

Accertamento e valutazione dello stato nutrizionale

di Mentuccia Carlo

introduzione

- La composizione corporea è una variabile che, insieme al bilancio energetico e la funzionalità corporea, definisce lo stato di nutrizione.
- Infatti, la composizione del corpo umano e la disponibilità di nutrienti energetici ne condizionano in larga misura le funzioni; poiché la funzionalità dell'organismo condiziona a sua volta lo stato di salute, esiste una chiara relazione tra la composizione corporea e lo stato di salute
- La crescita, l'invecchiamento e lo stato di malattia modificano la composizione corporea

La composizione corporea

- Nel 1906 Adolph Magnus-Levy introdusse il concetto di modello bicompartimentale, secondo il quale l'organismo umano può essere suddiviso in due compartimenti, la massa grassa (**FM**) e la massa magra (**FFM**).
- La **FM** corrisponde al tessuto adiposo e alle strutture lipidiche cellulari e ha una densità di circa 0.9 g/ml.
- La **FFM** ha una densità di circa 1.1 g/ml e comprende i muscoli scheletrici (40%), i muscoli non scheletrici e tessuti magri (40%), lo scheletro (10-15%).



Modello bicompartimentale

| | Elementi costituenti | Densità |
|------------------------------------|--|--|
| FM (anidra) | Lipidi | 0.9 g/ml |
| FFM (72-73% d'acqua) | Glicogeno e Sali minerali Proteine Acqua totale (TBW, total body water) | 1.099-1.100 g/ml ↕ TBW 0.993 g/ml Comp. Proteica 1.34 g/ml Comp. Minerale 3 g/ml |

Modello a 5 compartimenti

- La FFM può essere ulteriormente suddivisa nelle sue componenti :
 - acqua o TBW (total body water) 73%;
 - proteine o PM (protein mass) 20%;
 - minerali o MM(mineral mass) 6%;
 - glicogeno o Gn 1%

L'acqua

- L'acqua è quantitativamente il componente predominante dell'organismo umano, rappresentando circa il **60%** del peso di un individuo adulto.
- Tale percentuale è maggiore nell'infanzia (alla nascita è circa il **77%** del peso corporeo), e diminuisce progressivamente con l'età e/o con l'aumentare dei depositi di grasso.

Distribuzione dell'acqua corporea

- Nell'adulto l'Acqua Totale Corporea (**TBW**, Total Body Water) è distribuita per il **67%** all'interno delle cellule, ove costituisce il Liquido Intra Cellulare (**ICW**, Intra Cellular Water) che, in condizioni fisiologiche, è un indice della massa cellulare.
- Il rimanente **33%** è esterno alla cellula e costituisce il Liquido Extra Cellulare (**ECW**, Extra Cellula Water), che comprende il liquido interstiziale (23%), il plasma (7%), la linfa (2%) ed il liquido transcellulare (1%).

Distribuzione dell'acqua corporea

- Il rapporto **ECW/ICW**, massimo nel neonato, si riduce progressivamente con l'età.
- Con l'invecchiamento si osserva una riduzione della **TBW**, ma fino ad oggi i risultati disponibili non permettono di chiarire se la perdita sia a carico dell'**ECW** o dell'**ICW** o di entrambi.
- La malnutrizione-proteico energetica ed una varietà di malattie (quali lo scompenso cardiaco, la cirrosi epatica e la sindrome nefrosica) si associano ad una espansione della **TBW** e ad un aumento del rapporto **ECW/ICW**.
- Il bilancio dell'acqua dipende dal mantenimento dell'equilibrio tra il volume di acqua in entrata e quello in uscita dall'organismo. Tale equilibrio è regolato dal centro ipotalamico della sete, che regola la quantità di acqua da ingerire, e dell'ormone antidiuretico (**ADH**, Anti Diuretic Hormone), che aumenta il riassorbimento di acqua nel rene.

Fonti di acqua

- Oltre all'acqua introdotta con gli alimenti (**500-700 ml**) e con le bevande (**800-1500 ml**), e che viene assorbita nell'intestino, bisogna considerare l'acqua metabolica (circa **350 ml/die**) prodotta dalla respirazione cellulare, tenendo conto che l'ossidazione di **1 g di proteina** produce **0.39 g** di acqua, quella di **1 g di amido 0.56 g** di acqua e quella di **1 g di grasso 1.07 g** di acqua.
- È il metabolismo dei carboidrati che maggiormente contribuisce alla produzione di acqua metabolica essendo la fonte energetica principale della nostra alimentazione.

Perdite di acqua

- Le perdite fisiologiche di acqua da parte dell'organismo sono dovute soprattutto alla respirazione e **perspirazione** (circa **1250 ml/die**) e alla **produzione di urina** (**800-1500 ml/die**) e di **feci** (**100-150 ml/die**).
- Elevate perdite di acqua si possono però avere anche con il sudore, il vomito e la diarrea. In condizioni fisiologiche basali e di riposo, e alla temperatura ambiente di 18-20 °C, le perdite di acqua sono inferiori ad 1 ml/min; con l'attività fisica e l'aumento della temperatura ambiente queste perdite, dovute alla perspirazione e alla sudorazione, possono arrivare a valori di 14-17 ml/min.

Carenza ed eccesso di acqua

- Bilanci anche moderatamente negativi di acqua possono risultare gravi per l'organismo umano.
- Basta una diminuzione della **TBW** corrispondente al **2%** del peso corporeo per alterare la termoregolazione ed influire negativamente sul volume plasmatico, limitando l'attività e le capacità fisiche del soggetto.
- Con una diminuzione del **5%** si hanno crampi.
- Una diminuzione del **7%** può provocare allucinazioni e perdite di coscienza.
- Perdite idriche vicine al **20%** del peso corporeo totale (**12%** della **TBW**) risultano incompatibili con la vita.

Fabbisogno di acqua

- Il fabbisogno di acqua varia molto da individuo a individuo, e dipende dalla composizione della dieta, dal clima e dall'attività fisica. In condizioni fisiologiche il *turnover* giornaliero di acqua corrisponde al 15% del peso corporeo nei primi mesi di vita e al 6-10% del peso corporeo nell'adulto.
- Nell'adulto un apporto giornaliero di acqua pari a **1 ml/kcal** di energia spesa permette di bilanciare le perdite insensibili attraverso i polmoni e la pelle (che variano a seconda della temperatura, dell'altitudine e dell'umidità dell'aria) e di mantenere un carico di soluti tollerabile per il rene (tale carico varia in funzione della composizione della dieta e in particolare del contenuto in proteine). Tuttavia, in considerazione della forte variabilità legata all'attività fisica, alla sudorazione e al carico di soluti, si può aumentare la raccomandazione a **1,5 ml/kcal** (**National Research Council, 1989**).

