

O uso da calorimetria indireta em unidade de terapia intensiva pediátrica: revisão integrativa

The use of indirect calorimetry in a pediatric intensive care unit: integrative review

Andreia Ribeiro Pereira Aguiar de Paula¹
Jerusa Márcia Tolo²
Martins Fideles dos Santos Neto³

Unitermos:

Calorimetria Indireta. Criança. Unidades de Terapia Intensiva Pediátrica. Nutrição.

Keywords:

Calorimetry, Indirect. Child. Intensive Care Units, Pediatric. Nutrition.

Endereço para correspondência:

Jerusa Márcia Tolo
Rua Antenor Duarte Viléla, 1331 – Dr. Paulo Prata – Barretos, SP, Brasil – CEP: 14784-400
E-mail: jerusatoloi@gmail.com

Submissão

3 de junho de 2019

Aceito para publicação

1 de outubro de 2019

RESUMO

Introdução: O uso de um método com boa acurácia para mensurar o gasto energético em repouso de crianças em estado crítico, internadas em unidades de terapia intensiva (UTI), é relevante no tocante a adequar a oferta energética evitando a sub ou superalimentação e suas possíveis consequências. O objetivo desta revisão foi analisar a eficácia da calorimetria indireta em crianças internadas nas UTIs pediátricas. **Método:** Revisão sistemática integrativa de artigos cujo o tema é calorimetria indireta em UTI, nos idiomas inglês, português e espanhol, realizada em abril de 2018, através de busca nas bases de dados PubMed-MEDLINE e Web of Science. **Resultados:** Foram selecionados 31 artigos, sendo 20 estudos observacionais, de coorte, prospectivos, dois retrospectivos, uma pesquisa multicêntrica, um *guideline* com graus de recomendação das sociedades americana e europeia de terapia nutricional (ASPEN e ESPEN), seis artigos de revisão e um artigo de pesquisa em laboratório. Os resultados dos artigos de estudos observacionais demonstram evidências de que o melhor método para estimar o gasto energético e guiar a terapia nutricional da criança grave internada em UTI Pediátrica é através do uso da calorimetria indireta. Há evidências que o uso de equações preditivas do gasto energético não têm a mesma acurácia e podem ocasionar superalimentação ou subalimentação. **Conclusão:** A calorimetria indireta é um método padrão ouro para a medida do gasto energético de repouso em crianças criticamente enfermas.

ABSTRACT

Introduction: The use of a good accuracy method to measure the resting energy expenditure of critically ill children hospitalized in intensive care units (ICU) is relevant regarding the adequacy of energy supply avoiding under or overfeeding and its possible consequences. The aim of this review was to analyze the effectiveness of indirect calorimetry in children admitted to pediatric ICUs. **Methods:** Integrative systematic review of articles on indirect calorimetry in a pediatric intensive care unit, in English, Portuguese and Spanish, performed in April 2018, by searching the PubMed-MEDLINE and Web of Science databases. **Results:** Thirty-one articles were selected: 20 observational, cohort, prospective, two retrospective, one multicentric research, one guideline with degrees of recommendation from the American and European Societies of Nutritional Therapy (ASPEN and ESPEN), six review articles and one laboratory research paper. The results of the observational study articles show evidence that the best method for estimating energy expenditure and guiding nutritional therapy in critically ill children admitted to the pediatric ICU is through the use of indirect calorimetry. There is evidence that the use of predictive energy expenditure equations is not as accurate and may cause overfeeding or underfeeding. **Conclusion:** Indirect calorimetry is a gold standard method for the measurement of resting energy expenditure in critically ill children.

1. Graduação em Medicina pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Especialização modalidade Residência Médica em Pediatria e em Cuidados Intensivos Pediátricos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Especialista em Terapia Nutricional pela Faculdade de Ciências da Saúde Dr Paulo Prata (FACISB), Mestranda em Ciências da Saúde pelo Hospital de Câncer de Barretos, Barretos, SP, Brasil.
2. Graduação em Nutrição pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Especialização em Terapia Nutricional Parenteral e Enteral pela Sociedade Brasileira de Nutrição Parenteral e Enteral (BRASPEN), Especialização modalidade Residência Multiprofissional em Cuidados Intensivos de Adultos pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Especialização modalidade Aprimoramento em Terapia Nutricional para Nutricionista pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Doutoranda em Ciências da Saúde pela Universidade de São Paulo (USP), Barretos, SP, Brasil.
3. Graduação em Biblioteconomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Mestre em Ciência da Informação pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Doutorando em Ciências da Saúde pelo Hospital de Câncer de Barretos, Barretos, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

A terapia nutricional otimizada é um componente vital do cuidado crítico pediátrico¹⁻⁷. Crianças criticamente enfermas, inadequadamente alimentadas, com excesso de nutrientes (superalimentação) ou carência de nutrientes (subalimentação) podem ter aumento de morbidade e mortalidade, em contrapartida, as adequadamente nutridas têm uma melhora na estabilidade fisiológica e melhores desfechos clínicos^{1,2,4,8}.

A superalimentação é associada ao aumento da produção de dióxido de carbono e insuficiência respiratória, hiperglicemia e deposição de gordura no fígado⁹.

A subalimentação leva a desnutrição, fraqueza muscular, maior tempo de ventilação mecânica, diminuição da resposta imune e aumento de risco de eventos infecciosos^{9,10}.

Entre os fatores que contribuem para a subalimentação das crianças internadas nas Unidades de Terapia Intensiva Pediátricas (UTIP) está o atraso na avaliação dos requerimentos nutricionais ou avaliações não fidedignas⁵. Ainda, crianças em estado grave, particularmente os lactentes, têm risco de desenvolver deficiências nutricionais devido às altas taxas metabólicas basais, reservas energéticas limitadas e desnutrição¹.

