vasi sanguigni che mostra l'arteria in rosso e la vena in blu. I punti verdi indicano l'aspetto laterale di ciascuna immagine.

Ago sonda

L'avanzamento dell'ago sonda per la puntura della vena target è facilmente visualizzabile nella vista longitudinale (si veda Fig. 1.6). Nella vista trasversale, l'ago sonda viene fatto avanzare con spinte brevi e decise per produrre uno spostamento del tessuto, che segna il percorso dell'ago, e la puntura della vena target viene verificata osservando un punto ad alta intensità nel lume del vaso (si veda Fig. 1.6).

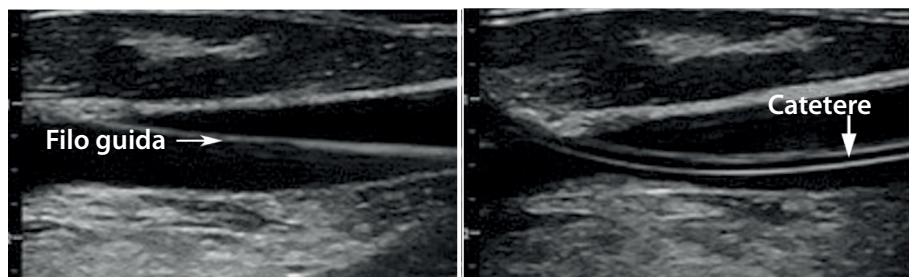


FIGURA 1.9 Vista longitudinale della vena giugulare interna che mostra il posizionamento intraluminale del filo guida e del catetere. Immagini tratte dal riferimento bibliografico 16.

Conferma del posizionamento del catetere

Le vene cominciano a collassare quando vengono perforate, il che determina una tendenza degli aghi sonda a perforare la parete posteriore della vena. Uno studio ha rilevato la perforazione della parete posteriore nel 40% degli incannulamenti ecoguidati nella vista trasversale e nel 18% degli incannulamenti nella vista longitudinale (19). A causa di questo rischio (e dato il grande utilizzo della vista trasversale), è importante confermare che il catetere sia stato posizionato nel lume del vaso sanguigno. A tal fine è necessario verificare che il filo guida sia stato fatto avanzare nel lume del vaso, come mostrato a sinistra nella Figura 1.9 (16). Il catetere viene quindi fatto avanzare sul filo guida e il posizionamento intraluminale del catetere viene confermato, come mostrato a destra nella Figura 1.9.

ACCESSO VASCOLARE INTRAOSSEO

La scoperta che i fluidi possono essere infusi nella cavità midollare delle ossa e raggiungere la circolazione sistemica risale alla metà degli anni '30. Tuttavia, non suscitò interesse fino ai bombardamenti di Londra della seconda guerra mondiale, quando la scarsa illuminazione dovuta ai frequenti blackout creava difficoltà nello stabilire gli accessi venosi. Fu allora che un intraprendente chirurgo di nome Hamilton Bailey iniziò a infondere fluidi nella cavità midollare dello sterno per rianimare le vittime dei bombardamenti (20). Nonostante l'entusiasmo iniziale, la via intraossea (IO) cadde nell'oblio quando furono introdotti i cateteri in plastica per l'incannulamento endovenoso (negli anni '50). L'interesse per la via intraossea si riaccese negli anni '80, quando fu adottata per la rianimazione pediatrica e in seguito utilizzata con successo negli adulti come via alternativa per l'accesso vascolare di emergenza.

Indicazioni

L'indicazione principale per l'accesso intraosseo è la necessità di un accesso vascolare d'emergenza quando l'accesso endovenoso (EV) è problematico o non è immediatamente disponibile. Questo scenario è più probabile nei pazienti che presentano arresto cardiaco, trauma grave o shock circolatorio; in ognuna di queste condizioni, l'accesso intraosseo si è dimostrato una valida alternativa all'accesso endovenoso (21-23). Una

caratteristica interessante della via intraossea è la struttura rigida della cavità midollare e del suo sistema di drenaggio, che (a differenza delle vene) non collassano in caso di ipotensione, ipovolemia o collasso cardiovascolare.