Fabbisogno di acqua

- Il bambino è particolarmente a rischio di carenza di acqua, per via della maggior quantità di acqua corporea per unità di peso, del *turnover* più veloce dell'acqua corporea, e della ridotta capacità dei reni ad eliminare il carico di soluti derivante dalle proteine. Pertanto si raccomanda un apporto di 1,5 ml/kcal di energia spesa, che tra l'altro corrisponde al rapporto acqua/energia del latte materno e delle formule pediatriche (**National Research Council**, 1989).

Fabbisogno di acqua

- Particolare attenzione deve essere rivolta al soddisfacimento del fabbisogno di acqua nell'anziano, specie quando lo stimolo della sete è attenuato e/o quando non può essere soddisfatto autonomamente.
- La gravidanza è caratterizzata da un aumento delle necessità di acqua per soddisfare il fabbisogno del feto e del liquido amniotico; tale incremento è di circa **30 ml/die**. A fine gravidanza, l'acqua corporea totale è infatti stata aumentata di oltre **8 litri**. Durante l'allattamento la nutrice richiede un aumento molto significativo dell'apporto di acqua poiché produce in media **750 ml/die** di latte che è costituito da acqua per l'**87%**.

Massa proteica

- Rappresenta il 20% della FFM nell'uomo di riferimento
- Viene calcolata come azoto totale corporeo
- È il compartimento con maggiore significato metabolico in relazione al ruolo assunto dalle proteine nell'ambito della funzionalità cellulare

Massa minerale

- Rappresenta il 6% della FFM
- Comprende una massa ossea (scheletro) e una massa extra-ossea (Sali minerali)

Glicogeno

- È una componente molto labile della FFM essendo una fonte di energia di rapido impiego

La composizione corporea *in vivo*

- La misura più completa per la valutazione dello stato di nutrizione consiste nella misura della composizione corporea *in vivo* attraverso metodi antropometrici e analitici (strumentali).

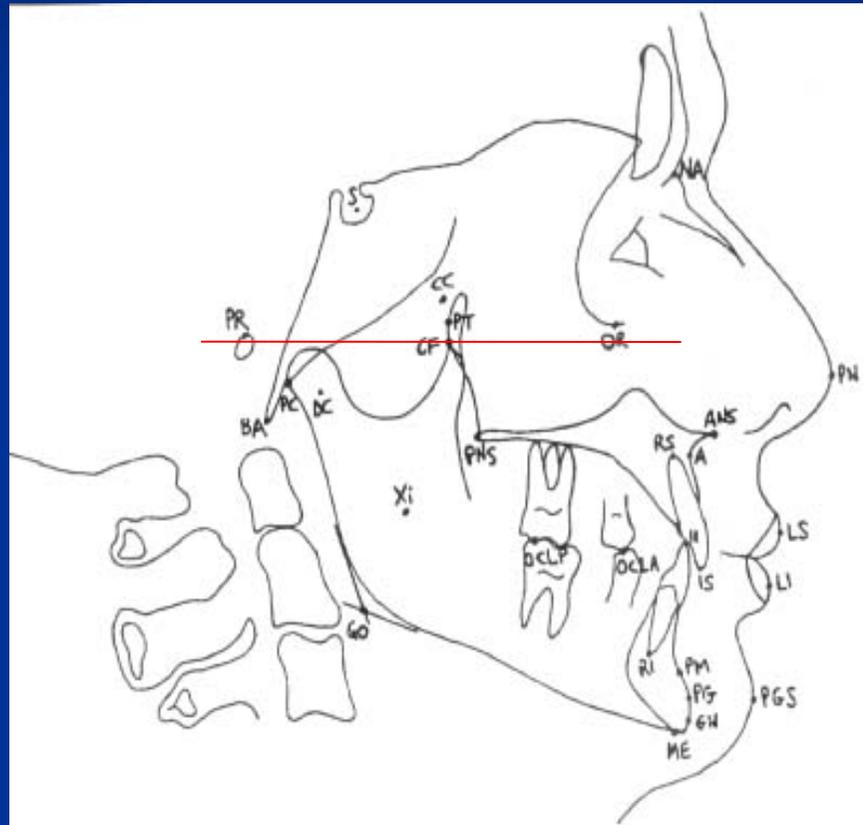
I metodi antropometrici

- I metodi antropometrici si basano su semplici misurazioni come il peso, l'altezza, alcune circonferenze ed altre misure corporee che i vari ricercatori hanno verificato come utili alla valutazione della composizione corporea delle popolazioni misurate.

Tecnica consigliata

- Al momento della misurazione il soggetto è scalzo o indossa calze leggere e pochi abiti.
- Il peso deve essere equamente distribuito su entrambi i piedi.
- La testa si trova nel **piano orizzontale di Francoforte**, piano passante per i punti porion (**Pr**) ed orbitale (**Or**). Esso rappresenta il piano orizzontale di riferimento.
- Le braccia pendono liberamente ai lati del tronco con il palmo delle mani rivolto verso le cosce.
- I calcagni uniti poggiano contro il basamento della tavola verticale e i margini dei piedi formano un angolo di circa 60° .
- Le scapole e le natiche devono essere in contatto con la tavola verticale.

Il piano di Francoforte



Il peso

- L'operatore si pone dietro la bilancia in modo da avere di fronte il soggetto.
- Il soggetto indossa abiti leggeri ma non scarpe.
- I suoi piedi sono posizionati al centro della piattaforma ed il peso è ugualmente distribuito su di essi.

L'Indice di Massa Corporea

- L'indice di Massa Corporea (**Body Mass Index, BMI**) è dato dal rapporto tra il peso espresso in kg e la statura espressa in metri elevata al quadrato.

$$\text{BMI} = \text{peso (kg)} / \text{statura}^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

Come si interpreta il BMI

| | | |
|----------------|---------------------|-------------|
| > 40 | Obesità di 3° grado | Grave obeso |
| 30-40 | Obesità di 2° grado | Obeso |
| 25-30 | Obesità di 1° grado | Sovrappeso |
| 18-25 | Normopeso | Normale |
| < 18 | Sottopeso | magro |

Le Circonferenze

- Le circonferenze corporee esprimono le dimensioni trasversali dei vari segmenti corporei.
- Il metro utilizzato dovrebbe essere flessibile e anelastico, con un regolo largo circa 0.7 cm impresso su di un lato.

Le Circonferenze

- La pressione applicata al metro influenza la validità e l'affidabilità della misurazione: in genere l'operatore deve accertarsi che il metro non produca depressioni cutanee.