A desnutrição permanece prevalente entre crianças admitidas nas UTIP, podendo variar entre 10% e 45%^{5,10}. É um desafio para os médicos intensivistas pediátricos prover adequada oferta energética para otimizar a síntese tissular e a função imune^{1,2,11}.

Os objetivos da terapia nutricional na criança criticamente enferma incluem avaliação acurada dos requerimentos nutricionais, prevenindo tanto a sub quanto a superalimentação, iniciando de maneira precoce o suporte nutricional e monitorando o balanço energético e proteico, provendo adequada oferta desses nutrientes^{5,6,12}.

Muitos serviços intensivos pediátricos usam equações preditivas para estimar as demandas energéticas. Estas equações são baseadas no gasto energético em repouso (GER) para crianças saudáveis¹³. O GER é definido como a quantidade de calorias requeridas pelo corpo em repouso durante um período de 24 horas, representando 70% a 80% das calorias usadas pelo corpo. Crianças gravemente enfermas têm variação no GER e isto pode ser atribuído ao ambiente de UTIP com temperatura controlada, à imobilidade, ao uso de sedativos ou relaxantes musculares, à ventilação mecânica, à própria doença de base, como, por exemplo, queimaduras, doenças cardíacas, sepse, e ao uso de drogas vasoativas^{4,9}.

As equações preditivas não têm boa acurácia para calcular as necessidades energéticas em crianças internadas em UTIP devido às alterações metabólicas, e o uso destas fórmulas pode ainda estar associado a maior tempo de internação pela não oferta otimizada da terapia nutricional^{2,13-20}.

As diretrizes da Sociedade Americana para Nutrição Parenteral e Enteral (ASPEN) recomendam a avaliação do GER pelo uso da calorimetria indireta (CI)⁵, e listam como principais indicadores para aplicação do método: crianças com baixo peso [índice de massa corporal (IMC) no percentil <5 para idade], com sobrepeso (IMC > percentil 85 para a idade) ou excesso de peso (IMC > percentil 95 para idade); crianças com ganho ou perda de >10% do peso durante a internação na UTI; falha do desmame ou necessidade aumentada do suporte respiratório; uso de relaxantes musculares por mais de sete dias; trauma neurológico (traumático, isquêmico e/ou hipóxico) com evidência de disautonomia; diagnósticos oncológicos (incluindo crianças com transplante de células-tronco ou medula óssea); crianças com lesão térmica; crianças que necessitam de suporte ventilatório mecânico por mais de sete dias; crianças com suspeita de hipermetabolismo (estado epilético, hipertermia, síndrome inflamatória sistêmica, choque séptico) ou hipometabólico (hipotermia, hipotireoidismo, coma, uso de sedativos). Qualquer paciente que permanecer por mais de 4 semanas na UTIP pode se beneficiar da CI⁹.

A CI utiliza as concentrações respiratórias de dióxido de carbono e de oxigênio para mensurar o GER, bem como o coeficiente respiratório (QR), o qual é a razão entre o dióxido de carbono produzido e o oxigênio consumido. Um QR na direção ou maior que 1 é um critério útil para sugerir superalimentação. Um QR na direção de 0,7 ou menor pode indicar subalimentação (hiperventilação, vazamento no circuito, acidose, entre outros podem afetar o QR abaixo de 0,7 e acima de 1,0)^{2,21,22}.

Melhor do que estimativas por equações, a CI é uma mensuração que pode ser realizada com competência em recém-nascidos, inclusive prematuros, lactentes e crianças enfermas^{17,21,23-27}.

A resposta metabólica a crianças em UTIP é caracterizada por um aumento do GER e uma avaliação precisa das necessidades energéticas é essencial para evitar a subalimentação e a superalimentação, a perda de massa muscular e a piora de deficiência de nutrientes. A mensuração do GER é útil para otimizar e manejar o suporte nutricional destas crianças, estimar as reais necessidades energéticas e evitar as complicações descritas acima^{5,8,14,22,28,29}.

A mensuração decorre da energia química que é liberada a partir de nutrientes por meio da oxidação de substratos alimentares. Nutrientes à base de carbono são convertidos em dióxido de carbono, água e calor, na presença de oxigênio (O₂)³⁰.

O cálculo do VCO₂ e do CO₂ é realizado pela técnica da CI, por meio da aferição das trocas dos gases pulmonares^{9,22,30}.

Existem monitores metabólicos de CI em módulos portáteis que estimam as demandas metabólicas e podem medir o VO_2 com uma acurácia de mais de 95%^{9,31}.

O gasto energético diário médio total em quilocalorias é calculado por meio da equação de Weir modificada, com substituição dos valores de VO_2 e VCO_2 aferidos:

- Gasto Energético (kcal/dia) = $[(VO_2 \times 3,941) + (VCO_2 \times 1,11) + (uN_2 \times 2,17)] \times 1440$

O componente de nitrogênio urinário (uN_2) com frequência é excluído quando se calcula o gasto energético, pois representa menos de 4% deste gasto³⁰. Assim, pode-se usar a equação abreviada:

- Gasto Energético (kcal/dia) = $[(VO_2 \times 3,941) + (VCO_2 \times 1,11)] \times 1440$

Entre as principais indicações para o uso da CI para a mensuração do GER em crianças encontram-se: crianças abaixo do peso para idade, crianças com sobrepeso ou obesas, estado de hipermetabolismo e crianças que não conseguem atingir as metas nutricionais^{28,32}.

