

# LA TECNOLOGIA NELLA PREVENZIONE DELLE COMPLICANZE IN DIALISI

Antonio Santoro, Elena Mancini  
Divisione di Nefrologia e Dialisi Malpighi, Policlinico S.Orsola-Malpighi, Bologna, Italia.

In questi ultimi anni, il progressivo aumento dell'età media dei pazienti in trattamento emodialitico cronico, unitamente al crescere delle condizioni di comorbidità, patologie cardiovascolari e diabete in particolare, hanno significativamente aumentato la criticità clinica dei pazienti sottoposti a dialisi extracorporea. Ciò si è tradotto in una elevata sintomaticità delle sedute dialitiche, con frequenti eventi di instabilità emodinamica ed una elevata incidenza di aritmie intradialitiche. La risposta tecnologica che ne è seguita è consistita nello sviluppo di sistemi per il *monitoraggio intradialitico on-line* finalizzato alla misurazione continua di diversi parametri fisiologici del paziente, sia di tipo emodinamico che di tipo biochimico, nell'ottica di una prevenzione dell'insorgenza di momenti critici. I sistemi di monitoraggio sono stati usati maggiormente in dialisi ad alta efficienza e di breve durata, poiché il rischio di "unphysiology" (cioè di situazione non fisiologica) è tanto maggiore quanto più il tempo di trattamento viene ridotto e allo stesso tempo viene aumentata l'efficienza. Un trattamento dialitico "adeguato" dovrebbe avere come suo obiettivo non solo l'ottimizzazione del *bilancio dei soluti* ma anche una *buona tolleranza cardiovascolare*, un *soddisfacente controllo dell'acidosi uremica* e *l'ottimizzazione dello stato nutrizionale*, unitamente ad un *buon controllo pressorio* (Tab. 1). La gestione tradizionale della sessione presuppone l'impostazione di alcuni parametri predefiniti, e gli interventi terapeutici sono limitati alle situazioni in cui avviene una complicanza. Allo scadere del tempo prestabilito, spesso senza tener conto dei cosiddetti tempi di recupero e senza alcuna possibilità di verificare la "qualità" della depurazione, il trattamento viene interrotto. La valutazione di efficacia viene fatta pressoché occasionalmente, se e quando emerge una evidente problematica clinica. Questo tipo di approccio, ancora accettabile nel caso di trattamenti convenzionali della durata di 4-5 ore, è invece del tutto inadatto per i trattamenti brevi, soprattutto se complicati da fasi di instabilità emodinamica, o se eseguiti in pazienti particolarmente critici. Con questi pazienti, e in queste condizioni, è necessario disporre di un flusso continuo di informazioni che garantiscano almeno due obiettivi:

- il coincidere della *dose dialitica effettivamente erogata* con quella programmata;
- *l'adeguatezza della risposta cardiocircolatoria* alla progressiva rimozione dei fluidi, che garantisca un certo grado di stabilità emodinamica.

Un pre-requisito essenziale per il raggiungimento di questi obiettivi è il disporre di adeguati sistemi di misurazione e di "sensori" per misurazioni continue durante la sessione dialitica. Oltre ad un elevato grado di affidabilità e la continuità e l'accuratezza della misura, essenziali sono la relativa semplicità d'uso, la sterilità e la biocompatibilità (per i sensori che vengono a contatto diretto col sangue), la possibilità di interfacciamento del sistema di misura con un computer, ed infine un costo accettabile che non vada ad incidere troppo sui costi già alti del trattamento dialitico. Caratteristiche indispensabili per un sensore da usare in emodialisi sono però la sua assoluta non-invasività e la massima tollerabilità da parte del paziente. Una analisi dettagliata dei pro e dei contro dell'uso dei diversi sistemi di monitoraggio non è sempre possibile a priori, poiché, in molti casi, è l'esperienza personale che aggiunge al sistema un inquantificabile valore aggiunto. In ogni caso, l'impiego di sistemi di monitoraggio in dialisi dovrebbe essere finalizzato all'ottimizzazione di almeno due aspetti:

- una adeguata efficienza dialitica;
- una soddisfacente tolleranza cardiovascolare.