Il rapporto vita/fianchi (RVF)

- Quando utilizzata in forma di rapporto con la circonferenza del fianco, la circonferenza della vita è un indice del grado di distribuzione androide del tessuto adiposo: quanto più alto è il rapporto vita/fianchi, tanto più androide è l'obesità e tanto più elevato è il rischio di contrarre malattie come il diabete mellito di tipo II o le malattie cardiovascolari.

Cut-off point del rapporto vita/fianchi

Donne

$RVF > 0.85$ obesità androide

$RVF < 0.78$ obesità ginoide

$0.79 \leq RVF \leq 0.84$ obesità intermedia

Uomini

$RVF > 1.0$ obesità androide

$RVF < 0.94$ obesità ginoide

$0.95 \leq RVF \leq 0.99$ obesità intermedia

Obesità di tipo androide

- Obesità centripeta, prevalentemente a carico del tronco, con gambe sottili. Distribuzione del grasso al viso, collo, spalle e addome al di sopra dell'ombelico. Questo tipo di obesità induce un'aumentata incidenza di:
 - Diabete
 - Iperlipoproteinemia glucido-sensibile ed ipercolesterolemia
 - Iperuricemia
 - Ipertensione ed aterosclerosi

Obesità di tipo ginoide

- Distribuzione del grasso tipicamente femminile, su anche, natiche, cosce e addome sotto l'ombelico. Aspetto a “pera”, con accumulo del grasso sottocutaneo al di sotto dell'ombelico e agli arti inferiori. Si associano:
- Minore incidenza di malattie metaboliche, diabete, ipertensione.
- Maggiore incidenza di insufficienza venosa, artrosi del ginocchio.
- Cellulite.

Obesità di tipo intermedio

- L'aspetto è molto vicino alla forma androide, tuttavia la distribuzione del grasso non è ben definita come nei casi precedenti. Si associa spesso a malattie vascolari, come succede per le forme androidi.

Il metodo plicometrico (Il principio)



Plicometro

La plicometria

- La plicometria è una tecnica semplice e non invasiva di valutazione del grasso corporeo.
- Il grado di correlazione del grasso sottocutaneo con quello totale è funzione dell'età e varia in differenti individui e popolazioni.
- Il valore predittivo delle pliche corporee per la massa grassa totale varia inoltre con il sito di misurazione: alcuni siti sono strettamente correlati alla massa grassa totale mentre altri sono relativamente indipendenti da essa.

La plicometria

- La plicometria consente di definire la topografia del grasso sottocutaneo e ciò assume grande importanza soprattutto alla luce del fatto che non tutti i depositi adiposi sottocutanei si comportano allo stesso modo in termini di contributo alle malattie associate all'obesità.

La plicometria

- È importante standardizzare i criteri di selezione e localizzazione dei siti di misurazione, in quanto anche loro piccole variazioni possono compromettere grandemente la misurazione.
- La compressibilità della cute e del tessuto adiposo, ad esempio, è funzione del grado di idratazione, dell'età, della taglia e varia da individuo a individuo. Essa è maggiore nei soggetti giovani per il maggiore grado di idratazione tissutale. Peraltro, gradi estremi di idratazione, come l'edema, alterano anch'essi la compressibilità.

La plicometria

- La maggiore o minore facilità con cui il tessuto adiposo può essere “separato” o “sollevato” da quello muscolare sottostante varia da un sito all’altro e da un individuo all’altro; gli individui molto magri e i grandi obesi pongono i maggiori problemi di misurazione.
- In generale si può dire che quanto più spessa è una plica tanto meno riproducibile è la sua misura.

La tecnica plicometrica



- Il pollice e l'indice devono essere posizionati sulla pelle ad una distanza di otto centimetri l'uno dall'altro, su una linea perpendicolare all'asse lungo della plica da misurare.

La tecnica plicometrica

- I tessuti sollevati devono essere in quantità sufficiente per formare una plica i cui lati siano approssimativamente paralleli.
- La plica deve essere mantenuta sollevata fino a quando la misurazione non è stata ultimata.
- La mano destra sostiene il calibro mentre la sinistra solleva la plica.
- Il calibro viene compresso per non più di 4 secondi; in caso contrario la misura ottenuta sarà più piccola di quella reale perché i fluidi saranno forzati ad uscire dai tessuti.

La tecnica plicometrica

- Le pliche considerate “raccomandate” sono:
- La plica bicipitale
- La plica tricipitale
- La plica sottoscapolare
- La plica pettorale
- La plica soprailiaca
- La plica addominale

La plica bicipitale



La plica tricipitale



La plica sottoscapolare



La plica soprailiaca



Calcolo della percentuale di massa grassa

- Scopo ultimo della plicometria è quello di quantificare il grasso sottocutaneo e totale e di definire il tipo di distribuzione.
- Gli strumenti previsti dalla metodica sono, pertanto, come già accennato in un precedente punto:
 - il metro
 - il plicometro
 - le formule di calcolo della densità totale e della %FM (**Formula di Siri**)

Calcolo della percentuale di massa grassa

- Il limite principale della plicometria è rappresentato dall'assunzione che la quantità del grasso sottocutaneo rispecchi quella del grasso totale e dalla difficoltà di effettuare le misure con errori che rientrino all'interno dell'errore standard del 5%. A tal proposito la tecnica richiede un "training di standardizzazione delle misurazioni" affinché l'errore delle misure sia tenuto entro i limiti dell'errore standard suddetto.

Calcolo della percentuale di massa grassa

- Il metodo plicometrico è, dunque, un “metodo indiretto” in quanto le stesse misurazioni antropoplicometriche dovranno inserirsi in formule per la determinazione della densità corporea. Conoscendo quest’ultima sarà possibile risalire alla quantità di grasso corporeo (**FM**) utilizzando altre espressioni come ad esempio la già citata formula di Siri.

Calcolo della percentuale di massa grassa

- Qualunque sia la formula utilizzata per derivare la densità totale corporea (D_t), il metodo risulta comunque affetto da un errore accidentale che si attesta appena al di sotto del 5%.
- In ogni caso, per una prima valutazione del grasso corporeo, il metodo plicometrico risulta il metodo più usato in clinica, non fosse altro per l'economicità, la trasportabilità e la facilità d'uso qualora effettuato da personale opportunamente addestrato.

