



VADEMECUM DI NUTRIZIONE CLINICA

CALORIMETRIA INDIRETTA

NELLA PRATICA CLINICA

NCPODCAST.NET

A cura di
dr.ssa Lazzaris Silvia

Febbraio 2024

INDICE

1. **Introduzione**
2. **Dispendio energetico**
3. **Diretta vs indiretta**
4. **Dati misurati e calcolati**
5. **Strumentazione e metodi**
6. **Fattori che influenzano le misurazioni**
7. **Bibliografia**

INTRODUZIONE

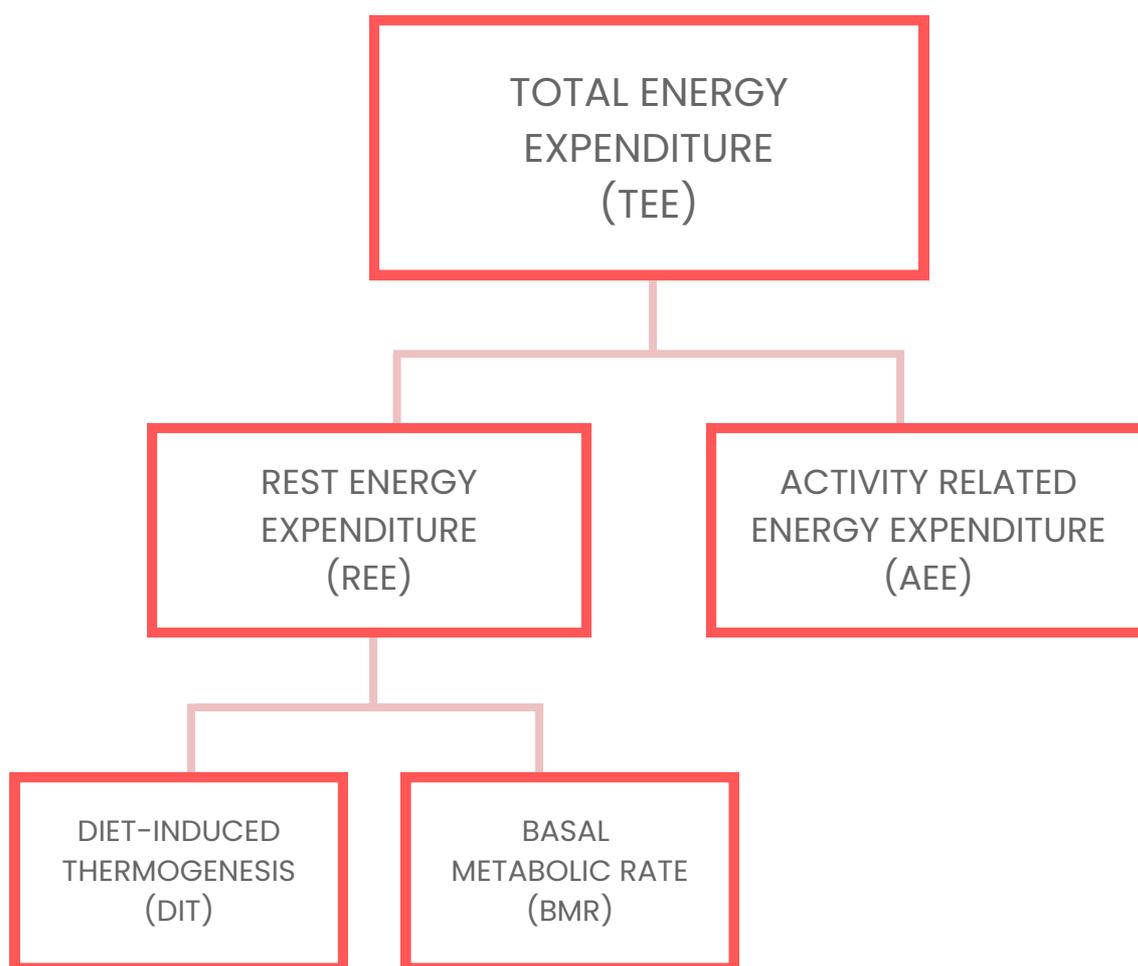
La letteratura ad oggi disponibile ci indica che il dispendio energetico può variare molto non solo da paziente a paziente, ma anche nei singoli pazienti durante le varie fasi della malattia. Inoltre, l'interazione tra il decorso naturale della malattia, la risposta infiammatoria e immunitaria individuale e i trattamenti medici rendono difficile valutare il fabbisogno calorico del paziente. I pazienti, e in particolare quelli critici,