## Monitoraggio on-line dell'efficienza dialitica

La rimozione dei prodotti uremici è uno dei principali scopi del trattamento dialitico. Il National Cooperative Dialysis Study ha dimostrato che, con la valutazione del Kt/V e del PCR, si possono evidenziare condizioni di malnutrizione e di sottodialisi, che a loro volta possono influenzare sia la morbidità che la mortalità. Il ruolo rilevante sia della rimozione dell'urea che la concentrazione sierica dell'albumina sono state recentemente sottolineate da Owen. E'

perciò necessario assicurare che la dose di dialisi prescritta coincida con quella che effettivamente viene erogata. Numerosi fattori, in parte legati al paziente, in parte al monitor dialitico e alla qualità del nursing (Tab. II) possono spiegare la discrepanza fra la dose dialitica prescritta e quella erogata. La necessità di verificare la qualità del trattamento può essere soddisfatta con l'uso di sistemi finalizzati :

- al monitoraggio on-line dei **parametri di efficienza dialitica** (ricircolo dell'accesso vascolare e clearance dell'urea);
- al monitoraggio on-line della **performance del dializzatore** nella rimozione dei soluti, usando sensori dedicati.

### **Ricircolo**

Un ricircolo di sangue fra il lato arterioso e quello venoso del circuito extracorporeo può risultare o da un inadeguato flusso ematico a livello dell'accesso vascolare, o da uno sproporzionato aumento delle pressioni venose di rientro. Sia l'accesso vascolare sia il ricircolo cardiopolmonare possono influenzare l'efficienza dialitica, riducendo così la clearance effettiva. L'entità del ricircolo dipende da diversi fattori, tra cui la posizione degli aghi e il flusso ematico. Le conseguenze negative indotte dal ricircolo sull'efficienza dialitica sono più marcate nei trattamenti brevi e ad alti flussi che in una dialisi convenzionale con bassi flussi ematici e lunghi tempi di trattamento. Le tecniche tradizionali di misurazione del ricircolo con tre campioni di sangue (arteria e vena del circuito extracorporeo e vena periferica nell'arto controlaterale) sono relativamente invasive e soprattutto non consentono un controllo immediato durante il trattamento. Sistemi di misura on-line e non invasivi sono quindi auspicabili, nell'ottica di quantificare la percentuale di ricircolo in diversi momenti durante la sessione dialitica. Ad oggi sono stati descritti diversi metodi di monitoraggio on-line del ricircolo, di tipo conducimetrico, ottico, termico e ultrasonografico. In ogni caso, tutti questi sistemi condividono un principio: è necessario indurre una modificazione delle proprietà fisiche del sangue nel lato venoso del circuito extracorporeo, e quindi misurare, con appositi sensori, le conseguenti modificazioni sul lato arterioso del circuito; la percentuale di ricircolo è una funzione della differenza rilevata fra le due misurazioni. Il *metodo termico* è oggi uno dei sistemi più ampiamente utilizzati per la misurazione del ricircolo in corso di trattamento, tanto che è già stato integrato in alcuni monitor dialitici e sembra essere il sistema più adatto per l'uso clinico di routine. Dopo aver indotto una brusca riduzione della temperatura del bagno di dialisi, si ha una rapida riduzione della temperatura nella linea venosa e, se è presente ricircolo, anche nella linea arteriosa. La percentuale di ricircolo viene poi calcolata dalle aree sottostanti alle curve di temperatura della linea arteriosa e di quella venosa.

### **Efficienza dialitica**

Analogamente a quanto avviene in fisiologia umana, anche in campo dialitico si usa il concetto di *clearance* per esprimere l'efficienza del trattamento stesso. La misurazione di una clearance richiede la quantificazione della sostanza escreta, che nel caso specifico della dialisi deve essere una sostanza che viene rimossa attraverso il dializzatore, e successivamente, il suo confronto con la concentrazione della stessa sostanza nel sangue. Sono quindi necessari specifici biosensori da poter essere applicati sia sul lato del bagno di dialisi che sulle linee ematiche. Una *misurazione indiretta* della clearance dell'urea si può ottenere dalla dialysance ionica, che, a sua volta, può essere misurata in via *conducimetrica*. La "conducibilità" di una soluzione è infatti funzione della concentrazione delle sostanze ionizzate e del numero di cariche elettriche portate dalle stesse sostanze. La misurazione della conducibilità del dialisato all'ingresso e all'uscita del dializzatore consente di ricavare un bilancio di massa conducimetrico, che varia in funzione della dialysance ionica e perciò della efficienza del dializzatore. La dialysance ionica può essere misurata per mezzo di due celle conducimetriche posizionate una all'ingresso e una all'uscita del filtro e inducendo una brusca variazione nella conducibilità del dialisato da un livello basale ad un secondo livello. Dalla differenza di conducibilità misurata nelle due celle, una misurazione indiretta della *dialysance totale effettiva* viene essere ricavata. La dialysance conducimetrica misurata con tale tecnica rappresenta la clearance effettiva del dializzatore, che non tiene conto dell'accesso vascolare e del ricircolo cardiopolmonare, per cui può essere utilmente impiegata per monitorizzare le fluttuazioni delle capacità di clearance del dializzatore. Per quanto concerne la possibilità di ulteriori