La formula di Durnin & Womersley (1974)

- Questi due autori hanno proposto per il calcolo della massa grassa la trasformazione logaritmica delle quattro pliche: bicipitale (**B**), tricipitale (**T**), sottoscapolare (**SS**) e soprailiaca (**SI**).
- Il considerare quattro pliche al posto di una sola ci fornisce una migliore definizione topografica del tessuto adiposo.
- L'uso del logaritmo al posto del valore assoluto delle pliche è giustificato dal fatto che la relazione tra pliche e densità non è lineare, ma curvilinea ed i valori delle pliche hanno nel corpo una distribuzione non omogenea.

La formula di Durnin & Womersley (1974)

$$D = 1176.5 - 74.4 \log (\mathbf{B} + \mathbf{T} + \mathbf{SS} + \mathbf{SI})$$

La formula di Siri

- La formula di Siri consente di calcolare la percentuale di grasso corporeo, una volta nota la densità.

$$\% \text{ di grasso corporeo} = (4.951 \text{ BD} - 4.5) 100$$

L'impedenziometria (i principi biofisici)

- L'impedenziometria è una tecnica capace di trarre informazioni sulla composizione tissutale di un organismo vivente, partendo dal presupposto che i tessuti biologici hanno la proprietà di condurre corrente elettrica.
- Si deve intendere per corrente elettrica quel flusso di cariche elettriche che scorre in un conduttore soggetto ad una differenza di potenziale elettrico (V).

L'impedenziometria (i principi biofisici)

Intensità di corrente (I)

- L'intensità di corrente viene definita come il rapporto della quantità di carica trasportata nell'unità di tempo. L'unità di misura della corrente elettrica (**Ampere**) viene espressa come l'intensità con cui la corrente convoglia in un conduttore 1 Coulomb di elettricità in 1 secondo.

$$I = \text{Quantità di carica} / \text{tempo} \text{ (Ampere} = 1 \text{ Coulomb} / 1 \text{ sec)}$$

- Si ricordi che il Coulomb è la carica che posta nel vuoto alla distanza di 1 metro da una carica uguale, la respinge con la forza di $9 \cdot 10^9$ Newton.

L'impedenziometria (i principi biofisici)

La legge di Ohm

- La resistenza che un conduttore offre al passaggio di una corrente elettrica continua (i) è data dal rapporto tra la tensione (V) e l'intensità di corrente che attraversa il conduttore:

$$R = V/I \text{ (unità di misura: } 1 \text{ ohm} = 1 \text{ Volt}/1 \text{ Ampere)}$$

L'impedenziometria (i principi biofisici)

Resistenza elettrica (R) e resistività (ρ) di un conduttore

La resistenza elettrica (R) è la misura dell'opposizione che un conduttore offre al passaggio di corrente. Essa in realtà dipende dalla forma geometrica del conduttore e dalla specifica attitudine del materiale costituente il conduttore a condurre o meno corrente, proprietà intrinseca che si chiama resistività (ρ) del materiale.

$$R = \rho L/S$$

L'impedenziometria (i principi biofisici)

- Se pensiamo il corpo umano come un cilindro conduttore e ricordiamo l'espressione $R = \rho L / S$, con semplici passaggi matematici possiamo risalire ad una espressione che relaziona il volume del cilindro con il valore della resistenza:

$$V = \rho H^2 / R \quad \text{TBW} = \rho H^2 / R$$

- Questa espressione fondamentale è alla base di molte equazioni per la stima dei compartimenti corporei idratati, ed il termine H^2 / R (**indice BIA**) risulta il parametro più influente tra quelli inclusi nelle equazioni e che generalmente spiega statisticamente il 75% della misura sia che stia stimando la **TBW** che la **FFM** in soggetti normopeso.

L'impedenziometria (i principi biofisici)

- Al fine di migliorare la precisione, i ricercatori sono stati indotti ad includere nelle equazioni di predizione parametri anamnestici (peso, età, sesso, ecc.) che hanno creato una dipendenza delle equazioni dalle caratteristiche campionarie osservate (equazioni popolazione-specifiche). $TBW = a(H^2/R)+b$ è una equazione di tipo lineare, dove i coefficienti a e b risultano determinati per popolazioni specifiche. In pratica, una volta misurata l'impedenza corporea (Z) con l'apposito strumento (Impedenziometro), essa viene inserita in apposite formule per la determinazione della TBW o della FFM . Per tale ragione il metodo impedenziometrico è considerato un metodo indiretto.

L'impedenziometria (i principi biofisici)

- Il comportamento elettrico dei due distretti corporei risulta estremamente diversificato, sia in ragione della diversa quantità di acqua in essi contenuta, sia in ragione della diversa composizione delle cellule del tessuto magro e adiposo. In condizioni fisiologiche, la **FFM** è costituita dal **73%** di acqua, mentre la **FM** viene praticamente considerata anidra, benché potrebbe contenerne fino al **10%**. In ogni caso, la **FM** non ha caratteristiche di buona conduzione della corrente mentre la **FFM** risulta un buon conduttore e ad essa viene imputata la gran parte delle proprietà conduttive dell'intero corpo.

Strumenti ed equazioni di stima dei comparti corporei

- Gli strumenti utilizzati per condurre misure di impedenza corporea sono chiamati impedenziometri. Essi misurano direttamente la resistenza **R** e la reattanza **X_c** corporea con una precisione dell'1%, mentre le stime della **TBW** e della **FFM** mediante equazioni comportano un errore di circa il 3% del peso corporeo. La stima della massa grassa, **FM**, è determinata con modalità doppiamente indiretta (**FM** = peso corporeo (**BW**, Body Weight) - **FFM**), come complemento al peso della **FFM**, e comporta un errore fino al 5%.

Strumenti ed equazioni di stima dei comparti corporei

- Esistono vari tipi di impedenziometri:
- Impedenziometri monofrequenziali
- Impedenziometri multifrequenziali
- Impedenziometri a frequenza spettroscopica

Strumenti ed equazioni di stima dei comparti corporei

L'impedenziometria monofrequenziale

- Gli impedenziometri monofrequenziali permettono di effettuare misure d'impedenza ad una sola frequenza, generalmente utilizzando corrente di ampiezza minore di 1mA picco-picco alla frequenza di 50 KHz.