L'accettazione della via intraossea è dimostrata dalle più recenti linee guida sul supporto vitale avanzato dell'American Heart Association, che raccomandano di procedere all'accesso intraosseo in caso di insuccesso di un primo tentativo di accesso endovenoso o di impraticabilità dell'accesso endovenoso (21). Poiché circa due terzi dei casi di arresto cardiaco si verificano al di fuori dell'ospedale (24), la necessità di un accesso intraosseo si presenta principalmente sul campo. Di conseguenza, il personale preospedaliero (tecnici medici di emergenza e paramedici) è stato il principale destinatario della formazione per l'accesso intraosseo e il tasso di successo sul campo è pari al 97% (25). L'accesso intraosseo sul campo è importante anche per la gestione precoce dei traumi gravi (22), compresi quelli causati da conflitti armati (25), ed è incluso nella base di conoscenze per la certificazione Advanced Trauma Life Support (ATLS) dell'American College of Surgeons (26).

Controindicazioni

Le controindicazioni all'accesso intraosseo includono una frattura ossea o una precedente perforazione dell'osso (che possono determinare la fuoriuscita dei fluidi infusi), lesioni vascolari nell'arto bersaglio e ustioni, cellulite o osteomielite nel sito di incannulamento. Anche l'osteopetrosi (densità ossea anomala) è una controindicazione (23), ma si tratta di una condizione rara.

Siti di accesso intraosseo

I siti più utilizzati per l'accesso IO negli adulti sono due: la tibia prossimale (appena sotto il ginocchio) e l'omero prossimale (appena sotto la spalla). La tibia prossimale presenta due vantaggi: un tasso di successo più elevato (25,27) e una posizione che non interferisce con l'intubazione o le compressioni toraciche. L'omero prossimale ha il vantaggio di una maggiore portata di flusso (28), ma la tibia prossimale rappresenta il sito d'elezione negli adulti.

Tibia prossimale

Il sito di accesso nella tibia prossimale è localizzato su una superficie piatta dell'osso appena sotto il condilo mediale (Fig. 1.10). L'ago deve essere posizionato 3 cm inferiormente all'apice della rotula e 2 cm medialmente a tale punto.

Inserimento dell'ago

L'inserimento dell'ago IO può essere effettuato manualmente, ma è preferibile l'uso di un trapano automatico. Negli ultimi anni si è affermato l'uso di un dispositivo alimentato a batteria come quello mostrato nella Figura 1.10 (28,29). È possibile collegare a questo dispositivo tre diversi aghi IO, ciascuno da 15 G, disponibili nelle lunghezze di 15 mm (per bambini), 25 mm (per adulti di corporatura media) e 45 mm (per adulti di grossa corporatura o obesi). La lunghezza appropriata per il singolo paziente può essere determinata facendo prima avanzare l'ago sonda fino a toccare l'osso (nei pazienti vigili, l'ago sonda deve essere usato anche per iniettare localmente lidocaina, soprattutto a livello del periostio che è ricco di fibre dolorifiche). Gli aghi IO sono