valutazioni on-line dell'efficienza dialitica, misurazioni indirette della clearance effettiva possono essere realizzate con il monitoraggio on-line della concentrazione dell'urea, resa oggi possibile dalla disponibilità di specifici sensori in grado di misurare la concentrazione dell'urea direttamente sul circuito extracorporeo.

### **Sensori dell'urea**

Il *monitoraggio continuo dell'urea* oggi può essere effettuato sul sangue, sul dialisato e sull'ultrafiltrato. Tuttavia, ciascuna di queste misurazioni presenta dei pro e dei contro. La realizzazione di sensori da posizionare nel *sangue* è estremamente complessa per la necessità assoluta di garantire condizioni di sterilità, biocompatibilità e di non trombogenicità. La misurazione sul *dialisato*, più semplice della precedente dal punto di vista tecnico, può analizzare solo la rimozione dell'urea, ricavandola dalla concentrazione dell'urea nel dialisato e dal flusso di dialisato che lascia il dializzatore. Anche questa tecnica però non è senza svantaggi perché richiede ripetuti campionamenti e può essere imprecisa a causa delle basse concentrazioni di urea nel dialisato e agli alti flussi (>500 ml/min). Una valida alternativa è rappresentata da un biosensore recentemente realizzato, capace di misurare le concentrazioni dell'urea nell'*ultrafiltrato*. Questo sensore dedicato può essere utilizzato esclusivamente in corso di PFD (Paired Filtration Dialysis), una tecnica dialitica nella quale vi è una produzione continua di ultrafiltrato (UF), nel quale la concentrazione di urea è completamente comparabile a quella dell'acqua plasmatica. Il sistema di misurazione consiste di: i) una cella condometrica che misura la conducibilità nell'UF; ii) un sensore per l'urea contenente ureasi, un enzima che induce l'idrolisi dell'urea contenuta nell'UF con produzione di ioni ammonio; iii) una seconda cella condometrica che riconosce le variazioni di conducibilità indotte dagli ioni ammonio. La differenza di conducibilità fra le due celle è correlata alla concentrazione di urea nell'UF. La misurazione continua intradialitica dell'urea consente di calcolare parametri cinetici quali il Kt/V e la TAC. Si ha quindi la possibilità di un vero e proprio "controllo di qualità" del trattamento, con l'opportunità di controllare in tempo reale che la dose dialitica prescritta e quella effettivamente ottenuta coincidano.

### **Monitoraggio emodinamico intradialitico**

Lo scopo principale del monitoraggio continuo delle variabili emodinamiche coinvolte nella genesi della instabilità cardiocircolatoria in dialisi è essenzialmente quello di una migliore sorveglianza emodinamica, nell'ottica di prevenire eventi ipotensivi e/o aritmici. Teoricamente, tutti i parametri finalizzati alla valutazione dell'equilibrio emodinamico, come il volume ematico circolante, la frequenza cardiaca, la gittata sistolica, le resistenze arteriolari, il tono venoso, la stessa pressione arteriosa, meriterebbero un monitoraggio continuo durante tutta la durata della sessione dialitica. A parte alcuni aspetti pratici, peraltro non trascurabili, come il costo, un monitoraggio estensivo richiede sonde appropriate (*sensori*), particolarmente tollerabili da parte del paziente e di uso relativamente facile. E' necessaria inoltre una strumentazione con la possibilità di integrazioni multiple (più sensori che lavorano contemporaneamente) e di interfacciamento con un personal computer per la riproduzione grafica continua dell'andamento di tutti i parametri misurati. In realtà, la disponibilità attuale di sensori per misurazioni emodinamiche con tali caratteristiche è abbastanza limitata. Gli stessi strumenti tradizionali per la misurazione della pressione arteriosa sono del tutto inadatti per un monitoraggio continuo. Anche la pletismografia, tecnica di misurazione della pressione arteriosa battito a battito a un dito della mano, è risultata inadeguata nelle specifiche condizioni del paziente in dialisi. Nell'uremico infatti, la coesistenza di un danno organico di parete a livello del microcircolo, così come la presenza di estese calcificazioni vascolari, compromettono sia la affidabilità che la accuratezza della misurazione pressoria effettuata con tale metodica. La *bioimpedenza trans-toracica* fornisce una misurazione continua e non-invasiva della gittata sistolica e del volume di liquidi intratoracici. La sua utilizzazione di routine è però estremamente limitata perché notevolmente fastidiosa per il paziente, a causa dei numerosi elettrodi necessari, sia cervicali che toracici. La scarsa affidabilità della misura in particolari situazioni quali le deformazioni toraciche o l'obesità, ne riducono ulteriormente l'utilità immediata in clinica. L'*ecografia della vena cava* è finalizzata alla misurazione del diametro e dell'indice di collassabilità della vena cava, che sono correlati al grado di idratazione o, più precisamente, al grado di sovraccarico del compartimento intravascolare. Non essendo tuttavia una tecnica utilizzabile per misurazioni continue in corso di dialisi, essa risulta