Entre as principais limitações do uso da CI em crianças são citadas principalmente: perdas de ar pelo circuito da ventilação ou em volta dos tubos traqueais ou por drenos torácicos, uso de altas frações inspiradas de oxigênio (acima de 60%), o uso de altas pressões expiratórias finais positivas que podem ocasionar mensurações imprecisas do GER, remoção de CO_2 por dispositivos de suporte (remoção extracorpórea de CO_2 , terapia de substituição renal) e secreções retidas na tubulação do circuito ventilatório^{9,22}.

Diante do supracitado, o objetivo deste artigo foi revisar trabalhos sobre a avaliação do gasto energético em repouso em crianças gravemente enfermas através do uso da CI.

MÉTODO

O estudo é uma revisão sistemática integrativa, realizada em abril de 2018, que buscou encontrar evidências sobre o uso da CI em pacientes internados nas UTIP.

Foram utilizadas bases de dados PubMed-MEDLINE e Web of Science. Os descritores calorimetria indireta, unidade de terapia intensiva e criança foram validados no MeSH (*Medical Subject Headings*). Como critérios de elegibilidade, foram incluídos trabalhos que utilizaram da CI em crianças criticamente enfermas; nos idiomas inglês, português e espanhol, sem delimitar período de publicação.

RESULTADOS

Foram selecionados 31 artigos sobre o tema. Esses artigos citam o uso da CI em crianças graves internadas em UTIP como o método mais indicado da medida do GER.

Os trabalhos que trazem a comparação entre equações preditivas de gasto energético, tais como a equação de Schofield com a CI, como Taylor et al.¹⁸, Mehta et al.⁸, Chaparro et al.¹³ em geral mostram que a CI tem melhor acurácia.

Taylor et al.¹⁸ compararam 57 crianças internadas em UTIP em Londres, avaliaram GER pela CI e pelas fórmulas de Schofield e de Fleish e mostraram que o GER é mais baixo quando mensurado pela CI do que quando estimado pelas fórmulas.

Chaparro et al.¹³, em trabalho prospectivo, realizado na UTIP do Hospital Universitário de Lausanne na Suíça, avaliaram 78 crianças de 0 a 16 anos e fizeram 407 avaliações de mensuração do GER pela CI (todas tinham indicações para o uso) e também foram realizadas equações preditivas. Na análise dos resultados, a maioria das equações superestimou ou subestimou o GER entre 200 e 1000 kcal/dia, portanto, concluíram que as equações preditivas apresentaram forte inacurácia em comparação à CI. A equação de White, desenvolvida para crianças em ventilação mecânica, revelou grande inacurácia. As duas equações de Schofield, ou seja, Schofield Peso e Schofield Peso/Estatura, que em outros estudos tiveram resultados inconclusivos, mostraram uma subestimação do GER em crianças pequenas. A equação de Mehta também subestimou o GER. O trabalho concluiu que a maioria das equações preditivas disponíveis tem grande inacurácia¹³.

Em contrapartida, Sion-Sarid et al.⁹ mencionaram dois trabalhos, de Vasquez-Martinez et al.¹⁹ e de Bott et al.³³. A publicação de Vasquez-Martinez et al.¹⁹ foi um estudo prospectivo com 43 crianças em ventilação mecânica invasiva durante os primeiros 6 dias pós injúria, nas quais foi comparada à mensuração do GER pela CI com o gasto energético preditivo pelas equações de Harris-Benedict, Caldwell-Kennedy, Schofield, FAO/WHO (Food and Agriculture Organization and World Health Organization), Maffies, Fleish, Kleiber, Dryer e Hunter. A maioria das equações superestima os gastos energéticos, porém as equações de Fleish e Caldwell-Kennedy foram melhores preditivas de gasto energético. A publicação de Bott et al.³³ foi um estudo observacional, com caso-controle, que comparou a mensuração do gasto energético em repouso por CI e quatro equações preditivas (Schofield Peso, Schofield Peso Altura, Harris-Benedict e FAO/WHO) em 52 crianças com broncodisplasia (BDP) e em 30 crianças saudáveis, tendo concluído que a equação de Harris-Benedict foi melhor preditora do GER em crianças com BDP e a equação de Schofield Peso foi melhor em crianças saudáveis. Poucas diferenças foram encontradas entre as mensurações de CI e as equações.

Ainda no artigo de Sion-Sarid et al.⁹ há a menção do trabalho de Suman et al.³⁴, um estudo observacional, de coorte com 91 crianças, gravemente queimadas, hipermetabólicas, onde foram comparadas a mensuração do GER pela CI e as fórmulas preditivas. Foram usadas as equações de Schofield Peso e Estatura, Harris-Benedict, equação da FAO/WHO. Foi concluído que o GER predito pelas equações foi menor que a mensuração pela CI, a qual demonstrou melhor acurácia. Verger⁶, em revisão sobre a nutrição de crianças enfermas em UTIP, traz a CI como método padrão para a avaliação do GER⁶. O mesmo é descrito por Skillman & Mehta⁵, que revisaram a terapia nutricional em crianças internadas em UTIP e recomendaram a avaliação do GER pelo uso da CI.

Os artigos revisados estão em concordância ao *guideline* da ASPEN (Mehta et al.³²), que sugere que quando possível para as crianças criticamente enfermas, a mensuração de GER pela CI deve ser feita. Kyle et al.²³ citam que apenas com a CI podem ser mensuradas as verdadeiras necessidades energéticas, porém pode haver dificuldades quando os recursos econômicos não estão disponíveis e mais estudos com custo benefício devem ser feitos.