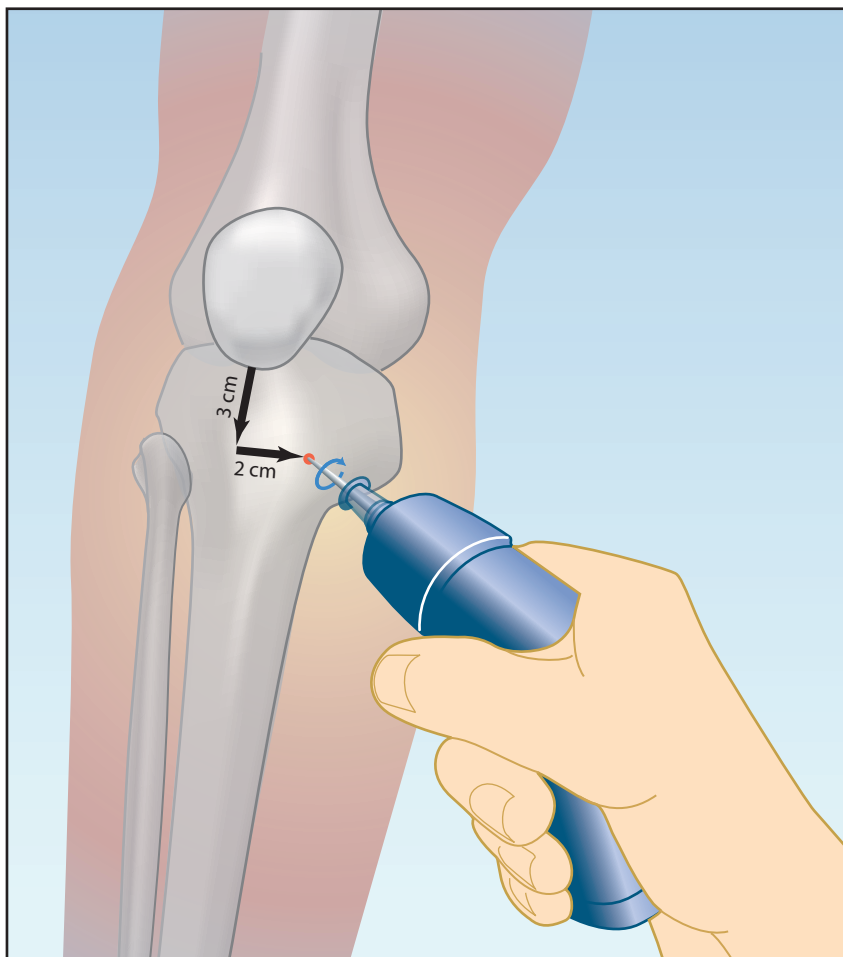


FIGURA 1.10 Illustrazione dell'inserimento di un ago intraosseo nella tibia prossimale della gamba destra e delle misure di superficie utilizzate per identificare il punto di inserimento. Per far avanzare l'ago nella cavità midollare si utilizza un trapano a batteria. Si veda il testo per ulteriori spiegazioni.

dotati di marcatori orizzontali e, in base alla distanza misurata dalla cute al periostio, il marcatore orizzontale più vicino al mozzo dell'ago deve trovarsi a livello della superficie cutanea o leggermente al di sopra di essa.

Dopo un'adeguata antisepsi cutanea (non sono necessari guanti sterili per l'inserimento degli aghi IO), l'ago IO viene fatto avanzare manualmente fino a toccare la superficie ossea della tibia. A questo punto, tenendo l'ago a un angolo di 90° rispetto alla superficie cutanea, viene collegato e azionato il trapano che fa ruotare l'ago in senso orario; esercitando una pressione verso il basso, l'ago viene fatto avanzare fino a quando un'improvvisa assenza di resistenza indica l'ingresso nella cavità midollare. L'ingresso deve essere verificato mediante l'aspirazione di sangue, ma questo non sempre è possibile perché il midollo osseo è viscoso (come una gelatina), il che

può impedire l'aspirazione del sangue. Introducendo nell'ago 5-10 mL di soluzione fisiologica di lavaggio, è possibile fluidificare una quantità di midollo sufficiente a risolvere questo problema.

Controllo del dolore pre-infusione

L'infusione di fluidi nella cavità midollare è dolorosa, probabilmente perché provoca una tensione a carico del periostio. Pertanto, nei pazienti vigili si consiglia l'iniezione di lidocaina nella cavità midollare prima di infondere i liquidi. Il protocollo consigliato è il seguente (23,30):

1. Utilizzare una soluzione di lidocaina al 2% (20 mg/mL) senza conservanti per uso endovenoso e iniettare 40 mg (2 mL) nella cavità midollare per 2 minuti.
2. Lasciare agire la lidocaina per un minuto, quindi lavare con 10 mL di soluzione fisiologica.
3. Iniziare l'infusione IO desiderata. Se l'effetto analgesico non è sufficiente, somministrare nuovamente la lidocaina in dose dimezzata rispetto a quella iniziale (20 mg) per un minuto.

L'effetto della lidocaina può svanire dopo un'ora e può essere necessaria un'ulteriore analgesia. A questo scopo si può utilizzare fentanil intraosseo (nelle dosi usuali per via endovenosa).

Infusioni IO

Le infusioni intraossee sono relativamente lente, con velocità di flusso pari a circa il 25% delle infusioni in vena periferica (22,23). Ciò è dovuto alla natura viscosa del midollo osseo e alla pressione relativamente elevata nella cavità midollare (che in media è di circa 30 mmHg). Per contrastare la lentezza del flusso, le infusioni IO sono normalmente pressurizzate (con pompe di infusione o sacche a pressione gonfiabili). Tuttavia, pressioni di 300 mmHg o anche superiori potrebbero essere insufficienti a sostituire una perdita ematica massiva e in questi casi alcuni sostengono la necessità di infusioni IO doppie (22).