inadeguata a fornire informazioni sulla risposta cardiocircolatoria del paziente alla rimozione dei fluidi. Dato il ruolo centrale del volume ematico nel determinare la stabilità della pressione arteriosa, il *monitoraggio intradialitico del volume ematico (VE)* può risultare molto importante ai fini della prevenzione dell'instabilità cardiocircolatoria in dialisi. La maggioranza dei metodi descritti negli ultimi anni per il monitoraggio continuo e non invasivo del VE sfrutta il principio di conservazione di massa. Le variazioni del VE sono ricavate dalla misurazione continua di alcune sostanze la cui massa totale non subisce variazioni durante il trattamento: emoglobina, globuli rossi, proteine plasmatiche. Questi sistemi di conseguenza possono fornire solo misurazioni *relative*, non assolute, del VE. All'inizio della sessione dialitica lo stato del VE è molto diverso da un paziente all'altro, variando da stati di espansione a stati di relativa ipovolemia. Questo fatto, assieme alle modificazioni continue del refilling vascolare, spiegano la estrema variabilità dei profili di VE che si possono osservare in corso di emodialisi, non solo fra diversi pazienti, ma anche nello stesso paziente in giorni diversi. In ogni caso, il monitoraggio continuo del VE in corso di dialisi può fornire informazioni utili su:

- *la dinamica individuale del refilling vascolare;*
- *le caratteristiche individuali degli episodi di ipotensione;*
- *la soglia personale del VE critica per il mantenimento della pressione.*

Vi sono quindi alcune categorie di pazienti nelle quali il monitoraggio continuo del VE è particolarmente indicato:

- i soggetti con tendenza all'ipotensione ipovolemica;
- i soggetti con alterata capacità di refilling vascolare: pazienti diabetici, disidratati (per febbre, malattie intercorrenti, recenti interventi chirurgici) o con stati di malnutrizione;
- i soggetti con ipertrofia ventricolare sinistra che sono particolarmente sensibili agli stati di ipovolemia a causa della ridotta compliance del ventricolo sinistro.