Ladd et al.¹⁴ mencionam indicação do uso da CI para prevenir efeitos indesejáveis da subalimentação e a superalimentação. Foram realizadas 35 mensurações do GER pela CI em 24 crianças com hipometabolismo, hipermetabolismo, crianças em ventilação mecânica e crianças queimadas. As prescrições de terapia nutricional foram então baseadas nos dados de CI. Concluiu-se a importância do uso da CI para guiar aporte energético e isso justifica a aquisição de aparelhos de CI para as UTIP, pois contribui para a qualidade do cuidado. Este artigo ainda cita que as crianças graves em UTIP apresentam alterações metabólicas que não podem ser preditas por equações preditivas padrões¹⁴.

Em concordância com a publicação de Ladd et al.¹⁴, Dokken et al.²⁰ citam a importância da CI para nortear, individualizar a terapia nutricional e evitar a sub e a superalimentação. Neste artigo, foram avaliadas 30 crianças de 3 meses a 14 anos, no Hospital Universitário de Oslo, no período de maio de 2008 a novembro de 2010. As crianças estavam em ventilação mecânica, com fração inspirada de oxigênio menor que 60%, com perda de ar pelo tubo menor que 10%. Foram mensurados o gasto energético (EE) e o quociente respiratório (RQ). Os resultados obtidos ajudaram a identificar as situações em que havia subalimentação, superalimentação e alimentação adequada. Nos casos onde havia sub ou superalimentação foi realizada adequação da terapia nutricional. É citado também que, para o implemento da CI, é necessário o treinamento da enfermagem e dos médicos, sendo que a

técnica de mensuração do GER pela CI é simples, confiável e não invasiva²⁰.

Os artigos mostram a necessidade de implementar a terapia nutricional, evitar a desnutrição e melhorar os desfechos clínicos destes pacientes, sendo o uso da CI uma forma de individualização do tratamento^{3,9,12,16,20,23,24,28}.

No estudo de Hulst et al.², 98 crianças internadas em UTIP tiveram a mensuração do gasto energético através da CI e foram classificadas como subalimentadas se o gasto estivesse <90% do que o requerido, em adequada alimentação se o gasto estivesse de 90% a 110% e superalimentadas acima de 110%. O QR abaixo de 0.85 também identificava subalimentação e maior que 1 identificava superalimentação. A subalimentação ocorreu em 21%, a alimentação adequada em 10% e a superalimentação em 69% das crianças nos primeiros 14 dias de internação. Neste trabalho, também é citado que a avaliação do coeficiente respiratório é limitada em identificar superalimentação com carboidratos e excluir subalimentação².

Na publicação de Kerklaan et al.²⁸, onde se avaliou o uso da CI para detecção de superalimentação em crianças em UTIP, as mensurações do GER e QR pela CI foram realizadas em 78 crianças em ventilação mecânica e neste estudo é citado uma ampla variação nas definições de superalimentação e que estas definições deveriam levar em conta idade, estado nutricional e a fase da doença. As crianças desnutridas apresentavam GER mais baixo, sendo 80% do predito, tendo um estado hipometabólico. A taxa de superalimentação variou de 23% a 50%, dependendo de definições aplicadas de GER e QR. Foi salientado o perigo da superalimentação nestas crianças, a qual pode ser relacionado a piores desfechos, inclusive infecção. Porém como limitação do estudo foi o número pequeno da população estudada e variações na definição de superalimentação²⁸.

Os artigos trazem, ainda, a importância dos *guidelines* de terapia nutricional para otimizar esta oferta de nutrientes e mais uma vez a avaliação com acurácia energética para a oferta de nutrientes em crianças enfermas na UTIP^{3,5,11}.

Kerklaan et al.⁷, em publicação sobre uma pesquisa em UTIP de vários países, citaram que as práticas nutricionais são variadas, havendo diferenças entre as ofertas de macronutrientes, diferenças na mensuração do GER e diferenças no início da alimentação das crianças, enteral ou parenteral. Este artigo enfatizou que há a necessidade de consensos uniformes baseados em práticas nutricionais guiados por evidências⁷. Em concordância, Mehta et al.³² escreveram sobre as boas práticas nutricionais e sua relação com os desfechos clínicos.

A Tabela 1 sintetiza os artigos analisados.

Tabela 1 – Estudos sobre calorimetria indireta em crianças internadas em unidade de terapia intensiva.