Strumenti ed equazioni di stima dei comparti corporei

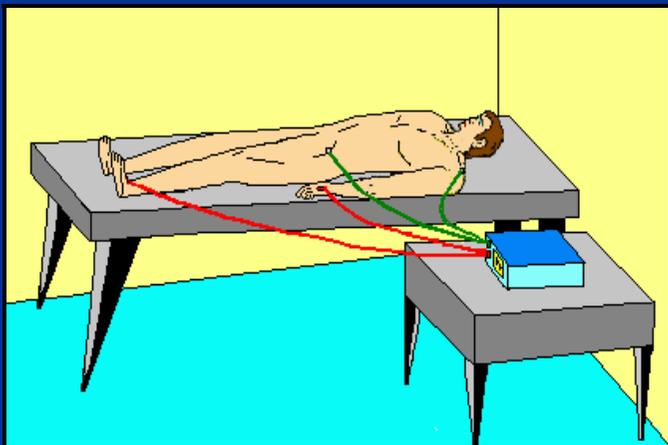
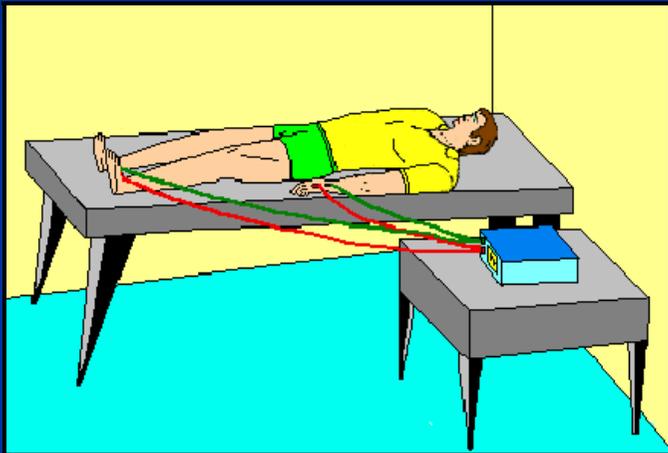
L'Impedenziometria Multi-Frequenziale (MFBIA)

- Il metodo impedenziometrico, è a tutt'oggi suscettibile di continui aggiornamenti e ottimizzazioni sia nella progettazione di formule per un più ampio range di applicabilità sia per un diverso approccio modellistico. Sotto quest'ultima considerazione sono stati pensati impedenziometri che lavorano a più frequenze, detti appunto multifrequenziali.

Strumenti ed equazioni di stima dei comparti corporei

- Tali apparecchiature fondano la loro funzionalità sulla considerazione che mentre a bassa frequenza il contributo resistivo è massimalmente dovuto al comparto extra-cellulare, ad alta frequenza anche il tratto capacitivo fa sentire la sua influenza, man mano che i vari condensatori si “attivano” sfasando più o meno la corrente di uscita. In tal modo da una serie di misure di resistenza (\mathbf{R}), Reattanza (\mathbf{Xc}), Angolo di fase (\mathbf{f}) e Impedenza (\mathbf{Z}), misurate a varie frequenze di corrente erogata, è possibile determinare da un range di valori la cosiddetta frequenza caratteristica (\mathbf{Fc}). Tale valore introdotto in formule più articolate di quella fondamentale, prima descritta, permette di determinare valori più affidabili di **TBW**, **ICW**, **ECW**, **FFM**.

L'impedenziometria "Total Body" e segmentale



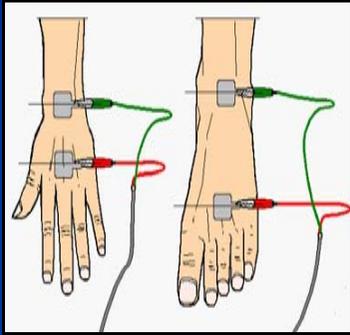
Posizione del corpo durante la misura

- La misurazione deve essere eseguita con il soggetto disteso in posizione supina; a questo proposito, è da tenere in considerazione il tempo in cui il soggetto rimane disteso prima dell'effettuazione della misura, in quanto alcuni dati hanno dimostrato un brusco aumento dei valori di impedenza entro i primi dieci minuti.

Posizione del corpo durante la misura

- È inoltre raccomandabile che le braccia siano allontanate dal corpo a formare un angolo di 30-40 gradi con il tronco. Allo stesso modo, le gambe devono essere allontanate fra di loro. L'adduzione o l'incrocio delle gambe infatti, cortocircuita il percorso che normalmente effettua la corrente, riducendo di conseguenza il valore di impedenza misurato. Nei soggetti in cui non sia possibile separare effettivamente le gambe, come spesso avviene in una condizione di obesità, dovrebbe essere utilizzata una barriera isolante (ad es. vestiti asciutti) tra le gambe.

Elettrodi e punti di applicazione (punti di reperi)



Influenza dell'assunzione di cibo o bevande

- Alcuni studi hanno dimostrato che l'assunzione di cibo e bevande portano ad una diminuzione dell'impedenza di 5-15 Ω per un periodo che si protrae dalle 2 alle 4 ore. Per non incorrere in tali variazioni si consiglia di effettuare la misura dopo un digiuno di almeno 4 ore.

Influenza dell'esercizio fisico

- L'attività fisica intensa comporta un aumento della perfusione vascolare e della temperatura dei tessuti, un incremento del flusso sanguigno a livello cutaneo con conseguente vasodilatazione, aumento della sudorazione e perdita di fluidi. Di conseguenza l'attività fisica può influenzare notevolmente la BIA, pertanto si raccomanda di condurre misure dopo parecchie ore dallo svolgimento dell'esercizio fisico in modo da ristabilire il normale stato di idratazione.

Influenza del ciclo mestruale

- La variabilità intra-individuale delle misure impedenziometriche è più elevata nelle donne a causa delle variazioni dello stato di idratazione imputabili alle varie fasi del ciclo mestruale, pertanto misure condotte in tale periodo potrebbero subire fluttuazioni fuori forma.

Anamnesi alimentare

- Si tratta di un colloquio attraverso il quale, con semplici domande, vengono appurati i gusti e le abitudini alimentari del soggetto (numero di pasti, tipi di alimenti preferiti, condizioni ambientali e familiari in cui i pasti vengono consumati, metodi di cottura, abbinamenti, intolleranze e idiosincrasie).

Il sovrappeso e l'obesità si definiscono in base alla percentuale di massa grassa

American Council on Exercise

| Classificazione | Donne (% grasso) | Uomini (% grasso) |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Grasso essenziale | 10-12% | 2-4% |
| Atleti | 14-20% | 6-13% |
| Persone allenate | 21-24% | 14-17% |
| Livello accettabile | 25-31% | 18-25% |
| Obesi | >32% | >25% |

Misura del metabolismo

La calorimetria indiretta

LARN, livelli di assunzione giornalieri raccomandabili di energia e di nutrienti

| | FABBISOGNO ENERGETICO (kcal/die) | PROTEINE (g/die) | LIPIDI (g/die) | CARBOIDRATI (g/die) |
|-----------------------------|---|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Maschi (18-29 anni) | 2543 | 65 | 72 | 421 |
| Femmine (18-29 anni) | 2043 | 51 | 57 | 332 |

Fisiologia della nutrizione

- La nutrizione rappresenta quel processo fisiologico con il quale un alimento, una volta introdotto nell'organismo umano, libera con la sua trasformazione (**metabolismo**) le potenzialità che possiede (**energetiche, plastiche, protettive**), consentendo all'organismo stesso di utilizzarle per le proprie funzioni vitali: accrescimento, mantenimento, riproduzione, attività fisica. La nutrizione fornisce quindi il carburante per la prestazione fisica.