Nella nostra esperienza in circa il 60% delle sedute dialitiche con ultrafiltrazione costante il VE ha un andamento bi-esponenziale la cui pendenza dipende essenzialmente dalla velocità di ultrafiltrazione (UFR) e da quella del refilling vascolare. Quest'ultimo a sua volta è influenzato da una lunga serie di fattori, in parte legati al paziente (stato di idratazione tissutale, pressioni idrostatiche arteriolari e venulari, permeabilità capillare...) e in parte dipendenti invece dal trattamento stesso (velocità di ultrafiltrazione, concentrazione sodica nel bagno dialisi). Per un periodo di circa 30-45 minuti vi è un calo rapido del VE dovuto alla rapida rimozione dei fluidi dal compartimento vascolare non ancora compensata dal refilling vascolare, seguito poi da una seconda fase in cui il VE continua a calare ma con una pendenza in genere più morbida che risulta dal continuo bilanciamento fra UFR e refilling vascolare. L'osservazione ripetuta dell'andamento spontaneo del VE può fornire utili informazioni sulle capacità spontanee del refilling vascolare e indicare se gli episodi di ipotensione siano o meno associati ad un severo stato di ipovolemia. Nella nostra esperienza l'importanza dell'ipovolemia sulla stabilità pressoria è particolarmente rilevante in quei pazienti che mostrano riduzioni intradialitiche del VE maggiori del 20% ed in quelli con instabilità del refilling vascolare. Il monitoraggio continuo del VE si dimostra inoltre particolarmente utile nell'identificazione di una eventuale "soglia di criticità" della volemia. Alcuni pazienti presentano effettivamente, almeno per un certo periodo di tempo, un livello relativamente costante di volemia al quale compare ipotensione acuta. E' importante comunque avere presente che questo livello può variare poi anche rapidamente al mutare delle condizioni cliniche generali (ad esempio variazione dell'alimentazione e dell'apporto idrico con conseguente variazione delle pressioni oncotiche ed idrostatiche intracapillari, farmaci o mutamento dei livelli di emoglobina con successiva variazione del tono arteriolare periferico ...). Nei pazienti in cui è possibile identificare una soglia critica di VE relativamente stabile, così come in quei pazienti che mostrano un andamento molto irregolare del VE dovuto ad una instabilità del refilling vascolare, può risultare vantaggioso l'uso di un sistema di controllo automatico del VE, che rappresenta l'applicazione più avanzata dei semplici sistemi di monitoraggio. Già parecchi anni fa noi abbiamo sviluppato e successivamente sperimentato un sistema automatico di biofeedback, oggi integrato su un monitor dialitico, in grado di mantenere sotto controllo, per tutta la durata del trattamento, il VE, utilizzando come effettori del biofeedback la velocità di ultrafiltrazione e

la concentrazione di sodio nel dialisato, che sono in le più importanti variabili dialisi-dipendenti per il controllo della volemia. In questo sistema, definito BVT (*Blood Volume Tracking*), le variazioni spontanee del VE, misurate con metodo ottico, rappresentano la variabile in ingresso o *variabile controllata*, mentre ultrafiltrazione e conducibilità rappresentano le variabili in uscita o *variabili di controllo*. Dopo la fase iniziale di programmazione in cui vengono settati gli obiettivi desiderati di calo peso totale, di volemia finale e di conducibilità, il sistema misura in continuo le variazioni del VE e, allo stesso tempo calcola l'errore istantaneo nella traiettoria del VE effettivamente ottenuta rispetto a quella desiderata. Tenendo conto dei coefficienti matematici che legano le variazioni del VE a quelle delle variabili di controllo (UFR e conducibilità), il modello matematico varia poi sia l'UFR che la conducibilità in modo tale da minimizzare la distanza fra la traiettoria ideale di volemia e quella che si sta ottenendo. Allo stesso tempo però il sistema misura anche: 1) la differenza fra la perdita di peso ottenuta a quel momento e quella che era stata prevista dal modello e 2) la differenza in conducibilità equivalente istantanea e quella prevista (*n.b.*: in dialisi con BVT, "conducibilità equivalente" è la conducibilità mediamente ottenuta fino a un certo momento; al termine del trattamento, pur essendo la conducibilità variabile in continuo per tutto il tempo, la *conducibilità equivalente* è identica a quella che si sarebbe ottenuta in una dialisi a conducibilità costante). Le variazioni istantanee dell'UFR e della conducibilità prescritte dal modello per mantenere sotto controllo il VE sono anche in grado di garantire gli obiettivi desiderati di calo peso totale e di conducibilità equivalente. Una ampia sperimentazione clinica di tale sistema è stata condotta recentemente in uno studio multicentrico che ha coinvolto 10 Centri di Nefrologia e Dialisi (Bologna Malpighi, Chieti, Gorizia, Leno, Lodi, Martina Franca, Novara, Milano San Carlo, Ostia e Trieste). In questo studio, condotto su 35 pazienti generalmente critici in corso di trattamento, si è confrontata la stabilità cardiovascolare intradialitica in due periodi separati, di dialisi convenzionale (2 mesi) e di dialisi con BVT (2 mesi). Al termine dello studio risultava una riduzione media del 30% degli episodi di ipotensione in dialisi con BVT. Emergeva inoltre che l'effetto era particolarmente evidente in quei soggetti che presentavano la più elevata frequenza di ipotensione in dialisi convenzionale, nei quali il BVT ha portato ad una riduzione dell'ipotensione acuta intradialitica dell'ordine del 65%. Questi dati confermano che il controllo automatico del VE con biofeedback può effettivamente migliorare la stabilità emodinamica in corso di dialisi, soprattutto nei pazienti particolarmente critici e comunque in quei pazienti in cui siano state documentate nel trattamento abituale condizioni di severa ipovolemia o di marcata instabilità dell'andamento del VE. Il futuro dei sistemi di monitoraggio e di controllo risiede forse nell'integrazione delle diverse strumentazioni in modo da realizzare un monitoraggio estensivo e contemporaneo di variabili sia di tipo emodinamico che biochimico. Lo progettazione di *sistemi di allarme* è inoltre un altro campo di ricerca che, soprattutto nei riguardi della tolleranza emodinamica, potrebbe apportare importanti miglioramenti, indicando con un certo anticipo l'imminenza di una condizione di criticità cardiovascolare, e offrendo quindi l'opportunità di manovre terapeutiche preventive. Ovviamente, così come per ogni altra strumentazione, il valore clinico reale dei sensori e dei sistemi di monitoraggio va rapportato prima di tutto al costo. Un basso rapporto costo-beneficio è il vero valore aggiunto di questi sistemi, così come la conoscenza e la sperimentazione personale delle loro diverse potenzialità ne giustificherà l'uso sempre più estensivo.