corrono, quindi, il rischio di essere sottoalimenti o sovralimentati durante la degenza ospedaliera quando vengono utilizzate stime approssimative o predittive fabbisogno calorico giornaliero. In numerose tra le più recenti linee guida internazionali si raccomanda, quindi, la misurazione del dispendio energetico mediante calorimetria indiretta (CI) come gold standard, per poi, partendo da questo dato, stimare il fabbisogno calorico giornaliero soprattutto in alcune popolazioni di pazienti.

DISPENDIO ENERGETICO

Il dispendio energetico totale è definito come la quantità totale di energia di cui gli esseri umani hanno bisogno per mantenere le funzioni vitali e svolgere le attività quotidiane. Questo si compone di: dispendio energetico basale (o metabolismo basale), termogenesi indotta dalla dieta (o dagli alimenti) e dispendio energetico correlato all'attività fisica. Il dispendio energetico basale e la termogenesi indotta dalla dieta combinati insieme rappresentano il dispendio energetico a riposo (REE, Resting Energy Expenditure), che è definito come tutto il fabbisogno energetico del corpo per mantenere le funzioni vitali mentre è inattivo. Il dispendio energetico a riposo può essere misurato mediante CI e, nei soggetti sani e sedentari, rappresenta circa i due terzi del dispendio energetico totale. Nei pazienti critici, il dispendio energetico a riposo riflette da vicino il dispendio energetico totale a causa della minima attività fisica del paziente, mentre nei soggetti

sani e sedentari, rappresenta circa i due terzi del fabbisogno calorico giornaliero.

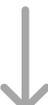


Tuttavia, il REE è influenzato da numerosi fattori che possono incrementarlo o diminuirlo. Nel periodo postoperatorio di un intervento chirurgico non complicato, per esempio, si verifica un aumento del 7% del dispendio energetico a riposo come

effetto dell'intervento chirurgico stesso, aspetto che non può essere stimato dalle equazioni predittive. Anche i pazienti non settici con pancreatite acuta presentavano uno stato ipermetabolico con un aumento del dispendio energetico a riposo. Al contrario, il REE in pazienti con insufficienza renale in presenza danno renale acuto non varia, ma condizioni concomitanti, come la sepsi, giocano un ruolo fondamentale nell'ipermetabolismo riscontrato in questi pazienti. La presenza di ipermetabolismo è stata anche associata ad un'età inferiore dei pazienti e alla somministrazione di una dose più elevata di farmaci vasoattivi.

Fattori che influenzano il REE

Delsaoglio M. et al. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. J. Clin. Med. 2019, 8, 1387

Effetti sull'REE	Fattori
	<ul style="list-style-type: none"> • Ustioni • Iperventilazione • Ipertermia • Iper-tiroidismo, feocromocitoma • Infiammazione • Obesità patologica • Sovralimentazione • Agitazione fisica • Sepsi • Stress • Acidosi metabolica
	<ul style="list-style-type: none"> • Coma/sonno profondo • Anestesia generale • Sedazione profonda • Ipotermia • Ipotiroidismo • Ipoventilazione • Gluconeogenesi • Alcalosi metabolica • Paralisi • Sarcopenia, cachessia • Fame/sottoalimentazione/ chetosi

DIRETTA VS INDIRECTA

La calorimetria diretta è stata sviluppata prima della calorimetria indiretta. Laddove il calorimetro indiretto misura il consumo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica, la tecnica del calorimetro diretto si basa sulla misurazione del calore prodotto dal corpo umano.

Tra il 1900 e il 1940 furono condotti test per validare la calorimetria diretta su mammiferi di dimensioni medio-grandi. Grazie a queste sperimentazioni, all'inizio del XX secolo presero forma la calorimetria diretta e indiretta che mostrarono una correlazione quasi perfetta. La calorimetria diretta rimane il gold standard per misurare il tasso metabolico umano ma non è pratica in ambito clinico. Dagli anni '20 in poi, la CI iniziò ad essere utilizzata nella pratica clinica e continuò ad essere perfezionato nel secolo successivo.