Bilancio energetico

- Per continuare a vivere, ogni essere deve mantenere in equilibrio il proprio bilancio energetico: l'energia introdotta come cibo deve pareggiare quella spesa nei processi di ricambio, crescita e riproduzione.
- In altri termini:
- **Assunzione energetica** (dieta) = **Dispendio energetico** (metabolismo basale + termogenesi dieto-indotta + attività fisica) + **Variazioni delle riserve.**

Il bilancio energetico

- Per mantenere uno stato di eunutrizione l'equilibrio di bilancio non deve essere raggiunto esclusivamente in termini energetici (quantitativi), ma anche in termini qualitativi, cioè con l'adeguata assunzione di nutrienti (proteine, grassi, vitamine, minerali).

Le riserve corporee

- L'unica fonte di energia per gli organismi viventi è il cibo, che può essere misurato come apporto calorico. I grassi, le proteine e i carboidrati ingeriti o vengono ossidati per produrre energia, oppure trasformati per essere stoccati. L'energia viene immagazzinata principalmente sotto forma di grasso. Un uomo del peso di 70 kg ha all'incirca 16 kg di grasso, che sono in grado di produrre 150.000 kcal per ossidazione.

Le proteine come tessuto di riserva

- La perdita di grasso in fase di digiuno è accompagnata dalla perdita di proteine. Un uomo in condizioni fisiologiche ha all'incirca 11 kg di proteine di cui 7 sono intracellulari e 4 kg sono extracellulari. Le proteine extracellulari si trovano essenzialmente nelle ossa, nei legamenti, nei tendini, nella cartilagine e nel tessuto connettivo; questa porzione proteica è molto stabile e non è disponibile per i fabbisogni metabolici.
- Le proteine intracellulari assolvono a varie funzioni (enzimi, elementi contrattili e strutturali della cellula).
- Queste proteine funzionali sono continuamente sintetizzate e degradate, e circa 5 kg di proteine, molte delle quali provengono dal muscolo, possono essere mobilizzati durante digiuni prolungati.

Il processo di gluco-genesi a partire dalle proteine

- Tutti gli organi e tessuti, eccetto il cervello, perdono proteine e questa perdita riduce i meccanismi di difesa dell'organismo compromettendo la resistenza alle infezioni.
- La gran parte delle persone che sono morte a seguito di digiuni prolungati, nello stadio finale, sono stati infettati da tutta una serie di agenti patogeni. Questi 5 kg di proteine rappresentano una quantità minima di energia se comparata con i grassi. Comunque le proteine sono quasi interamente convertite in glucosio, che è richiesto dal cervello. Questo processo di gluco-genesi ha luogo nel fegato e nei reni.

I carboidrati come riserva di energia

- Assieme al grasso e alle proteine, bisogna considerare i carboidrati. Sotto questa forma sono storate nel nostro organismo dalle 1000 alle 3000 kcal. Questa energia è immediatamente disponibile per l'esercizio fisico.
- Altre componenti nel corpo, come i fosfolipidi e gli acidi nucleici, possono fornire una piccola quantità di energia ma non vengono generalmente prese in considerazione nel valutare il bilancio energetico.

Dispendio energetico e tecniche di misura

- L'organismo umano si trova in uno scambio di calore continuo con l'ambiente che lo circonda. L'energia è fornita all'organismo sotto forma di legami chimici, attraverso gli alimenti. L'energia contenuta nei macronutrienti (carboidrati, lipidi, proteine e alcol) è liberata durante i processi ossidativi, che implicano un consumo continuo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica.
- In seguito all'ossidazione dei nutrienti è liberata energia (calore), che viene utilizzata per mantenere la temperatura corporea costante in ambito fisiologico, per lo svolgimento di lavoro chimico (biosintesi di composti), lavoro osmotico (gradienti ionici) e lavoro meccanico (contrazione muscolare).

Dispendio energetico e tecniche di misura

- Gli alimenti forniscono all'organismo l'energia necessaria per compensare la spesa energetica, mediante la combustione di carboidrati, lipidi, proteine e alcol.
- **1 g di carboidrati = 4 kcal**
- **1 g di lipidi = 9 kcal**
- **1 g di proteine = 4 kcal**
- **1 g di alcol = 7 kcal**
- Mentre i carboidrati e i lipidi, in presenza di ossigeno, sono completamente ossidati e trasformati ad anidride carbonica e acqua, le proteine producono anche composti azotati che sono successivamente escreti sotto forma di urea.

Dispendio energetico e tecniche di misura

- L'obiettivo di un attento programma nutrizionale deve essere quello di bilanciare il livello di stress metabolico di un soggetto, di prevenire la perdita di proteine viscerali e tissutali (massa magra) e di evitare una iper- o iponutrizione. Per raggiungere questo obiettivo, è essenziale condurre un'accurata valutazione dello stato nutrizionale, per determinare sia il dispendio energetico totale sia la giusta miscela di substrati da somministrare al soggetto.

Dispendio energetico e tecniche di misura

- Il dispendio o spesa energetica totale giornaliera (total daily energy expenditure, **TDEE**) può essere suddiviso in tre componenti principali:
- **metabolismo di base** (basal metabolic rate, BMR, o resting metabolic rate, RMR);
- **termogenesi dieto-indotta** (diet- induced thermogenesis, DIT);
- **termogenesi indotta dall'attività fisica** (work-induced thermogenesis, WIT).

Il BMR

- Il BMR rappresenta, per definizione, il minimo dispendio energetico misurabile mentre il soggetto è in stato di veglia. Questa misurazione è effettuata in condizioni altamente standardizzate ed è definita come la spesa energetica di un individuo a completo riposo fisico e psicosensoriale mentre è disteso su un lettino, sveglio da poco tempo (circa mezz'ora), in stato termoneutrale (22-26 ° C), 12-14 ore dopo l'assunzione dell'ultimo pasto.
- Il soggetto, inoltre, deve aver goduto di un sonno definito riposante e non deve essere portatore di alcun genere di patologia.
- Il termine basale suggerisce il concetto che l'energia spesa da un individuo in queste condizioni dovrebbe corrispondere al suo minimo dispendio energetico. In realtà durante il sonno la spesa energetica può essere inferiore al BMR di circa il 5-10%.