Referência	Perfil do estudo	Objetivo	Nº de pacientes	Desfecho
Ladd et al. ¹⁴ (2018)	Estudo observacional retrospectivo unicêntrico e revisão de literatura	Descrever o processo de prover a meta calórica de acordo com a mensuração da CI numa UTIP de centro acadêmico terciário	24 pacientes com 35 mensurações pela CI	A CI em 51% das mensurações evidenciou hipometabolismo, 16% demonstrou metabolismo normal e 28% hipermetabolismo e as prescrições dietéticas foram modificadas de acordo com os resultados da CI. Na UTIO, foram implementados os testes com CI para adequação da dieta
Mehta et al. ³² (2017)	<i>Guideline</i> para a terapia de suporte nutricional com recomendações da ASPEN e da ESPEN	Descrever boas práticas em terapia nutricional de acordo com a ASPEN e a Sociedade de Medicina Intensiva	—	A recomendação para o requerimento energético, baseada em estudos de coorte prospectivos, na criança criticamente enferma é que a mensuração do gasto energético pela CI determine estas necessidades de energia e guie a prescrição
Kerklaan et al. ³¹ (2017)	Estudo observacional de coorte prospectivo	Investigar se o valor de VCO ₂ derivado do ventilador é comparado ao valor de VCO ₂ obtido pela CI e pode ser usado na prática clínica	41 crianças em ventilação mecânica	Em crianças ≥15 kg, mensurações de VCO ₂ no ventilador Servo-I® parecem ter acurácia suficiente para o uso na medida do gasto energético
Chaparro et al. ¹³ (2017)	Estudo unicêntrico prospectivo, prévio ao qual foi incluída uma análise secundária com mais pacientes	Determinar, baseado na CI, os vieses de equações preditivas desenvolvidas para estimar o GER em crianças em VPM ou equações desenvolvidas para crianças saudáveis usadas em crianças criticamente enfermas	75 pacientes	Em crianças em ventilação mecânica, as equações preditivas não tiveram acurácia para prever as necessidades energéticas, mesmo equações com pequeno viés podem ocasionar sub ou superalimentação. O uso da CI deve ser preferido
Kerklaan et al. ²⁸ (2016)	Estudo coorte prospectivo, unicêntrico, hospital universitário	Determinar o risco de superalimentação pela mensuração do QR através da CI	78 crianças em ventilação mecânica	A média do GER foi 48 (±9.6) kcal/kg comparada à média da ingestão calórica 52 (±29) kcal/kg/dia. De acordo com critérios aplicados, a taxa de superalimentação variou de 23% a 50%
Beggs et al. ¹¹ (2016)	Estudo observacional, prospectivo, unicêntrico	Quantificar a proporção diária de pacientes em UTIP que preenchem critérios para o uso da CI e descrever as contraindicações para o uso da técnica de CI	288 crianças	Em 27% dos pacientes, não foram indicados critérios para o uso da CI. Estudos futuros são necessários nestes pacientes que não preencham critérios para o uso da CI para mensurar os requerimentos energéticos
Kerklaan et al. ⁷ (2016)	Pesquisa multicêntrica, <i>on line</i> em 2 partes, primeira parte questionário com 59 questões de estratégias nutricionais e protocolos (julho a novembro 2013). Uma segunda parte de dados de subgrupos de pacientes pesquisados (de maio a setembro 2014)	Avaliar práticas nutricionais atuais mundiais em crianças criticamente enfermas	189 respostas em 156 países e dados de 295 pacientes	Grande variabilidade das práticas nutricionais nas várias UTIP e grande variação na estimativa do gasto energético, da oferta de macronutrientes, da introdução de nutrição parenteral. É necessário o uso de consensos uniformes

Continuação Tabela 1 – Estudos sobre calorimetria indireta em crianças internadas em unidade de terapia intensiva.

Referência	Perfil do estudo	Objetivo	Nº de pacientes	Desfecho
Dokken et al. ²⁰ (2015)	Estudo observacional de coorte prospectivo	Examinar a prevalência de subalimentação, adequada alimentação e superalimentação em crianças em VPM e identificar obstáculos para a oferta do suporte nutricional	30 crianças em ventilação mecânica, 104 mensurações de calorimetria	Subalimentação, adequada alimentação e superalimentação ocorreram em 21,2%, 18,3%, and 60,5% das 104 mensurações, respectivamente. Houve variação considerável na mensuração do gasto energético entre as crianças (mediana 37,2 kcal/kg/d; intervalo, 16,81-66,38 kcal/kg/d). A alta porcentagem de crianças que estavam superalimentadas (~61%). Enfatiza a necessidade da mensuração das necessidades energéticas pela CI
Mehta et al. ²² (2014)	Artigo de revisão	Recomendar o uso da CI para mensurar o GER na UTIP	—	A mensuração do GER é um guia para a ingesta calórica e o uso da CI pode ajudar nesta mensuração na população pediátrica internada em UTIP
Verger ⁶ (2014)	Artigo de revisão	Determinar as necessidades nutricionais em crianças criticamente enfermas	—	Crianças criticamente enfermas precisam de ofertas de nutrientes individualizadas e podem variar
Sion-Sarid et al. ⁹ (2013)	Artigo de revisão	Validação do uso da CI em crianças criticamente enfermas <i>versus</i> o uso de equações preditivas	—	Técnicas mais factíveis do uso da CI devem ser desenvolvidas para otimizar seu emprego e prover adequados requerimentos energéticos, pois as equações preditivas têm inacurácia. Estudos prospectivos são necessários para suprir as demandas energéticas das crianças criticamente enfermas e melhorar seus desfechos
Menezes et al. ¹⁰ (2013)	Estudo prospectivo	Identificar fatores que contribuem com a falha em atingir as necessidades energéticas estimadas	207 crianças	Ingesta satisfatória foi obtida em 20,8% dos pacientes. Doença cardíaca foi um fator de risco para não se atingir ingesta adequada, enquanto a subnutrição e o uso de nutrição parenteral não foram fatores de risco para este desfecho. Pequena proporção dos pacientes obteve ingesta adequada
Kyle et al. ²³ (2012)	Estudo observacional de coorte prospectivo	Determinar quais pacientes em UTIP necessitam do uso da CI para mensurar as necessidades energéticas	150 crianças	3 em cada 4 pacientes internados na UTIP foram candidatos ao uso da CI de acordo com <i>guidelines</i> da ASPEN
Mehta et al. ³ (2012)	Estudo observacional, de coorte, prospectivo, multicêntrico, em 31 UTIP em 8 países	Examinar fatores que influenciam na oferta adequada de calorias e proteínas em crianças na UTIP e descrever a sua relação com o desfecho clínico em crianças em VPM	500 crianças em ventilação mecânica por mais de 48 horas	A oferta de nutrientes é geralmente inadequada em crianças em ventilação mecânica. Crianças com maior oferta de nutrientes por nutrição enteral foram associadas a maior sobrevivência em 60 dias e crianças com nutrição parenteral foram associadas a maior mortalidade. As UTIP com protocolos de nutrição enteral tiveram menores taxas de infecções

Continuação Tabela 1 – Estudos sobre calorimetria indireta em crianças internadas em unidade de terapia intensiva.