I calorimetri indiretti sono progettati per determinare il dispendio energetico a riposo sia nei pazienti sottoposti a ventilazione meccanica che nei pazienti che respirano spontaneamente, mediante l'utilizzo del canopy o di una maschera. È una tecnica non invasiva e di facile utilizzo.

Nello specifico la CI misura gli scambi gassosi respiratori del soggetto. Infatti, a livello cellulare, il metabolismo comporta la produzione di adenosina trifosfato (ATP), ottenendo come sottoprodotti anidride carbonica (CO₂) e acqua, consumando ossigeno (O₂) e utilizzando substrati come glucosio, acidi grassi liberi, e amminoacidi. Poiché l'energia prodotta equivale all'energia consumata, la calorimetria indiretta che misura il

consumo di O₂ e la produzione di CO₂ rappresenta il metabolismo energetico in tempo reale.

DATI MISDURATI E CALCOLATI

I parametri misurati (VO₂ e VCO₂) dal macchinario vengono poi introdotti nell'equazione di Weir

Dispendio energetico a riposo(kcal/giorno) = 1440 × [3,94 × VO₂ (mL/min) + 1,11 × VCO₂ (mL/min) + azoto urinario (g/giorno) × 2,17]).

L'equazione originale di Weir include la misurazione del contenuto di azoto urinario che rappresenta l'ossidazione delle proteine. Tuttavia, i calorimetri più moderni utilizzano l'equazione di Weir modificata basata sulla trasformazione Haldane, che presuppone che l'azoto sia fisiologicamente inerte e, pertanto, il volume di azoto inspirato deve essere uguale al volume di azoto espirato. Questo aggiustamento esclude la necessità di misurazioni urinarie, il che migliora la fattibilità dell'esame e introduce solo un piccolo errore fino all'1-2% nel calcolo finale del dispendio energetico a riposo.

Un ulteriore dato offerto dalla calorimetria indiretta è il quoziente respiratorio (RQ). L'RQ è un indicatore della composizione del substrato utilizzato che viene calcolato facendo il rapporto tra la VCO₂ e la VO₂.

$$RQ = VCO_2/VO_2$$

Indica quali macronutrienti vengono metabolizzati, poiché vengono utilizzati diversi percorsi energetici. Un RQ di 1,0, 0,8 e 0,7 rappresenta rispettivamente l'ossidazione del glucosio, delle proteine e dei grassi. L'intervallo fisiologico dell'RQ è 0,67-1,3; pertanto, può essere utilizzato anche come indicatore di qualità dell'adeguatezza della misurazione. Il quoziente respiratorio approssimativo di una dieta equilibrata assunta per via orale è di 0,8.

STRUMENTI E METODI

Una misurazione di 30 minuti è solitamente appropriata per ottenere risultati affidabili, ma se viene stabilita una condizione "stabile" 10-15 minuti possono già essere sufficienti. Per i calcoli del dispendio energetico a riposo dovrebbe essere scelto un periodo di scambio di gas in cui VO_2 e VCO_2 variano meno del 5% in 5 minuti o del 10% in 10 minuti, sebbene i dispositivi più recenti riescano a farlo automaticamente.

Le misurazioni del CI possono essere eseguite utilizzando il circuito di ventilazione in pazienti ventilati meccanicamente per il campionamento del gas, oppure utilizzando un canopy, ossia un casco trasparente, o una maschera facciale in pazienti che respirano spontaneamente per analizzare la loro aria inspirata ed espirata.

Sono disponibili molti dispositivi diversi per la calorimetria

indiretta che variano spesso da paese a paese e ognuno con punti di forza e sensibilità diverse. Oltre a questi dispositivi autonomi, alcuni ventilatori meccanici hanno funzioni integrate di calorimetria indiretta, ma il loro utilizzo non è stato ancora validato. Inoltre, esistono anche alcuni dispositivi portatili e di piccole dimensioni, commercializzati anche in Italia, ma questi non sono ancora stati convalidati per tutte le popolazioni di pazienti. Inoltre, ad oggi, non è disponibile alcun protocollo standardizzato per l'esecuzione della CI. Tuttavia, è ovvio che il monitor metabolico deve essere calibrato, collegato e utilizzato correttamente e che i range tecnici del dispositivo non devono essere superati. I dispositivi di CI non sono resistenti all'umidità, pertanto l'umidità nel circuito collegato al ventilatore meccanico dovrebbe essere prevenuta il più possibile.

I dispositivi presenti nel calorimetro indiretto utilizzano vari materiali monouso sul circuito progettati per un solo utilizzo, come flussometri, filtri, adattatori e linee di campionamento per garantire la massima igiene. Tuttavia, il dispositivo stesso deve essere completamente disinfettato dopo ogni utilizzo.

FATTORI CHE INFLUENZANO LE MISURAZIONI

La calorimetria indiretta è attualmente il gold standard per la misura del dispendio energetico a riposo e per orientare i clinici nell'assistenza nutrizionale; tuttavia, diversi fattori possono limitare l'accuratezza e/o la fattibilità di tale misurazione.

Durante la ventilazione meccanica; perdite d'aria nel circuito respiratorio, elevata pressione positiva di fine espirazione, frazione di ossigeno inspirato $> 80\%$ e presenza di gas diversi da O_2 , CO_2 e N_2 portano a risultati inaffidabili. Anche i drenaggi toracici sono una causa frequente di perdite. Inoltre, altri fattori che causano instabilità, come: agitazione, febbre, sedativi e aggiustamenti vasoattivi durante la CI, limitano l'accordo tra dispendio energetico a riposo misurato e reale. Allo stesso modo, le terapie di supporto d'organo come la terapia sostitutiva renale continua influenzano il pattern respiratorio, rimuovendo la CO_2 . Un impatto simile può averlo anche l'ECMO (Extra Corporeal Membrane Oxygenation), una tecnica che supporta le funzioni vitali mediante circolazione extracorporea, aumentando l'ossigenazione del sangue, riducendo i valori ematici di anidride carbonica, incrementando la gittata cardiaca ed agendo sulla temperatura corporea.

Fattori che limitano l'affidabilità e la fattibilità della misurazione CI.

Delsaoglio M. et al. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. J. Clin. Med. 2019, 8, 1387

Fattori limitanti

- Agitazione, febbre, sedativi e aggiustamenti vasoattivi durante la misurazione
- Perdite d'aria nel circuito respiratorio
- Dialisi o terapia sostitutiva renale continua
- ECMO
- Ventilazione meccanica con PEEP > 10
- Ventilazione meccanica con $FiO_2 > 80\%$
- Ventilazione non invasiva
- Gas diversi da O_2 , CO_2 e N_2
- Ossigeno supplementare nei pazienti con respirazione spontanea

Inoltre, non tutti i soggetti sono buoni candidati per la CI. Infatti, sarebbe da evitare nei pazienti con respiro spontaneo che soffrono di claustrofobia, nausea, vomito o che non tollerano una maschera facciale o il canopy. A questi si aggiungono i pazienti che necessitano di ossigeno supplementare o sottoposti a ventilazione non invasiva, a causa delle limitazioni del software e delle tecniche disponibili.

BIBLIOGRAFIA

Rosseel, Z.; Cortoos, P.-J.; De Waele, E. Energy Guidance Using Indirect Calorimetry for Intestinal Failure Patients with Home Parenteral Nutrition: The Right Bag Right at the Start. *Nutrients* 2023, *15*, 1464.

Choo Y. H. et al. Clinical Application and Significance of Indirect Calorimetry in Neurocritical Care. *J Neurointensive Care* 2023;6(1):1-8

Sanchez-Delgado G., Ravussin E. Assessment of energy expenditure: are calories measured differently for different diets? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* . 2020 September ; 23(5): 312–318

Lim J, et al. Design of a randomised controlled trial: does indirect calorimetry energy information influence weight loss in obesity? *BMJ Open* 2021;11

Moonen et al. Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *Journal of Intensive Care* (2021) 9:8

Delsaoglio M. et al. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *J. Clin. Med.* 2019, 8, 1387