La DIT

- La DIT è definita come aumento della spesa energetica basale in risposta all'assunzione di un pasto. In un individuo medio, che abbia un'alimentazione normale, la termogenesi dieto-indotta rende conto di circa il 10% del dispendio energetico totale giornaliero. La teoria più recente ritiene che la **DIT** sia costituita da due componenti: una cosiddetta obbligatoria e una facoltativa. La prima sarebbe da mettere in relazione con la spesa energetica che l'organismo deve compiere per digerire, assorbire, trasportare e assimilare i nutrienti ingeriti. La frazione facoltativa, che ammonterebbe al 30-40% della **DIT** totale, sarebbe dovuta alla stimolazione del sistema nervoso simpatico in seguito, soprattutto all'ingestione di carboidrati. Tuttavia, le basi biochimiche di questa componente non sono ancora state del tutto chiarite.

La WIT

- La WIT è la spesa energetica necessaria per compiere qualunque tipo di attività fisica. La sua entità è determinata dal tipo, dalla durata e dall'intensità del lavoro eseguito. L'attività fisica può provocare un notevole aumento del dispendio energetico. È comunque difficile stimare in maniera accurata la spesa energetica dovuta all'attività fisica. In particolare, risulta difficile misurare il grado di attività spontanea (i piccoli movimenti impercettibili), il cosiddetto **fidgeting**. Oltre al fabbisogno energetico basale, la WIT è il fattore che influenza maggiormente la richiesta energetica di un soggetto. Per un individuo che conduce un tipo di vita sedentaria, la WIT è responsabile del 20-30% del dispendio energetico totale giornaliero, ma può essere inferiore nel soggetto ospedalizzato (10-15%) o, al contrario, raggiungere il 50% e oltre (per esempio in un atleta) del dispendio energetico totale giornaliero.

Tecniche di misura

- Esistono diverse metodiche per la valutazione del dispendio energetico di un soggetto. Queste tecniche differiscono tra loro per le modalità di esecuzione, la precisione, l'accuratezza, la trasportabilità dell'apparecchiatura, i disagi arrecati al paziente e il costo. Ognuna di esse presenta dei vantaggi e alcuni svantaggi che saranno esaminati di seguito.
- In linea generale, i metodi disponibili sono suddivisi in calorimetrici e non calorimetrici. La calorimetria è definita come la misura della produzione o, alternativamente, della perdita di calore. Tale misura può essere ottenuta direttamente (calorimetria diretta) o indirettamente (calorimetria indiretta) misurando la perdita totale di calore da parte dell'organismo.

Tecniche di misura

- Le metodiche di valutazione del dispendio energetico sono le seguenti:
- calorimetria diretta
- calorimetria indiretta
- metodo fattoriale
- monitoraggio della frequenza cardiaca
- metodo dell'acqua doppiamente marcata

Calorimetria diretta

- La calorimetria diretta è la metodica di riferimento con la quale vengono convalidate le altre tecniche di misura. La calorimetria diretta si basa sul principio che tutti i processi biologici del corpo umano producono calore e che questo possa essere misurato. La calorimetria diretta è eseguita ponendo un individuo dentro un'apposita camera calorimetrica, isolata termicamente, così da poter valutare il calore eliminato per radiazione, convezione, conduzione ed evaporazione. La quantità di calore dissipata dal soggetto è rilevata mediante uno scambiatore di calore raffreddato ad acqua che viene posto nella camera. Il calcolo si basa sul flusso dell'acqua di raffreddamento e sul gradiente termico che si instaura attraverso le pareti dello scambiatore di calore.
- I vantaggi principali della calorimetria diretta sono la precisione e l'accuratezza della misura, mentre gli svantaggi sono l'alto costo della strumentazione e la mancanza di informazioni riguardo ai singoli substrati energetici utilizzati dal soggetto e al consumo totale.

Calorimetria indiretta

- La calorimetria indiretta permette di valutare il dispendio energetico calcolando, tramite la misura del consumo d'ossigeno (VO_2 in ml/min) e della produzione di anidride carbonica (VCO_2 in ml/min), il calore (o energia) prodotto dall'organismo nell'unità di tempo.
- Se si assume che tutto l'ossigeno consumato sia utilizzato dall'organismo per ossidare i substrati energetici e che tutta l'anidride carbonica prodotta sia eliminata a livello polmonare, è allora possibile calcolare il dispendio energetico dell'individuo.
- La produzione di energia è quindi calcolata misurando lo scambio dei gas respiratori (VO_2 e VCO_2) associato con l'ossidazione dei quattro substrati energetici (carboidrati, proteine, lipidi e alcol). Dal VO_2 è possibile poi risalire al dispendio energetico conoscendo l'equivalente calorico dell'ossigeno.

Valutazione del dispendio energetico

- Il VO_2 e il VCO_2 sono calcolati attraverso la ventilazione polmonare (VE , l/min) del soggetto e le concentrazioni di O_2 e di CO_2 nell'aria ambiente (FIO_2 e $FICO_2$) e nell'aria espirata (FEO_2 e $FECO_2$):
- $VO_2 = (FIO_2 - FEO_2) VE$
- $VCO_2 = (FICO_2 - FECO_2) VE$

I vantaggi della calorimetria indiretta

- Rispetto alla calorimetria diretta, quella indiretta ha il vantaggio di fornire una misura dell'ossidazione dei diversi substrati a partire dal calcolo del rapporto tra produzione di anidride carbonica e consumo di ossigeno (quoziente respiratorio, QR). Il valore di questo rapporto è diverso secondo il tipo di nutriente ossidato. Dal momento però che possono essere ossidati quattro diversi substrati e misurati solo due parametri (VO_2 e VCO_2), il calcolo richiede anche la conoscenza della quantità di proteine ed eventualmente di alcol ossidati durante il giorno. L'ossidazione proteica è generalmente stimata dalla misura dell'azoto urinario escreto nelle 24 ore (per il 90-95% sotto forma di urea). L'azoto urinario rappresenta il catabolita terminale dell'ossidazione proteica e sapendo che 1 g di azoto urinario corrisponde a 6.25 g di proteine è possibile risalire alla quantità giornaliera di proteine ossidate. L'ossidazione dell'alcol può essere misurata dal consumo di alcol.

La stima del metabolismo basale

- Il principio delle superficie prevede una relazione costante tra metabolismo di base e superficie corporea calcolata a partire da peso e statura, secondo l'equazione di Du Bois.
- Questo principio è stato però messo in discussione quando si è riscontrato il differente contributo che le diverse masse corporee forniscono al BMR. La massa magra, più precisamente la massa metabolicamente attiva (costituita dalla componente cellulare di tutti gli organi interni e dal tessuto muscolare), è oggi ritenuta il comparto corporeo che rende conto del consumo d'ossigeno.
- Il BMR di un soggetto così calcolato può sovrastimare o sottostimare il valore reale fino al 20%.