#### LETTURE RACCOMANDATE

- Santoro A. On-line monitoring. *Nephrol Dial Transplant* 1995; 10:615-618.
- Leunissen KML, Kouw P, Kooman JP et al. New techniques to determine fluid status in hemodialyzed patients. *Kidney Int* 1993; 43:S50-S56.
- Bogaard HJ, De Vries JPPM, De Vries PMJM. Assessment of refill and hypovolemia by continuous surveillance of blood volume and extracellular fluid volume. *Nephrol Dial Transplant* 1994;9:1283-87.
- Schneditz D, Roob J, Oswald M et al. Nature and rate of vascular refilling during hemodialysis and ultrafiltration. *Kidney Int* 1992; 42:1425-33.
- Santoro A. Blood volume monitoring and control. *Nephrol Dial Transplant* 1996;11(Suppl 2):42-47.
- Lowrie EG, Laird NM, Parker TF et al. Effects of the hemodialysis prescription on patient morbidity. Report from the National Cooperative Dialysis Study. *New Engl J Med* 1981;305:1176-1181.
- Pedrini LA, Sereik S, Rasmy S. Causes, kinetics and clinical implications of post-dialysis urea rebound. *Kidney Int* 1988;34:817-824.
- Depner TA. Prescribing hemodialysis. Kluwer Academic, Boston 1993;1-293.
- Depner TA. Quantifying hemodialysis. *Am J Nephrol* 1996;16:17-28.

- Colasanti G, Arrigo G, Santoro A et al. Biochemical aspects and clinical perspectives of continuous urea monitoring in plasma ultrafiltrate. Int J Artif Organs 1995;9:544-547.
- Santoro A, Mancini E, Paolini F, Cavicchioli G, Bosetto A, Zucchelli P.
- Biofeedback e controllo del volume ematico durante emodialisi. Giorn Ital Nefrol 1998 ;15(2) :63-74
- Mancini E, Santoro A, Piantanida M, Atti M, Polacchini M. Analysis of the blood volume intradialytic trend in patients with dialysis-hypotension : multicenter study. Abstract. Accettato per presentazione orale al XXXVI Congress of the ERA-EDTA Association, Madrid, 5-8 settembre 1999 ; Atti del Congresso, p. 243

Tabella I - Fattori che definiscono l'adeguatezza del trattamento dialitico

- Adeguata rimozione di soluti
- Buono stato nutrizionale (apporto calorico-proteico)
- Correzione dell'acidosi
- Biocompatibilità
- Omeostasi idro-elettrolitica
- Ritmo e durata del trattamento

Tabella II - Principali cause di discrepanza fra la dose dialitica prescritta e quella effettivamente erogata.

<b>Cause legate al paziente :</b>	
	flusso sangue insufficiente
	ricircolo dell'accesso vascolare
	riduzioni temporanee del flusso sangue (ipotensione, riposizionamento degli aghi ...)
<b>Cause legate allo staff :</b>	
	errori nella programmazione del tempo di trattamento o dei parametri dialitici (flussi, infusioni,...)
<b>Cause legate al monitor dialitico :</b>	
	errata calibrazione della pompa sangue
	errori dell'orologio
<b>Cause legate al dializzatore :</b>	
	coagulazione
	uso improprio