Referência	Perfil do estudo	Objetivo	Nº de pacientes	Desfecho
Skillman & Mehta ⁵ (2012)	Artigo de revisão	Rever recentes investigações da avaliação nutricional, do balanço energético do uso da CI e da terapia nutricional em crianças criticamente enfermas	—	Terapia nutricional adequada é importante para melhores desfechos em crianças enfermas. Futuras pesquisas devem ser feitas com os benefícios do uso da CI e de <i>guidelines</i> de terapia enteral
Smallwood, et al. ¹⁵ (2012)	Estudo prospectivo analisando o protocolo SS (5 minutos) de CI em crianças em ventilação mecânica e dois protocolos SS abreviados (3 e 4 minutos)	Mostrar a CI como método de boa acurácia para mensurar o GER em crianças em UTIP	34 crianças com 45 mensurações de CI	Os protocolos abreviados SS3 e 4 minutos tiveram razoável acurácia na medida do gasto energético e diminuem a necessidade de uso de equações preditivas
Mehta et al. ²⁹ (2011)	Estudo de coorte prospectivo, unicêntrico, hospital universitário	Examinar o papel da CI em detectar a adequada oferta calórica e o risco do desequilíbrio calórico em um subgrupo de crianças criticamente enfermas suspeitas de terem alterações no GER	33 pacientes em ventilação mecânica	A predominância do hipometabolismo nas crianças críticas e a inacurácia do uso de equações preditivas predispõe a superalimentação das crianças graves. Houve alta incidência de superalimentação no grupo (83%). Os médicos intensivistas interpretaram incorretamente o estado metabólico das crianças em 62% dos casos
Mehta et al. ⁸ (2009)	Estudo observacional, de coorte, retrospectivo	Mensurar o GER pela CI e comparar com equações que estimam as necessidades energéticas	14 crianças	Alta incidência de sub e superalimentação com o uso das equações preditivas. A CI é um método que direciona as necessidades energéticas em crianças críticas
Framson et al. ¹² (2007)	Estudo observacional, coorte, prospectivo	Indicar o uso da técnica de CI	44 crianças	As equações preditivas não podem substituir o uso da CI para mensurar o gasto energético e guiar o suporte nutricional das crianças internadas em UTIP
Hulst et al. ¹ (2006)	Artigo de revisão	Descrever causas e consequências de inadequado suporte nutricional em crianças criticamente enfermas	—	Pobres estimativas das necessidades nutricionais na internação de crianças criticamente enfermas levam a problemas de superalimentação e subalimentação, bem como prescrição inadequada de nutrientes pode ocasionar a subalimentação
Oosterveld et al. ⁴ (2006)	Estudo observacional prospectivo, unicêntrico (hospital universitário)	Comparação longitudinal da energia prescrita, da energia administrada e do gasto energético predito pela fórmula de Schofield e pela CI em crianças criticamente enfermas durante os primeiros 7 dias de admissão na UTIP	46 crianças, 13 com sepse, 27 cirúrgicos e 6 com trauma	A subalimentação foi observada devido à prescrição de dieta abaixo das necessidades requeridas pelo cálculo do gasto energético
Lafeber ²¹ (2005)	Opinião editorial, artigo de revisão	O uso da técnica de CI em crianças doentes em VPM para calcular o GER e o QR	—	A CI pode ser aplicada em crianças doentes, mas mais estudos devem ser feitos com sua aplicabilidade e interpretação

Continuação Tabela 1 – Estudos sobre calorimetria indireta em crianças internadas em unidade de terapia intensiva.

Referência	Perfil do estudo	Objetivo	Nº de pacientes	Desfecho
Hulst et al. ² (2005)	Estudo observacional, de coorte, prospectivo	Determinar a incidência de subalimentação e superalimentação em crianças que foram admitidas em UTIP terciária e avaliar a utilidade do QR obtido pela CI para avaliar a adequação alimentar	98 crianças e adolescentes	Crianças na UTIP recebiam em apenas 10% das mensurações realizadas pela CI quantidades calóricas adequadas nas duas primeiras semanas de internação. O uso do coeficiente respiratório é limitado para identificar superalimentação e subalimentação
van der Kuip et al. ²⁷ (2004)	Estudo prospectivo de coorte	Verificar a validade e confiabilidade da mensuração do gasto energético com o protocolo da bolsa de Douglas (que mede VCO_2) comparado com um monitor metabólico padrão na UTIP	14 crianças em ventilação mecânica	O método de medida do gasto energético com a bolsa de Douglas foi comparado com monitor metabólico e com a fórmula preditiva de Scholfield. O coeficiente de variação estava dentro de 10% com a bolsa de Douglas e o monitor metabólico, mas houve grande variação com a equação preditiva. Houve falha na equação preditiva de prever o gasto de energia
Vazquez-Martinez et al. ¹⁹ (2004)	Estudo prospectivo, unidimensional, hospital universitário	Comparar o gasto energético predito por equações antropométricas com o medido de modo contínuo pela CI em crianças graves, em ventilação mecânica, em período precoce pós injúria	43 crianças em ventilação mecânica	As equações preditivas não estimam com acurácia o gasto energético
Taylor et al. ¹⁸ (2003)	Estudo prospectivo	Determinar se crianças criticamente enfermas são hipermetabólicas e calcular se as equações preditivas são apropriadas para estas crianças	57 crianças	O gasto energético medido pela CI foi menor do que o predito pelas equações de Fleisch e Schofield, mas maior do que o predito pela equação de White. O estudo concluiu que crianças críticas não se tornam hipermetabólicas e a concordância da estimativa dos gastos pelas equações é inapropriada
Joosten et al. ²⁴ (2000)	Estudo de validação laboratorial de um calorímetro indireto com um modelo de ventilação pulmonar	Testar a acurácia e validade do monitor metabólico Deltatrac II MBM-200 para o uso em lactentes e crianças em UTIP	—	O monitor metabólico Deltatrac II MBM-200 teve acurácia para baixos níveis de $V(O_2)$ e $V(CO_2)$ durante a ventilação mecânica com níveis de $F(IO_2)$ até 0.390 (39%)
Briassouliz et al. ¹⁶ (2000)	Estudo coorte prospectivo, em hospital universitário	Medir o gasto energético em crianças criticamente enfermas e comparar com o gasto energético predito por fórmulas e relatar o gasto energético mensurado com índices clínicos e nutricionais	37 crianças em ventilação, com 37 mensurações	O gasto energético calculado a partir das mensurações da CI foi menor que o estimado por equações preditivas. O ajuste nutricional deve ser feito com mensurações pela CI, evitando-se a sub e superalimentação com uso de fórmulas preditivas