L'accesso intraosseo è considerato un intervento temporaneo e si sconsiglia di protrarre le infusioni IO oltre le 24 ore (26) (tuttavia, non esistono evidenze concrete a sostegno di questa raccomandazione). Terminata l'infusione IO, l'ago intraosseo deve essere rimosso. A questo scopo viene collegata una siringa Luer-Lock e l'ago viene fatto ruotare lentamente in senso orario applicando al tempo stesso una trazione verso l'alto con un angolo di 90° rispetto alla superficie cutanea (si sconsiglia di far oscillare l'ago avanti e indietro per agevolare la rimozione, perché questo favorisce la fuoriuscita di fluidi dall'osso).

Complicanze

Le complicanze dell'accesso IO sono poco frequenti (probabilmente per la sua durata limitata) e diversi studi dimostrano tassi di complicanze inferiori all'1% (22,23). Le potenziali complicanze includono ascessi cutanei, osteomielite, frattura tibiale, sindrome compartimentale ed emboli adiposi o di midollo osseo (22,23,30,31).

CONCLUSIONI

Uno degli eventi più rari in un'unità di terapia intensiva è un paziente senza accesso endovenoso. Può sembrare un'ovvietà, ma indica che la conoscenza degli accessi vascolari ha una rilevanza universale per la cura dei pazienti nell'UTI. Questo capitolo rappresenta un primo passo verso l'acquisizione di tali conoscenze. I seguenti punti trattati meritano di essere sottolineati:

1. Le velocità di infusione sono influenzate dalle dimensioni del catetere vascolare, non dalle dimensioni della vena incannulata.
2. Il raggio (misura del lume) di un catetere ha un'influenza molto maggiore sul flusso rispetto alla sua lunghezza. Per infusioni rapide, è consigliabile utilizzare un catetere a foro grande, ma la scelta ottimale consiste in un catetere corto a foro grande.
3. I cateteri midline (cateteri di 15-20 cm inseriti in una delle vene principali sopra la fossa antecubitale) sono diventati molto popolari per l'accesso venoso a lungo termine e possono essere utilizzati per infusioni prolungate di vasopressori.
4. L'ecografia in tempo reale è diventata uno strumento essenziale per incannulare vene non visibili né palpabili.
5. La via intraossea (IO) è raccomandata per l'accesso vascolare di emergenza quando l'accesso endovenoso è problematico o non immediatamente disponibile. La tibia prossimale è un sito molto utilizzato per l'accesso IO perché la procedura non interferisce con l'intubazione o le compressioni toraciche.

Bibliografia

- a. Babbage C. Babbages Calculating Engines. London: Oxford University Press, 1889.
1. Mueller RL, Sanborn TA. The history of interventional cardiology: Cardiac catheterization, angioplasty, and related interventions. *Am Heart J* 1995; 129:146-172.

Nozioni di base sui cateteri

2. Iserson KV, J.-F.-B. Charriere: The man behind the "French" gauge. *J Emerg Med* 1987; 5:545-548.
3. Chien S, Usami S, Skalak R. Blood flow in small tubes. In Renkin EM, Michel CC (eds). *Handbook of Physiology. Section 2: The cardiovascular system. Volume EV. The microcirculation*. Bethesda: American Physiological Society, 1984; 217-249.
4. Emergency Medicine Updates (www.emupdates.com) Accessed 5/17/2022.
5. Mateer JR, Thompson BM, Aprahamian C, et al. Rapid fluid infusion with central venous catheters. *Ann Emerg Med* 1983; 12:149-152.
6. Electrical and Biomedical Engineering website (ebme.co.uk). Accessed 6/1/2022.

Cateteri per uso generale

7. Gorski LA, Hadaway, L, Hagle ME, et al. Infusion Therapy Standards of Practice, 8th ed. *J Infus Nurs* 2021; 44 (Suppl 1):S1-S224.
8. Pittiruti M, Boxtel TV, Scoppettuolo G, et al. European recommendations on the proper indication and use of peripheral venous access devices (the ERPIUP consensus): A WoCoVA project. *J Vasc Access* 2021, June 4 (Epub ahead of print).
9. Marsh N, Webster J, Larsen E, et al. Expert versus generalist inserters for peripheral intravenous catheter insertion: a pilot randomized controlled trial. *Trials* 2018; 19:564-574.
10. Qin KR, Ensor N, Barnes R, et al. Long peripheral catheters for intravenous access in adults and children: A systematic review of the literature. *J Vasc Access* 2021; 22:767-777.