La stima del metabolismo basale

- Uno dei fattori che influenzano maggiormente il metabolismo basale (BMR) è la taglia corporea.
- Molti studi sulla malnutrizione hanno dimostrato che le restrizioni dietetiche causano una riduzione della spesa energetica, quando espressa in termini di calorie per unità di peso corporeo.
- Uno degli studi più completi in questo senso fu condotto da **Benedict** nel 1912 (Benedict FG: A study of Prolonged Fasting. Washington DC, Carnegie Institute, Publication No. 203, 1915).

L'equazione di Harris e Benedict per la stima del metabolismo basale

- Harris e Benedict hanno proposto alcune formule per la stima del metabolismo basale: queste formule tengono conto del sesso, dell'età, della statura e del peso e sono state elaborate su studi condotti su 136 uomini, 103 donne e 94 bambini.
- Men: $EE \text{ (kcal)} = 66.5 + 13.75 W + 5.003 H - 6.775 A$
 $EE \text{ (kJ)} = 278 + 57.5 W + 20.93 H - 28.35 A$
- Women $EE \text{ (kcal)} = 655.1 + 9.563 W + 1.850 H - 4.676 A$
 $EE \text{ (kJ)} = 2741 + 40.0 W + 7.74 H - 19.56 A$
dove A rappresenta l'età.

Media del Metabolismo Basale delle donne e degli uomini Italiani

| Uomini | | Donne | |
|---------------|--------------|---------------|-------------|
| Media | Range | Media | Range |
| 7983 kJ/24h | 6320 - 12502 | 6127 kJ/24h | 3465 - 8744 |
| 1900 kcal/24h | 1500 - 2976 | 1458 kcal/24h | 825 - 2081 |

De Lorenzo et al. Measured and predicted resting metabolic rate in Italians males and females, aged 18-59 y. *European Journal Clinical Nutrition* 55: 1-7; 2001

Conclusioni

Lo studio della composizione corporea:

- è necessario per un inquadramento adeguato dello stato di nutrizione e dello stato di salute dell'individuo;
- è di aiuto nella comprensione dei meccanismi che regolano molti eventi fisiologici e fisiopatologici;
- è necessario per un approccio razionale ai problemi nutrizionali del paziente.

bibliografia

- BATTISTINI N, BEDOGNI G, eds "IMPEDENZA BIOELETTRICA E COMPOSIZIONE CORPOREA
- BEDOGNI G, BATTISTINI N, SEVERI S, BORGHI A, "THE PHYSIOLOGICAL BASES OF THE ASSESSMENT OF NUTRITIONAL STATUS", LA CLINICA DIETOLOGICA 1996a; 23: 141-146
- CUNNINGHAM "A REANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING BASAL METABOLIC RATE IN NORMAL ADULTS", 1980.
- DE LORENZO ET AL."MEASURED AND PREDICTED RESTING METABOLIC RATE IN ITALIANS MALES AND FEMALES, AGED 18-59 Y. EUROPEAN JOURNAL CLINICAL NUTRITION 55: 1-7; 2001
- DURNIN J, WOMERSELEY J, "BODY FAT ASSESSED FROM TOTAL BODY DENSITY AND ITS ESTIMATION FROM SKINFOLD THICKNESS: MEASUREMENTS ON 481 MEN AND WOMEN AGED FROM 16 TO 72 YEARS." BR J NUTR 1974; 32:77-97
- FORBES GB"HUMAN BODY COMPOSITION. GROWTH, AGING, NUTRITION AND ACTIVITY ", NEW YORK: SPRINGER-VERLAG, 1987
- FRISANCHO A, "ANTHROPOMETRIC STANDARDS FOR THE ASSESSMENT OF GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS". ANN ARBO: THE UNIVERSITY OF MICHIGAN PRESS, 1990.
- HARRIS JA, BENEDICT FG. "A BIOMETRIC STUDY OF THE BASAL METABOLISM IN MAN", PUBLICATION n. 279, WASHINGTON, DC: CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON, 1919
- HEYMSFIELD SB, DWIGHT M, "BODY COMPOSITION: RESEARCH AND CLINICAL ADVANCES- 1993", ASPEN RESEARCH WORKSHOP, J PARENTER NUTR 1994;18: 91-103
- INTERNATIONAL DIETARY ENERGY CONSULTANCY GROUP (IDECG), "THE DOUBLY-LABELLED WATER METHOD FOR MEASURING ENERGY EXPENDITURE: TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HUMAN APPLICATIONS", PRENTICE AM, ed. NAHRES-4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1990.
- LOHMAN TG, "ADVANCES IN BODY COMPOSITION ASSESSMENT", CHAMPAIGN, IL: HUMAN KINETICS, 1992.
- MAGNUS-LEVY A (1906), "PHYSIOLOGIE DES STOFFWECHSELES", IN NORDEEN CO, ED. HANDBUCH DER PATHOLOGIE DES STOFFWECHSELES, BERLIN: HIRSCHWALD, 446.

- MARIANI COSTANTINI A, CANNELLA C, TOMASSI G, “FONDAMENTI DI NUTRIZIONE UMANA”, IL PENSIERO SCIENTIFICO ed.
- NHI “TECHNOLOGY ASSESSMENT CONFERENCE ON BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS IN BODY COMPOSITION MEASUREMENT.”, BETHESDA: NHI, 1994
- SHENG HP, UGGINS RA, “A REVIEW OF BODY COMPOSITION STUDIES WITH EMPHASIS ON TOTAL BODY WATER AND FAT”, AM J CLIN NUTR 1979; 32: 630-647
- WHO, “PHISICAL STATUS : THE USE AND INTERPRETATION OF ANTHROPOMETRY.” REPORT O’F A WHO EXPERT COMMITTEE. TECHNICAL REPORT SERIES n.854. WHO, GENEVA, 1995.
- WANG ZM, PIERSON RJ, HEYMSFIELD SB, “THE FIVE LEVEL MODEL: A NEW APPROACH TO ORGANIZING BODY COMPOSITION RESEARCH”, AM J CLIN NUTR 1992,; 56: 19-28
- WANG ZM, “HUMAN BODY COMPOSITION MODELS AND METHODOLOGY: THEORY AND EXPERIMENT “ (PhD Thesis), WAGENINGEN AGRICULTURAL UNIVERSITY, 1997