Continuação Tabela 1 – Estudos sobre calorimetria indireta em crianças internadas em unidade de terapia intensiva.

Referência	Perfil do estudo	Objetivo	Nº de pacientes	Desfecho
Joosten et al. ²⁵ (1999)	Estudo prospectivo uni-cêntrico, hospital universitário	Determinar como o gasto energético diário pode ser estimado com acurácia por períodos menores que 24 horas em lactentes e crianças em VPM	19 pacientes	O coeficiente médio de variação da mensuração do gasto energético em períodos de 2 horas foi de 6% (intervalo de 2-11%) comparado com as medidas em 24 horas. Assim, o GER pode ser estimado por medidas de período de 2 horas
Coss-Bu et al. ¹⁷ (1998)	Estudo prospectivo, uni-cêntrico	Usar a CI para medir o gasto energético com mais acurácia e diminuir os riscos associados à subalimentação e à superalimentação	55 crianças em ventilação mecânica	Os resultados do estudo sugerem que a equação de Harris-Benedict superestima o gasto energético quando comparada à mensuração pela CI em lactentes e crianças. O método de Talbot também não mostrou acurácia, já a CI foi método com acurácia
Selby et al. ²⁶ (1995)	Estudo observacional, prospectivo, com amostra de conveniência	Estabelecer a técnica de CI para possibilitar a medida do gasto energético em crianças em VPM e avaliar o efeito do escape de ar endotraqueal na acurácia das medidas de CI	18 pacientes, lactentes e crianças em ventilação mecânica	Pode haver inacurácia na mensuração do gasto energético, se houver escape de ar endotraqueal e não houver avaliação do gás expirado perdido

CONCLUSÃO

A CI tem grande aplicabilidade para mensurar o gasto energético em repouso de crianças graves internadas nas UTIPs, direcionando as necessidades energéticas, evitando tanto a subalimentação como a superalimentação.

A CI é o método padrão ouro para a medida do gasto energético por sua boa acurácia e primazia ao uso de fórmulas preditivas de GER em crianças criticamente enfermas, além de fácil execução à beira de leito, sendo um método seguro, simples e não invasivo.

REFERÊNCIAS

- Hulst JM, Joosten KF, Tibboel D, van Goudoever JB. Causes and consequences of inadequate substrate supply to pediatric ICU patients. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2006;9(3):297-303.
- Hulst JM, van Goudoever JB, Zimmermann LJ, Hop WC, Buller HA, Tibboel D, et al. Adequate feeding and the usefulness of the respiratory quotient in critically ill children. *Nutrition*. 2005;21(2):192-8.
- Mehta NM, Bechard LJ, Cahill N, Wang M, Day A, Duggan CP, et al. Nutritional practices and their relationship to clinical outcomes in critically ill children: an international multicenter cohort study. *Crit Care Med*. 2012;40(7):2204-11.
- Oosterveld MJ, Van Der Kuip M, De Meer K, De Greef HJ, Gemke RJ. Energy expenditure and balance following pediatric intensive care unit admission: a longitudinal study of critically ill children. *Pediatr Crit Care Med*. 2006;7(2):147-53.
- Skillman HE, Mehta NM. Nutrition therapy in the critically ill child. *Curr Opin Crit Care*. 2012;18(2):192-8.
- Verger J. Nutrition in the pediatric population in the intensive care unit. *Crit Care Nurs Clin North Am*. 2014;26(2):199-215.
- Kerklaan D, Fizez T, Mehta NM, Mesotten D, van Rosmalen J, Hulst JM, et al. Worldwide survey of nutritional practices in PICUs. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(1):10-8.
- Mehta NM, Bechard LJ, Leavitt K, Duggan C. Cumulative energy imbalance in the pediatric intensive care unit: role of targeted indirect calorimetry. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2009;33(3):336-44.
- Sion-Sarid R, Cohen J, Houry Z, Singer P. Indirect calorimetry: a guide for optimizing nutritional support in the critically ill child. *Nutrition*. 2013;29(9):1094-9.
- Menezes FS, Leite HP, Nogueira PC. What are the factors that influence the attainment of satisfactory energy intake in pediatric intensive care unit patients receiving enteral or parenteral nutrition? *Nutrition*. 2013;29(1):76-80.
- Beggs MR, Garcia Guerra G, Larsen BMK. Do PICU patients meet technical criteria for performing indirect calorimetry? *Clin Nutr ESPEN*. 2016;15:80-4.
- Framson CM, LeLeiko NS, Dallal GE, Roubenoff R, Snelling LK, Dwyer JT. Energy expenditure in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med*. 2007;8(3):264-7.
- Chaparro CJ, Taffe P, Moullet C, Laure Deppeyre J, Longchamp D, Perez MH, et al. Performance of predictive equations specifically developed to estimate resting energy expenditure in ventilated critically ill children. *J Pediatr*. 2017;184:220-6.