11. Prasanna N, Yamane D, Haridasa N, et al. Safety and efficacy of vasopressor administration through midline catheters. *J Crit Care* 2021; 61:1-4.
12. Swaminathan L, Flanders S, Horowitz J, et al. Safety and outcomes of midline catheters vs peripherally inserted central catheters for patients with short-term indications. *JAMA Intern Med* 2022; 182:50-58.
13. Lu H, Yang Q, Yang L, et al. The risk of venous thromboembolism associated with midline catheters compared to peripherally inserted central catheters: A systematic review and meta-analysis. *Nurs Open* 2022; 9:1873-1882.
14. Scheers GJ, Ferko N, Syed I, et al. Peripherally inserted central catheters inserted with current best practices have low deep vein thrombosis and central line-associated bloodstream infection risk compared with centrally inserted central catheters: A contemporary meta-analysis. *J Vasc Access* 2021; 22:9-25.
15. Seldinger SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta Radiol* 1953; 39:368-376.

Ecografia vascolare

16. Saugel B, Scheeren TWL, Reboul J-L. Ultrasound guided central venous catheter placement: a structured review and recommendations for clinical practice. *Crit Care* 2017; 21:225-236.
17. Millington SJ, Hendin A, Shiloh AL, Koenig S. Better with ultrasound: peripheral intravenous catheter insertion. *Chest* 2020; 157:369-375.
18. Mayette M, Mohabir PK. Ultrasound physics and modes. In: Soni NJ, Arntfield R, Kory P, eds. *Point-of-Care Ultrasound*. Philadelphia: Elsevier, Inc., 2020; 7-20.
19. Kumar N, Bindra A, Singh GP, et al. Incidence of posterior vessel wall puncture during ultrasound guided vascular access: Short axis versus long axis approach. *J Anesthesiol Clin Pharmacol* 2021; 37:342-346.

Accesso vascolare intraosseo

20. Foëx BA. Discovery of the intraosseous route for fluid administration. *J Accid Emerg Med* 2000; 17:136-137.
21. Berg KM, Nolan JP, and the Adult Advanced Life Support Collaborators. Adult advanced life support. 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Circulation* 2020; 142 (suppl 1):S92-S139.
22. Tyler JA, Perkins Z, DéAth HD. Intraosseous access in the resuscitation of trauma patients: a literature review. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2021; 47:47-55.
23. Perron CE. Intraosseous infusion. UpToDate (www.uptodate.com). Accessed 6/21/2022.
24. Tsao CW, Aday AW, Almarzoog ZI, et al. Heart disease and stroke statistics – 2022 update: A report from the American Heart Association. *Circulation* 2022; 145:e153-e169.
25. Cooper BR, Mahoney PF, Hodgetts TJ, Mellor A. Intraosseous access (EZ-IO) for resuscitation: UK military combat experience. *JR Army Med Corps* 2007; 153:314-321.
26. American College of Surgeons. *Advanced Trauma Life Support (ATLS)*. 10th ed. Chicago: American College of Surgeons, 2018.
27. Reades R, Studneck JR, Vanderventer S, Garrett J. Intraosseous versus intravenous vascular access during out-of-hospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Ann Emerg Med* 2011; 58:509-516.
28. Lairt J, Bebart V, Lairt K, et al. A comparison of proximal tibia, distal femur, and proximal humerus infusion rates using the EZ-IO intraosseous device on the adult swine (Cuo Scrofa) model. *Prehosp Emerg Care* 2013; 17:280-284.
29. Arrow EZ-IO Pocket Guide. Available at www.teleflexvascular.com. Accessed 6/20/2022.
30. Arrow EZ-IO Clinical Resource: Care, Maintenance, and Removal. Available at teleflexvascular.com. Accessed 6/20/2022.
31. Chalopin T, Lemaignan A, Guillon A, et al. Acute tibial osteomyelitis caused by intraosseous access during initial resuscitation: a case report and literature review. *BMC Infect Dis* 2018; 18:665.