

Estudo experimental do aquecimento adequado de solução cristalóide por micro-ondas e dedução de equação para seu cálculo

Experimental study of adequate microwave warming of crystalloids and derivation of an equation for calculating heating parameters

TUFI NEDER MEYER¹

MARIA DE FÁTIMA CARNEIRO
RIBEIRO²

ALEXANDRE TOURINO
MENDONÇA³

RESUMO

Introdução: Fluidos cristalóides são comumente aquecidos em forno de micro-ondas, para uso endovenoso ou subcutâneo (em lipoaspirações). A literatura médica é pobre em trabalhos estabelecendo parâmetros científicos para esse processo. O objetivo deste estudo foi estudar experimentalmente o aquecimento de solução salina (cloreto de sódio a 0,9%), a partir de diferentes temperaturas iniciais, deduzir uma equação para permitir o cálculo de parâmetros de aquecimento e estudar o decréscimo de temperatura da solução aquecida.

Método: Frascos para infusão endovenosa (500 ml e 1.000 ml) de solução salina tiveram sua temperatura inicial ajustada para 15°C, 20°C e 25°C, sendo aquecidos por micro-ondas até 60 segundos (500 ml) e 120 segundos (1.000 ml). A temperatura da solução salina foi medida durante e ao final do aquecimento e até 30 minutos após esse processo. A partir dos resultados, foi deduzida uma equação. **Resultados:** O aquecimento por 60 segundos elevou a temperatura de frascos de 500 ml de solução salina em cerca de 20°C. Foram necessários 120 segundos para a mesma elevação de temperatura de frascos de 1.000 ml. A equação deduzida foi: $TIF = TII + [0,165 \times \text{Tempo (segundos)} / \text{Volume (litros)}]$, onde TIF = temperatura interna final e TII = temperatura interna inicial. Não foram encontradas diferenças significantes entre as temperaturas interna e externa após o aquecimento. **Conclusões:** A determinação da temperatura inicial é fundamental na obtenção da temperatura final desejada, após o aquecimento de fluidos cristalóides por micro-ondas. Uma equação pôde ser deduzida, tornando possível o cálculo da temperatura final a partir de várias temperaturas iniciais. A temperatura externa dos frascos reflete adequadamente sua temperatura interna.

Descritores: Hipotermia. Micro-ondas. Infusões parenterais.

ABSTRACT

Background: Crystalloids are commonly heated in microwave ovens for intravenous or subcutaneous usage (e.g., in liposuction). However, few studies have empirically determined the parameters for this procedure. This study experimentally evaluated the heating of saline solution (sodium chloride 0.9%) at different initial temperatures to derive an equation to calculate heating parameters as well as the temperature decrease in saline solutions after heating. **Methods:** The initial temperature of intravenous pouches containing saline solution (500 and 1,000 mL) was adjusted to 15°C, 20°C, or 25°C. The 500 and 1,000 mL pouches were then warmed in a microwave (900 W) for 60 and 120

Trabalho realizado na
Universidade Vale do
Rio Verde (UninCor),
Três Corações, MG, Brasil.

Artigo submetido pelo SGP
(Sistema de Gestão de
Publicações) da RBCP.

Artigo recebido: 26/8/2012

Artigo aceito: 15/10/2012

1. Cirurgião plástico, doutor, membro titular da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica (SBCP), professor da Universidade Vale do Rio Verde (UninCor), Três Corações, MG, Brasil.
2. Enfermeira, mestre, coordenadora do Curso de Enfermagem da UninCor, Três Corações, MG, Brasil.
3. Zootecnista, doutor e mestre em Ciências dos Alimentos, professor da UninCor, Três Corações, MG, Brasil.

seconds, respectively. The temperature of the saline solution was measured during heating and immediately and 30 minutes after heating. An equation was derived from the results.