14. Ladd AK, Skillman HE, Haemer MA, Mourani PM. Preventing underfeeding and overfeeding: a clinician's guide to the acquisition and implementation of indirect calorimetry. *Nutr Clin Pract*. 2018;33(2):198-205.
15. Smallwood CD, Mehta NM. Accuracy of abbreviated indirect calorimetry protocols for energy expenditure measurement in critically ill children. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2012;36(6):693-9.
16. Briassoulis G, Venkataraman S, Thompson AE. Energy expenditure in critically ill children. *Crit Care Med*. 2000;28(4):1166-72.
17. Coss-Bu JA, Jefferson LS, Walding D, David Y, Smith EO, Klish WJ. Resting energy expenditure in children in a pediatric intensive care unit: comparison of Harris-Benedict and Talbot predictions with indirect calorimetry values. *Am J Clin Nutr*. 1998;67(1):74-80.
18. Taylor RM, Cheeseman P, Preedy V, Baker AJ, Grimble G. Can energy expenditure be predicted in critically ill children? *Pediatr Crit Care Med*. 2003;4(2):176-80.
19. Vazquez-Martinez JL, Martinez-Romillo PD, Diez Sebastian J, Ruza Tarrío F. Predicted versus measured energy expenditure by continuous, online indirect calorimetry in ventilated, critically ill children during the early postinjury period. *Pediatr Crit Care Med*. 2004;5(1):19-27.
20. Dokken M, Rustoen T, Stubhaug A. Indirect calorimetry reveals that better monitoring of nutrition therapy in pediatric intensive care is needed. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2015;39(3):344-52.
21. Lafeber HN. The art of using indirect calorimetry for nutritional assessment of sick infants and children. *Nutrition*. 2005;21(2):280-1.
22. Mehta NM, Smallwood CD, Graham RJ. Current applications of metabolic monitoring in the pediatric intensive care unit. *Nutr Clin Pract*. 2014;29(3):338-47.
23. Kyle UG, Arriaza A, Esposito M, Coss-Bu JA. Is indirect calorimetry a necessity or a luxury in the pediatric intensive care unit? *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2012;36(2):177-82.
24. Joosten KF, Jacobs FI, van Klaarwater E, Baartmans MG, Hop WC, Merilainen PT, et al. Accuracy of an indirect calorimeter for mechanically ventilated infants and children: the influence of low rates of gas exchange and varying FIO₂. *Crit Care Med*. 2000;28(8):3014-8.
25. Joosten KF, Verhoeven JJ, Hop WC, Hazelzet JA. Indirect calorimetry in mechanically ventilated infants and children: accuracy of total daily energy expenditure with 2 hour measurements. *Clin Nutr*. 1999;18(3):149-52.
26. Selby AM, McCauley JC, Schell DN, O'Connell A, Gillis J, Gaskin KJ. Indirect calorimetry in mechanically ventilated children: a new technique that overcomes the problem of endotracheal tube leak. *Crit Care Med*. 1995;23(2):365-70.
27. van der Kuip M, de Meer K, Oosterveld MJ, Lafeber HN, Gemke RJ. Simple and accurate assessment of energy expenditure in ventilated paediatric intensive care patients. *Clin Nutr*. 2004;23(4):657-63.
28. Kerklaan D, Hulst JM, Verhoeven JJ, Verbruggen SC, Joosten KF. Use of indirect calorimetry to detect overfeeding in critically ill children: finding the appropriate definition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2016;63(4):445-50.
29. Mehta NM, Bechard LJ, Dolan M, Ariagno K, Jiang H, Duggan C. Energy imbalance and the risk of overfeeding in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med*. 2011;12(4):398-405.
30. Toledo D, Castro M. *Terapia nutricional em UTI*. Rio de Janeiro: Rubio; 2015.
31. Kerklaan D, Augustus ME, Hulst JM, van Rosmalen J, Verbruggen SCAT, Joosten KFM. Validation of ventilator-derived VCO₂ measurements to determine energy expenditure in ventilated critically ill children. *Clin Nutr*. 2017;36(2):452-7.
32. Mehta NM, Skillman HE, Irving SY, Coss-Bu JA, Vermilyea S, Farrington EA, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the pediatric critically ill patient: Society of Critical Care Medicine and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. *Pediatr Crit Care Med*. 2017;18(7):675-715.
33. Bott L, Béghin L, Marichez C, Gottrand F. Comparison of resting energy expenditure in bronchopulmonary dysplasia to predicted equation. *Eur J Clin Nutr*. 2006;60(11):1323-9.
34. Suman OE, Mlcak RP, Chinkes DL, Herndon DN. Resting energy expenditure in severely burned children: analysis of agreement between indirect calorimetry and prediction equations using the Bland-Altman method. *Burns*. 2006;32(3):335-42.

Local de realização do estudo: Hospital de Câncer de Barretos, Barretos, SP, Brasil.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver.