

Calorimetria indiretta: applicazioni in Nefrologia - Emodialisi

A. Bernardi¹, A. Ottolini¹, M. Piva¹, E. Saporiti²

¹ Servizio di Nefrologia e Dialisi, Ospedale Civile ULSS 30, Rovigo

² Divisione di Nefrologia e Dialisi, Ospedale Civile ULSS 16, Venezia

Una buona percentuale di pazienti nefropatici, sia in trattamento conservativo che sostitutivo dialitico, manifesta uno stato di malnutrizione protido-calorica. Si intende per malnutrizione protido-calorica una alterazione in senso riduttivo delle proteine plasmatiche e contemporaneamente di tutti i parametri nutrizionali. La malnutrizione si instaura lentamente e spesso può peggiorare con l'avvio del trattamento sostitutivo; frequentemente è in relazione con la dieta ipoproteica seguita per anni e non correttamente impostata o adattata successivamente sia per l'apporto proteico che, soprattutto, per l'apporto calorico globale.

La malnutrizione non è influenzata dall'età anagrafica ma dall'età dialitica. L'incidenza della malnutrizione è minore se viene prescritto un regime dietetico protidico-calorico adeguato e se la dieta viene spesso controllata e riadattata attraverso interviste dietologiche al paziente da parte della dietista.

L'introduzione di numerose indagini antropometriche nella routine nefrologica ha dato, negli ultimi anni, la possibilità di meglio valutare lo stato nutrizionale del nefropatico e di specificare con più accuratezza i suoi bisogni protido-calorici e la sua spesa energetica anche in rapporto al suo stato di malattia e al tipo di terapia farmacologica e/o dialitica in atto.

La composizione corporea di un soggetto viene adeguatamente studiata con il metodo della *impedenza bioelettrica*.

Tale tecnica si basa sul principio che il corpo umano, al passaggio di una corrente elettrica, presenta una *resistenza* (R) inversamente correlata al contenuto idrico e una *reattanza* (Xc) che è indice della proprietà capacitativa delle cellule.

Infatti le cellule, essendo la loro membrana costituita da uno strato lipidico *non* conduttivo interposto a due strati proteici *conduttivi*, si comportano, al passaggio di una corrente elettrica, come dei condensatori.

Il rapporto di Xc e R viene quantificato come angolo di fase (AF) per cui:

$$AF = \arctan Xc/R$$

Praticamente l'esame si esegue a paziente supino, applicando due elettrodi (uno alla mano e l'altro al piede omolaterale) che rilevano i valori di resistenza e di reattanza (Fig. 1). Attraverso queste misurazioni e la successiva elaborazione dei dati antropometrici del paziente da parte di un computer con programma adeguato, si può conoscere l'esatta composizione corporea del soggetto in esame e le percentuali relative di:

- Massa Magra (LBM - lean body mass);
- Massa Grassa (FBM - fat body mass);
- Acqua Totale Corporea (TBW - total body water).

Nella Figura 2, ad esempio, vengono riportate le variazioni percentuali nella composizione corporea di un gruppo di pazienti prima, du-

rante e dopo trattamento con eritropoietina. Come si può notare vi è una significativa riduzione dell'acqua corporea, un recupero della massa grassa e un lieve aumento della massa magra, indici tutti di una buona ripresa dello stato nutrizionale legato al miglioramento dell'anemia.

Anche le misure antropometriche (peso corporeo, altezza, plica bicipitale, plica tricipitale, circonferenza del braccio, circonferenza muscolare del braccio e area muscolare, plica sottoscapolare, plica sovrailiaca e indice di Dunin - ricavato dalla somma delle varie pliche cutanee), sono altamente significative e correlate alla quantità di massa magra, massa grassa e acqua corporea.

Nella Figura 3 sono riportati graficamente i valori delle pliche cutanee e della massa grassa di un gruppo di dializzati in acetato-dialisi convenzionale e poi dopo un anno di bicarbonato-dialisi breve ad alta efficienza.

Anche numerose indagini biomorali sono utili nella valutazione dello stato nutrizionale e nella diagnosi di malnutrizione:

- protidemia g%;
- albumina e pre-albumina g%;
- transferrina mg%;
- pseudocolinesterasi U/L;
- complemento (C3, C3a, C4 mg%);
- TIBC (Total Iron Binding Capacity);
- linfociti mm³;
- rapporto helper/suppressor;
- skin-tests;
- creatinuria mg/die;
- bilancio azotato (azoto totale - g N/die).

Tuttavia, una volta valutato lo stato nutrizionale, resta il problema di quanti-qualificare il reale fabbisogno calorico dell'individuo in rapporto al suo stato di malattia, alla

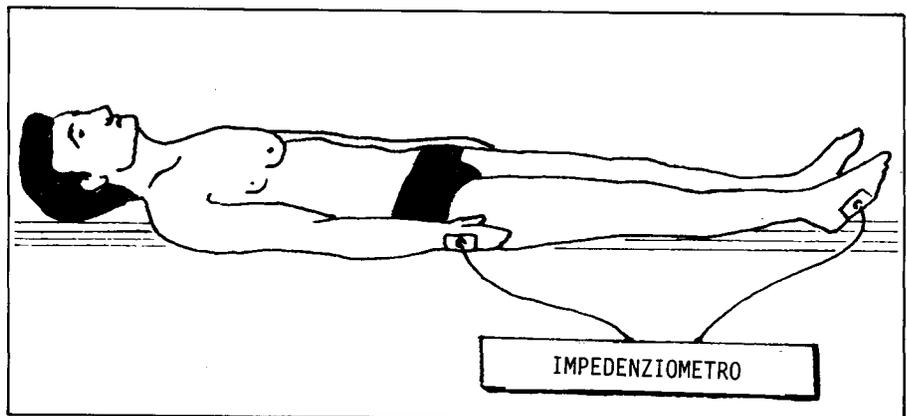


Fig. 1 - Sistema di misurazione della impedenza bioelettrica.

Cart.: Nessuna	Programma Composizione Corporea	Helpfit Inattivo
Cognome : xxxxxxzzz		Nome : AUGUSTO
Numero		Nome Ditta : xxxxxx
Paziente : 0022		Livello Attività : MA
Età : 78		Resistenza : 670 ohms
Sesso : M		Reattanza : 42 ohms
Altezza : 168.0 cm		Punteggio StepTest : N/A
Peso : 74.0 kg		
Commenti 1 :		
2 :		
3 :		
Litri acqua corporea : 35.6		Percentuale acqua : 48.2 %
Peso massa grassa : 30.5 kg		Percentuale grassi : 41.2%
Peso massa magra : 43.5 kg		Percentuale magri : 58.8 %
Proporz/Magri/Grassi : 1.4		Angolo di fase : 3.5
Deensità corporea : 1.00		Metabolismo basale : 1344
Peso da perdere : 19.0 kg		
Sodio/potassio scambib. : 1.24		Proporzione ECM/BCM : 1.80
BCM Kg : 15.6		

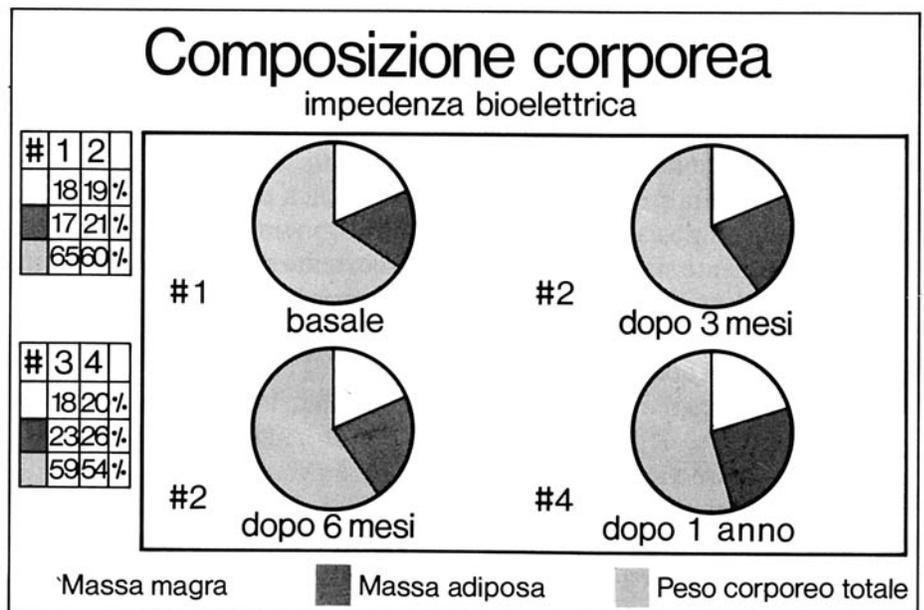


Fig. 2

sua attività fisica, ad eventuali complicanze intercorrenti, al tipo di trattamento dialitico attuato, alla terapia farmacologica in atto (più o meno catabolizzante) ed infine alla condizione di nutrizione del momento, valutata con i metodi precedentemente descritti.

Per misurare il "fabbisogno energetico" o "spesa energetica" di un soggetto, ci si riferisce di solito alla equazione:

$$EE = REE + AFE + ADS + ES$$

ove:

EE = spesa energetica (energy expenditure);

REE = spesa energetica a riposo e metabolismo basale (resting energy expenditure);

AFE = spesa energetica per l'attività fisica;

ADS = azione dinamico-specifica degli alimenti;

ES = riserve energetiche corporee (energy store).

Se l'apporto calorico è insufficiente il paziente deve attingere alle proprie riserve energetiche (ES), con il rischio di vedere dimezzate le sue riserve proteiche in 7-8 giorni.

Substrati tessutali disponibili (riferiti a uomo sano di 70 kg):

— grassi (trigliceridi) 15 kg (140.000 KCal);

— proteine (muscolo) 6 kg (24.000 KCal);

— glicogeno (muscolo-fegato) 0.225 kg (900 KCal.)

Solamente i grassi e le proteine possono permettere periodi di digiuno superiori alle 24 ore; le proteine però vengono risparmiate al massimo e gli adeguamenti metabolici che si verificano nel digiuno sono a carico del tessuto adiposo.

D'altra parte se si somministra al paziente un sovraccarico non adeguato di calorie, questo può in-

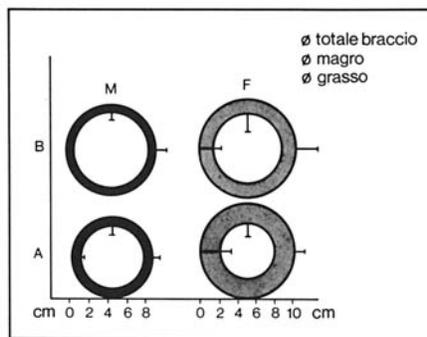


Fig. 3 - Circonferenza del braccio (CB), circonferenza della muscolatura del braccio, plica tricipitale, in acetato-dialisi (A), e in dialisi breve ad alta efficienza (B).

fluenzare negativamente il decorso clinico di un soggetto nefropatico, iperteso, dislipidemico.

Nella pratica clinica l'entità del fabbisogno energetico può essere:

A) - *Calcolata*

1) con riferimento al peso ideale:

a) 30 KCal/kg/die = fabbisogno normale (REE, ADS, attività fisica modesta);

b) 35-40 KCal/kg/die = fabbisogno aumentato (stress moderato chirurgico, neoplasie in fase anabolica);

c) 50-60 KCal/kg/die = fabbisogno elevato (catabolismo elevato, sepsi, traumi, ustioni, insufficienza renale acuta);

2) con riferimento al metabolismo basale apportando le opportune variazioni secondo la formula di Harris-Benedict:

REE (maschi) = $66 + (13.7 \times \text{peso attuale kg}) + (5 \times \text{altezza}) - (6.8 \times \text{età})$;

REE (femmine) = $65.5 + (9.6 \times \text{peso attuale kg}) + (1.7 \times \text{altezza}) - (4.7 \times \text{età})$;

a) REE x 1.3 = metabolismo normale;

b) REE x 1.5 = stress moderato (chirurgia elettiva);

c) REE x 1.6 = neoplasie;

d) REE x 2.0 = stress grave (se-

psi, trauma);

(da Cerra, 1984).

B) - *Correlata con il consumo energetico a riposo (REE) in condizioni normali*

REE in condizioni di stress o di deplezione: variazioni percentuali sul bisogno energetico a riposo. (da Elwyn: Nutritional Requirements of Adult surgical patients. Crit. Care Med., 1980 - Adattata da Kinney). Tab. 1.

C) - *Determinata con calorimetria*

1) - *Calorimetria diretta*: misurando direttamente il calore prodotto dal soggetto tenuto in una camera metabolica a pressione di O₂ costante (usata solamente per studi di fisiologia);

2) - *Calorimetria indiretta*: misurando il consumo di ossigeno (O₂), la produzione di anidride carbonica (CO₂) e l'eliminazione di azoto urinario (Nu).

La *calorimetria indiretta* è il metodo più usato per misurare la spesa energetica nell'uomo. Questa metodica si basa su due principi di termodinamica:

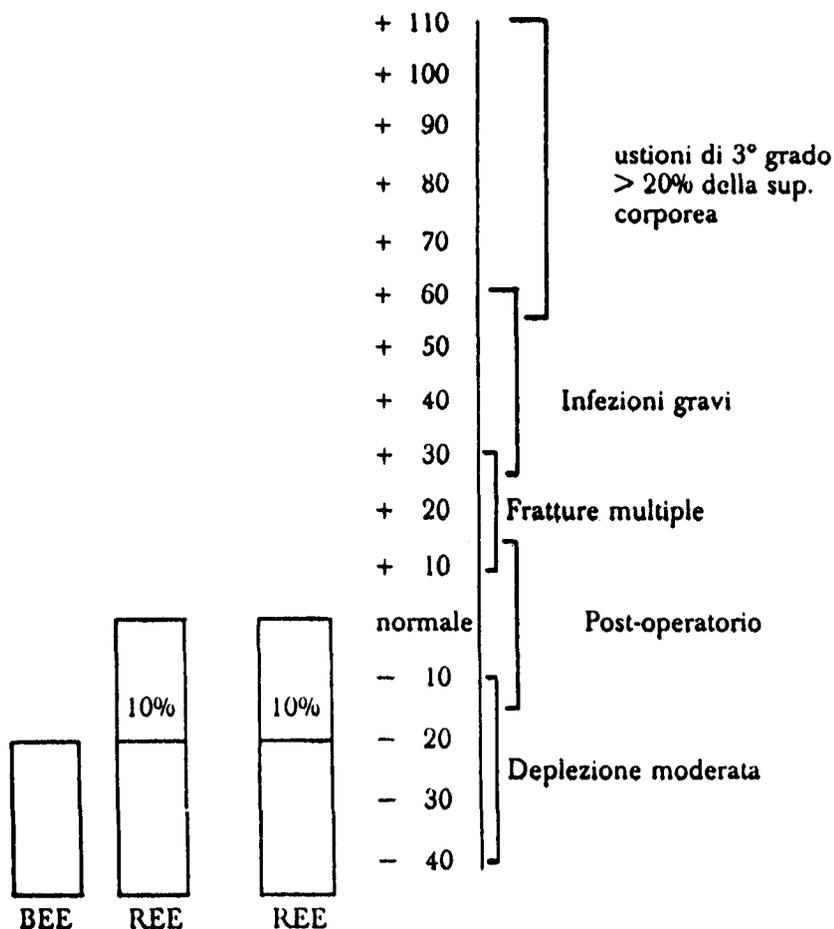
1) principio della conservazione dell'energia: in un sistema chiuso la variazione di energia corrisponde al calore assorbito dall'ambiente meno il lavoro svolto dal sistema sull'ambiente. Ad esempio nel corpo umano tutte le forme di energia prodotta o immagazzinata dal sistema devono essere uguali all'ampiezza della variazione;

2) il calore guadagnato durante un processo reversibile (ossidazione dei nutrienti) è indipendente dalle varie tappe tra stato iniziale e finale, così l'energia ricavabile dai nutrienti è equivalente a quella prodotta per ossidazione completa di un substrato nel corpo umano e che si realizza, alla fine, con consumo di O₂ e produzione di CO₂.

— Un grammo di glucidi bruciando consuma 0.83 litri di O₂ e produ-

TABELLA I

REE in situazioni di stress o di deplezione: variazione % sul bisogno energetico a riposo (figura ripresa da Elwyn «Nutritional Requirements of adult surgical patients». Crit. Care Med. (1980) 8:9 – adattata da Kinney).



NORMALE
(Kinney)

TRAUMI ED INFEZIONI

— Aumento % dell'REE

- + 24%
- + 32%
- + 37%
- + 61%
- + 79%
- + 132%

(Long, 1979)

Patologia

- chirurgia elettiva
- traumi scheletrici
- traumi da arma da fuoco
- traumi cranici
- sepsi
- ustioni

ce 0.43 litri di CO₂ + 0.67 litri di H₂O + 4.1 KCal.

— Un grammo di grassi bruciando consuma 2.018 litri di O₂ e produce 1.43 litri di CO₂ + 1.07 litri di H₂O + 9.3 KCal.

— Un grammo di proteine bruciando consuma 0.96 litri di O₂ e produce 0.782 litri di CO₂ + 0.41 litri di H₂O + 4.4 KCal.

I calcoli di calorimetria indiretta si basano sulla misurazione di:

— VO₂ = volume di ossigeno consumato;

— VCO₂ = volume di anidride carbonica prodotta;

— Nu = azoto totale urinario escreto (in g/die).

Lo strumento della calorimetria indiretta (ad esempio apparecchio MMC Horizon - Beckman Instr.) permette il montaggio degli scambi gassosi utilizzando due tipi di tecniche:

— circuito chiuso: il soggetto respira una miscela chiusa di ossigeno puro o di aria-ossigeno e la CO₂ e il vapore d'acqua sono eliminati continuamente; è misurato solamente il consumo di O₂ ritenendo costante la produzione di CO₂. Conoscendo esattamente però solamente il volume di O₂(VO₂) non si possono valutare quantitativamente i tipi di substrati utilizzati.

— circuito aperto: questa tecnica implica il campionamento dei gas respirati e la misura inspiratoria ed espiratoria di O₂ e di CO₂. Il calcolo dei volumi di O₂ e di CO₂ (VO₂ - VCO₂) si ottiene conoscendo i volumi respirati (Figg. 3 e 4).