Results: Warming the 500 and 1,000 mL pouches for 60 and 120 seconds, respectively, at 900 W increased the temperature of these pouches by 20°C. The derived equation was as follows: final temperature = initial temperature + $[0.165 \times \text{time (s)}/\text{volume (L)}]$. No significant differences were found between the internal and external temperatures of the pouches after heating. **Conclusions:** Determining the initial temperature of crystalloid solutions is essential for obtaining the desired temperature after microwave warming. The equation derived in the present study enables calculation of the final temperature of solutions with various initial temperatures. The external temperature of the pouches accurately reflects their internal temperature.

Keywords: Hypothermia. Microwaves. Parenteral infusions.

INTRODUÇÃO

A hipotermia, uma redução da temperatura corporal para 35°C ou menos, é frequente em salas de emergência, especialmente em regiões frias, quando os pacientes são excessivamente expostos ou mantidos com roupas úmidas. Dados dos Centers for Disease Control and Prevention demonstram que a hipotermia, quando ocorre em pacientes muito jovens ou muito velhos ou quando se associa a problemas como hipotireoidismo, infecções e alcoolismo, pode acarretar taxas de mortalidade entre 65% e 90%¹.

A anestesia, seja geral ou regional, contribui para a perda de calor, por limitar a atividade muscular, reduzindo o metabolismo e o trabalho respiratório². Além da anestesia, pacientes cirúrgicos podem ser propensos a hipotermia por meio de mecanismos como banhos pré-operatórios, roupas insuficientes, transporte inadequado, baixa temperatura da sala de operações, aplicação de soluções antissépticas frias e uso de soluções cristalóides frias, seja para irrigar cavidades ou para uso intravenoso³.

Nas lipoaspirações, a infusão subcutânea de grandes volumes de soluções frias pode ser fator de contribuição importante para a hipotermia. Quando acontece na recuperação pós-anestésica, a hipotermia pode induzir tremores significativos, o que pode aumentar as necessidades de oxigênio em até 500% e, conseqüentemente, gerar complicações graves, como arritmias e infarto do miocárdio, em pacientes com doença coronária⁴. Já se constatou que a manutenção peroperatória da normotermia reduz a incidência de eventos cardíacos mórbidos⁵.

O aquecimento de soluções intravenosas e subcutâneas pode ser fundamental para prevenir a hipotermia pós-operatória, já que a diminuição da temperatura corporal por líquidos frios pode ser significativa quando grandes volumes de soluções parenterais são administrados⁶.

O uso de fornos de micro-ondas para aquecer soluções cristalóides intravenosas, como a de cloreto de sódio a 0,9% (solução salina), teve início nos anos 1980⁷. Esse é um método

simples, seguro, rápido, amplamente disponível e de custo compensador⁸. Embora seja largamente usado, parâmetros precisos para tal processo não foram encontrados em levantamento da literatura médica publicada desde 1967, exceto por um único artigo publicado na Tailândia⁹.

A temperatura inicial não tem sido levada em conta no aquecimento das soluções. A prática usual é colocar bolsas de 500 ml no forno de micro-ondas e aquecê-las durante 60 segundos à potência máxima; quando bolsas de 1.000 ml são usadas, o tempo é costumeiramente ajustado para 120 segundos. Como a temperatura final dependerá da inicial, diferenças consideráveis poderão existir caso não sejam usados parâmetros mais precisos. Isso pode levar a soluções insuficientemente ou excessivamente aquecidas. Se uma solução estiver quente por demais, poderá acarretar queimaduras e trombose venosa¹⁰.

Em Cirurgia Plástica, já foi constatado que a hipotermia operatória está presente em 20% dos procedimentos de contorno corporal pós-cirurgia bariátrica, associando-se a risco aumentado de seroma, perda de sangue e necessidade de transfusões¹¹.

Medidas para prevenir a hipotermia podem reduzir a necessidade de analgesia intraoperatória, estando associadas a menores tempos na sala de recuperação e a altas mais precoces em um ambiente de cirurgia estética ambulatorial¹².

