



## Lo studio dell'impedenza bioelettrica nell'analisi della composizione corporea. Stato dell'arte

Maria Rosa Bollea\* e Marco Florida\*

La valutazione della composizione corporea nell'uomo rappresenta un importante argomento di ricerca per le informazioni che può fornire sullo stato nutrizionale del soggetto. Sono oggi disponibili numerosi metodi per un approccio in vivo alla determinazione della composizione corporea, ma ognuno di essi, per le sue caratteristiche tecniche e per le informazioni che fornisce, presenta delle limitazioni d'uso<sup>14</sup>.

Il metodo ideale, infatti, dovrebbe disporre di caratteristiche di sicurezza, rapidità, riproducibilità, semplicità di esecuzione, costo e precisione tali da poter essere usato contemporaneamente per ampi studi sulla popolazione e per dettagliati studi sull'individuo, evidenziando inoltre le variazioni minori della composizione corporea legate a particolari condizioni patologiche (traumi, ustioni, edemi, squilibri idroelettrolitici, malnutrizione, obesità, etc.) e fisiologiche (accrescimento, gravidanza, invecchiamento, esercizio fisico, etc.).

\* Dipartimento di Medicina Interna, Cattedra di Dietoterapia, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Tuttavia, ognuno dei metodi disponibili risponde solo ad alcuni dei requisiti suddetti e la scelta della metodica da applicare dipende quindi dal tipo di campione che si intende esaminare e dal tipo di informazioni che si desidera ottenere. Esiste in questo senso un certo divario fra metodiche accurate, ma che per caratteristiche di costo, difficoltà di esecuzione o potenziale nocività per l'individuo vengono riservate ad indagini su campioni ristretti, e metodiche semplici, di basso costo ed innocue, adatte a studi di massa ma purtroppo scarsamente accurate (tab. 1)<sup>8,14,18</sup>. Proprio l'assenza di un metodo ideale di riferimento (quello oggi maggiormente adottato in questo senso è la densitometria) ha portato inoltre alla difficoltà di paragonare fra loro i dati ottenuti con le diverse metodiche: alcune di esse si basano infatti su modelli teorici di distribuzione compartimentale di alcune sostanze nell'organismo (TBW, TBK, etc.), altre su misurazioni obiettive di tipo antropometrico, altre ancora su valutazioni strumentali nelle quali i vari compartimenti corporei esaminati hanno, secondo il tipo di metodica, un significato a volte

"anatomico" (ad esempio, TAC, ultrasuoni) e altre volte chimico-fisico (ad esempio, densitometria). Di conseguenza, i "compartimenti" in cui è idealmente suddiviso l'organismo con i vari metodi non sono sempre teoricamente coincidenti e i dati non sono sempre paragonabili.

La recente introduzione di alcune metodiche basate sulle proprietà bioelettriche del corpo umano di condurre correnti elettriche (BJA) o di modificare un campo elettromagnetico (TOBEC) costituisce una delle principali novità in questo ambito; gli studi finora eseguiti sembrano mostrare una buona concordanza con le determinazioni della composizione corporea ottenute mediante densitometria o diluizione isotopica. Numerosi studi sono tuttora in corso per migliorare ulteriormente l'accuratezza dei risultati, soprattutto per quanto riguarda l'analisi di condizioni particolari, legate a variazioni patologiche della composizione corporea o alle differenti fasi del ciclo vitale umano.

Brevemente, il TOBEC (analisi della conduttività elettrica totale corporea) si basa sul principio che un organismo introdotto in un campo elettromagnetico produce delle perturbazioni nel campo stesso, che sono dipendenti dalla quantità, dalla concentrazione, dalla composizione e dal volume di distribuzione degli elettroliti in esso contenuti. Assumendo delle relazioni costanti fra l'acqua totale corporea (TBW) e i suoi elettroliti e fra la massa corporea magra (FFM) e il suo contenuto io-

nico è possibile ricavare, a partire dall'analisi della conduttività totale corporea, la TBW e la FFM del soggetto in esame<sup>9,15,16</sup>.

Studi comparativi con altre metodiche per la determinazione di queste due grandezze hanno convalidato il valore predittivo del TOBEC mostrando una buona correlazione fra i risultati, particolarmente quando venivano introdotti fattori di conversione che tenevano conto dell'età e delle caratteristiche morfologiche del soggetto.

L'applicazione pratica di questa metodica tuttavia appare piuttosto destinata, per le sue caratteristiche di costo e di ingombro, ai centri di ricerca specialistica. Per quanto fin qui detto, gli Autori hanno quindi preferito indirizzare il loro interesse sull'analisi dell'impedenza bioelettrica; tale metodica, infatti, anche se non ancora pienamente convalidata nella sua affidabilità per tutto il range di variabilità della composizione corporea, sta già assumendo un grande sviluppo nella pratica clinica in quanto non invasiva e a basso costo.

tosì intorno all'inizio degli anni '70, fa oggi ritenere che alle frequenze solitamente utilizzate (50 kHz) la conduzione della corrente applicata si svolga attraverso tutti i compartimenti dell'acqua corporea. A frequenze inferiori (~1 kHz), nonostante le prime osservazioni di Roffer, l'opinione attuale è che la trasmissione della corrente avvenga solo attraverso i fluidi extracellulari. Tale presupposto teorico di una differente modalità di trasmissione frequenza-dipendente della corrente elettrica nei liquidi corporei è stato utilizzato per il calcolo del rapporto fra fluidi extracellulari e acqua totale corporea da Jenin e Coll., ma non compare in studi successivi.

Nel corpo umano, considerato senza grasso, la frazione residua o massa magra (FFM degli Autori anglosassoni, che comprende anche l'acqua e le componenti proteiche ed elettrolitiche del tessuto adiposo) contiene praticamente tutta l'acqua e gli elettroliti corporei ed ha quindi una conducibilità assai maggiore del grasso. Di conseguenza, è essenzialmente sulla massa magra che è misurabile l'impedenza del corpo umano, e il suo volume è valutabile conoscendo il principio generale che lega l'impedenza alle caratteristiche fisiche del conduttore: l'impedenza di un sistema geometrico dipende infatti dalla lunghezza e configurazione del conduttore, dalla sua area di sezione trasversa e dalla frequenza del segnale. In condizioni di frequenza costante (50 kHz) e di configurazione relativamente costante del corpo umano (assimilato ad un cilindro o ad una serie di cilindri connessi fra loro<sup>2,4</sup>), l'impedenza  $Z$  è legata alla resistività specifica del conduttore ( $\rho$ ) e alle sue dimensioni - lunghezza ( $L$ ) e area di sezione ( $A$ ) - dalla formula  $Z = \rho L/A$ , da cui deriva mol-

## L'analisi dell'impedenza bioelettrica (BIA).

### Principi generali e descrizione della metodica

L'organismo umano è una struttura dalle proprietà bioelettriche alquanto complesse: come in tutti gli organismi viventi, sono soprattutto l'acqua e i suoi elettroliti le componenti che determinano la conduzione della corrente elettrica, mentre il grasso presenta una conducibilità elettrica assai minore. Dal punto di vista teorico, inoltre, anche le membrane cellulari e le superfici di contatto fra i vari tessuti "reagiscono" al passaggio della corrente elettrica di valore non costante con delle modalità particolari, assimilabili a quelle dei condensatori, accumulando cioè una certa quantità di carica elettrica e causando uno spostamento di fase nella corrente applicata. La semplice opposizione al passaggio della corrente è detta resistenza ( $R$ ), mentre l'altro effetto negativo sulla conduzione descritto per le membrane cellulari è la reattanza

( $X_c$ ), e dipende dalla frequenza. Queste grandezze sono legate fra loro dalla formula generale che definisce l'impedenza ( $Z$ ):  $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$ . Da essa si deduce che l'impedenza è composta da entrambe le grandezze, reattanza e resistenza. La reattanza però ha delle importanti variazioni dipendenti dalla frequenza, per cui a valori molto alti e molto bassi di frequenza essa è virtualmente nulla, e tutta l'impedenza è di tipo resistivo, cioè dovuta alla sola resistenza. A frequenze intermedie, la trasformazione angolare del rapporto fra reattanza e resistenza ( $\text{arc tang } X_c/R$ ) è detta angolo di fase ( $\phi$ ) ed è una grandezza per la quale alcuni Autori descrivono delle possibilità applicative nello studio della composizione corporea tramite impedenziometria<sup>2</sup>. Lo studio dei rapporti fra impedenza e frequenza di segnale, sviluppa-

Iliplicando per  $L/L$  la formula nella quale compare il volume:  $Z = \rho L^2/V$  (volume = area x lunghezza); da questa si ricava  $V = \rho L^2/Z$ . Poiché la reattanza nella maggior parte dei conduttori biologici ha dei valori assai piccoli rispetto alla resistenza e la resistenza è un migliore predittore dell'impedenza<sup>12</sup>, la reattanza viene solitamente trascurata<sup>11,12</sup>, sostituendo  $R$  a  $Z$  per cui  $V = \rho L^2/R$  dove il volume del conduttore (l'acqua corporea o la massa magra) è correlato al quadrato dell'altezza del soggetto ( $L^2$ ) e alla resistenza misurata con lo strumento ( $R$ ).

Questo modello teorico, basato esclusivamente sulla componente resistiva ( $R$ ) dell'impedenza, è stato adottato dalla maggior parte degli studiosi in quanto il fattore  $L^2/R$  è apparso in genere quello che presenta la migliore correlazione con i valori di acqua totale corporea e massa magra ottenuti con metodiche di altro tipo.

Recentemente, tuttavia, alcuni Autori hanno incluso anche la reattanza ( $X_c$ ) nella costruzione di nuove equazioni di conversione dei dati bioelettrici, sia considerando, come si è precedentemente accennato, il rapporto reattanza/resistenza (corrispondente all'angolo di fase  $\phi$ )<sup>3</sup>; che valutando l'impedenza in toto ( $\sqrt{R^2 + X_c^2}$ ) nella predizione delle percentuali di massa magra e grasso corporeo nel soggetto<sup>10</sup>.

L'impedenziometria misura resistenza e reattanza dell'individuo mediante due coppie di elettrodi. L'uso della tecnica tetrapolare, con 4 elettrodi, ha lo scopo di ridurre gli effetti della impedenza di contatto e della interazione cute-elettrodi dovuta alla resistenza cutanea.

Il soggetto, vestito ma senza calze e scarpe, deve essere

posto in posizione supina con le braccia e le gambe leggermente divaricate a formare un angolo di circa 30° fra braccia e tronco e di circa 45° fra una gamba e l'altra.

Gli elettrodi, coperti da un sottile strato di gel, vengono applicati - omolateralmente (di solito a destra) alla superficie dorsale della mano e del piede dopo aver deterso con alcool e accuratamente asciugato la cute.

I due elettrodi distali, ai quali viene applicata la corrente (in genere 800  $\mu$ A a 50 kHz), sono posti in corrispondenza delle articolazioni metacarpo-falangee e metatarso-falangee, mentre i due elettrodi prossimali sensori sono posti in posizione mediana fra le eminenze distali del radio e dell'ulna al polso e fra i malleoli laterale e mediale alla caviglia. Gli apparecchi in uso forniscono i dati bioelettrici relativi al soggetto e simultaneamente la loro conversione in percentuali di acqua corporea, massa magra e grasso corporeo sulla base di equazioni realizzate dalle case produttrici e che richiedono, oltre ai dati bioelettrici, anche il peso, la statura e il sesso del soggetto. La determinazione è rapida e non presenta difficoltà manuali o disagio per il paziente.

TABELLA 1

Caratteristiche delle principali metodiche per l'analisi della composizione corporea. (Modificate da<sup>8,14</sup>)

metodica	costo	difficoltà tecnica	possibile nocività	precisione	compartimento esplorato
<i>densitometria:</i>					
- immersione	+++	++++	-	+++++	FFM, % grasso
- pletismografia	++++	+++	-	+++++	
<i>determinazione dell'acqua totale corporea (TBW) con isotopi:</i>					
- deuterio	+++	+++	+/-	+++	TBW
- trizio	+++	+++	+	+++	
- <sup>18</sup> O	++++	++++	-	++++	
<i>determinazione del potassio totale corporeo (TBK):</i>					
- <sup>40</sup> K	++++	++++	+/-	++++	FFM, % grasso
<i>plicometria</i>	+	++	-	++	% tessuto adiposo
<i>circonferenze e misure antropometriche:</i>					
- circ. braccio	+	+++	-	++	% tessuto adiposo area muscolare
<i>analisi dell'attivazione neutronica:</i>					
-	+++++	+++++	+	+++++	Ca, Na, Cl, P, N
<i>assorbimento fotonico:</i>					
-	++++	++++	(+)	++++	contenuto minerale osseo
<i>metilistidina urinaria:</i>					
-	++	+++	-	+++	massa muscolare
<i>creatinina urinaria:</i>					
-	++	+++	-	++	massa muscolare
<i>tomografia computerizzata (TC):</i>					
-	+++++	+++++	+	?	tessuto adiposo? tessuto muscolare? tessuto osseo?
<i>risonanza magnetica nucleare (RMN):</i>					
-	+++++	+++++	-	?	TBW? tessuto adiposo? tessuto muscolare?
<i>ultrasuoni:</i>					
-	++	+++	-	+++	tessuto adiposo
<i>metodi bioelettrici:</i>					
- TOBEC	+++++	+	-	++++	TBW FFM
- BIA	++	+	-	+++	

\* per maggiori dettagli e riferimenti bibliografici riguardo alle metodiche per la valutazione corporea si veda soprattutto la messa a punto sull'argomento di Lukaski<sup>14</sup>