Con questo metodo dai valori di VO₂ e di VCO₂ si può ottenere il *quoziente respiratorio (QR)*:

$$QR = VCO_2/VO_2$$

Il paziente esegue la prova per un minimo di 20 minuti e fino ad un massimo di 60'; si controlla l'equili-

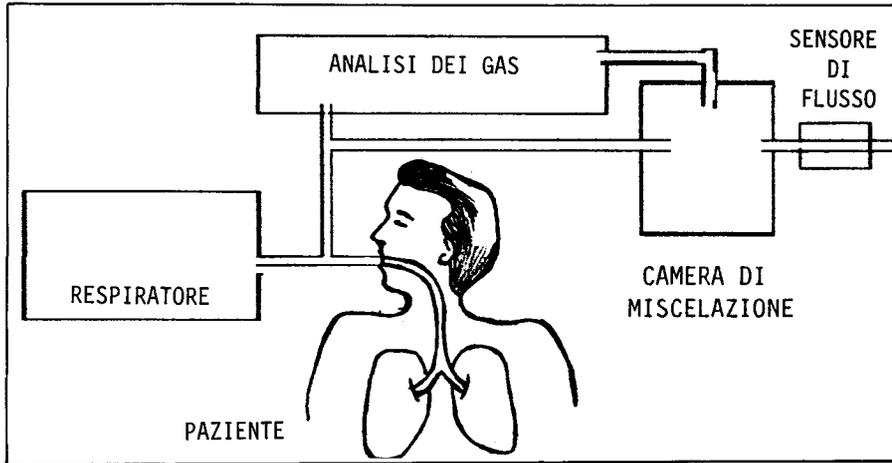


Fig. 4 - Sistema aperto di misurazione per pazienti ventilati meccanicamente.

brio acido-basè (EAB) che potrebbe modificare la frequenza degli atti respiratori e la stabilità di pressione parziale di CO₂ di fine espirazione.

Ogni elemento metabolizzato ha il suo QR tipico.

Ad esempio: per 1 g di glucosio la quantità di CO₂ prodotta è uguale alla quantità di ossigeno consumato, per cui:

- per i glucidi il QR è = 1
- per i grassi il QR è = 0.71
- per le proteine il QR è : = 0.81

Dalla media dei valori di QR si deduce che per una dieta equilibrata il QR è di circa 0.84 (range fisiologico 0.70 - 1.00).

Quando il QR è inferiore a 0.70 vi è uno stato di chetoacidosi. Se il QR supera l'unità può esservi aumentata lipogenesi per eccesso di apporto glucidico. Conoscendo i valori di QR (che vengono registrati continuamente durante l'esame) e inserendo nel computer i dati antropometrici del paziente (età, sesso, peso, altezza) e il valore di azoto totale urinario (Nu) o eliminato con il liquido di dialisi (N), l'apparecchio, utilizzando la formula di Harris-Benedict su citata, fornisce il calcolo della spesa energetica basale (REE) e la percentuale dei nutrienti in quel momento

utilizzati.

Applicando queste misure calorimetriche nell'insufficiente renale cronico in terapia conservativa si è potuto constatare che l'uremico ha una REE (spesa energetica a riposo - resting energy expenditure) inferiore al soggetto sano di pari età e sesso, ossida prevalentemente lipidi (condizione di acidosi) ed è in bilancio azotato negativo.

Queste rilevazioni ci danno la possibilità di meglio dosare l'apporto proteico e lipidico nella dieta di ciascun paziente.

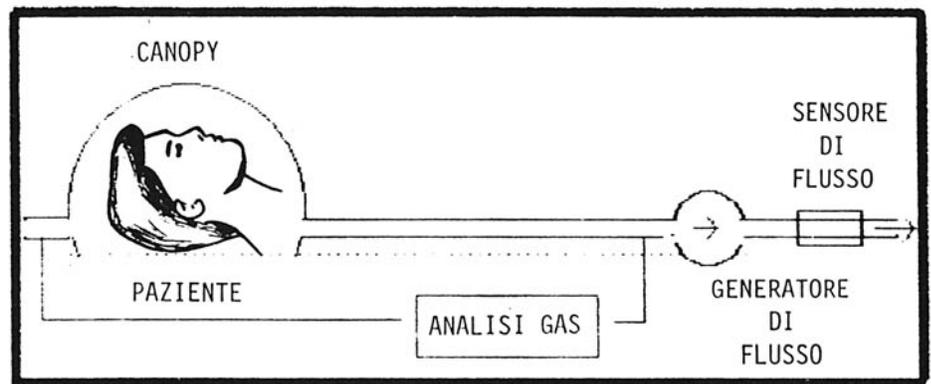
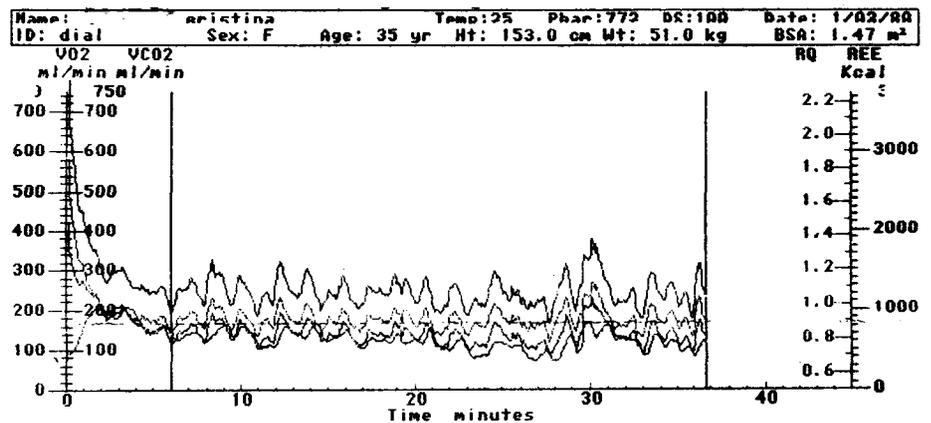


Fig. 5 - Sistema aperto di misurazione con canopy per pazienti in respiro spontaneo.



Name:	dial	aristina	Temp: 25	Phar: 772	DS: 100	Date: 1/02/88		
ID:	dial	Sex: F	Age: 35 yr	Ht: 153.0 cm	Wt: 51.0 kg	BSA: 1.47 m ²		
V02	(ml/min)	178	REE	(kcal/24h)	1236	Non Protein RQ	0.74	
VC02	(ml/min)	140	REE	(kcal/m ² /h)	35	CHO	(kcal/24h)	146
RQ		0.79	REE/H-B	(%)	97.9	Fat	(kcal/24h)	495
Bias Flow	(ml/sec)	600	Fleisch	(kcal/m ² /h)	34	Prot	(kcal/24h)	549
Resp. Rate	(br/min)	16	REE/Fleisch	(%)	102.2	% CHO	(%)	12
			Adj. REE	(kcal/24h)	1189	% Fat	(%)	42
						% Protein	(%)	46

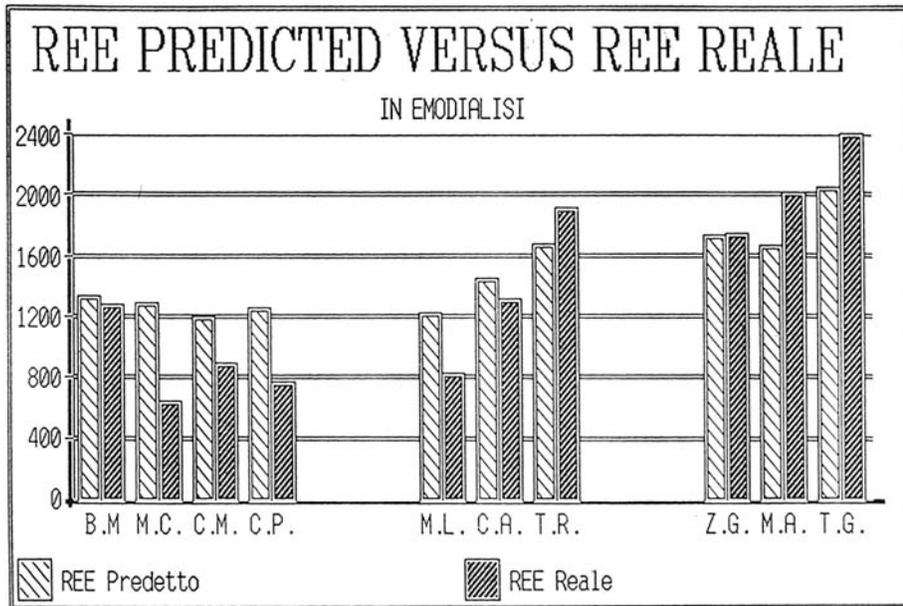


Fig. 6

Per quanto riguarda la REE nell'uremico in trattamento dialitico si sono ottenuti i seguenti risultati:

— in corso di acetato-dialisi standard con dializzatori in cuprophane da 1 m², la spesa energetica del soggetto è ridotta per la continua metabolizzazione dell'acetato ad azione lipogenetica; il catabolismo proteico è accelerato;

— in corso di bicarbonato-dialisi con dializzatori ad alta superficie (con minore accumulo di acetato e bagno di dialisi con glucosio) la REE del soggetto in esame è in pareggio rispetto alla REE prevista;

— in corso di emodiafiltrazione o di paired filtration dialysis o altri sistemi ad elevata capacità convettiva la spesa energetica (REE) è superiore alla REE prevista, per cui sarebbe necessario infondere soluzioni caloriche e proteiche in corso di trattamento;

— in corso di emofiltrazione acuta per insufficienza renale acuta post-operatoria o post-traumatica la REE è talora superiore del 20-40% rispetto alla REE prevista; di conseguenza sarebbe utile associare alle soluzioni di reinfusione un siste-

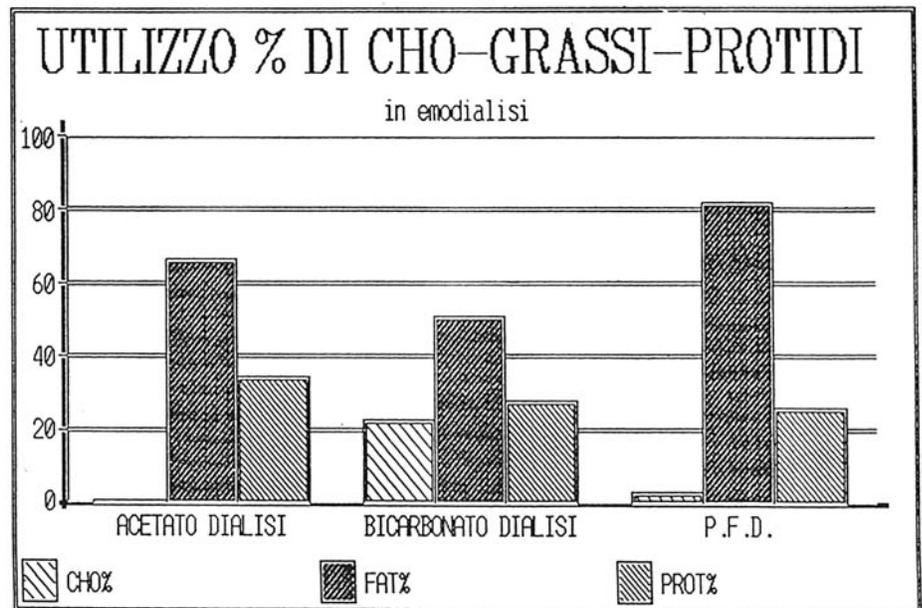


Fig. 7

ma di nutrizione parenterale totale; — dopo un anno da trapianto renale funzionante la REE si avvicina ai valori normali previsti (Figg. 6, 7, 8).

L'uso routinario, che noi applichiamo da tempo e che auspichiamo si diffonda sempre più in ambiente nefrologico, di interviste dietetiche, indagini antropometriche, di laboratorio e soprattutto strumentali (*impedenza bioelettrica*) finaliz-

zate una migliore e approfondita conoscenza dello stato di nutrizione del nefropatico, sia esso uremico in terapia conservativa che sostitutiva, si è rivelato di grande utilità. Tuttavia, una volta evidenziato l'eventuale stato di malnutrizione, rimane il problema di *quanti-qualificare* il reale fabbisogno energetico di quell'individuo in quel particolare momento, tenendo conto del tipo di malattia, del tipo di terapia,

Bibliografia

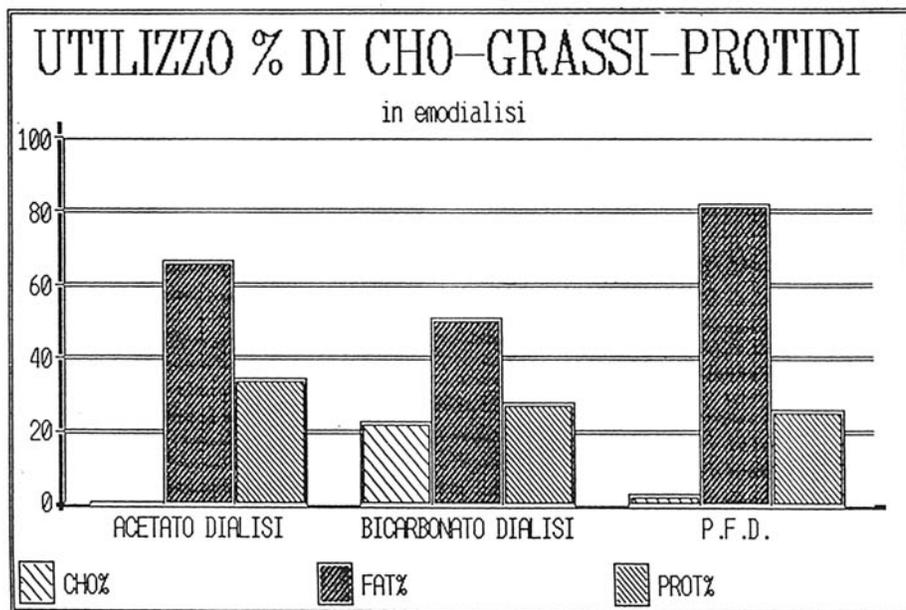


Fig. 8

dell'attività fisica, di eventuali complicanze intercorrenti.

Sino a qualche anno fa la spesa energetica (REE) di un soggetto veniva calcolata in riferimento al peso ideale o correlata con il consumo energetico a riposo; entrambi i metodi comportano però numerose possibilità di errore, dovute al meccanismo stesso di calcolo e di correlazione (tabelle, grafici, nomogrammi, ecc.) e non permettono di conoscere, se non in maniera molto approssimativa, il reale fabbisogno qualitativo di nutrienti.

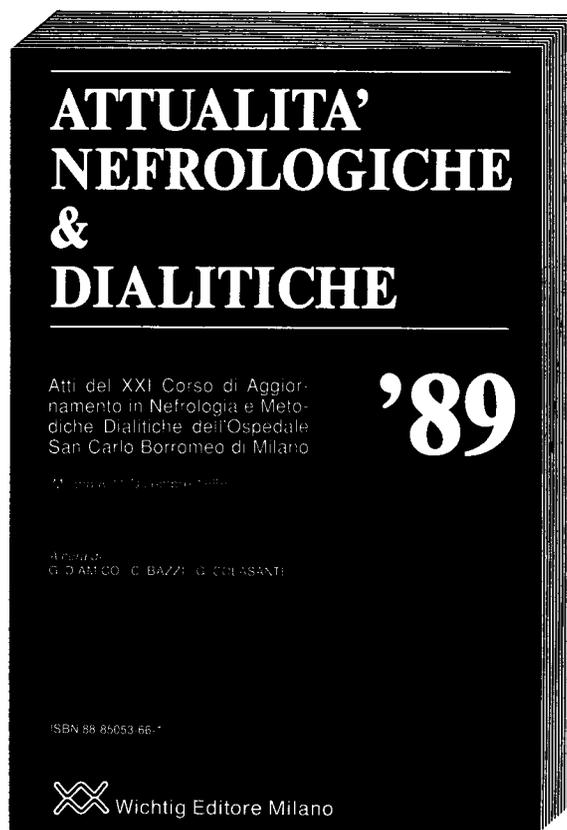
Da pochi anni è stata introdotta nell'uso clinico nefrologico-dialitico la pratica della *calorimetria indiretta* che, attraverso il monitoraggio istantaneo e in continuo degli scambi gassosi (consumo di O₂ e produzione di CO₂) e la contemporanea elaborazione computerizzata dei dati antropometrici del paziente e della entità della perdita totale di azoto, calcola direttamente la spesa energetica basale e la percentuale di utilizzo dei nutrienti. Diviene conseguentemente sem-

plice individuare l'eventuale carenza o eccesso di apporto proteico-lipidico e provvedere quindi all'adeguamento dietetico.

In conclusione riteniamo che la *calorimetria indiretta*, supportata dai dati forniti dalla *bioimpedenziometria* sulla situazione nutrizionale dell'uremico, non infrequentemente in stato di malnutrizione, per la semplicità di esecuzione, la non invasività e l'alta affidabilità dell'esame, rappresenti oggi uno strumento di indagine clinica indispensabile anche in nefrologia per una migliore e sempre più adeguata terapia "globale" dell'uremico.

1. Bernardi A, Biasia F, Crepaldi C, Poluzzi P, Senesi G, Bucciante G. Valutazione dello stato nutrizionale in rapporto all'età dialitica. *G Clin Med* LXIX 1988; 3: 169-73.
2. Cerra FB. Pocket manual of surgical nutrition. The C.V. Mosby Company, St. Louis, Toronto, Princeton 1984.
3. Gaggiotti G. Manuale di Nutrizione parenterale. S. Marco Editrice, Padova 1989.
4. Pittoni G, Paccagnella A, Davia G, Toffoletto F, Cosentino M. La calorimetria indiretta in terapia nutrizionale. Padova, 1990.
5. Rumpler VW, Seale JL, Conway JM. Repetability of 24 h energy expenditure measurements in human by indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 147.
6. Nordio M, et al. Indirect calorimetry in evaluation of energy expenditure in uremic dialysis patients. Comunicazione al XXVII Congresso EDTA, Vienna, 5-8 Sett. 1990; (in stampa).

*** **Wichtig news** ***



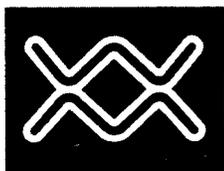
Attualità nefrologiche e dialitiche 1989

*Atti del XX Corso di Aggiornamento
in Nefrologia e Metodiche Dialitiche
dell'Ospedale San Carlo Borromeo*

A cura di G. D'Amico, G. Bazzi, G. Colasanti

Ancora una volta il gruppo del San Carlo ha prodotto un corso ed un volume di alto livello didattico. Non vi è dubbio che anche questo volume '89 va inserito come testo d'obbligo nella libreria del nefrologo.

Testo in italiano, copertina cartonata e plastificata - L. 80.000



Wichtig Editore - Via Friuli 72/74 - 20135 Milano
Tel. 02/5452306-5455122 - Fax 02/5451843