Neste trabalho, são relatados estudos experimentais realizados a fim de estabelecer correlações entre as temperaturas inicial e final de uma solução cristalóide (solução salina) aquecida em forno de micro-ondas, em condições controladas, visando à dedução de equação matemática para calcular os parâmetros de aquecimento. O decréscimo de temperatura após o aquecimento e a relação entre as temperaturas interna e externa das bolsas de solução salina também foram estudados.

MÉTODO

Todos os experimentos foram realizados em sala de operações com temperatura ambiente controlada entre 24°C

e 25°C. Trinta e seis bolsas de fluido cristalóide (cloreto de sódio a 0,9% ou de solução salina, com 500 ml e 1.000 ml, Laboratório JP Indústrias Farmacêuticas S.A., Ribeirão Preto, SP, Brasil) foram divididas em seis grupos de seis bolsas cada um, segundo 3 temperaturas iniciais (15°C, 20°C e 25°C) e dois diferentes volumes.

Os grupos foram divididos da seguinte forma:

- grupo 1 – 500 ml a 15°C;
- grupo 2 – 500 ml a 20°C;
- grupo 3 – 500 ml a 25°C;
- grupo 4 – 1.000 ml a 15°C;
- grupo 5 – 1.000 ml a 20°C;
- grupo 6 – 1.000 ml a 25°C.

A temperatura externa de todas as bolsas foi medida com termômetro a laser (Infrared TD960), posicionado a 20 cm de cada bolsa. A temperatura interna da bolsa (da solução) foi medida com termômetro digital (Sigma Digi-Thermo), cujo sensor foi introduzido pela abertura de conexão do equipo. Para aquecer as bolsas, foi utilizado um forno de micro-ondas regulado para a potência máxima de 900 W, à frequência de 2.450 MHz (Consul M.V31AO, São Paulo, SP, Brasil).

As bolsas de 500 ml foram aquecidas durante 30 segundos, 45 segundos e 60 segundos, enquanto as bolsas de 1.000 ml foram aquecidas por 30 segundos, 45 segundos, 60 segundos e 120 segundos.

Após aquecimento, cada bolsa foi agitada para homogeneização, colocada em suporte plástico e fixada a suporte de soro. A abertura da bolsa foi posicionada para cima, para facilitar a introdução do sensor do termômetro digital. A temperatura foi aferida imediatamente após o aquecimento e a leitura foi repetida quatro vezes, em intervalos de 10 minutos, a fim de avaliar seu decréscimo.

Os dados foram tabulados e tratados estatisticamente com auxílio dos programas Saeg 90 e Minitab 14; foi realizada análise de regressão, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Após 60 segundos de aquecimento a 900 W, as bolsas de solução salina de 500 ml tiveram sua temperatura interna elevada, em média, em 20,3°C; após 120 segundos de aquecimento, as bolsas de 1.000 ml de solução salina tiveram sua temperatura interna aumentada, em média, em 19,1°C. As Tabelas 1 e 2 sumarizam esses resultados.

A seguinte equação foi deduzida a partir das leituras de temperaturas:

$$TIF = TII + [0,165 \times \text{Tempo (segundos)} / \text{Volume (litros)}] \pm 0,6^\circ\text{C}$$

onde TIF = temperatura interna final, TII = temperatura interna inicial, e 0,165 = constante média, arredondada, obtida dos dados.

Tabela 1 – Resultados do aquecimento de bolsas de solução salina com 500 ml.

	TII (°C)	ATI30 (°C)	ATI45 (°C)	ATI60 (°C)	TATI (°C)	TIF (°C)
Média	15	11,1	5	4,8	20,9	35,9
	20	10,7	5	5	20,7	40,7
	25	9,8	5,6	4	19,4	44,4
		10,5	5,2	4,6	20,3	

ATI30 = aumento da temperatura interna após 30 segundos de aquecimento; ATI45 = aumento adicional da temperatura interna após 45 segundos de aquecimento; ATI60 = aumento adicional da temperatura interna após 60 segundos de aquecimento; TATI = total do aumento da temperatura interna; TIF = temperatura interna final; TII = temperatura interna inicial.

Tabela 2 – Resultados do aquecimento de bolsas de solução salina com 1.000 ml.

	TII (°C)	ATI30 (°C)	ATI45 (°C)	ATI60 (°C)	ATI120 (°C)	TATI (°C)	TIF (°C)
Média	15	5,6	2,7	2,8	7,9	19	34
	20	5,3	2,7	2,5	8,8	19,3	39,3
	25	5,2	2,7	3,2	7,9	19	44
		5,4	2,7	2,8	8,2	19,1	

ATI30 = aumento da temperatura interna após 30 segundos de aquecimento; ATI45 = aumento adicional da temperatura interna após 45 segundos de aquecimento; ATI60 = aumento adicional da temperatura interna após 60 segundos de aquecimento; TATI = total do aumento da temperatura interna; TIF = temperatura interna final; TII = temperatura interna inicial.

Após 30 minutos, a temperatura interna diminuiu, em média, 5,1°C (Tabela 3).

Não foram encontradas diferenças significantes entre as temperaturas interna e externa.

DISCUSSÃO

A importância de aquecer fluidos para uso intravenoso, subcutâneo e intraperitoneal é fato estabelecido há muito tempo e parece fora de discussão. Esse aquecimento é significativamente benéfico para os pacientes, obtendo-se variáveis hemodinâmicas mais estáveis e temperatura central mais alta ao término de operações¹³. Os meios para obtenção desse aquecimento, entretanto, deveriam ser mais bem estudados. Uma prática comum é a estocagem de fluidos parenterais em depósitos onde a temperatura não é controlada. A temperatura desses fluidos tende a se equalizar com aquela do local onde são armazenados. Isso pode levar a diferenças significantes entre as temperaturas de soluções armazenadas no verão e no inverno. Aquecer tais soluções com micro-ondas, usando sempre os mesmos ajustes, pode levar a temperaturas finais significativamente diferentes, já que as temperaturas iniciais

Tabela 3 – Diminuição das temperaturas interna e externa de bolsas de solução salina com 500 ml e 1.000 ml, com temperatura interna inicial de 25°C, desde logo após o aquecimento até 30 minutos depois (temperatura ambiente de 25°C).

Volume (ml)	TII (°C)	Tempo (segundos)	TIF (°C)	TI30 (°C)	Diminuição (°C)	TEF (°C)	TE30 (°C)	Diminuição (°C)
500	25	60	44,4	38,3	6	44,8	38,9	5,9
1.000	25	120	44	39,9	4,1	44,4	40	4,4

TEF = temperatura externa final; TE30 = temperatura externa após 30 minutos; TIF = temperatura interna final; TII = temperatura interna inicial; TI30 = temperatura interna após 30 minutos.

são também bastante diversas. O procedimento usual é ajustar os fornos de micro-ondas, de qualquer modelo ou potência, para a potência máxima e aquecer bolsas de 500 ml de solução salina durante um minuto, dobrando esse tempo para bolsas de 1.000 ml, sem considerar a temperatura inicial. Como foi verificado neste trabalho – e deveria ser previsto –, a temperatura final de fato depende da inicial.

Um exemplo hipotético pode ser considerado: no inverno, em um estado da Região Sul do Brasil, uma vítima de queimaduras de extensão significativa é tratada em hospital desprovido de calefação. A temperatura ambiental é de 15°C, e assim também a das soluções salinas armazenadas. O paciente tem choque hipovolêmico e demanda infusão de altos volumes de solução cristaloide. Bolsas de solução salina de 1.000 ml são aquecidas por micro-ondas (considerando-se um forno de 900 W), durante 2 minutos. A temperatura final dessas bolsas será de 34°C, conforme demonstrado neste trabalho. Após a administração de quantidade significativa de fluidos, o paciente desenvolve hipotermia, o que piora seu prognóstico. Esse fato não surpreende, pois a temperatura do fluido estava muito abaixo da que seria adequada.

Outro exemplo, contrário ao anteriormente mencionado: no verão, em um estado da Região Norte do Brasil, um paciente similar é tratado em hospital desprovido de condicionamento de ar. A temperatura ambiental é de 30°C, e também aquela das soluções salinas estocadas. O paciente demanda infusão de altos volumes de solução cristaloide. Bolsas de solução salina de 1.000 ml são aquecidas por micro-ondas (considerando-se um forno de 900 W), durante 2 minutos. A temperatura final dessas bolsas, calculada usando a equação deduzida neste estudo, será de cerca de 49°C, ou seja, bastante perigosa.

Tais exemplos são eloquentes para expressar a importância da temperatura inicial e de parâmetros adequados de aquecimento. Nesse sentido, ter consciência de tais variações, usando os resultados apresentados neste estudo, e conhecer a temperatura inicial dos fluidos pode fazer uma diferença significativa no tratamento de pacientes que precisam de reposição cristaloide em grandes volumes.

A taxa de diminuição da temperatura, após o aquecimento por micro-ondas, foi relativamente lenta neste trabalho,

quando a temperatura ambiente era de 25°C (diminuição de 5,9°C para bolsas de 500 ml e de 4,4°C para bolsas de 1.000 ml, após 30 minutos). Pode-se assumir, então, que essa taxa não é uma consideração importante quando os fluidos são administrados rapidamente, como em geral acontece nos casos com hipovolemia significativa. Quando a infusão é lenta, entretanto, a temperatura do fluido pode cair para níveis inadequados, fato que deve ser considerado na prevenção de hipotermia.

É muito importante que termômetros estejam disponíveis em hospitais, a fim de aferir a temperatura ambiente. Uma vez que as bolsas de soluções cristaloides tenham sido armazenadas em locais cuja temperatura é quantificada por esses termômetros, durante um tempo longo o suficiente para equalizar a temperatura do líquido com aquela do ambiente, medidas mais exatas poderiam ser desnecessárias. Instrumentos mais precisos (e mais caros), como termômetros a laser, para estimar a temperatura externa das bolsas, seriam bem-vindos, mas não são essenciais se aplicados os dados deste trabalho. Os resultados mais importantes podem ser sumarizados da seguinte maneira: aquecer bolsas de 500 ml de solução salina em forno de micro-ondas de 900 W, com potência máxima, durante 60 segundos, levará a aumento de temperatura de cerca de 20°C, ao passo que bolsas de 1.000 ml precisarão de 120 segundos para apresentar a mesma elevação. A fim de evitar a necessidade de cálculo, tabelas podem ser construídas, contendo diferentes temperaturas iniciais e o tempo (em segundos) necessário para elevar a temperatura do fluido até 38°C-40°C em um forno de micro-ondas de 900 W ajustado à potência máxima. Tais tabelas poderiam ficar disponíveis e ser utilizadas em salas de emergência, enfermarias e instalações cirúrgicas.

É importante ressaltar que os achados deste estudo se aplicam a fornos de micro-ondas de 900 W. Equipamentos mais potentes devem ter sua potência ajustada para 900 W, a fim de reproduzir as condições deste trabalho. Aparelhos com menos de 900 W de potência máxima podem exigir tempos maiores, variável não estudada neste trabalho. No Brasil, fornos de micro-ondas são vendidos por grandes magazines com potências máximas variando de 700 W a 1.500 W. O uso de fornos com mais de 900 W à potência máxima, durante 60 segundos (500 ml) ou 120 segundos (1.000 ml), levará

ao superaquecimento da solução, exceto quando sua temperatura inicial for muito baixa¹⁴.

Máquinas automáticas de aquecimento de fluidos intravenosos podem ser usadas, evitando a utilização de fornos de micro-ondas e de cálculos para seu uso, mas seu preço as torna um item de luxo em muitos hospitais e clínicas ambulatoriais, em especial nos países em desenvolvimento. Em tais locais, os achados deste trabalho podem ser úteis.

O cirurgião plástico deve sempre tentar evitar a hipotermia, que pode surgir mesmo em operações relativamente curtas. Medidas simples, como aquecer o paciente no pré-operatório, manter temperatura adequada na sala de operações, evitar a exposição ampla da superfície corporal do paciente, prevenir os calafrios pós-operatórios e, claro, aquecer os fluidos intravenosos e subcutâneos, podem ser muito importantes na redução de complicações e de resultados adversos¹⁵. Nesse sentido, usar racionalmente os fornos de micro-ondas, ao invés de seguir cegamente o mesmo padrão de aquecimento sem atentar para as circunstâncias, pode ser um componente muito importante do cuidado cirúrgico de alta qualidade.

CONCLUSÕES

A determinação da temperatura inicial é fundamental para manter uma temperatura final desejada após o aquecimento de solução salina por micro-ondas. Uma equação pôde ser deduzida, tornando possível o cálculo da temperatura final, a partir de diversas temperaturas iniciais, para o aquecimento com 900 W de potência. A temperatura externa reflete adequadamente a temperatura interna das bolsas de solução salina.

REFERÊNCIAS

- Centers for Disease Control and Prevention. Hypothermia-related deaths: Suffolk County, New York, January 1999-March 2000, and United States, 1979-1998. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2001;50(4):53-7.
- Young CC, Sladen RN. Temperature monitoring. *Int Anesthesiol Clin.* 1996;34(3):149-74.
- Pisani IS. Prevenção da hipotermia per-operatória e a utilidade do forno de micro-ondas. *Rev Bras Anesthesiol.* 1999;49(6):399-402.
- Barash PG, Cullen BF, Stoelting RK, Cahalan MK, Stock MC. *Manual de anesthesiologia clínica.* 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2010.
- Frank SM, Fleisher LA, Breslow MJ, Higgins MS, Olson KF, Kelly S, et al. Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events: a randomized clinical trial. *JAMA.* 1997;277(14):1127-34.
- Esnaola NF, Cole DJ. Perioperative normothermia during major surgery: is it important? *Adv Surg.* 2011;45:249-63.
- Bagatini A, Nascimento L. Aquecimento de soluções cristalóides em forno de microondas: segurança e toxicidade. *Rev Bras Anesthesiol.* 1997; 47(3):237-44.
- Werwath DL, Schwab CW, Scholten JR, Robinett W. Microwave ovens: a safe new method of warming crystalloids. *Am Surg.* 1984;50(12):656-9.
- Chittawatanarat K, Akanitthaphichat S. Microwave oven: how to use it as a crystalloid fluid warmer. *J Med Assoc Thai.* 2009;92(11):1428-33.
- Sieunarine K, White GH. Full-thickness burn and venous thrombosis following intravenous infusion of microwave-heated crystalloid fluids. *Burns.* 1996;22(7):568-9.
- Coon D, Michaels J 5th, Gusenoff JA, Chong T, Purnell C, Rubin JP. Hypothermia and complications in postbariatric body contouring. *Plast Reconstr Surg.* 2012;130(2):443-8.
- Lista F, Doherty CD, Backstein RM, Ahmad J. The impact of perioperative warming in an outpatient aesthetic surgery setting. *Aesthet Surg J.* 2012;32(5):613-20.
- Moola S, Lockwood C. Effectiveness of strategies for the management and/or prevention of hypothermia within the adult perioperative environment. *Int J Evid Based Healthc.* 2011;9(4):337-45.
- Delaney A. Reliability of modern microwave ovens to safely heat intravenous fluids for resuscitation. *Emerg Med (Fremantle).* 2001;13(2):181-5.
- Young VL, Watson ME. Prevention of perioperative hypothermia in plastic surgery. *Aesthet Surg J.* 2006;26(5):551-71.

Correspondência para:

Tufi Neder Meyer
Rua Edson Arantes do Nascimento, 201 – Centro – Três Corações, MG, Brasil – CEP 37410-000
E-mail: tufi@uai.com.br